

УДК 550.42:553.98

DOI: 10.18524/2303–9914.2022.2(41).268761

В. В. Ішков^{1,2}, канд. геол.-мін. наук, доцент**Є. С. Козій**^{1,3}, канд. геол. наук, директор**М. А. Козар**⁴, канд. геол. наук, старший науковий співробітник**О. І. Чернобук**⁵, заступник директора¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

пр-т Дмитра Яворницького 19, м. Дніпро, 49005, Україна

²Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України

Україна, вул. Сімферопольська 2-а, м. Дніпро, 49005, Україна

³Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, 49600, Україна

⁴Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка

НАН України

пр-т Акад. Палладіна, м. Київ, 03142, Україна

⁵Департамент стратегічного планування виробництва «Грузинський марганець»

м. Тбілісі, Грузія

ishwishw37@gmail.com

РОЗПОДІЛ ГЕРМАНІЮ У ВУГІЛЬНОМУ ПЛАСТІ С₄ ШАХТИ «САМАРСЬКА» ПАВЛОГРАДСЬКО-ПЕТРО- ПАВЛІВСЬКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ДОНБАСУ

Встановлені основні особливості мінливості розподілу германію у вугіллі пласта с₄ і їх генетичних причин. Аномальні концентрації германію спостерігаються тільки на ділянках пласта де є поєднання двох особливостей його будови, а саме загальне зменшення потужності власне вугільних прошарків та наявність мало і дрібноамплітудних тектонічних порушень, зон підвищеної тріщинуватості північно-західного простягання.

Ключові слова: германій, вугільний пласт, поле шахти, розривні порушення, кореляційний зв'язок, рівняння регресії.

ВСТУП

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

Вугілля є найважливішим джерелом германію в Україні, Китаї (германієносні вугільні родовища в Китаї розробляються близько Lincang, провінція Юньнань і Xilinhaote, провінція Внутрішня Монголія), Узбекистані, а також в Росії (92,6% загальних запасів германію по категоріям А+В+С1 зосереджено у вугільних родовищах, які розташовані головним чином в межах Приморського, Забайкальського, Красноярського країв, а також Сахалінської і Кемеровської областей) (Ішков, Козій & Чернобук, 2022; Ishkov, Kozii, Chernobuk &

Lozovyi, 2022; Ishkov, Kozii, Kozar, Chernobuk, Pashchenko, Dreshpak, Diachkov & Vladyk, 2022). Також Ge-вугільні родовища розробляються в Англії, Канаді та США (Ішков & Козій, 2022; Ішков, Козій & Клименко, 2022).

У вугіллі германій відноситься до групи «малих елементів» або елементів – домішок вугілля, котрі повинні обов'язково досліджуватись в процесі геолого-розвідувальних робіт, що виконуються на вугільних родовищах України.

Особливу актуальність виконаним дослідженням надає рішення Ради національної безпеки та оборони України від 16 липня 2021 року «Про стимулювання пошуку, видобутку та збагачення корисних копалин, які мають стратегічне значення для сталого розвитку та обороноздатності держави» та Указ Президента України № 306/2021, який вводить в дію це рішення. В цих документах руди германію включені до переліку, що мають стратегічне значення для сталого розвитку та обороноздатності держави.

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 германію по площі і в розрізі вугільного пласта с₄ поля шахти «Самарська».

Загальним питанням вивчення геохімії елементів-домішок вугілля присвячено багато робіт. Так Я.Е. Юдович разом з М.П. Кетрис систематизував дані про цінні елементи-домішки у вугіллі світу (Юдович & Кетрис, 2006). В цій роботі вони навели огляд та аналіз літературних джерел присвячених геохімії елементів-домішок у вугіллі основних басейнів та родовищ, в тому числі і германію. Але на жаль, геохімії германію у вугіллі Донбасу у цьому чудовому огляді відведено лише один абзац у кілька рядків.

І.В. Бучинською вивчалась тільки геохімія вугілля геолого-промислових районів Львівсько-Волинського басейну. Нею були побудовані карти концентрацій елементів-домішок у вугільних пластах й аналізувалося їх площинне поширення та умови утворення аномальних концентрацій (Бучинська, Лазар, Савчинський & Шевчук, 2013).

Слід відмітити роботи А.Ф. Горового і Н.А. Горової (Горовой & Гороя, 1997; Гороя, 1999). Вони займались вивченням розподілу та вмісту токсичних елементів в продуктах видобутку і відходах переробки антрацитів деяких геолого-промислових районів Донбасу. Ці дослідники створили кадастр «токсичності гірничої маси, вугілля, золи вугілля, продуктів видобутку і відходів переробки вугілля», а також побудовані прогнозні карти «токсичності вугілля».

З оцінкою вугільних родовищ, як попутного джерела цінних металів і впливу токсичних елементів на навколишнє середовище, пов'язані роботи О.Р. Куліненка і Т.В. Барни (Кулиненко & Барна, 1985). З метою реконструкції умов торфонакопичення Т.В. Барною було проведено детальне вивчення «супутніх елементів» вугільного пласта с₁₁ на шахті «ім. Героїв Космосу» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по 24 перетинах.

В.В. Ішковим разом з А.І. Чорнобук, Д.Я. Михальчонок, В.В. Дворецьким (Ішков, Чернобук & Дворецкий, 2001; Ішков, Чернобук & Михальчонок,

2001) досліджені особливості розподілу деяких елементів-домішок в продуктах і відходах збагачення Краснолиманської й Добропольської вуглезбагачувальних фабрик Донбасу.

В. В. Ішковим та Є. С. Козієм були розглянуті (Ішков & Козій, 2017а; Ішков & Козій, 2017б; Козій & Ішков, 2018) особливості геохімії токсичних й потенційно токсичних елементів у вугіллі пластів Павлоградсько-Петропавлівського та інших геолого-промислових районів Донбасу.

Слід зазначити, що тільки після оприлюднення згаданих раніше рішення Ради національної безпеки та оборони України від 16 липня 2021 року та Указу Президента України № 306/2021 були досліджені особливості розподілу Ge у вугіллі окремих шахтопластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Західного Донбасу (Ішков & Козій, 2022; Ішков, Козій & Клименко, 2021; Ішков, Козій & Чернобук, 2022; Ishkov, Kozii, Chernobuk & Lozovyi, 2022; Ishkov, Kozii, Kozar, Chernobuk, Pashchenko, Dreshpak, Diachkov & Vladyk, 2022). При цьому, до теперішнього часу розподіл германію у вугіллі пласта c_4 шахти «Самарська» не досліджувався.

Мета даної роботи полягає в дослідженні особливостей розподілу германію у вугільному пласті c_4 поля шахти «Самарська».

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Важливою особливістю геохімічних досліджень є неможливість безпосереднього спостереження процесів міграції хімічних сполук, їх розсіювання та концентрації в геологічних об'єктах на різних ієрархічних рівнях. В таких випадках розгляд динаміки геохімічних процесів традиційно виконується шляхом порівняння статистичних даних й аналізу картографічних матеріалів стосовно розподілу хімічних елементів та їх сполук в об'єктах які розглядаються. Далі одержані 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 особисто авторами за участю співробітників геологічних служб вугледобувних підприємств і виробничих геологорозвідувальних організацій в період з 1981р. по 2013р. з дублікатів керна і в гірських виробках (пластові проби, відібрані борозновим способом (Метод отбора, 1975)). Обсяг контрольного випробування склав 7% від загального обсягу проб. Всі аналітичні роботи виконувалися в центральних сертифікованих лабораторіях виробничих геологорозвідувальних організацій. Вміст Ge визначався кількісним емісійним спектральним аналізом (Методы определения, 1991). На внутрішній лабораторний контроль направлено 10% дублікатів проб. Зовнішньому лабораторному контролю піддано 12% дублікатів проб. Якість результатів аналізів (правильність і відтворюваність) оцінювалася як значимість середньої систематичної похибки, яка перевірялася за допомогою критерію Стьюдента і значимість середньої випадкової похибки, яка в свою чергу перевірялася за допомогою критерію Фішера. Оскільки всі ці похибки при рівні значимості 0,95 виявились не значимими, якість аналізів визнано задовільною.

За допомогою програм Excel і Statistica 16.0 на початковому етапі обробки первинної геохімічної інформації розраховувалися значення основних описових статистичних показників, виконувалась побудова частотних гістограм вмісту і встановлення закону розподілу германію. Розрахунок кількості статистичних «вікон» виконувався за формулою Стержеса.

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 Ge;

X_{max} – результат максимального значення концентрації Ge;

X_{min} – результат мінімального значення концентрації Ge.

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

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Поле шахти «Самарська» розташовано в межах Павлоградсько-Петропавлівського вуглепромислового району Західного Донбасу. За адміністративним поділом поле шахти знаходиться у Павлоградському районі Дніпропетровської області на схід від м. Павлограда. В геолого-структурному відношенні шахтне поле приурочено до південного схилу Дніпровсько-Донецької западини (ДДВ), у зоні контакту із Українським кристалічним щитом і простягається вздовж південно-західного борту ДДВ в південній частині Центрального грабену. Будова поля складна. Широко розвинуті диз'юнктивні та плікативні форми дислокацій. Товща осадових порід характеризується загальним моноклінальним заляганням з падінням на північний схід під кутом 2–4°. Поблизу тектонічних порушень кути падіння збільшуються до 7–9° та більше. Пологе залягання товщі осадових порід ускладнюється рядом великих та дрібних диз'юнктивних порушень типу скидів (Рис. 1). Серед них треба відзначити найбільш великі – Богданівський та Богуславський скиди.

В межах поля шахти «Самарська» концентрація германію по пласту c_4 змінюється в межах від 1,3 г/т до 23,5 г/т. Середнє арифметичне значення вмісту Ge по пласту складає $7,3 \pm 0,3$ г/т, медіанне значення 6,3 г/т, модальне – 6,7 г/т, стандартне відхилення – 3,7 г/т, дисперсія становить 13,7 г/т, ексцес – 4,1 г/т, а асиметричність – 1,7 г/т. На побудованій карті нормованих ізоконцентрат (рис. 2), виділяються три значні лінійні зони підвищеного вмісту германію, що витягнуті поперек простягання шахтного поля (і вугільного шару) та простежуються у загальному напрямку падіння пласта на північний схід.

Перша зона починається біля південно-східного кордону шахтного поля та простягається вздовж лінії від свердловини 385 до свердловини 6981. Привертає увагу, що найбільший вміст Ge зафіксовано на ділянках біля свердловин 8066 та 1496. В обох випадках тільки на цих ділянках поряд з появою малопотужних партингів виявлені малоамплітудні розривні порушення північно-західного простягання. Друга, центральна зона підвищених концентрацій

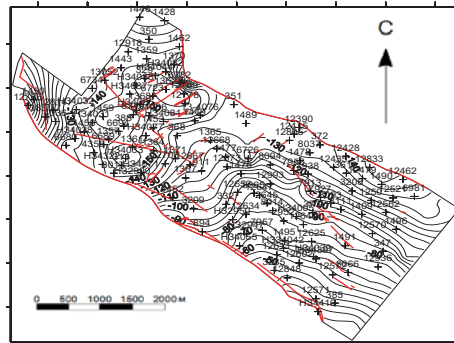


Рис. 1 Карта глибини залягання ґрунту вугільного пласта s_4 шахти «Самарська»

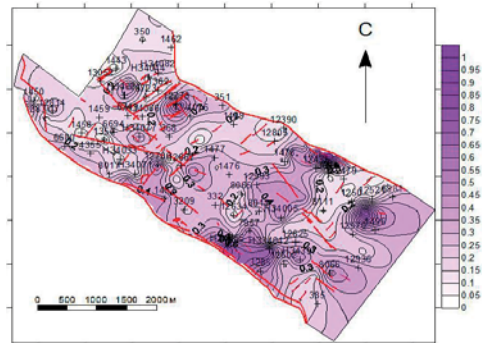


Рис. 2 Карта ізоконцентрат нормованих концентрацій Ge у вугіллі пласта s_4 поля шахти «Самарська»

простягається безпервною смугою від свердловини Н34055 до свердловини 12435. При її детальному розгляді знову виявляються ті ж самі закономірності, які були відзначені раніше для першої зони, стосовно принаймні просторового зв'язку ділянок з аномально високими концентраціями, зафіксованих ускладнень будови вугільного пласта та малоамплітудних розривних порушень північно-західного простягання. Так, для всіх 3 ділянок з максимальними концентраціями Ge в межах центральної зони підвищених концентрацій цього елемента характерне поєднання наявності малопотужних породних прошарків і лінз у вугільному шарі з розривними малоамплітудними порушеннями північно-західного простягання. Третя зона розташована в південно-західній частині пласта. Вона на відміну від перших двох зон підвищених концентрацій Ge, не простежується безпервно через усе шахтне поле. На площі пласта третя зона підвищеного вмісту виділяється кількома фрагментами, які дещо зміщені один щодо одного та розділені ділянками з низькими та фоновими значеннями Ge. Слід зазначити, що у кожному такому просторовому фрагменті вугільного пласта у тій чи іншій мірі інтенсивності виявлено особливості його будови зазначені нами раніше для ділянок з аномально високими концентраціями Ge у перших двох зонах. При цьому в одних випадках збільшується кількість партингів з одного до трьох при їхній порівнянній потужності (наприклад, ділянки в районі свердловин 12770, 34037), а в інших – істотно зростає потужність одного породного прошарку (наприклад, ділянки біля свердловин 113407, 12700). При цьому завжди спостерігається зменшення загальної потужності власне вугільних шарів пласта.

На діаграмі розподілу Ge (рис. 3) у вугіллі пласта добре видно, що його розподіл суттєво відрізняється від розподілу Гауса або ж логнормального. Зроблений візуальний аналіз підтверджується аналітичними розрахунками критеріїв Шапіро-Уїлка, згоди χ^2 -квадрат Пірсона, Колмогорова – Смірнова та Лілліфорса. У всіх випадках результати розрахунків підтвердили невідповідність вибірки нормальному або логнормальному закону розподілу. Таким чином, для більш реалістичної оцінки центральної тенденції вмісту Ge замість значень середнього арифметичного необхідно використовувати медіанне значення показ-

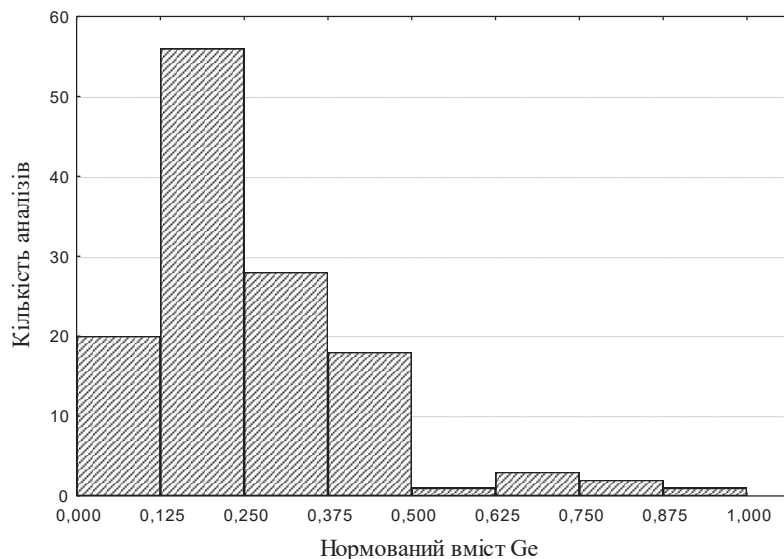


Рис. 3 Гістограма розподілу нормованих концентрацій Ge у вугіллі пласта c_4 поля шахти «Самарська»

ника. Також звертає увагу деяка бімодальність загального характеру розподілу Ge. Це може вказувати на наявність щонайменше двох різних головних чинників, які могли суттєво вплинути на його розподіл у вугіллі пласта.

Щодо ділянок пласта зі зниженими значеннями концентрації Ge (рис. 3), необхідно відзначити дві характерні для них особливості. По-перше, для всіх таких ділянок є характерною проста будова та збільшення загальної потужності пласта (рис. 4), а відтак і збільшення вкладу в його потужність власне вугільних прошарків до 100%. По-друге, у тектонічному плані особливістю для переважної більшості цих ділянок є наявність малоамплітудних розривних порушень північно-східного простягання.

У регіональному плані (рис. 5) концентрація Ge збільшується в південно-східному напрямку, у бік Українського кристалічного щита.

Коефіцієнт кореляції Пірсона між вмістом Ge та загальною потужністю пласта дорівнює $-0,82$, що вказує на наявність високого зворотного кореляційного зв'язку між ними згідно шкали Чедока. Лінійне рівняння регресії, яке характеризує зв'язок між цими параметрами: $Ge = 0,6153 - 0,7478 \cdot m$ (графік рівняння наведено на рис. 6 а). Але на нашу думку, зв'язок між концентрацією Ge і потужністю пласта більш адекватно описує поліноміальне кубічне рівняння регресії: $Ge = 1,0137 - 3,1381 \cdot m + 3,8057 \cdot m^2 - 1,5943 \cdot m^3$ (графік рівняння наведено на рис. 6 б).

Коефіцієнт кореляції між вмістом Ge та зольністю пласта дорівнює $0,22$, що вказує на наявність слабого прямого кореляційного зв'язку між ними згідно шкали Чедока. Треба зазначити, що незважаючи на його невелике значення цей коефіцієнт кореляції, як і в попередньому випадку, є статистично значущим при довірчому інтервалі $0,95$. Лінійне рівняння регресії, яке характеризує зв'язок

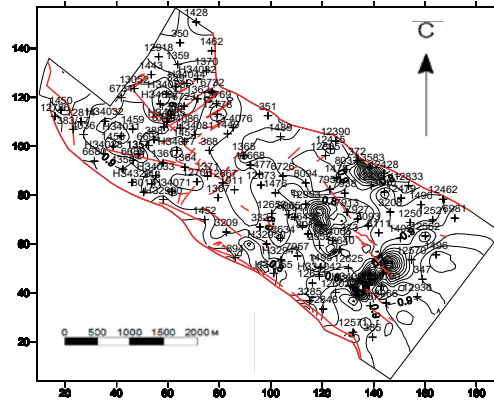


Рис. 4. Карта нормованих значень ізопакіт вугільного пласта c_4 поля шахти «Самарська»

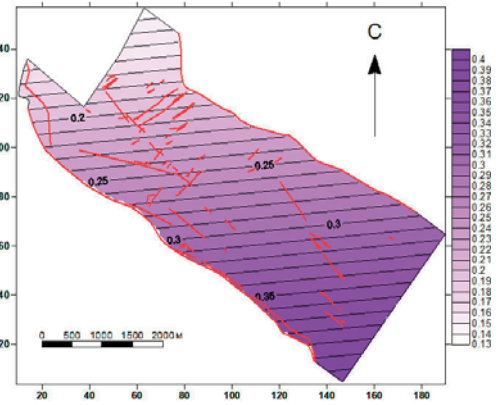
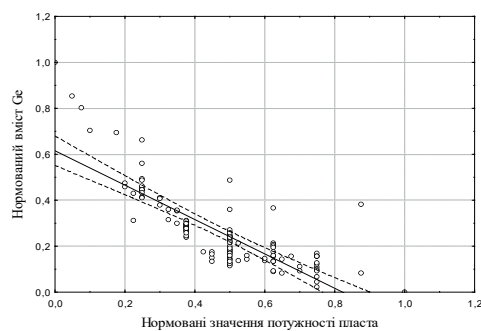


Рис. 5. Карта зміни регіональної складової нормованих значень концентрацій Ge у вугіллі пласта c_4 поля шахти «Самарська»

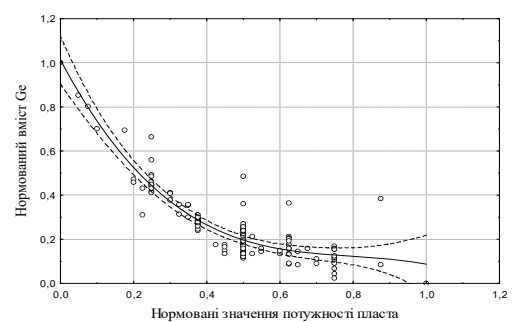
між цими параметрами: $Ge = 0,2082 + 0,2293 \cdot Ad$ (графік рівняння наведено на рис. 7 а). У той же час ми вважаємо, що зв'язок між цими показниками більш реалістично характеризує поліноміальна кубічна модель регресії: $Ge = 2226 + 0,5887 \cdot Ad - 2,6995 \cdot Ad^2 + 2,8339 \cdot Ad^3$ (графік рівняння наведено на рис. 7б).

При детальному розгляді особливостей розподілу Ge у вугільних пластах очевидно, що необхідно враховувати ймовірні форми знаходження цього елемента.

У найбільш повному огляді, присвяченому геохімії германію у вугіллі, зазначено, що Ge може міститися в наступних формах: 1) фізично сорбованої на органічній речовині; 2) пов'язаної з гуміновими та фульвовими кислотами у вигляді простих гуматів та фульватів; 3) пов'язаної з гуміновими кислота-



а



б

Рис. 6. Графіки рівнянь регресії між нормованими концентраціями Ge та нормованими значеннями потужності пласта c_4 поля шахти «Самарська»: а – лінійна модель; б – поліноміальна модель

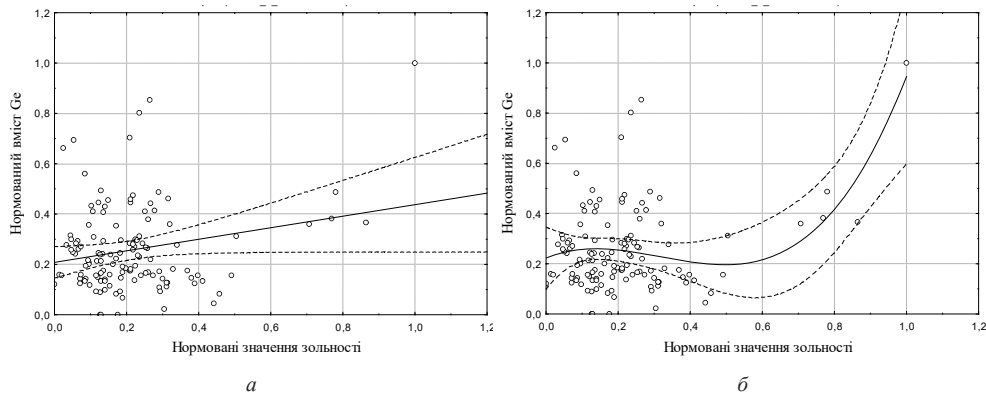


Рис. 7 Графіки рівнянь регресії між нормованими концентраціями Ge та нормованими значеннями зольності вугілля пласта c_4 поля шахти «Самарська»: а – лінійна модель; б – поліноміальна модель

ми у вигляді комплексних гуматів (хелатів); 4) у вигляді германійорганічних сполук; 5) у породоутворюючих мінералах (силікогерманати); 6) у вигляді ізоморфної домішки у сульфідах (Юдович & Кетрис, 2004). Таким чином, у загальному випадку, Ge може як накопичуватися у вугільному пласті, так і мігрувати за його межі на всіх етапах його існування. Враховуючи цю обставину, можна інтерпретувати отримані результати в геологічних поняттях наступним чином. Встановлений високий зворотній кореляційний зв'язок між концентрацією Ge і загальною потужністю вугільного пласта та позитивний зв'язок між вмістами цього елемента і наявністю в розрізі пласта породних прошарків надає можливість трактувати його як приклад прояву «закона Зільбермінця». В 1936 році у роботі В. А. Зільбермінця зі співавторами (Зильберминц, Русанов & Кострыкин, 1936) у вугіллі Західного Донбасу було вперше встановлено явище зонального розподілу Ge за розрізом вугільних пластів – з накопиченням його в контактних зонах (пригрунтових та покрівельних пачках, а також у пачках вугілля біля внутрішньопластових прошарків породи – партингів). В 1966 році А. В. Павлов (Павлов, 1966) запропонував називати таку емпіричну закономірність «законом Зільбермінця». Пізніше така емпірична закономірність була встановлена практично у всіх вугільних родовищах. Наприклад, за результатами секційного випробування 12 вугільних родовищ Японії стало очевидним, що Ge концентрується у контактних зонах (Imai, Ando & Takeda, 1984). Малозольний та низькосірчистий пласт Blue Gem у Кентуккі, потужністю 0,7 м, був випробований п'ятьма секціями. Опубліковані аналізи (Hower, Taulbee Rimmer & Morrell, 1994) показують, що спостерігається різке збагачення Ge крайових секцій.

Майже одночасно з відкриттям контактного збагачення було встановлено ще одну емпіричну закономірність: зворотна залежність концентрації Ge у вугіллі від потужності пластів. Наприклад, як зазначає В. Р. Клер (Клер, Ненахова & Сапрыкин, 1988), в Донбасі, в межах одного вугільного пласта мінли-

вої потужності, «вміст Ge за контуром робочої потужності зазвичай у 2 рази більший, ніж у межах промислового контуру». Такі ж закономірності були зазначені у роботах (Ішков & Козій, 2022; Ishkov, Kozii, Chernobuk & Lozovyi, 2022; Ішков, 1999; Козар, Ішков, Козій & Стрельник, 2021; Ishkov, Kozii, Kozar, Chernobuk, Pashchenko, Dreshpak, Diachkov & Vladyk, 2022). У більшості випадків за інших рівних умов (зокрема, в межах одного і того ж вугленосного басейну або родовища), чим потужніший вугільний пласт, тим нижче в ньому середній вміст Ge.

Аналіз зв'язку між цими двома закономірностями був наведений у роботі (Ishkov, Kozii, Chernobuk, Kozar, Pashchenko, Diachkov & Vladyk, 2022). На думку авторів, потужність зон контактвого збагачення пластів Ge та іншими елементами-домішками не залежить від потужності пластів; вона скрізь приблизно однакова і коливається у вузьких межах від 10 до 30 см. Тому тонкий вугільний пласт у геохімічному відношенні відрізняється від потужного пласта тільки підвищеним вкладом контактних зон. У цій же роботі було репрезентовано результати аналізу можливих механізмів збагачення контактних зон вугільних пластів та доведено, що найбільш вірогідними були дифузійно-фільтраційні процеси перерозподілу речовини в системі «вугільний пласт – вуглевмісні породи». Ці процеси відбувалися головним чином вже на стадіях діагенезу та катагенезу вугленосної товщі. Такий висновок загалом підтверджується даними наведеними в роботі (Юдович & Кетрис, 2004), що базувалася на іншому фактичному матеріалі.

Аналіз карти зміни регіональної складової нормованого вмісту Ge у вугіллі пласта c_4 поля шахти «Самарська» (рис. 3) свідчить про надходження переважної частини цього елемента в басейн палеоторфяника з боку Українського кристалічного щита. Схожа закономірність спостерігається і для деяких інших родовищ. Наприклад, зональний розподіл Ge встановлено на площі олігоценового родовища Вовче Поле в Болгарії (Минчев & Ескенази, 1966). Тут вугленосна товща заповнює тектонічну западину широтного простягання довжиною 25 і діаметром 3–10 км. Середній вміст Ge у вугіллі периферичної частини западини становить 10,7 г/т, а у внутрішній частині – лише 2,7 г/т. У бурому вугіллі Південного острова Нової Зеландії (район Буллер) відзначалися аномально високі вмісту Ge, що досягають 250 г/т вугілля, що пов'язують з розмивом збагачених Ge пегматитів в період торфонакопичення (Sim, 1977). Збагачення Ge деяких шарів вугілля в штатах Айдахо та Монтана пов'язували з наявністю поблизу цинкових руд. Передбачалося, що Ge міг потрапити у палеоторфовища при утворенні цинкових руд або при їх вивітрюванні (Stadnichenko, Murata, Zubovic & Hufschmidt, 1953).

На думку Л. Я. Кізільштейна, вміст Ge у вугіллі можна використовувати навіть як фаціально-палеогеографічний індикатор (в одному ряду із сіркою, бором та іншими елементами): «Досить виразно за розподілом концентрацій германію можна судити про становище областей зносу. Збагаченність крайових частин вугільних пластів цим елементом давно відзначено і одногласно витлумачена багатьма дослідниками. Принципово з тих самих причин формуються зони підвищеної концентрації вздовж русел внутрішньоболотних водо-

токів і фільтраційних топей – обставина, яка може бути використана для реконструкції гідрографічної системи торф'яних масивів» (Кизильштейн, 2002).

Таким чином, побудова серії подібних карт зміни регіональної складової нормованого вмісту Ge за площею і розрізом вугленосних відкладів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району може дати уявлення про мінливість положення і специфіки петрофону переважаючих джерел зносу в басейн палеоторфонакопичення в часі і просторі.

Встановлений авторами роботи складний характер зв'язку вмістів Ge із зольністю вугілля було відмічено раніше у багатьох родовищах (Юдович & Кетрис, 2000). Складний характер зв'язку концентрацій Ge із зольністю вугілля на нашу думку обумовлений особливостями їх неорганічної складової, яка при їх спалюванні частково формує зольний залишок.

Різні мінеральні фази, які входять до складу сингенетичної та епігенетичної частин неорганічної складової вугілля пласта повинні відрізнитися і різною здатністю до накопичення Ge у вигляді ізоморфних домішок або сорбованих сполук залежно від їх виду та походження. Крім того, для тих самих мінеральних фаз подібні відмінності повинні проявлятися в залежності від масштабного рівня їх організації (наприклад, нано- і макрорівень). Додатковим фактором, який ускладнює загальну картину зв'язку германію із зольністю вугілля, є відмінності в кількості зольного залишку для різних мінеральних фаз неорганічної складової вугілля. Підсумовуючи наші дослідження та отримані раніше дані про зв'язок германію із золою вугілля необхідно відзначити, що інтерпретація цих результатів у геолого-мінералогічних поняттях вимагає подальшого розгляду.

Великий інтерес викликає встановлений тектонічний контроль розташування ділянок вугільного пласта з аномально високими та аномально низькими концентраціями Ge. Зважаючи на те, що розривні тектонічні порушення в геохімічному сенсі є зонами підвищеної проникності і різко прискорюють міграцію всіх хімічних сполук, їх наявність могла істотно впливати на загальний баланс вмісту Ge у вугільному пласті. Реальність водної екстракції Ge з вугілля і порід, що його вміщують, підтверджується як натурними спостереженнями (присутністю Ge в шахтних водах), так і в експериментах з вилуговування кам'яного вугілля водою. Прямим свідченням сучасної міграції Ge у підземних водах вугленосних товщ є його присутність у шахтних водах Донбасу, що несуть 0,12–0,38 мкг/л Ge (Ломашов, 1991). У шахтних водах Кизіловського басейну були виявлені концентрації Ge, що становлять 1–3 мг/м³, що набагато перевищує гідрохімічний фон (Клер, Ненахова & Сапрыкин, 1988). Підрахунки показали, що тільки у водовідливих шахт щорічно виноситься близько 200 кг германію (Ершов & Щеглова, 1989). У цьому плані великий інтерес викликають результати експериментів І. В. Вінарова та співавторів (Винаров, Целик & Орлов, 1960), які вилуговували кам'яне вугілля марок ПЖ і Г водою в проточному режимі. Їм вдалося за 3 год 15 хв із газового вугілля витягти до 35% германію, а з більш метаморфізованого вугілля марки ПЖ – 26%. Таким чином, тектонічний контроль розміщення ділянок з аномально високими та аномально низькими концентраціями Ge у межах вугільного пласта с₄ шах-

ти «Самарська» отримує своє логічне обґрунтування. Слід зазначити, що раніше, на початку, для Павлоградсько-Петропавлівського і Червоноармійського геолого-промислових районів (Ішков & Козій, 2017а; Ішков & Козій, 2017б; Ішков & Козій, 2020), а потім і для всього Донбасу (Пащенко, Ішков & Козій, 2018а; Пащенко, Ішков & Козій, 2018б) було встановлено, що аномальні концентрації багатьох елементів-домішок та сірки загальної у вугільних пластах приурочені до ділянок підвищеної проникності вугленосних відкладів – мало – і дрібноамплітудних тектонічних порушень, зон підвищеної тріщинуватості. Саме в межах цих ділянок спостерігається підвищена міграція підземних вод різного генезису і складу.

ВИСНОВКИ

На основі отриманих результатів статистичної обробки геохімічної інформації і аналізу побудованих карт можна сформулювати наступні основні висновки:

1. Аномально високий вміст Ge спостерігається тільки на ділянках пласта де є поєднання двох особливостей його будови: загальне зменшення потужності власне вугільних прошарків (при простій будові – зменшення загальної потужності, при складній – збільшення кількості та/або потужності партингів) та наявність мало – і дрібноамплітудних тектонічних порушень, зон підвищеної тріщинуватості північно-західного простягання.

2. Аномально низькі концентрації Ge відзначаються на ділянках пласта де одночасно спостерігаються проста будова пласта (при загальному збільшенні його потужності) та наявність мало – і дрібноамплітудних тектонічних порушень, зон підвищеної тріщинуватості північно-східного простягання.

3. Коефіцієнт кореляції Пірсона між концентрацією Ge та загальною потужністю пласта дорівнює $-0,82$, що вказує на наявність високого зворотного кореляційного зв'язку між цими параметрами.

4. Коефіцієнт кореляції між вмістом Ge та зольністю вугілля пласта дорівнює $0,22$, що вказує формально на наявність слабкого прямого кореляційного зв'язку між ними. Аналіз побудованого графіку рівняння регресії між зольністю вугілля та концентрацією Ge свідчить про складний характер цього зв'язку, що обумовлений мінеральними особливостями фазового складу неорганічної складової вугілля.

5. Регіональна складова вмісту Ge збільшується в південно-східному напрямку, у бік Українського кристалічного щита, що вказує на напрямок розташування переважаючого джерела зносу.

Основне наукове значення отриманих результатів полягає у встановленні основних особливостей мінливості розподілу Ge у вугіллі пласта і їх генетичних причин.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що побудовані карти є фактологічною основою для довгострокового прогнозу концентрацій Ge у видобутій шахтою гірничій масі. Розраховані рівняння регресії між вмістом Ge, потужністю пласта і зольністю вугілля дозволять прогнозувати його концентрацію у вугільному пласті. Ці рівняння можуть бути використані для ко-

роткострокового і середньострокового прогнозу вмісту Ge в гірничій масі, що видобувається шахтами.

Перспективи подальшого вивчення, як Ge, так і інших елементів – домішок у вугіллі Донбасу полягають у дослідженні розповсюдження цих елементів у вугіллі інших пластів, у тому числі з іншими ступенями вуглефікації з метою встановлення особливостей їх накопичення й розробки способів та методів, як їх прогнозу, так і прогнозу технологічних параметрів вугілля що з ними пов'язані.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Бучинська І., Лазар Г., Савчинський Л., Шевчук О. Умови утворення вугілля пласта p_8 Львівсько-Волинського басейну за геохімічними даними. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2013, № 1–2 (162–163). С. 32–41.
- Винаров І. В., Целик І. Н., Орлов А. І. К вопросу о выщелачивании германия водой из углей. *Укр. хим. журн.*, 1960. Т. 26, № 3. С. 383–388.
- Горовой А. Ф., Горовая Н. А. Оценка токсичности продуктов добычи и отходов переработки антрацитов Донбасса. *Уголь Украины*. 1997, № 12. С. 38–39.
- Горовая Н. А. Кадастр токсичности продуктов добычи и отходов переработки антрацитов шахтопластов и шахт Донбасса. *Сборник научных трудов ДГМИ*. Алчевск, 1999. Вып. 9. С. 10–14.
- Ершов В. М., Щеглова А. И. Германий в шахтных водах Кизеловского бассейна. *Геохимия*. 1989, № 4. С. 389–391.
- Зильберминц В. А., Русанов А. К., Кострыкин В. М. К вопросу о распространении германия в ископаемых углях. *Академику В. И. Вернадскому к пятидесятилетию научной деятельности*. М.: АН СССР. 1936. Т. 1, С. 169–190.
- Ишков В. В., Козій Є. С. Кореляційно-регресійний аналіз вмісту германію з потужністю та зольністю вугільного пласта c_8^a шахти «Дніпровська». *Збірник праць Всеукраїнської конференції: Від мінералогії і геогазії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття (MinGeoIntegration XXI)*. Київ, 2022. С. 129–134.
- Ишков В. В., Козій Є. С., Клименко А. Г. Особливості розподілу германію у вугільному пласті c_1 шахти «Дніпровська». *Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції: Проблеми розвитку гірничо-промислових районів*. ДонНТУ, 2021. С. 42–50.
- Ишков В. В., Козій Є. С., Чернобук О. І. Зв'язок германію із зольністю у вугільному пласті c_{10}^a шахти «Дніпровська» *X Міжнародна науково-практична конференція «Технології і процеси у гірництві та будівництві»*, Луцьк, 2022. С. 25–33.
- Ишков В. В. Проблеми геохімії «малих» і токсичних елементів у вугіллі України. *Наук. вісник НГА України*. 1999, № 1. С. 128–132.
- Ишков В. В., Козій Є. С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта c_7^a шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київського національного університету. Геологія*. 2017, № 79. С. 59–66. doi.org/10.17721/1728–2713.79.09
- Ишков В. В., Козій Є. С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта c_{10}^a шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу. *Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка»*. 2017, № 133. С. 213–227. – б
- Ишков В. В., Козій Є. С. Деякі особливості розподілу берилію у вугільному пласті k_3 шахти «Капітальна» Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2020, Т. 25, вип. 1(36). С. 214–227.
- Ишков В. В., Чернобук А. И., Дворецкий В. В. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Краснолиманской ЦОФ. *Научный вестник НГАУ*. 2001, № 5. С. 84–86.
- Ишков В. В., Чернобук А. И., Михальчинок Д. Я. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Добропольской ЦОФ. *Научный вестник НГАУ*. 2001, № 4. С. 89–90
- Клер В. Р., Ненахова В. Ф., Сапрыкин Ф. Я. Концентрации малых элементов в углях и угленосных формациях. М.: Наука, 1988. С. 67–142

Козар, М. А., Ішков, В. В., Козій, Є. С., Стрельник, Ю. В. Токсичні елементи мінеральної та органічної складової вугілля нижнього карбону Західного Донбасу. *Геологічна наука в незалежній Україні: Збірник тез наукової конференції Ін-ту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України*. 2021. С. 55–58.

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.

Кизильштейн Л. Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. Ростов на-Дону: СК НЦ ВШ. 2002. 296 с.

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.

Ломашов И. П. О некоторых закономерностях распределения германия в угленосных отложениях. Докл. АН СССР. 1991, Т. 137, № 3, С. 692–694.

Клер В. Р., Ненахова В. А., Сапрыкин Ф. Я. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. М.: Наука, 1988, 256 с.

Миңчев Д., Ескенази Г. Елементи-примеси във въглищните басейни на България: Германій и други елементи-примеси във въглищата от Вълчеполското находище. *Източни Родопи Годишн. Софийск. ун-та. Геол.-геогр. фак.* 1964/1965, 1966, Т. 59, кн. 1. Геология. С. 357–372.

Павлов А. В. Вещественный состав золы углей некоторых районов Западного Шпицбергена. *Уч. зап. НИИГА. Региональн. геол.* 1966, Вып. 8. С. 128–136.

Пашенко П. С., Ішков В. В., Козій Є. С. Спосіб визначення зон тріщинуватості по вмісту ртуті у вуглепородному масиві. Патент № 124527, Україна, МПК G01V 9/00. 2018. Бюл. № 7. 5 с.

Пашенко П. С., Ішков В. В., Козій Є. С. Спосіб визначення зон тріщинуватості по вмісту миш'яку у вуглепородному масиві. Патент № 124528, Україна, МПК G01V 9/00. 2018. Бюл. № 7. 5 с.

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука. 2000. 479 с.,

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург.: УрО РАН. 2006. 538 с.

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Германий в углях. Сыктывкар, 2004. 216 с.

Hower J. C., Taulbee D. N., Rimmer S. M., Morrell L. G. Petrographic and geochemical anatomy of lithotypes from the Blue Gem coal bed, southeastern Kentucky. *Energy Fuels*. 1994. Vol. 8. P. 719–728.

Imai N., Ando A., Takeda E. Minor elements in Japanese coal. *Bull. Surv. Jpan.* 1984, Vol. 35, № 7. pp. 287–314.

Ishkov V. V., Kozii Ye. S., Chernobuk O. I., Kozar M. A., Pashchenko P. S., Diachkov P. A., Vladyk D. V. Manifestation of the phenomenon of coal enrichment with germanium of low-powered areas of the seams of the Dniprovsk mine (Ukraine) and the «Zylbermintz law». *Scientific Collection «InterConf» International Scientific and Practical Conference «Science in the Environment of Rapid Changes»*. 2022, Brussels, Belgium. pp. 225–226.

Ishkov V. V., Kozii Ye. S., Chernobuk O. I., Lozovyi A. L. Results of dispersion and spatial analysis of the germanium distribution in coal seam c_8^b of Zahidno-Donbaska mine field (Ukraine). *Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference. «Science and practice, actual problems, innovations»*. 2022, Milan, Italy, pp. 66–73. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.1.28>

Ishkov V. V., Kozii Ye. S., Kozar M. A., Chernobuk O. I., Pashchenko P. S., Dreshpak O. S., Diachkov P. A., Vladyk D. V. Creation of natural typing of sections of different thickness of the c_8^b coal seam of the «Dniprovsk» mine (Ukraine) according to the germanium content. *Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «International Scientific Discussion: Problems, Tasks and Prospects»*. 2022, Brighton, Great Britain. pp. 137–156.

Sim P. G. Concentration of some trace elements in New Zealand coals. *Geochemistry*. 1977, Wellington: DSIR, № 218, pp. 132–137.

Stadnichenko T. M., Murata K. J., Zubovic P., Hufschmidt E. L. Concentration of Germanium in the Ash of American Coals. A Progress Report. *U. S. Geol. Surv. Circ.*, 1953, № 272. pp. 34.

REFERENCES

Buchynska, I., Lazar, H., Savchynskiy, L., Shevchuk, O. (2013). Umovy utvorennia vuhillia plasta n_8 Lvivsko-Volynskoho baseinu za heokhimichnymy danymy (Formation conditions of coal seam n_8 of the Lviv-Volyn basin based on geochemical data). *Heolohiia i heokhimiia horiuchykh kopalyn*, vyp. 1–2 (162–163), pp. 32–41. [in Ukrainian].

Vinarov, I. V., Tselik, I. N., Orlov, A. I. (1960). K voprosu o vyischelachivaniy germaniya vodoy iz ugley (On the issue of germanium leaching with water from coals). *Ukr. chem. Journal*. Vol. 26, No. 3, pp. 383–388. [in Russian].

Horovoy, A. F., Horovaya, N. A. (1997). Toxicity assessment of mining products and waste from anthracite processing of Donbass (Otsenka toksichnosti produktov dobyichi i othodov pererabotki antratsitov Donbassa). *Ugol Ukrainyi*, vyp. 12, pp. 38–39. [in Russian].

Horovaya, N. A. (1999). Toxicity cadastre of mining products and wastes from anthracite processing of mine seams and mines of Donbass (Kadastr toksichnosti produktov dobyichi i othodov pererabotki antratsitov shahtoplastov i shaht Donbassa). *Sbornik nauchnykh trudov DGMI*, vyp. 9, pp. 10–14. [in Russian].

Ershov, V. M., Shcheglova, A. I. (1989). Germaniy v shahtnykh vodah Kizelovskogo basseyna (Germanium in mine waters of the Kizel basin). *Geochemistry*. No. 4, pp. 389–391. [in Russian].

Zilbermints, V. A., Rusanov, A. K., Kostykin, V. M. (1936). K voprosu o rasprostraneni germaniya v iskopaemykh uglyah (On the question of the distribution of germanium in fossil coals). *Academician V. I. Vernadsky on the fiftieth anniversary of scientific activity*. M.: AN SSSR. Vol. 1. pp. 169–190. [in Russian].

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S. (2022). Koreliatsiino-rehresiinyi analiz vmistu hermaniiu z potuzhnistiu ta zolnistiu vuhilnoho plasta s_{8n} shakhty «Dniprovska» (Correlation-regression analysis of germanium content with thickness and ashity of coal seam c₈ⁿ of Dniprovska mine). *Zbirnyk prats Vseukrainskoi konferentsii: Vid mineralohii i heohnozii do heokhimii, petrolohii, heolohii ta heofizyky: fundamentalni i prykladni trendy XXI stolittia (MinGeoIntegration XXI)*. Kyiv, pp. 129–134. [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Klymenko, A. G. (2021). Osoblyvosti rozpodilu hermaniiu u vuhilnomu plasti c₁ shakhty «Dniprovska» (Peculiarities of germanium distribution in coal seam c₁ of the Dniprovska mine). *Materials of the IV International Scientific and Technical Conference: Problems of development of mining and industrial districts*. DonNTU, pp. 42–50. [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Chernobuk, O. I. (2022). Zviazok hermaniiu iz zolnistiu u vuhilnomu plasti s_{10v} shakhty «Dniprovska» (The relationship between germanium and ash content in coal seam c₁₀^v of the Dniprovska mine). *X International Scientific and Practical Conference «Technologies and Processes in Mining and Construction»*, Lutsk, pp. 25–33. [in Ukrainian].

Ishkov, V. V. (1999). Problemy heokhimii «malykh» i toksychnykh elementiv u vuhilli Ukrainy (Problems of geochemistry of «small» and toxic elements in coal of Ukraine). *Science Herald of the NGA of Ukraine*, No. 1. P. pp. 128–132. [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, E. S. (2017). *Pro rozpodil toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv u vuhilli plasta s₇ⁿ shakhty «Pavlohradskaya» Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu (Distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer c₇ⁿ of the «Pavlogradska» mine of Pavlohradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district)*. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu. Heolohiia, vyp. 79(4), pp. 59–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09> [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, E. S. (2017). *Pro rozpodil toksychnykh i potentsiyno toksychnykh elementiv u vuhilli plasta s₁₀^v shakhty «Dniprovska» Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho rayonu Donbasu (About distribution of toxic and potentially toxic elements in coal layer c₁₀^v of mine «Dniprovska» of Pavlohradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district)*. Zbirnyk naukovykh prats «Heotekhnichna mekhanika», vyp. 133, pp. 213–227. [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S. (2020). Deiaki osoblyvosti rozpodilu beryliiu u vuhilnomu plasti k₅ shakhty «Kapitalna» Krasnoarmiiskoho heoloho-promyslovoho raionu Donbasu (Some features of beryllium distribution in the k₅ coal seam of the «Kapitalna» mine of the Krasnoarmiiskiy geological and industrial district of Donbas). *Odesa national university herald. Series Geography & Geology*, Vol. 25. No. 1(36), pp. 214–227. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1\(36\).205180](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1(36).205180) [in Ukrainian].

Ishkov, V. V., Chernobuk, A. I., Dvoretzkiy, V. V. (2001). O raspredelenii berilliya, ftora, vanadiya, svintsa i hroma v produktah i othodah obogascheniya Krasnolimanskoy TSOF (About distribution of beryllium, fluor, vanadium, plumbum and chrome in products and wastes of enrichment of the Krasnolimanskaya CEF), *Naukovyi visnyk NGAU*, vyp. 5. pp. 84–86. [in Russian].

Ishkov, V. V., Chernobuk, A. I., Mihalchonok D. Ya. (2001). O raspredelenii berilliya, ftora, vanadiya, svintsa i hroma v produktah i othodah obogascheniya Dobropolskoy TSOF (About distribution of beryllium, fluor, vanadium, plumbum and chrome in products and wastes of enrichment of the Dobropolskaya CEF), *Naukovyi visnyk NGAU*, vyp. 4. pp. 89–90. [in Russian].

- Kler, V. R., Nenakhova, V. F., Saprykin, F. Ya. (1988). Kонтсентратsii mal'nykh elementov v uglyakh i uglenosnykh formatsiyah (Concentrations of small elements in coals and coal-bearing formations). M.: Nauka, pp. 67–142. [in Russian].
- Kozar, M. A., Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Strel'nyk, Yu. V. (2021). Toksychni elementy mineralnoi ta orhanichnoi skladovoi vuhillia nyzhnogo karbonu Zakhidnoho Donbasu (Toxic elements of the mineral and organic component of coal of the Lower Carboniferous of Western Donbas). *Geological science in independent Ukraine: Collection of theses of the scientific conference of the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation named after M. P. Semenenko of the National Academy of Sciences of Ukraine*. pp. 55–58. [in Ukrainian].
- Koziy, E.S., Ishkov, V.V. (2018). *Osoblyvosti rozpodilu toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv v osnovnykh vuhilnykh plastakh po rozrizu Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu Donbasu (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)*, Proceedings of the Forum hirnykiv: Materialy mizhnarodnoi konferentsii, pp. 194–203. [in Ukrainian].
- Kyzyl'shtein, L. Ya. (2002). Ekogeohimiya elementov-primesey v uglyakh (Ecogeochemistry of impurity elements in coals). Rostov-on-Don: SK National Center of Higher Education. 296 p.
- Kulinenko, O. R., Barna, T. V. (1985). Assotsiatsiya «mal'nykh» elementov v paleozoyskikh uglyakh Ukrainy i geohimicheskaya tipizatsiya basseynov (Association of “small” elements in Paleozoic coals of Ukraine and geochemical typing of basins). *Geological journal*. Vol. 45, No. 6, pp. 80–84. [in Russian].
- Lomashov, I. P. (1991). O nekotorykh zakonomernostyakh raspredeleniya germaniya v uglenosnykh otlozheniyakh (About some patterns of distribution of germanium in coal-bearing deposits). *Report Academy of Sciences of the USSR*. Vol. 137, No. 3, pp. 692–694. [in Russian].
- Kler, V. R., Nenakhova, V. A., Saprykin, F. Ya. (1988). *Metallogeniya i geohimiya uglenosnykh i slantse-soderzhaschih tolsch SSSR. Zakonomernosti kontsentratsii elementov i metody ih izucheniya (Metallogeny and geochemistry of coal-bearing and shale-bearing strata of the USSR. Regularities of the concentration of elements and methods for their study)*. M.: Nauka, 256 p. [in Russian].
- Minchev, D., Eskenazi, G. (1966). Елементи-примеси във въглищните басейни на България: Германия и други елементи-примеси във въглищата от Вълчеполското находище (Elements-impurities in the basins in Bulgaria: Germanium and other elements-impurities in the deposits from the Valchepolskoto find). *Yztochny Rodopy Hodyshn. Sofyisk. un-ta. Heol.-heohr. fak. 1964/1965*, Vol. 59, b. 1. *Heolohiya*. pp. 357–372. [in Bulgarian].
- Pavlov, A. V. (1966). Veschestvennyy sostav zolyi ugley nekotorykh rayonov Zapadnogo Shpitsbergena (The material composition of coal ash in some areas of Western Spitsbergen). *Uch. app. NIIGA. Regional. Geol. Issue*. 8. pp. 128–136. [in Russian].
- Pashchenko, P. S., Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S. (2018). Sposib vyznachennia zon trishchynuvatosti po vmistu rtuti u vuhleporodnomu masyvi (The method of determining fracture zones based on mercury content in a coal massif), Patent № 124527, Ukraine, MPK G01V 9/00, Bul. 7, 5 p. [in Ukrainian].
- Pashchenko, P.S., Ishkov, V.V., Kozii, Ye. S. (2018). Sposib vyznachennia zon trishchynuvatosti po vmistu myshiaku u vuhleporodnomu masyvi (The method of determining cracking zones by the content of arsenic in a coal massif). Patent № 124528, Ukraina, MPK G01V 9/00, Bul. 7, 5 p. [in Ukrainian].
- Yudovych, Ya. E., Ketris, M. P. (2000). Osnovy litohimii (Basics of lithochemistry). *St. Petersburg: Nauka*. 479 p. [in Russian].
- Yudovich, Ya. E., Ketris, M.P. (2006). Tsennyie elementy-primesi v uglyakh (Valuable elements-impurities in coals). *Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 538 p. [in Russian].
- Yudovich, Ya. E., Ketris, M. P. (2004). Germaniy v uglyakh (Germanium in coals). *Syktvykar*. 216 p. [in Russian].
- Hower, J. C., Taulbee, D. N., Rimmer, S. M., Morrell, L. G. (1994). Petrographic and geochemical anatomy of lithotypes from the Blue Gem coal bed, southeastern Kentucky. *Energy Fuels*. Vol. 8. P. 719–728.
- Imai, N., Ando, A., Takeda, E. (1984). Minor elements in Japanese coal. *Bull. Surv. Jpan.*, Vol. 35, No. 7. pp. 287–314.
- Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Chernobuk, O. I., Kozar, M. A., Pashchenko, P. S., Diachkov, P. A., Vladyk, D. V. (2022). Manifestation of the phenomenon of coal enrichment with germanium of low-powered areas of the seams of the Dniprovskaya mine (Ukraine) and the «Zylbermintz law». *Scientific Collection «InterConf» International Scientific and Practical Conference «Science in the Environment of Rapid Changes»*. Brussels, Belgium. pp. 225–226.
- 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 c₈^B of Zahidno-Donbaska mine field (Ukraine). *Proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference. «Science and practice, actual problems, innovations»*. Milan, Italy, pp. 66–73. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.1.28>

Ishkov, V. V., Kozii, Ye. S., Kozar, M. A., Chernobuk, O. I., Pashchenko, P. S., Dreshpak, O. S., Diachkov, P. A., Vladyk, D. V. (2022). Creation of natural typing of sections of different thickness of the c_8^u coal seam of the «Dniprovsk» mine (Ukraine) according to the germanium content. *Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «International Scientific Discussion: Problems, Tasks and Prospects»*. Brighton, Great Britain. pp. 137–156.

Sim P.G. (1977). Concentration of some trace elements in New Zealand coals. *Geochemistry*. Wellington: DSIR, № 218, pp. 132–137.

Stadnichenko, T. M., Murata, K. J., Zubovic, P., Hufschmidt, E. L. (1953). Concentration of Germanium in the Ash of American Coals. A Progress Report. *U.S. Geol. Surv. Circ.*, No. 272. pp. 34.

Надійшла 27.11.2022

V. V. Ishkov^{1,2},

Ye. S. Kozii^{1,3},

M. A. Kozar⁴,

O. I. Chernobuk⁵,

¹Dnipro University of Technology

Dmytra Yavornytskoho ave. 19, Dnipro, 49005, Ukraine.

²Institute of Geotechnical Mechanics named by M. S. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Simferopolska St., 2a, 49005, Dnipro, Ukraine

³Dnipro State Agrarian and Economic University

Serhii Efremov Str., 25, 49600, Dnipro, Ukraine

⁴M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine

Academician Palladin Ave., 34, Kyiv, 03142, Ukraine

⁵Department of Strategic Production Planning, Georgian Manganese, Tbilisi, Georgia
ishwishw37@gmail.com

DISTRIBUTION OF GERMANIUM IN C₄ COAL SEAM OF «SAMARSKA» MINE OF THE PAVLOHRAD-PETROPVILIVKA GEOLOGICAL AND INDUSTRIAL AREA OF THE DONBAS

Abstract

Problem Statement and Purpose. For an objective geological and economic assessment of the possibility of simultaneous extraction of germanium from coal, waste and products of its processing and planning of the most effective organizational and technical measures in this regard, it is first of all necessary to have information about the nature of the distribution and the level of concentration of this element in coal and coal-bearing rocks. In order to obtain such information, the authors performed detailed studies of the distribution of germanium over the area and in the cross-section of the coal seam c_4 of the Samarska mine field. The aim of the work is to research the features of the distribution of germanium in the c_4 coal seam of the Samarska mine field.

Data & Methods. Obtaining information about the distribution of chemical elements in geological objects is the first stage of research, which starts from the generalization of the actual material, through its theoretical understanding to the verification of the revealed regularities by research. Samples were personally selected by the authors from duplicate cores and in mining operations. Germanium content was determined

by quantitative emission spectral analysis. 10% of duplicate samples were sent to internal laboratory control. 12% of duplicate samples were subjected to external laboratory control. During the construction of maps, graphs and calculation of correlation coefficients, all values of germanium concentrations and technological parameters of coal were normalized to bring the sample to the same scale, regardless of the units of measurement and the scale of the samples.

Results.

During conducted research, it was revealed that abnormally high germanium content is observed only in the areas of the formation where there is a combination of two features of its structure: a general decrease in the thickness of coal seams and the presence of small and small-amplitude tectonic disturbances, zones of increased fracture in the northwest direction. The regional component of germanium content increases in the southeast direction, towards the Ukrainian crystalline shield, which indicates the direction of the location of the predominant source of wear. The Pearson correlation coefficient between germanium concentration and total reservoir capacity is -0.82 , indicating a high inverse correlation between these parameters. The main scientific significance of the obtained results is in the establishment of the main features of the variability of germanium distribution in the coal seam and their genetic causes. The practical significance of the obtained results lies in the fact that the constructed maps are a factual basis for the long-term forecast of germanium concentrations in the mining mass extracted by the mine. The calculated regression equations between the germanium content, the thickness of coal seam and the ash content of the coal will allow to predict its concentration in the coal seam. These equations can be used for short-term and medium-term forecasting of germanium content in ore mass extracted by mines.

Keywords: germanium, coal seam, mine field, discontinuous faults, correlation relationship, regression equation.