

ЗАГАЛЬНА ТА МОРСЬКА ГЕОЛОГІЯ

УДК 553.94:550.42

DOI: 10.18524/2303-9914.2020.1(36).205180

В. В. Ішков, канд. геол.-мін. наук, доцент**Є. С. Козій**, канд. геол. наук, заступник директора

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,

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

ishwishw37@gmail.com, koziy.es@gmail.com

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ БЕРИЛІЮ У ВУГІЛЬНОМУ ПЛАСТІ k_5 ШАХТИ «КАПІТАЛЬНА» КРАСНОАРМІЙСЬКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ДОНБАСУ

Проведено аналіз результатів досліджень просторового розповсюдження берилію у вугільному пласті k_5 шахти «Капітальна» й встановлено площинні варіації його концентрацій. Оцінено вплив мінливостей концентрацій берилію від основних технологічних параметрів вугілля. Виявлено, що із збільшенням мінеральних домішок у вугільних пластах концентрація берилію зменшується, таким чином концентратом цього елемента є органічна складова вугілля. Побудовані карти є фактологічною основою для довгострокового прогнозу концентрацій берилію у видобутій шахтою гірській масі. Розраховані рівняння регресії між вмістом берилію і технологічними параметрами вугілля дозволять прогнозувати його концентрацію у вугільному пласті. Ці рівняння можуть бути використані для короткострокового і середньострокового прогнозу вмісту берилію у гірській масі, що видобувається. В свою чергу, такий прогноз може слугувати основою для технологічних рішень, спрямованих на зниження вмісту берилію в продуктах та відходах вуглезбагачення.

Ключові слова: берилій, токсичні елементи, геолого-промисловий район, коефіцієнт кореляції, лінійне рівняння регресії, статистичний зв'язок.

ВСТУП

На сьогодні для вирішення екологічних питань у вуглевидобувних регіонах, дослідження токсичних елементів (до яких, в тому числі, відноситься берилій [6]) є обов'язковими та дозволяють визначати вплив на довкілля вуглевидобувних і вуглезбагачувальних підприємств, а також організацій вугільної теплоенергетики.

Вивчення особливостей розподілу токсичних елементів у вугіллі пов'язані із зростанням вимог до охорони навколишнього середовища, які обумовлюють потребу в нових науково обґрунтованих методах прогнозу вмісту токсичних

елементів в добуваємій шахтами гірській масі та відходах видобутку і вуглезбагачення. Особлива актуальність даної проблеми визначається Законом України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 року №2059-VIII [18].

Питанню вивчення геохімії елементів-домішок вугілля присвячено багато робіт. Так Я.Е. Юдович разом з М.П. Кетрис систематизував дані про елементи-домішки у вігіллі Донбасу [21]. Вони досліджували токсичні елементи вугілля, які є небезпечними для навколишнього середовища, в тому числі і берилій.

І. В. Бучинською вивчалась геохімія вугілля геологопромислових районів Львівсько-Волинського басейну. Нею будувалися карти концентрацій елементів-домішок в тому числі берилію у вугільних пластах й аналізувалося їх площинне поширення й умови утворення аномальних концентрацій [1].

Слід відмітити численні роботи А. Ф. Горового і Н. А. Горової [2–4]. Вони займались вивченням розподілу та вмісту токсичних елементів в продуктах видобутку і відходах переробки антрацитів. Ними був створений кадастр токсичності гірничої маси, вугілля, золи вугілля, продуктів видобутку і відходів переробки вугілля, а також побудовані прогнозні карти токсичності.

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 [15]. Так, з метою реконструкції умов торфонакопичення Т. В. Барною було проведено детальне вивчення «супутніх елементів» вугільного пласта s_{11} 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 [7, 8] досліджені особливості розподілу берилію в продуктах і відходах збагачення Краснолиманської й Добропольської вуглезбагачувальних фабрик Донбасу.

В попередніх роботах авторами [9–14] були досліджені особливості розподілу токсичних й потенційно токсичних елементів у вугіллі пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Західного Донбасу. До теперішнього часу розподіл берилію у вугіллі пласта k_5 шахти «Капітальна» не досліджувався.

Мета даної роботи полягає в дослідженні особливостей розподілу берилію у вугільному пласті k_5 поля шахти «Капітальна».

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Особливість виконаних досліджень полягала в неможливості безпосереднього спостереження геологічних процесів. В таких випадках розгляд їх динаміки традиційно виконується шляхом порівняння статистичних даних й аналізу картографічних матеріалів стосовно розподілу хімічних елементів 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 в гірських виробках (пластові проби, відібрані борозновим способом [19] 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 Be визначався кількісним емісійним спектральним аналізом [20]. 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 берилію.

При оцінці зв'язку берилію з органічною або мінеральною частиною вугілля використовувалися коефіцієнти спорідненості з органічною речовиною F_o , 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 і(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 берилію й технологічних параметрів вугілля нормувалися 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_{max} – результат максимального значення концентрації елемента;

X_{min} – результат мінімального значення концентрації елемента.

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

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Шахта «Капітальна» (до 2010 року шахта «Стаханова») є однією із найбільших шахт України, розташована у місті Мирноград Донецької області. Вона

знаходиться в центральній частині Красноармійського геолого-промислового району. Загальна площа шахтного поля складає 60 км², в середньому 17 км по простяганню і 3,5 км по падінню. Вугільний пласт k_5 має потужність 0,55–2,2 м і представлений марками Г та Ж.

В межах поля шахти «Капітальна» концентрація берилію по пласту k_5 змінюється в межах від 0,59 г/т до 1,37 г/т. Середнє значення по пласту складає 0,98 г/т. На побудованій карті виділяються дві значні зони підвищеного вмісту берилію. Найбільше значення пов'язане із свердловиною №3438 в центральній частині шахтного поля (рис. 1), із вмістом берилію 1,37 г/т. На північному заході ділянки розташована свердловина №2222, із вмістом берилію 1,35 г/т. Мінімальне значення вмісту берилію вугільного пласта відзначено в свердловині №1859, яка знаходиться на південному заході і становить 0,59 г/т.

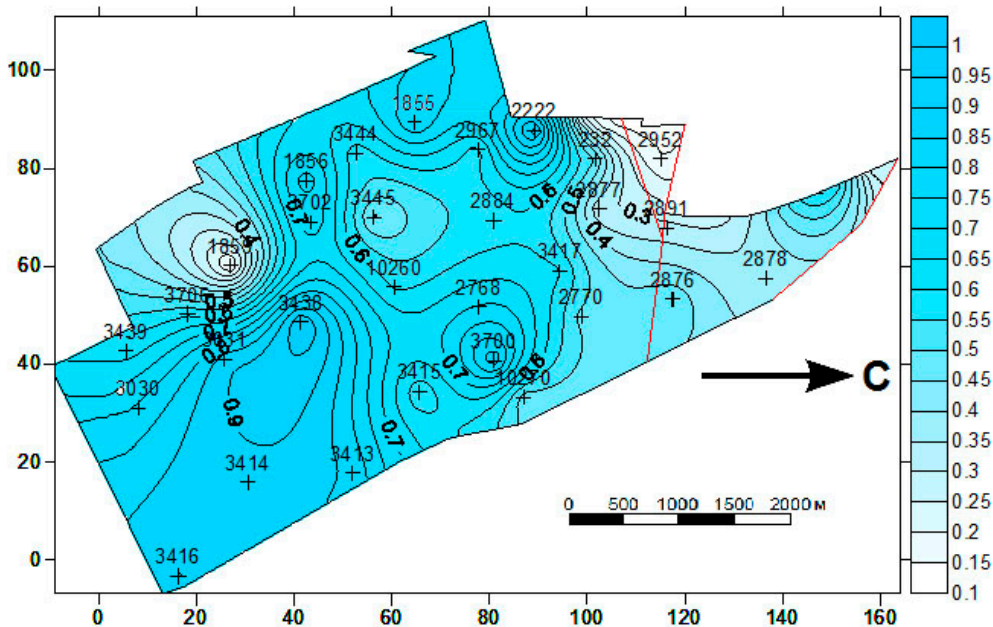


Рис. 1. Карта ізоконцентрат нормованого вмісту Be у вугіллі пласта k_5

У регіональному плані (рис. 2) концентрація берилію збільшується в південно-східному напрямку.

Карта локальних відхилень вмісту берилію (рис. 3) містить одну велику негативну аномалію в південно-західній частині шахтного поля. Вона приурочена до свердловини №1859 (значення -0,55). В північно-західній частині ділянки розташована велика позитивна аномалія, яка пов'язана із свердловиною №2222 (значення 0,5).

Лінійне рівняння регресії, що характеризує зв'язок між нормованим вмістом берилію і зольністю вугілля: $Be = 0,821 - 0,9662 \times A^d$ (рис. 4). Коефіцієнт ко-

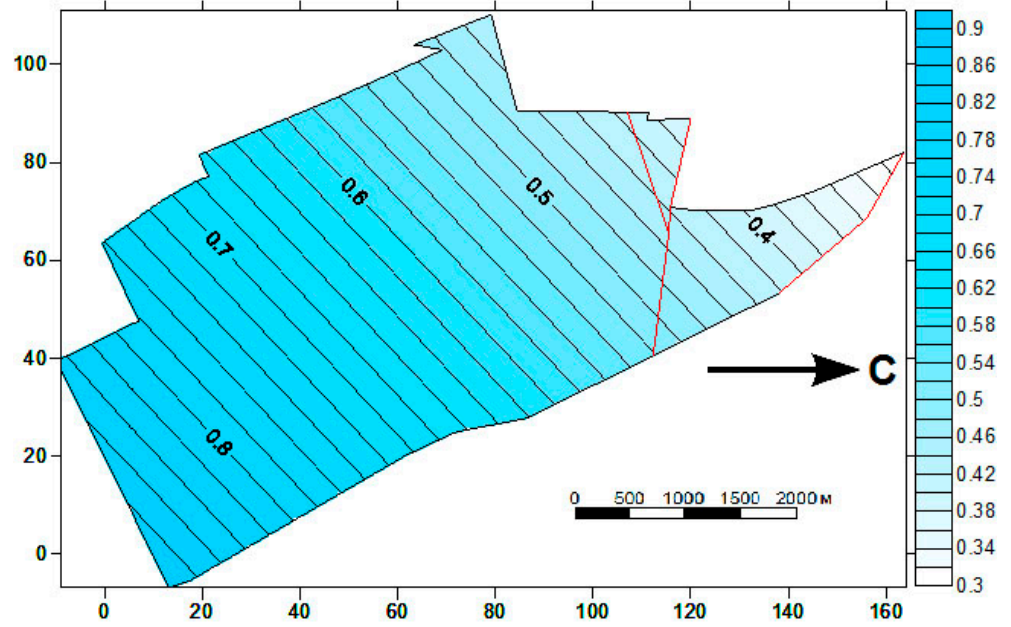


Рис. 2. Карта зміни регіональної складової нормованого вмісту V_e у вугіллі пласта k_3

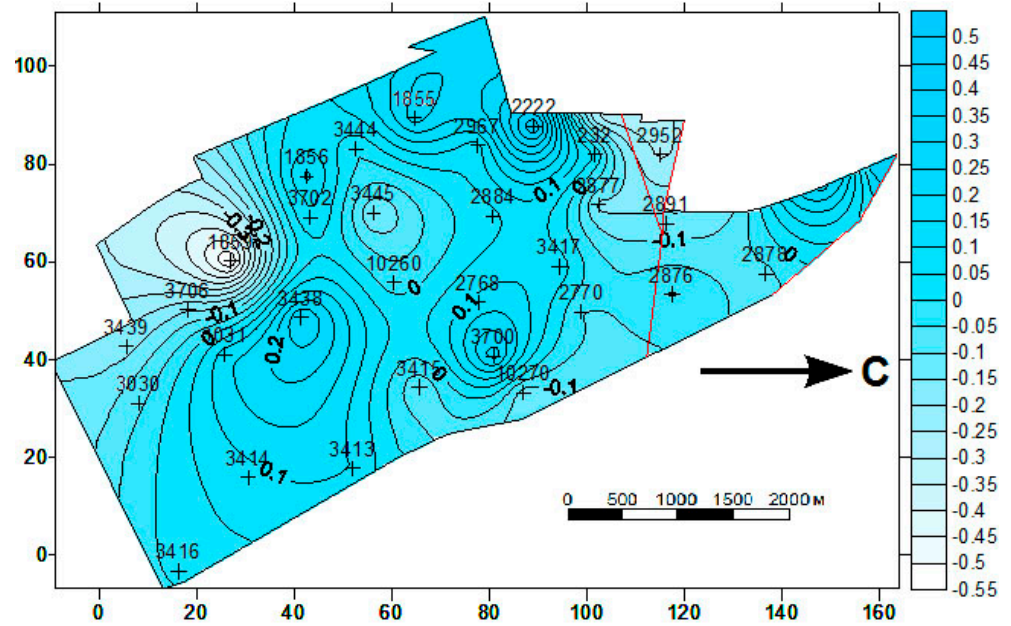


Рис. 3. Карта локальних структур нормованого вмісту V_e у вугіллі пласта k_3

реляції між значеннями вмісту берилію і зольності вугілля пласта k_5 дорівнює $-0,86$, що вказує на наявність високого зворотного кореляційного зв'язку між цими параметрами.

Лінійне рівняння регресії, що характеризує зв'язок між вмістом берилію і потужністю вугільного пласта: $Be = 0,775 - 0,3698 \times m$ (рис. 5). Коефіцієнт кореляції між значеннями вмісту берилію і потужністю вугільного пласта k_5 дорівнює $-0,42$, що вказує на наявність слабого зворотного кореляційного зв'язку між цими параметрами.

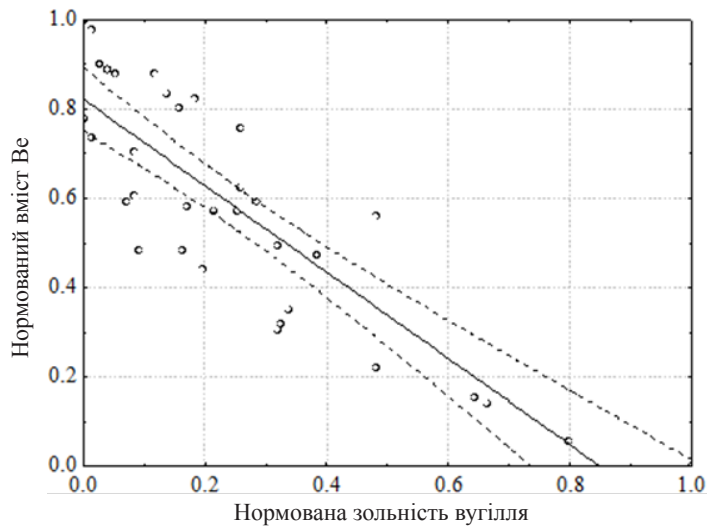


Рис 4. Графік рівняння регресії між нормованим вмістом берилію і зольністю вугілля пласта k_5

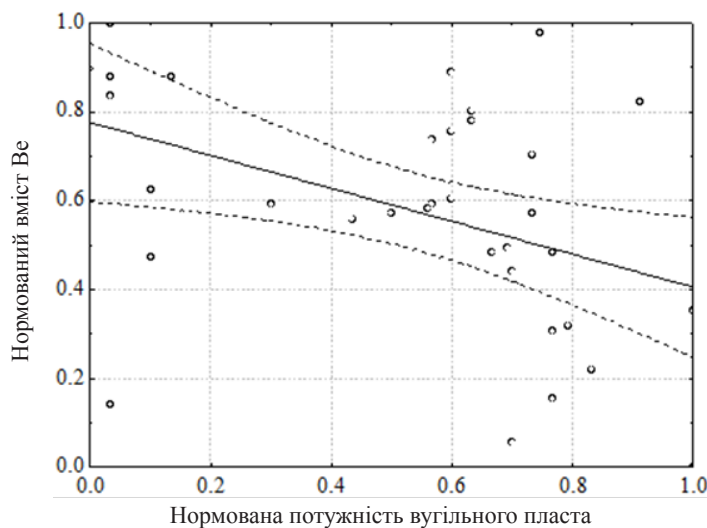


Рис 5. Графік рівняння регресії між вмістом берилію і потужністю вугільного пласта k_5

Лінійне рівняння регресії, що характеризує зв'язок між вмістом берилію і вмістом сірки загальної вугільного пласта k_5 : $Be = 0,6666 - 0,4283 \times S_1^d$ (рис. 6). Коефіцієнт кореляції між значеннями вмісту берилію і вмістом сірки загальної дорівнює $-0,44$, що вказує на наявність слабого зворотного кореляційного зв'язку між цими параметрами.

Лінійне рівняння регресії, що характеризує зв'язок між вмістом берилію і глибиною залягання підшви вугільного пласта k_5 : $Be = 0,7358 - 0,3002 \times h$ (рис. 7). Коефіцієнт кореляції між значеннями вмісту берилію і глибиною залягання підшви вугільного пласта дорівнює $-0,33$, що вказує на наявність слабого зворотного кореляційного зв'язку між цими параметрами.

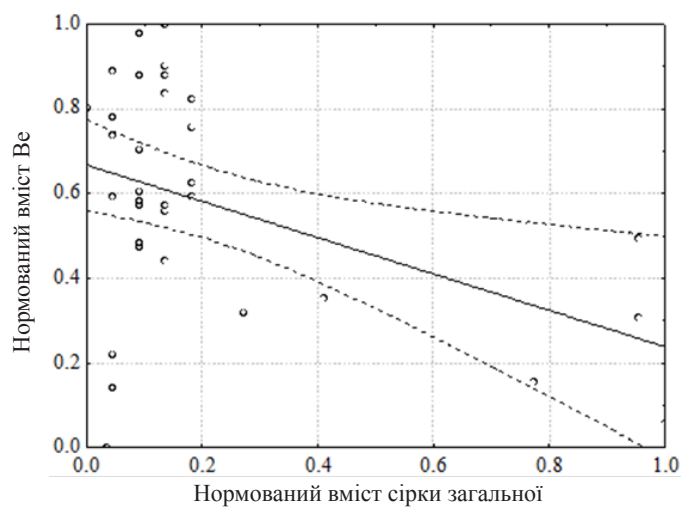


Рис 6. Графік рівняння регресії між вмістом берилію і вмістом сірки загальної вугільного пласта k_5

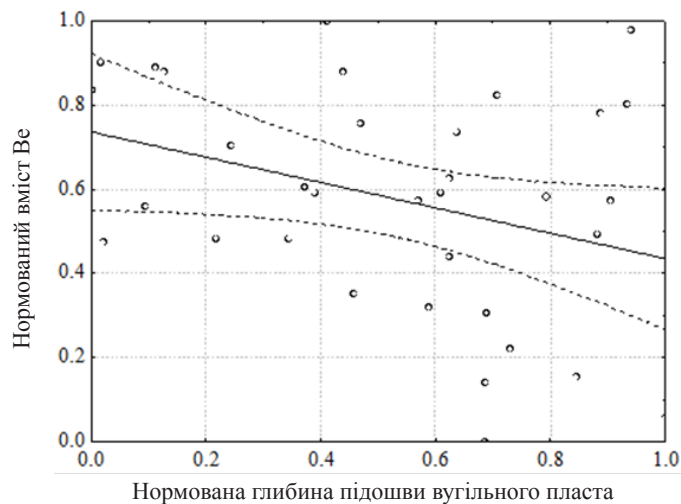


Рис 7. Графік рівняння регресії між вмістом берилію і глибиною підшви вугільного пласта k_5

Аналіз побудованих карт (рис. 1 і рис. 3) і їх зіставлення з даними результатів геологорозвідувальних та експлуатаційних робіт виконаних по пласту k_5 свідчать про відсутність просторового зв'язку ділянок з підвищеною концентрацією досліджуваного елемента з тектонічними порушеннями і зонами підвищеної тріщинуватості. Це дає підставу припустити, що формування підвищених концентрацій берилію у вугіллі пласта носило сингенетичний характер.

В роботі [21] автори вказують на існування двох груп вугілля, в одній з них підвищений вміст берилію переважно пов'язаний з мінеральною складовою вугілля, а в іншій – з органічною. Так як негативні аномалії на картах ізоконцентрат (рис. 1) і локальних структур (рис. 3) приурочені до зон підвищеної мінералізації пласта, що підтверджується результатами кореляційного і регресійного аналізу (рис. 4), то основним концентратом берилію у вугіллі пласта k_5 в межах шахтного поля є його органічна складова. Отже, процеси гравітаційного збагачення видобутої шахтою гірської маси закономірно приведуть до збільшення вмісту цього токсичного елемента в концентратах. Раніше при дослідженні розподілу берилію в продуктах і відходах збагачення Краснолиманської [7] і Добропільської [8] ЦЗФ, а також для більшості шахтопластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району [9–14] були отримані аналогічні результати. Наскільки їх можна екстраполювати на інші шахтопласти Красноармійського геолого-промислового району – питання залишається дискусійним і потребує подальших досліджень.

Аналіз карти зміни регіональної складової нормованого вмісту берилію у вугіллі пласта k_5 (рис. 2) свідчить про надходження переважної частини цього елемента в басейн палеоторфяника з боку Українського кристалічного щита - найближчої області знесення. Схожа закономірність спостерігається і для деяких інших родовищ світу. Наприклад, в провінції Великих Північних рівнин буре вугілля, яке розташоване ближче до джерел знесення багатше берилієм, ніж віддалені або Пенсільванського вугілля Аппалачів, яке збагачене берилієм з північного заходу на південний схід, у напрямку древньої області знесення [22]. Таким чином, побудова серії подібних карт зміни регіональної складової нормованого вмісту берилію за площею і розрізом вугленосних відкладів Красноармійського геолого-промислового району може дати уявлення про мінливість положення і специфіки петрофонду переважаючих джерел зносу в басейн палеоторфонакопичення в часі і просторі.

Раніше, на початку, для Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району [9, 10], а потім і для всього Донбасу [16, 17] було встановлено, що аномально високі концентрації сірки загальної у вугільних пластах приурочені до ділянок підвищеної проникності вугленосних відкладів – мало – і дрібноамплітудних тектонічних порушень, зон підвищеної тріщинуватості. В межах цих ділянок концентрувалася міграція підземних вод різного генезису і складу. Н.А. Григор'єв вказує «практично всі з'єднання, в які входить берилій, випадаючи з вод, або розчинні, особливо в кислому середовищі, або утриму-

ють цей елемент порівняно слабо» [5]. Отже, осадження сульфідів, з одного боку і винос сполук берилію з іншого боку можуть бути результатами одного процесу - активної міграції підземних вод у вугленосній товщі. Це підтверджується результатами кореляційного і регресійного аналізу (рис. 6).

ВИСНОВКИ

На основі отриманих результатів статистичної обробки геохімічної інформації і аналізу побудованих карт ізоконцентрат берилію і карт регіональної складової його вмісту можна сформулювати наступні основні висновки:

1. В цілому вміст берилію суттєво не залежить від вмісту сірки загальної, глибини залягання й потужності вугільного пласта. Високий зворотний кореляційний зв'язок концентрації берилію із зольністю вугілля вказує на те, що із збільшенням мінеральних домішок у вугільних пластах концентрація берилію зменшується.

2. Берилій переважно пов'язаний з органічною складовою вугілля пласта, накопичення його основної частини, це перш за все кумуляція елемента органічною речовиною палеоторфяника.

3. Регіональна складова вмісту берилію збільшується в південно-східному напрямку, у бік Українського кристалічного щита, що вказує на напрямок розшатування переважаючого джерела зносу.

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

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що побудовані карти є фактологічною основою для довгострокового прогнозу концентрацій берилію у видобутій шахтою гірничій масі. Розраховані рівняння регресії між вмістом берилію і технологічними параметрами вугілля дозволять прогнозувати його концентрацію у вугільному пласті. Ці рівняння можуть бути використані для короткострокового і середньострокового прогнозу вмісту берилію в гірничій масі, що видобувається шахтами. У свою чергу, такий прогноз може слугувати основою для екологічних оцінок діяльності тепло- і електрогенеруючих підприємств, знаходження технічних способів і проектування технологічних рішень, спрямованих на зниження вмісту берилію у продуктах і відходах вуглезбагачення.

Перспективи подальшого вивчення, як берилію, так і інших токсичних та потенційно токсичних елементів 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, мінливості тріщинуватості і потужності вугільних пластів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бучинська І.В. Умови утворення вугілля пласта n_8 Львівсько-Волинського басейну за геохімічними даними [Текст] / І.В. Бучинська, Г. Лазар, Л. Савчинський, О. Шевчук // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2013. – № 1–2 (162–163). – С. 32–41.
2. Горовой А.Ф. Оценка токсичности продуктов добычи и отходов переработки антрацитов Донбасса [Текст] / А.Ф. Горовой, Н.А. Горовая // Уголь Украины. – 1997. – №12. – С. 38–39.
3. Горовая Н.А. Кадастр токсичности продуктов добычи и отходов переработки антрацитов шахтопластов и шахт Донбасса [Текст] / Н.А. Горовая. – Сборник научных трудов ДГМИ. – Алчевск, 1999. – Вып. 9. – С. 10–14.
4. Горовая Н.А. Токсичные элементы в горной массе, антрацитах и золе антрацитов Донбасса [Текст] / Н.А. Горовая. – Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 1999. – №3. – С.31–33.
5. Григорьев Н.А. Бериллий в экзогенном цикле [Текст] / Н.А. Григорьев. – М.: Наука, 1972. – 163 с.
6. Инструкция по изучению токсичных компонентов при разведке угольных и сланцевых месторождений [Текст] / отв. ред. В.Р. Клер. – Москва: АН СССР, Ин-т литосферы, 1982. – 84 с.
7. Ишков В. В. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Краснолиманской ЦОФ [Текст] / В.В. Ишков, А.И. Чернобук, В.В. Дворецкий // Науковий вісник НГАУ. – 2001. – №5. – С. 84–86.
8. Ишков В.В. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Добропольской ЦОФ [Текст] / В.В. Ишков, А.И. Чернобук, Д.Я. Михальченко // Науковий вісник НГАУ. – 2001. – №4. – С. 89–90.
9. Ишков В.В. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта c_7^a шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району [Текст] / В.В. Ишков, Є.С. Козій // Вісник Київського національного університету. Геологія, 2017, №79, С. 59 – 66. doi.org/10.17721/1728-2713.79.09
10. Ишков В.В. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта c_{10}^a шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу [Текст] / В.В. Ишков, Є.С. Козій // Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка», 2017, № 133, С. 213–227.
11. Козій Є.С. Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів [Текст] / Є.С. Козій, В.В. Ишков // Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка», 2017, № 136, С. 74–86.
12. Козій Є.С. Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта c_8^a шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району [Текст] / Є.С. Козій. – Вісник Дніпропетровського університету. Геологія-Географія, 2018, № 26 (1), С. 113–120. <https://doi.org/10.15421/111812>
13. Козій Є.С. Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів в основних вугільних пластах по розрізу Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу [Текст] / Є.С. Козій, В.В. Ишков // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників», 2018, С. 194–203.
14. Козій Є.С. Особливості розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта c_{10}^a шахти «Сташкова» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району [Текст] / Є.С. Козій. – Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка», 2017, № 132, С. 157–172.
15. Кулиненко О.Р. Ассоциация «малых» элементов в палеозойских углях Украины и геохимическая типизация бассейнов [Текст] / О.Р. Кулиненко, Т.В. Барна // Геологический журнал, 1985. – Т.45, №6. – С. 80–84.
16. Спосіб визначення зон тріщинуватості по вмісту ртуті у вуглепородному масиві [Текст] /

- П.С. Пашенко, В.В. Ішков, С.С. Козій // Патент № 124527, Україна, МПК G01V 9/00, 2018. – Бюл. №7. – 5 с.
17. Спосіб визначення зон тріщинуватості по вмісту миш'яку у вуглепородному масиві / П.С. Пашенко, В.В. Ішков, С.С. Козій // Патент № 124528, Україна, МПК G01V 9/00, 2018. – Бюл. №7. – 5 с.
 18. Про оцінку впливу на довкілля [Електронний ресурс] : Закон України від 23.05.2017 року №2059-VIII / Верховна Рада України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
 19. Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Метод отбора пластовых проб [Текст]. ГОСТ 9815-75. – Москва: Изд-во стандартов, 1975, 8 с.
 20. Угли бурые, каменные и антрациты. Методы определения бериллия, бора, марганца, бария, хрома, никеля, кобальта, свинца, галлия, ванадия, меди, цинка, молибдена, иттрия и лантана [Текст]. ГОСТ 28974-91. – Москва: Изд-во стандартов, 1991, 10 с.
 21. Юдович Я.Э. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях [Текст] / Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 655 с.
 22. Stadnichenko T. Beryllium content of American coals / T. Stadnichenko, P. Zubovic, N.B. Sheffey [Text] // U.S. Geol. Surv. Bull., 1961, № 1084-K, 253–295 p.

REFERENCES

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Horovaya, N.A. (1999). Toxic elements in the rock mass, anthracites and anthracite ash of Donbass [Toksichnyie elementy v gornoy masse, antratsitah i zole antratsitov Donbassa], Naukovyi visnyk NGAU, vyp. 3, pp. 31–33.
5. Grigorev N.A. (1972). Berilliy v ekzogenom tsikle [Beryllium in the exogenous cycle], Moskva: Nauka, 163 p.
6. Kler, V. R. (1982). Instructions for the study of toxic components in the exploration of coal and shale deposits [Instruktsiya po izucheniyu toksichnykh komponentov pri razvedke ugolnykh i slantsevyykh mestorozhdeniy], Moskva: AS USSR, Institut litosferyi, 84 p.
7. Ishkov, V. V., Chernobuk, A. I., Dvoret'skiy, V. V. (2001). O raspredelenii berilliya, ftora, vanadiya, svintsa i hroma v produktah i othodah obogascheniya Krasnolimanskoy TSOE [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.
8. Ishkov, V.V., Chernobuk, A.I., Mihalchonok D.Ya. (2001). O raspredelenii berilliya, ftora, vanadiya, svintsa i hroma v produktah i othodah obogascheniya Dobropolskoy TSOE [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.
9. Ishkov, V.V., Koziy, E.S. (2017). Pro rozpodil toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv u vuhilli plasta s_7^n shakhty "Pavlohrad'ska" Pavlohrad'sko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu [Distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer c_7^n of the "Pavlograd'skaya" mine of Pavlograd'sko-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>

10. Ishkov, V.V., Koziy, E.S. (2017). Pro rozpodil toksychnykh i potentsiyno toksychnykh elementiv u vuhilli plasta s_{10}^v shakhty "Dniprovska" Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho rayonu Donbasu [*About distribution of toxic and potentially toxic elements in coal layer c_{10}^e of mine "Dniprovska" of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district*], Zbirnyk naukovykh prats "Heotekhnichna mekhanika", vyp. 133, pp. 213–227.
11. Koziy, E.S., Ishkov, V.V. (2017). Klasyfikatsiia vuhillia osnovnykh robochykh plastiv Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu po vmistu toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv [*Coal classification of main working seams of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial district on content of toxic and potentially toxic elements*], Zbirnyk naukovykh prats "Heotekhnichna mekhanika", vyp. 136, pp. 74–86.
12. Koziy, E.S. (2018). Myshiaki, berylii, fluor i rtut u vuhilli plasta s_8^v shakhty "Dniprovska" Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho raionu [*Arsenic, beryllium, fluorine and mercury in the coal of the layer c_8^e of the "Dniprovska" mine of Pavlogradsko-Petropavlovskiy geological and industrial district*], Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Heolohiia-Heohrafiia, vyp. 26(1), pp. 113–120. <https://doi.org/10.15421/111812>
13. Koziy, E.S., Ishkov, V.V. (2018). Osoblyvosti rozpodilu toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv v osnovnykh vuhilnykh plastakh po rozryzu 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 (Ukraine, Dnipro, October 10-13, 2018)*, pp. 194–203.
14. Koziy, E.S. (2017). Osoblyvosti rozpodilu toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv u vuhilli plasa s_{10}^v shakhty Stashkova Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promyslovoho rayonu [*Peculiarities of distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer c_{10}^e in the Stashkov mine of Pavlograd-Petropavlovsk geological and industrial district*], Zbirnyk naukovykh prats "Heotekhnichna mekhanika", vyp. 132, pp.157–172.
15. Kulinenko, O. R. (1985). Association of "small" elements in the Paleozoic coals of Ukraine and geochemical typification of basins [*Assotsiatsiya "malyih" elementov v paleozoyskikh uglyah Ukrainyi i geohimicheskaya tipizatsiya basseynov*], Geologicheskii zhurnal, Vol. 45, vyp. 6, pp. 80–84.
16. Pashchenko, P.S., Ishkov, V.V., Koziy, E.S. (2018). Sposib vyznachennia zon trishchynuvatosti po vmistu rtuti u vuhleporodnomu masyvi, Patent № 124527, Ukraina, MPK G01V 9/00, No. 7, 5 p.
17. Pashchenko, P.S., Ishkov, V.V., Koziy, E.S. (2018). Sposib vyznachennia zon trishchynuvatosti po vmistu myshiaku u vuhleporodnomu masyvi, Patent № 124528, Ukraina, MPK G01V 9/00, No. 7, 5 p.
18. Pro otsinku vplyvu na dovkillia [About environmental impact assessment], Zakon Ukrainy, Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
19. Ugli buryie, kamennyie, antratsit i goryuchie slantsyi. Metod otbora plastovyih prob [Brown coal, hard coal, anthracite and combustible shales. Method for sampling of seam samples]: GOST 9815–75. Moskva, Standartinform, 1975, 8 p.
20. Ugli buryie, kamennyie i antratsityi. Metodyi opredeleniya berilliya, bora, margantsa, bariya, hroma, nikelya, kobalta, svintsa, galliya, vanadiya, medi, tsinka, molibdena, ittriya i lantana [Brown coals, hard coals and anthracites. Methods for determination of beryllium, boron, manganese, barium, chromium, nickel, cobalt, lead, gallium, vanadium, copper, zinc, molybdenum, yttrium and lanthanum]: GOST 28974-91. Moskva, Standartinform, 1991, 10 p.
21. Yudovich, Ya. E., Ketris, M. P. (2005). Toksichnyie elementy-primesi v iskopaemyih uglyah [*Toxic Trace Elements in Fossil Coal*], Ekaterinburg: Uralskoe otdelenie rossiyskoy akademii nauk, 655 p.
22. Stadnichenko, T., Zubovic, P., Sheffey, N. B. (1961). Beryllium content of American coals, U.S. Geol. Surv. Bull., № 1084-K, pp. 253–295.

Надійшла 22.05.2020

В. В. Ишков, канд. геол.-мин. наук, доцент

Е. С. Козий, канд. геол. наук, заместитель директора
Национальный технический университет «Днепровская политехника»,
пр-т Дмитрия Яворницкого, 19, Днепр, 49005, Украина
ishwishw37@gmail.com, koziy.es@gmail.com

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЕРИЛЛИЯ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ К₅ ШАХТЫ «КАПИТАЛЬНАЯ» КРАСНОАРМЕЙСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА ДОНБАССА

Резюме

Проведен анализ результатов исследований пространственного распространения бериллия в угольном пласте К₅ и установлены латеральные вариации его концентраций. Оценено влияние изменчивости концентраций бериллия от технологических параметров угля. Выявлено, что с увеличением минеральных примесей в угольных пластах концентрация бериллия уменьшается. Построенные карты являются фактологической основой для долгосрочного прогноза концентраций бериллия в добытой шахтой горной массе. Рассчитанные уравнения регрессии между содержанием бериллия и технологическими параметрами угля позволят прогнозировать его концентрацию в угольном пласте. Эти уравнения могут быть использованы для краткосрочного и среднесрочного прогноза содержания бериллия в горной массе, добываемой продукции. В свою очередь, такой прогноз может служить основой для технологических решений, направленных на снижение содержания бериллия в продуктах и отходах углеобогащения.

Ключевые слова: бериллий, токсичные элементы, геолого-промышленный район, коэффициент корреляции, линейное уравнение регрессии, статистическая связь.

V. V. Ishkov

Ye. S. Kozii

Dnipro University of Technology,
Dmytra Yavornytskoho Ave. 19, Dnipro, 49005, Ukraine
ishwishw37@gmail.com, koziy.es@gmail.com

SOME FEATURES OF BERYLLIUM DISTRIBUTION IN THE K₅ COAL SEAM OF THE "KAPITALNA" MINE OF THE KRASNOARMIISKYI GEOLOGICAL AND INDUSTRIAL DISTRICT OF DONBAS

Abstract

Problem Statement and purpose. For today, to solve environmental problems in the coal mining regions, studies of toxic elements (including beryllium) are obligatory and allow to determine the environmental impact of coal enterprises and coal heating enterprises. The purpose of this work is to establish regularities in the distribution of beryllium in the coal seam k₅ of the mine field "Kapitalna".

Data & Methods. Using Excel 2016 and Statistica 11.0 at the initial stage of the processing of primary geochemical information, the values of the main descriptive statistics were calculated, building of frequency histograms of the content and the determination of the beryllium distribution law were realized. During evaluating the relationship of beryllium with the organic or mineral part of the coal, the coefficients of affinity with the organic substance were used, which shows the ratio of the content of the elements in the coal with low and high density. Surfer 11 was used in the construction of all the maps. During the construction of the maps, graphs and calculation of correlation coefficients, all values of beryllium concentrations and technological parameters of coal were normalized.

Results. The results of studies of the spatial distribution of beryllium in the coal bed k₅ have been analyzed and areal variations of its concentrations have been established. The influence of variability of beryllium concentrations on the main technological parameters of coal was evaluated. It has been found that with the increase of mineral impurities in the coal seams the concentration of beryllium decreases, therefore, the concentrator of this element is the organic component of coal. The constructed maps are the factual basis for the long-term forecast of the concentrations of beryllium in the rock mass that extract by the mine. The calculated linear regression equations between the beryllium content and the main technological parameters of coal will allow to predict its concentration in the coal seam. These equations can be used for short-term and medium-term forecasting of beryllium content in the extracted rock mass. In its turn, such forecasts should serve as the basis for technological solutions aimed at reducing its content in products and waste of coal enrichment.

Keywords: beryllium, toxic elements, geological and industrial area, correlation coefficient, linear regression equation, statistical relationship.