

УДК 553.94:550.42

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.88.03>

В. Нестеровський, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: v.nesterovski@ukr.net,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;
В. Ішков, канд. геол.-мінералог. наук, доц.,
E-mail: ishwhw37@gmail.com;
Є. Козій, канд. геол. наук, заст. директора,
E-mail: koziy.es@gmail.com,
Національний технічний університет "Дніпровська політехніка",
пр. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна

ТОКСИЧНІ Й ПОТЕНЦІЙНО ТОКСИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ У ВУГІЛЛІ ПЛАСТА C_8^H ШАХТИ "БЛАГОДАТНА" ПАВЛОГРАДСЬКО-ПЕТРОПАВЛІВСЬКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. Шнюковим С.Є.)

Токсичні елементи у вугіллі є одним з основних забруднювачів навколишнього середовища. Їхній вміст у вугіллі є достатньо високим, тому сучасне підвищення екологічних вимог потребує врахування впливу вугледобувних підприємств на стан середовища. Це, у свою чергу, обумовлює потребу в нових науково обґрунтованих методах прогнозу вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів (ТіПТЕ) у гірничій масі, що видобувається шахтами, а також у відходах видобутку та вуглезабагачення.

Розглянуто результати дослідження ТіПТЕ у вугіллі пласта C_8^H поля шахти "Благодатна" Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Донбасу з метою встановлення закономірностей їхнього просторового розподілу. Визначено середній вміст і латеральні варіації концентрації ТіПТЕ у вугіллі пласта, побудовано карти ізоконцентрат ТіПТЕ і карти регіональної складової зміни їхнього вмісту для дослідженої площі. Побудовані карти є фактологічною основою для довгострокового прогнозу концентрацій ТіПТЕ у видобутій шахтою гірській масі. Для цього розраховано лінійні рівняння регресії, які характеризують зв'язок між концентраціями ТіПТЕ і основними технологічними параметрами дослідженого пласта. Ці рівняння можуть бути використані для короткострокового і середньострокового прогнозу вмісту ТіПТЕ у гірській масі, що видобується. У свою чергу, такий прогноз має служити основою для технологічних рішень, спрямованих на зниження вмісту ТіПТЕ у продуктах та відходах вуглезабагачення.

Крім того, аналіз результатів статистичної обробки геохімічної інформації й геолого-структурної характеристики пласта C_8^H поля шахти "Благодатна" свідчить, що формування асоціації Co-Ni-V-Pb-Cr-Mn пов'язано із збагаченням цими елементами приконтрактних зон вугільного пласта потужністю 0,15–0,20 м. Доведено, що Be є єдиним елементом, переважно пов'язаним з органічною складовою вугілля. Асоціація Hg і As обумовлена їхнім генетичним зв'язком із сульфідною мінералізацією тріщинуватих зон тектонічної природи.

Ключові слова: вугільний пласт, потужність, зола, сірка, токсичні і потенційно токсичні елементи, карта ізоконцентрат, карта регіональної складової, рівняння регресії.

Вступ. Досліджувана територія розташована в межах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Західного Донбасу і адміністративно належить до Павлоградського району Дніпропетровської області. Зростання вимог до охорони навколишнього середовища обумовлює потребу в нових науково обґрунтованих методах прогнозу вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів (ТіПТЕ) у гірській масі, що видобувається шахтами, відходах видобутку і вуглезабагачення. Особлива актуальність даної проблеми визначається Законом України "Про надра", постановами Кабінету Міністрів України № 22 від 30.09.1995 р. та № 688 від 28.06.1997 р., а також нормативними документами ДКЗ (Клер, 1982).

Огляд попередніх досліджень. Раніше В. Ішковим, спільно з А. Чорнобук, Д. Михальчонок, В. Дворецьким (Ішков, 1999; Ішков і др., 2001), розглянуто особливості розподілу деяких ТіПТЕ у продуктах і відходах збагачення ряду вуглезабагачувальних фабрик Донбасу. Крім того, В. Ішковим спільно з Є. Козій (Ішков та Козій, 2017; Козій, 2018) досліджено особливості розподілу ТіПТЕ у вугіллі пластів деяких шахт Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району Західного Донбасу. І. Курмельовим вивчалась геохімія вуглевмісних порід Чистяково-Сніжнянського геолого-промислового району Донбасу (Курмельов, 2013). А. Дворников займався вивченням ртутності вугілля Донецького басейну (Дворников, 1987). Також токсичним елементам посвячено багато робіт А. Горового і Н. Горової (Горової, 2001; Горової і Горовая, 2002). Екологічні аспекти геохімії ТіПТЕ у вугільних пластах багатьох родовищ світу розглянуто в роботах Д. Суейна (Godbeer et al., 1984; Swaine, 1990). Численні дослідження розповсюдження

ТіПТЕ у вугіллі різних родовищ дозволили встановити, що склад і вміст цих елементів та їхні особливості розподілу відрізняються щодо кожного родовища, а в межах окремих родовищ залежить ще й від стадії вуглефікації (Martinez-Tarazona et al., 1992; Mercer et al., 1993; Pires and Teixeira, 1992; Solari et al., 1989; Spears and Martinez-Tarazona, 1993; Vassilev, 1994). Водночас, розгляд і аналіз розподілу ТіПТЕ у вугіллі пласта C_8^H шахти "Благодатна" Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району раніше не виконувався.

Мета роботи: установити закономірності в розподілі ТіПТЕ у вугіллі пласта C_8^H поля шахти "Благодатна" ПАТ "ДТЕК Павлоградвугілля".

Методика досліджень. Розгляд розподілу ТіПТЕ у геологічних об'єктах різного характеру і масштабу є необхідним для встановлення законів їхньої міграції, концентрації й розсіювання. Особливість виконаних досліджень полягала в неможливості безпосереднього спостереження цих процесів. У цьому випадку розгляд динаміки процесів традиційно виконується шляхом порівняння статистичних даних та аналізу картографічних матеріалів щодо розподілу хімічних елементів у розглянутих об'єктах. Потім отримані результати осмислюються з урахуванням фізико-хімічних і геологічних особливостей.

Отже, отримання інформації про розподіл хімічних елементів у 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 у гірських виробках (пластові проби, відібрані борозновим способом (Угли..., 1975) і з дублікатів керна особисто авторами за участю співробітників геологічних служб вугледобувних підприємств і

виробничих геологорозвідувальних організацій в період з 1981 р. по 2013 р. Обсяг контрольного випробування становив 5 % від загального обсягу проб. Усі аналітичні роботи виконувалися в центральних сертифікованих лабораторіях виробничих геологорозвідувальних організацій. Вміст Hg визначався атомно-абсорбційним аналізом, As (Топливо..., 1993), інші ТіПТЕ – кількісним емісійним спектральним аналізом (Узлі..., 1991). 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.

На початковому етапі обробки первинної геохімічної інформації за допомогою програм Excel 2016 і Statistica 6.0 розраховувалися значення основних описових статистичних показників (вибіркового середнього арифметичного, його стандартної помилки, медіани, ексцесу, моди, стандартного відхилення, дисперсії вибірки, мінімального і максимального значення вмісту, коефіцієнта варіації, асиметрії вибірки), виконувалась побудова частотних гістограм вмісту і встановлення закону розподілу ТіПТЕ.

З метою виявлення складу геохімічних асоціацій були розраховані коефіцієнти кореляції (r) між вмістом ТіПТЕ. В єдину геохімічну асоціацію об'єднувалися елементи, у яких зв'язок між вмістом описується коефіцієнтом кореляції, що перевищує 0,5 з рівнем значимості не менше 95 %.

При оцінці зв'язку токсичних і потенційно токсичних елементів 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 i (C_i) до вмісту у вихідному вугіллі, коефіцієнти кореляції вмісту досліджуваних елементів і зольності вугілля та коефіцієнти наведеного вилучення елемента у фракції різної щільності.

При побудові всіх карт використовувалася програма Surfer 11. У ході побудови карт, графіків і розрахунку коефіцієнтів кореляції всі значення концентрацій ТіПТЕ нормувалися за формулою

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

де X_i – результат одиничного визначення концентрації елемента, X_{max} та X_{min} – максимальна та мінімальна концентрація елемента відповідно. Нормування здійснювалося для уніфікації шкали концентрацій у вибірках.

Зодержанні результати та їхнє обговорення. Закономірності зміни вмісту миш'яку. Вміст As у вугіллі пласта (рис. 1, а) характеризується значними варіаціями. Він змінюється у межах від 5,46 г/т до 426,73 г/т і не пов'язаний з напрямком падіння, глибиною та потужністю вугільного пласта, концентрацією золи вугілля. Середнє значення вмісту миш'яку по пласту становить 124,2 г/т. Найбільше значення вмісту As міститься в південній частині шахтного поля. Воно просторово збігається із свердловиною № Н32086. Карта зміни регіональної складової концентрації As, представлена на (рис. 1, б), показує збільшення його вмісту у вугіллі пласта c_8^H у північно-західному напрямку. Миш'як формує геохімічну асоціацію із ртуттю ($r = 0,94$) та пов'язаний із вмістом у вугіллі сірки загальної ($r = 0,98$). Лінійні рівняння регресії: $As = -0,1172 + 1,1079 \times Hg$; $As = -0,0385 + 1,045 \times S_{заг}$.

Закономірності зміни вмісту берилію. Коливання концентрації Be у вугіллі пласта від 1,33 г/т до 5,94 г/т (рис. 2, а) при середньому значенні – 3,63 г/т. Найбільші значення вмісту берилію – у північно-східній

частині шахтного поля на ділянці свердловин № 7815, № 7740, № 7752. Концентрація Be не залежить від глибини, потужності пласта та вмісту загальної сірки у вугіллі. Регіональна складова вмісту цього елемента зростає в напрямку падіння пласта в північно-східному напрямку (рис. 2, б) у бік від УКЩ.

Спостерігається тісна зворотна статистична залежність між вмістом Be і золюю ($r = -0,94$), фтором ($r = -0,91$). Лінійні рівняння регресії:

$$Be = 0,8771 - 0,8705 \times A^d; \quad Be = 0,931 - 0,9465 \times F.$$

Закономірності зміни вмісту кобальту. Вміст кобальту змінюється у межах від 1,24 г/т до 12,11 г/т (рис. 3, а). Середнє значення концентрації кобальту по пласту становить 7,54 г/т. Максимальні значення встановлено в західній і північно-західній частині шахтного поля. Найбільша локація кобальту міститься на північному заході ділянки і приурочена до свердловини № 4095. Концентрація Co не залежить від глибини, вмісту загальної сірки та золи у вугіллі. Регіональна складова вмісту Co зростає в північно-західному напрямку (рис. 3, б).

Встановлено тісний зворотний зв'язок між вмістом кобальту і потужністю вугільного пласта ($r = -0,91$), тісний прямий зв'язок із кумуляцією марганцю ($r = 0,80$), нікелю ($r = 0,78$), свинцю ($r = 0,85$), хрому ($r = 0,88$), ванадію ($r = 0,88$). Лінійні рівняння регресії:

$$Co = 0,9954 - 0,8555 \times m;$$

$$Co = 0,182 + 0,7816 \times Mn;$$

$$Co = 0,2779 + 0,6913 \times Ni;$$

$$Co = 0,1806 + 0,8153 \times Pb;$$

$$Co = 0,1459 + 0,8812 \times Cr;$$

$$Co = 0,1231 + 0,8673 \times V.$$

Закономірності зміни вмісту марганцю. Концентрація марганцю варіює від 53,98 г/т до 190,25 г/т. Середнє значення вмісту марганцю по пласту становить 123,29 г/т. Найбільша локація приурочена до ділянки пласта в районі свердловини № 4095, яка розташована в північно-західній частині шахтного поля (рис. 4, а). Кумуляція Mn не залежить від глибини, вмісту загальної сірки та золи у вугіллі. Регіональна складова вмісту цього елемента зростає в північно-західному напрямку (рис. 4, б).

Виявлено тісний зворотний зв'язок між вмістом марганцю і потужністю вугільного пласта ($r = -0,86$), тісний прямий зв'язок з концентрацією кобальту ($r = 0,80$), нікелю ($r = 0,75$), свинцю ($r = 0,86$), хрому ($r = 0,83$), ванадію ($r = 0,85$). Лінійні рівняння регресії:

$$Mn = 0,9161 - 0,8383 \times m;$$

$$Mn = 0,0295 + 0,8267 \times Co;$$

$$Mn = 0,2112 + 0,6817 \times Ni;$$

$$Mn = 0,0933 + 0,8487 \times Pb;$$

$$Mn = 0,0885 + 0,8537 \times Cr;$$

$$Mn = 0,053 + 0,8658 \times V.$$

Закономірності зміни вмісту нікелю. Кумуляція нікелю коливається у межах від 13,04 г/т до 38,5 г/т (рис. 5, а). Середнє значення по пласту становить 24,15 г/т. Найбільша локація нікелю – у північно-західній частині шахтного поля і пов'язана із свердловиною № 4106. Вміст Ni не залежить від глибини, концентрації загальної сірки та золи у вугіллі. Регіональна складова вмісту цього елемента зростає в північно-західному напрямку (рис. 5, б).

Установлено тісний зворотний зв'язок між вмістом нікелю і потужністю вугільного пласта ($r = -0,88$), тісний прямий зв'язок з концентрацією кобальту ($r = 0,78$), марганцю ($r = 0,75$), свинцю ($r = 0,82$), хрому ($r = 0,84$), ванадію ($r = 0,85$). Лінійні рівняння регресії:

$$Ni = 0,8903 - 0,9339 \times m;$$

$$Ni = -0,0697 + 0,8731 \times Co;$$

$$Ni = 0,0223 + 0,814 \times Mn;$$

$$Ni = 0,0039 + 0,8838 \times Pb;$$

$$Ni = -0,0285 + 0,9446 \times Cr;$$

$$Ni = -0,062 + 0,9471 \times V.$$

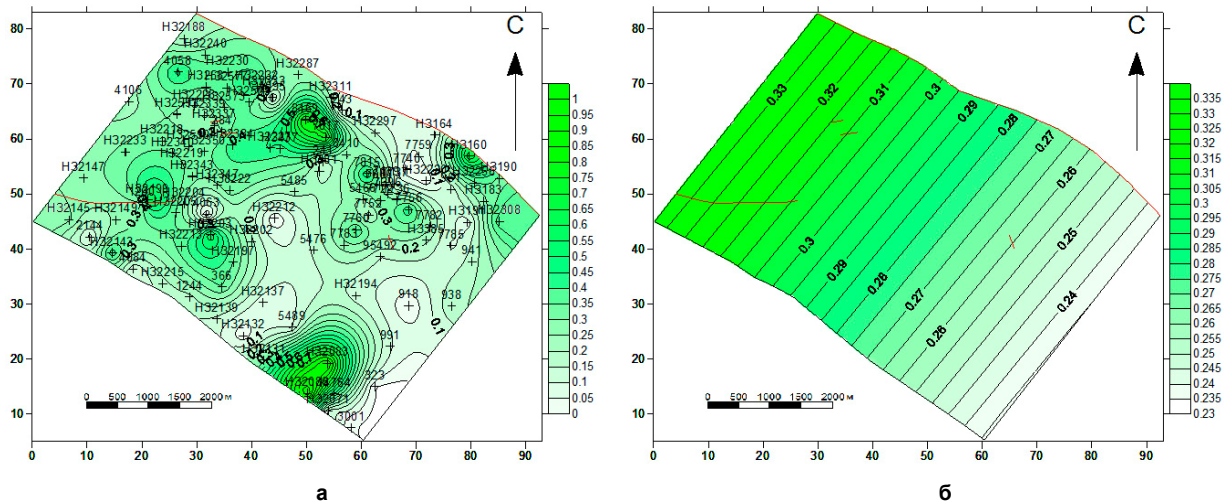


Рис. 1. Карта ізоконцентрат вмісту As (а) та карта зміни регіональної складової концентрації As (б) у вугіллі пласта С₈"

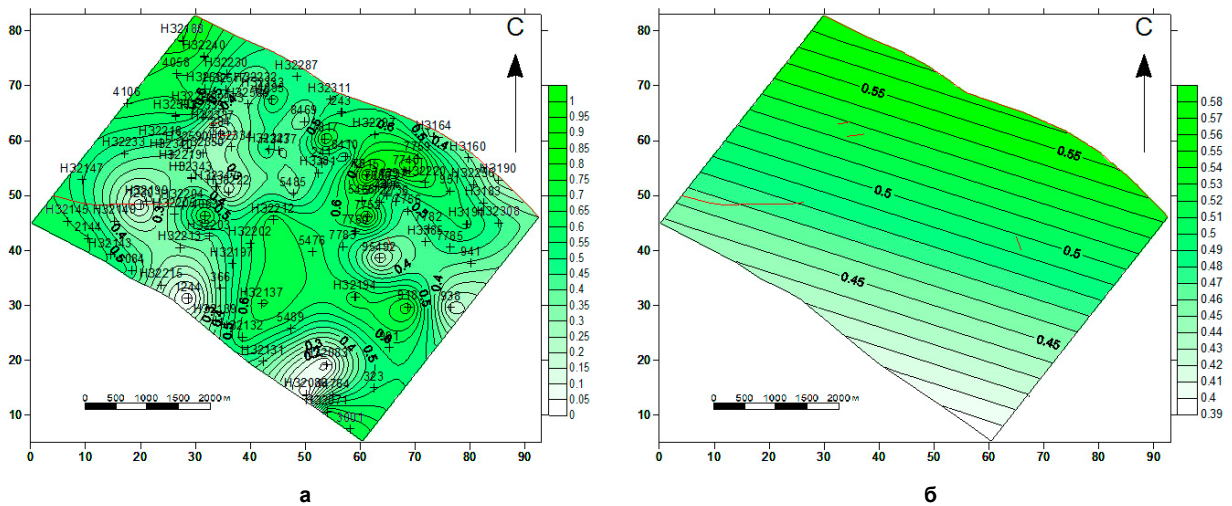


Рис. 2. Карта ізоконцентрат вмісту Be (а) та карта зміни регіональної складової концентрації Be (б) у вугіллі пласта С₈"

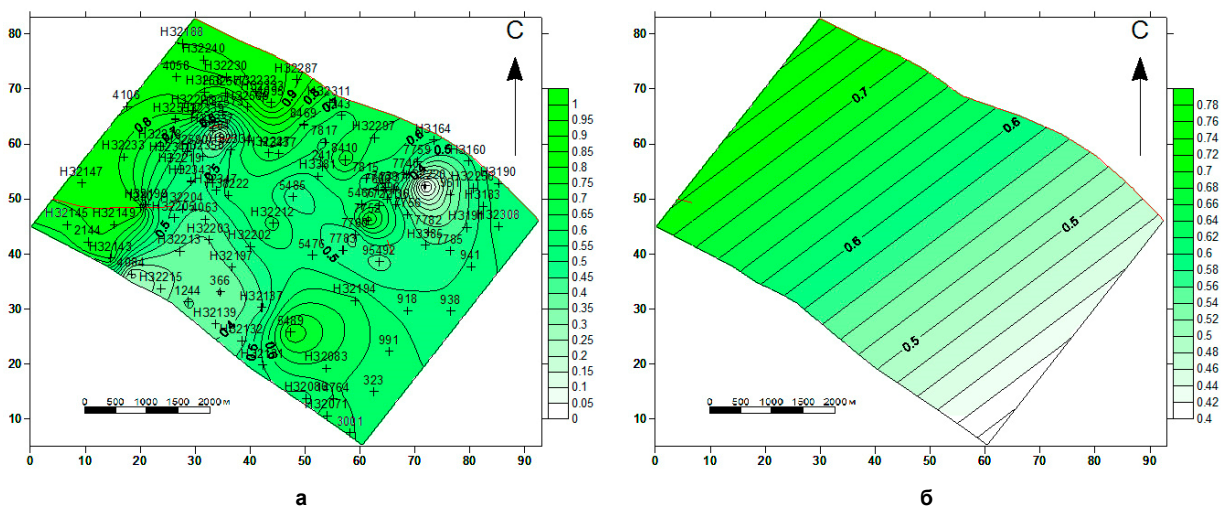


Рис. 3. Карта ізоконцентрат вмісту Co (а) та карта зміни регіональної складової концентрації Co (б) у вугіллі пласта С₈"

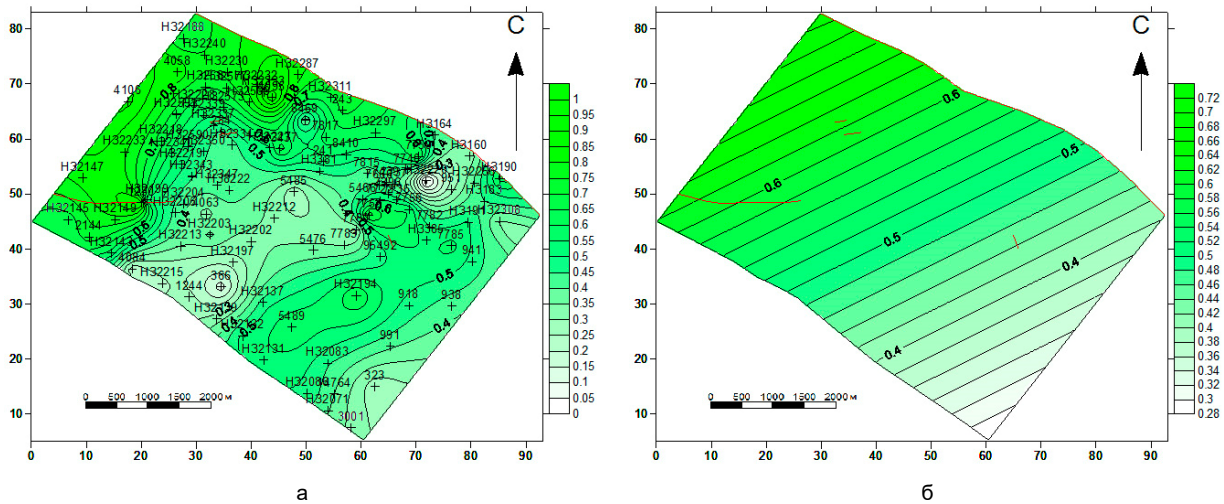


Рис. 4. Карта ізоконцентрат вмісту Mn (а) та карта зміни регіональної складової концентрації Mn (б) у вугіллі пласта с₈^а

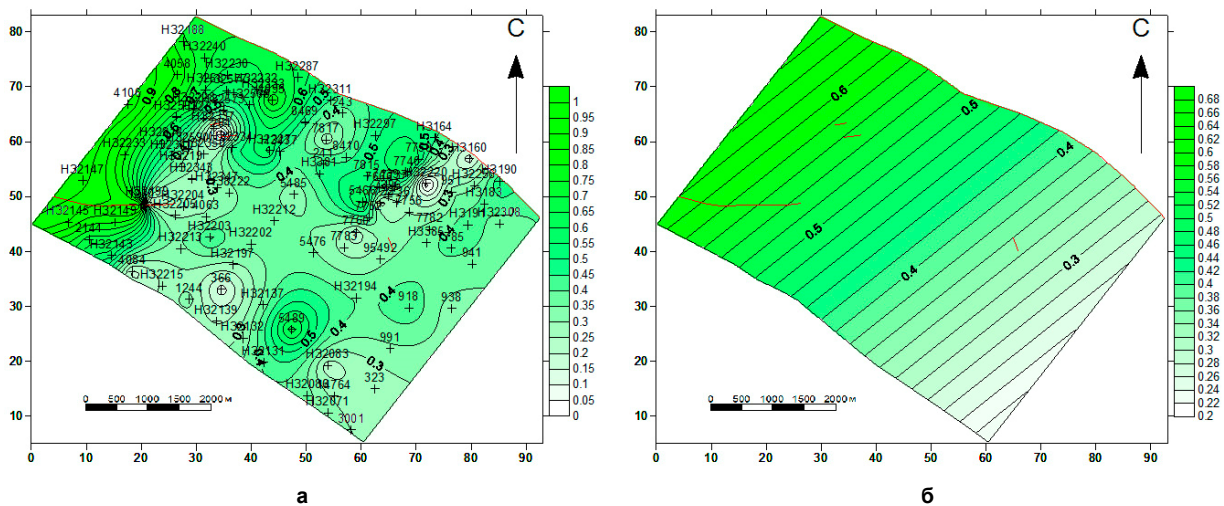


Рис. 5. Карта ізоконцентрат вмісту Ni (а) та карта зміни регіональної складової концентрації Ni (б) у вугіллі пласта с₈^а

Закономірності зміни вмісту ртуті. Зони підвищеного вмісту ртуті розташовані в північній і південній частині шахтного поля. Концентрація Hg варіює в межах від 0,0165 г/т до 0,6421 г/т (рис. 6, а). Середнє значення по пласту – 0,2418 г/т. Найбільша локація Hg розташована в південній частині шахтного поля і приурочена до свердловини № НЗ2083. Вміст Hg не залежить від глибини, потужності пласта та золи у вугіллі. Регіональна складова вмісту цього елемента зростає в північно-західному напрямку (рис. 6, б).

Установлено тісний прямий зв'язок між вмістом ртуті й сірки загальної у вугіллі пласта ($r = 0,96$) та з концентрацією миш'яку ($r = 0,94$). Лінійні рівняння регресії:

$$Hg = 0,1017 + 0,8514 \times S_{\text{заг.}}; Hg = 0,1338 + 0,8034 \times As.$$

Закономірності зміни вмісту свинцю. Вміст свинцю в межах пласта змінюється від 66,85 г/т до 178,63 г/т. Середнє значення по пласту становить 121,54 г/т. Найбільша локація цього елемента встановлена в північно-західній частині шахтного поля на ділянці свердловини № 4095 (рис. 7, а).

Концентрація Pb не залежить від глибини, вмісту загальної сірки та золи у вугіллі. Регіональна складова вмісту Pb зростає в північно-західному напрямку (рис. 7, б).

Установлено тісний зворотній зв'язок між вмістом свинцю й потужністю вугільного пласта ($r = -0,95$), тісний прямий зв'язок з кумуляцією марганцю ($r = 0,86$), нікелю ($r = 0,82$), кобальту ($r = 0,85$), хрому ($r = 0,89$), ванадію ($r = 0,92$). Лінійні рівняння регресії:

$$\begin{aligned} Pb &= 0,6722 - 0,7165 \times m; \\ Pb &= 0,0421 + 0,8792 \times Mn; \\ Pb &= 0,1548 + 0,7667 \times Ni; \\ Pb &= -0,0283 + 0,8933 \times Co; \\ Pb &= 0,025 + 0,9435 \times Cr; \\ Pb &= -0,013 + 0,9546 \times V. \end{aligned}$$

Закономірності зміни вмісту фтору. Вміст фтору змінюється у межах від 26,27 г/т до 158,99 г/т. Середнє значення по пласту – 86,93 г/т. Максимальна локація фтору фіксується у південній частині ділянки біля свердловини № НЗ2086 (рис. 8, а). Кумуляція F не залежить від глибини, вмісту загальної сірки та потужності пласта. Регіональна складова вмісту F зростає у південно-західному напрямку (рис. 8, б) у бік УКЩ.

Встановлено тісний зворотній зв'язок між вмістом фтору і берилієм ($r = -0,91$), тісний прямий зв'язок концентрації F з вмістом золи вугільного пласта ($r = 0,96$). Лінійне рівняння регресії:

$$F = 0,0872 + 0,8501 \times A^d; F = 0,8879 - 0,8646 \times Ve.$$

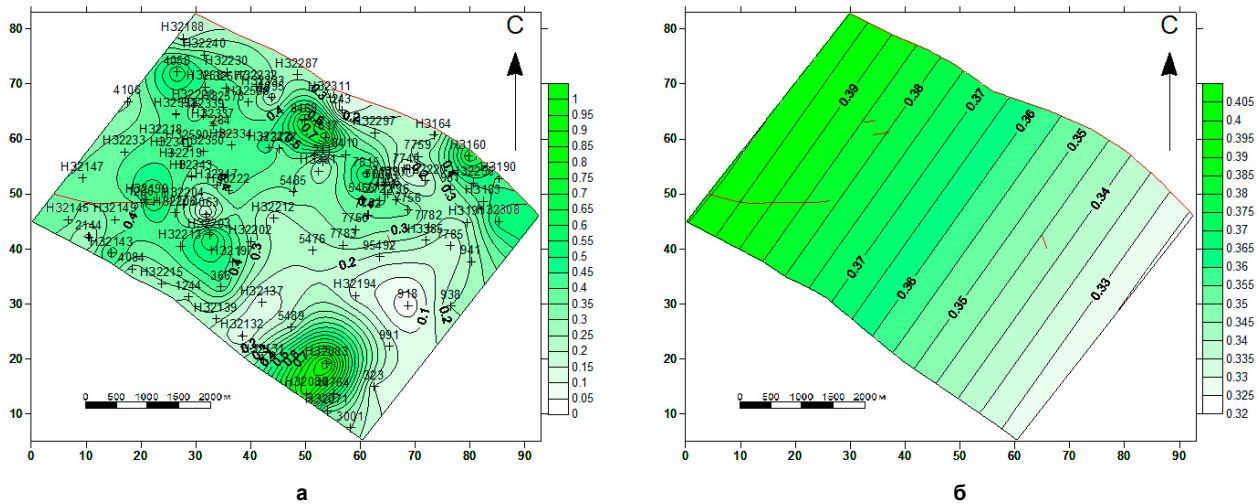


Рис. 6. Карта ізоконцентрат вмісту Hg (а) та карта зміни регіональної складової концентрації Hg (б) у вугіллі пласта C_8^A

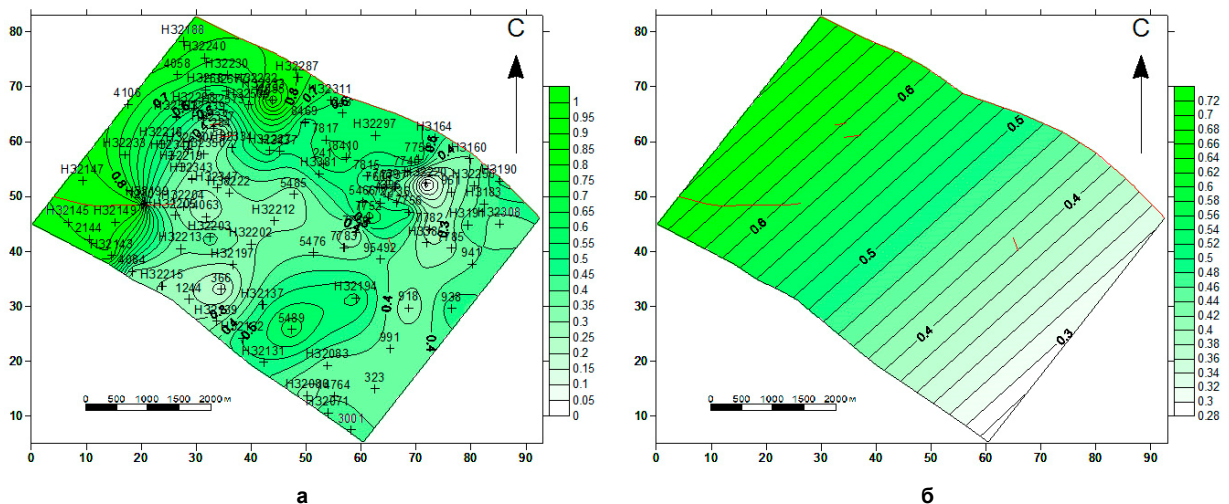


Рис. 7. Карта ізоконцентрат вмісту Pb (а) та карта зміни регіональної складової концентрації Pb (б) у вугіллі пласта C_8

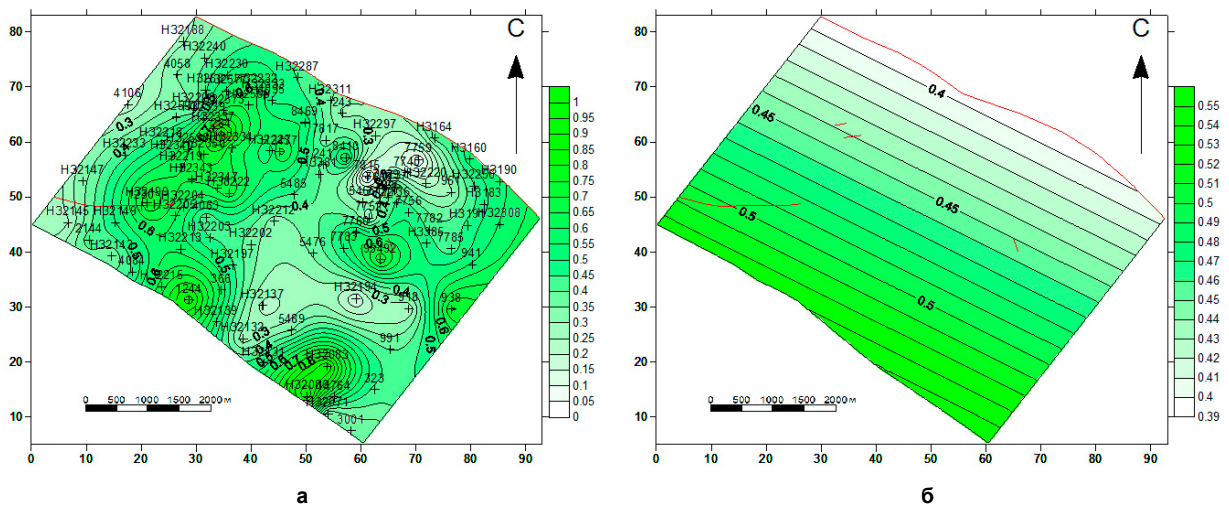


Рис. 8. Карта ізоконцентрат вмісту F (а) та карта зміни регіональної складової концентрації F (б) у вугіллі пласта C_8^A

Закономірності зміни вмісту хрому. Вміст хрому варіює в межах від 5,33 г/т до 38,56 г/т. Середнє значення по пласту становить 21,68 г/т. Найбільша локація спостерігається у північно-західній частині шахтного

поля на ділянці зі свердловиною № 4095 (рис. 9, а). Концентрація Сг не залежить від глибини, вмісту загальної сірки та золи у вугіллі. Регіональна складова вмісту Сг зростає в північно-західному напрямку (рис. 9, б).

Установлено тісний зворотний зв'язок між вмістом хрому і потужністю вугільного пласта ($r = -0,95$), тісний прямий зв'язок з кумуляцією марганцю ($r = 0,83$), нікелю ($r = 0,84$), свинцю ($r = 0,89$), кобальту ($r = 0,88$), ванадію ($r = 0,90$). Лінійні рівняння регресії:

$$\begin{aligned} Cr &= 0,9262 - 0,893 \times m; \\ Cr &= 0,0856 + 0,7993 \times Mn; \\ Cr &= 0,169 + 0,7405 \times Ni; \\ Cr &= 0,0749 + 0,8526 \times Pb; \\ Cr &= -0,0136 + 0,8725 \times Co; \\ Cr &= 0,0233 + 0,8909 \times V. \end{aligned}$$

Закономірності зміни вмісту ванадію. Кумуляція ванадію коливається у межах від 1,56 г/т до 27,26 г/т (рис. 10, а). Середнє значення по пласту становить 15,08 г/т. Ділянка з найбільшою локацією V – у північно-західній частині шахтного поля біля свердловини

№ 4095. Вміст V не залежить від глибини, концентрації загальної сірки та золи у вугіллі. Регіональна складова вмісту цього елемента зростає в північно-західному напрямку (рис. 10, б).

Установлено тісний зворотний зв'язок між вмістом ванадію і потужністю вугільного пласта ($r = -0,93$), тісний прямий зв'язок з концентрацією кобальту ($r = 0,88$), марганцю ($r = 0,85$), свинцю ($r = 0,92$), хрому ($r = 0,90$), нікелю ($r = 0,85$). Лінійні рівняння регресії:

$$\begin{aligned} V &= 0,9747 - 0,9227 \times m; \\ V &= 0,0141 + 0,8836 \times Co; \\ V &= 0,102 + 0,834 \times Mn; \\ V &= 0,0918 + 0,8877 \times Pb; \\ V &= 0,0751 + 0,9166 \times Cr; \\ V &= 0,1929 + 0,7639 \times Ni. \end{aligned}$$

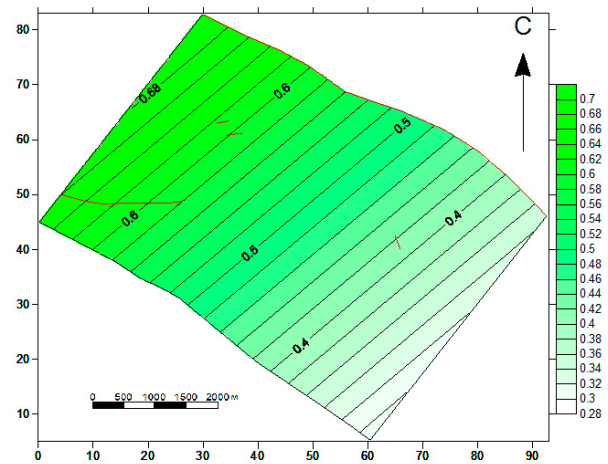
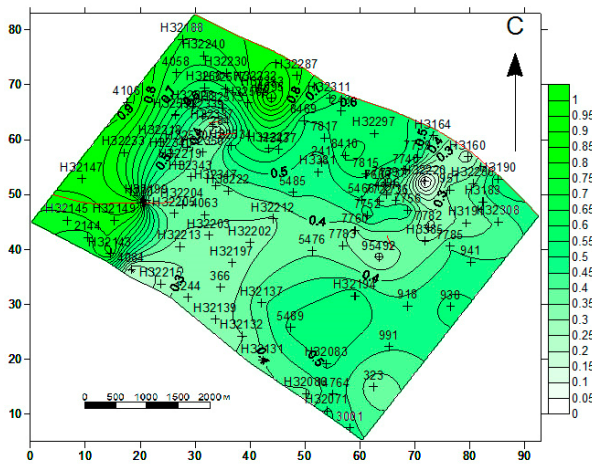


Рис. 9. Карта ізоконцентрат вмісту Cr (а) та карта зміни регіональної складової концентрації Cr (б) у вугіллі пласта с₈^н

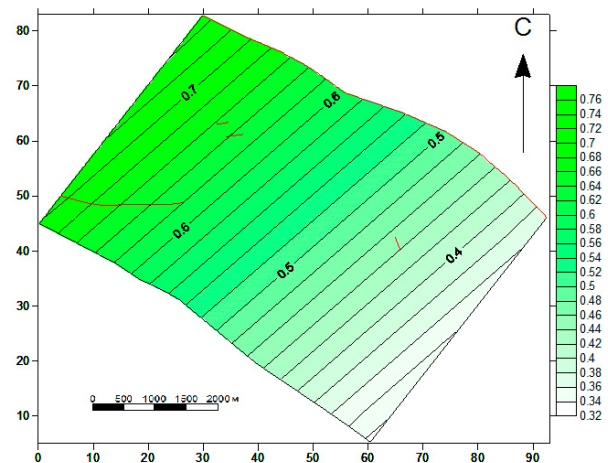
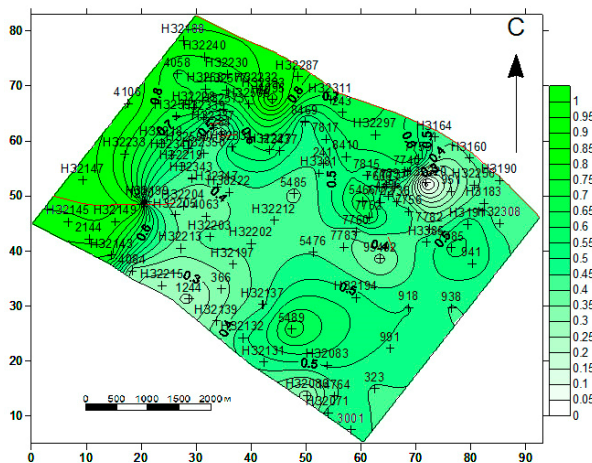


Рис. 10. Карта ізоконцентрат вмісту V (а) та карта зміни регіональної складової концентрації V (б) у вугіллі пласта с₈^н

Висновки. На основі отриманих результатів статистичної обробки геохімічної інформації та аналізу побудованих карт ізоконцентрат ТiПТЕ і карт регіональної складової їхнього вмісту можна сформулювати такі основні висновки:

1. Спільне накопичення Co, Ni, Pb, Cr, V і Mn з утворенням геохімічної асоціації й тісний негативний зв'язок концентрації цих елементів з потужністю вугільного пла-

ста обумовлені їхнім спільним накопиченням у приконтаткових ділянках пласта з формуванням своєрідних зон збагачення потужністю 0,15 – 0,2 м.

2. Берилій є єдиним елементом з усіх ТiПТЕ переважно пов'язаним з органічною складовою вугілля пласта.

3. Тісний кореляційний зв'язок асоціації Hg і As з S_{зар}. і аналіз просторового розташування аномалій цих елементів з геолого-структурними особливостями шахтопласта свідчить про накопичення цих елементів на постседиментаційному етапі формування вугленосних

відкладів та їхнього генетичного зв'язку з розривними структурами. Причому якщо великі розривні порушення відігравали в основному роль підвідних і транзитних каналів, то дрібні порушення і особливо оперяючі їх зони тріщинуватості виконували контролюючу функцію.

4. Фтор є єдиним елементом з усіх ТіПТЕ, переважно пов'язаним з мінеральною складовою вугілля пласта.

Основне наукове значення отриманих результатів полягає у встановленні геохімічних асоціацій ТіПТЕ і генетичних причин їхньої мінливості у вугіллі пласта, а також у виявленні полігенного і поліхронного характеру їхнього накопичення.

Практичне значення отриманих результатів полягає в побудові карт ізоконцентрат ТіПТЕ у вугіллі пласта і розрахунку рівнянь регресії між їхнім вмістом і основними технологічними параметрами.

Перспективи подальшого вивчення ТіПТЕ у вугіллі Донбасу полягають у дослідженні розповсюдження цих елементів у вугіллі інших пластів, у тому числі з іншими ступенями вуглефікації та метаморфізму, з метою встановлення особливостей їхнього накопичення і розробки способів і методів як їхнього прогнозу, так і прогнозу технологічних параметрів вугілля, мінливості тріщинуватості й потужності вугільних пластів.

Список використаних джерел

- Горовой, А.Ф. (2001). Геохимия твердых промышленных отходов предприятий Донбасса. *Минералогический журнал*, 4, 136-142.
- Горовой, А.Ф., Горвая, Н.А. (2002). Токсичные элементы в углях шахтных полей угленосных районов Северного Донбасса. *Научные труды ДОНТУ*, 54, 123-126.
- Дворников, А.Г. (1987). Ртутносность углей Донецкого бассейна. М.: Недра.
- Клер, В. Р. (1982). Инструкция по изучению токсичных компонентов при разведке угольных и сланцевых месторождений. М.: АН СССР, Ин-т литосферы.
- Ишков, В.В., Чернобук, А.И., Михальченко, Д.Я. (2001). О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Добропольской ЦОФ. *Научный вестник НГАУ*, 4, 89-90.
- Ишков, В.В., Чернобук, А.И., Дворецкий, В.В. (2001). О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Краснолиманской ЦОФ. *Научный вестник НГАУ*, 5, 84-86.
- Ишков, В.В. (1999). Проблемы геохимии "малых" и токсичных элементов у вугілля України. *Научный вестник НГА Украины*, 1, 128 - 132.
- Ишков, В.В., Козий, Е.С. (2017). Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с7н шахти "Павлоградська" Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 79, 59-66. doi.org/10.17721/1728-2713.79.09.
- Козий, Е.С. (2018). Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта с8в шахти "Дніпровська" Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Дніпропетровського університету. Геологія-Географія*, 26 (1), 113 – 120. doi.org/10.15421/111812.
- Курмельов, І.І. (2013). Тектоническая нарушенность и геохимическая характеристика пород Чистяково – Снежнянского геолого-промислового района Донбасса. *Научный вестник НГУ*, 136, 18-22.
- Топливо твердое. (1993). Методы определения мышьяка: ГОСТ 10478-93. Москва: Изд-во стандартов.
- Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. (1975). Метод отбора пластовых проб: ГОСТ 9815-75. Москва: Изд-во стандартов.
- Угли бурые, каменные и антрациты. (1991). Методы определения бериллия, бора, марганца, бария, хрома, никеля, кобальта, свинца, галлия, ванадия, меди, цинка, молибдена, иттрия и лантана: ГОСТ 28974-91. Москва: Изд-во стандартов.
- Godbeer, W.C., Morgan, N.C., Swaine, D.J. (1984). The accession of trace elements to the environs of a power station. *Proc. Eight Int. Clean Air Conf., Melbourne, Clean Air Soc. Aust. and N.Z., Sydney, NSW*, 883-890.
- Martinez-Tarazona, M.R., Spears, D.A., Tascon, J.M.D. (1992). Organic affinity of trace elements in Australian bituminous coals. *Fuel*, 71(9), 909-917.

Mercer, G.E., Fitzgerald, S., Day, J., Filby, R.H. (1993). Determination of organic/inorganic associations of trace elements in kerogen of the New Albany shale. *Fuel*, 72(11), 1187-1195.

Pires, M., Teixeira, E.C. (1992). Geochemical distribution of trace elements in lean coal, Brazil. *Fuel*, 71(10), 1093-1096.

Solari, J.A., Fiedler, H., Schneider, C.L. (1989). Modeling of the distribution of trace elements in coal. *Fuel* 68(5), 536-539.

Spears, D.A., Martinez-Tarazona, M.R. (1993). Geochemical and mineralogical characteristics of a power station feed-coal. *Eggborough, England, Int. J. Coal Geol.*, 22(1), 1-20.

Swaine D.J. (1990). Trace Elements in Coal. (M), Butterworth, London.

Vassilev, S.V. (1994). Trace elements in solid waste products from coal burning at some Bulgarian thermoelectric power station. *Fuel*, 73(3), 367.

References

- Brown coal, hard coal, anthracite and combustible shales. (1975). Method for sampling of seam samples. GOST 9815-75. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian]
- Brown coals, hard coals and anthracites. (1991). Methods for determination of beryllium, boron, manganese, barium, chromium, nickel, cobalt, lead, gallium, vanadium, copper, zinc, molybdenum, yttrium and lanthanum. GOST 28974-91. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian]
- Dvornikov, A.G. (1987). Mercury content of coal of Donetsk basin. Moscow, Nedra.
- Godbeer, W.C., Morgan, N.C., Swaine, D. J. (1984). The accession of trace elements to the environs of a power station. *Proc. Eight Int. Clean Air Conf., Melbourne*, 883-890.
- Horovoy, A.F. (2001). Geochemistry of Solid Industrial Waste of Enterprises of Donbass. *Mineralogical Journal*, 4, 136-142. [in Russian]
- Horovoy, A.F., Horovaya, N.A. (2002). Toxic elements in coals of mine fields of coal-bearing district of North Donbass. *Scientific Works of DonNTU*, 54, 123-126. [in Russian]
- Ishkov, V.V. (1999). Geochemistry problems of "small" and toxic elements in coal of Ukraine. *Scientific Visnyk NMAU*, 1, 128-132. [in Ukrainian]
- Ishkov, V.V., Chernobuk, A.I., Dvoretzkiy, V.V. (2001). About distribution of beryllium, fluor, vanadium, plumbum and chrome in products and wastes of enrichment of the Krasnolimanskaya CCF. *Scientific Visnyk NMAU*, 5, 84-86. [in Russian]
- Ishkov, V.V., Chernobuk, A.I., Mihalchonok, D.Ya. (2001). About distribution of beryllium, fluor, vanadium, plumbum and chrome in products and wastes of enrichment of the Dobropolskaya CCF. *Scientific Visnyk NMAU*, 4, 89-90. [in Russian]
- Ishkov, V.V., Koziy, E.S. (2017). Distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of the layer c⁸ of the "Pavlogradskaya" mine of Pavlogradsko-Petrovlovskiy geological and industrial district. *Visnyk of Taras Shevchenko national university of Kyiv. Geology*, 4(79), 59 – 66. doi.org/10.17721/1728-2713.79.09. [in Ukrainian]
- Kler, V.R. (1982). Instruction for the study of toxic components in the exploration of coal and shale deposits. Moscow: Institute of the lithosphere AS USSR. [in Russian]
- Koziy, E.S. (2018). Arsenic, beryllium, fluorine and mercury in the coal of the layer с8в of the "Dniprovskaya" mine of Pavlogradsko-Petrovlovskiy geological and industrial district. *Dnipropetrovsk University Bulletin Series-Geology Geography*, 26(1), 113 – 120. doi.org/10.15421/111812. [in Ukrainian]
- Kurmelev, I.I. (2013). Tectonic disturbances and geochemical characteristics of the breed Chistyakov-Snezhnyanskiy geological industrial district of Donbass. *Scientific Bulletin of NMU*, 136, 18-22. [in Ukrainian]
- Martinez-Tarazona, M.R., Spears, D.A., Tascon, J.M.D. (1992). Organic affinity of trace elements in Australian bituminous coals. *Fuel*, 71(9), 909-917.
- Mercer, G.E., Fitzgerald, S., Day, J., Filby, R.H. (1993). Determination of organic/inorganic associations of trace elements in kerogen of the New Albany shale. *Fuel*, 72(11), 1187-1195.
- Pires, M., Teixeira, E.C. (1992). Geochemical distribution of trace elements in lean coal, Brazil. *Fuel*, 71(10), 1093-1096.
- Solari, J.A., Fiedler, H., Schneider, C.L. (1989). Modeling of the distribution of trace elements in coal. *Fuel*, 68(5) 536-539.
- Solid fuel. (1993). Methods for determination of arsenic. GOST 10478-93. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian]
- Spears, D.A., Martinez-Tarazona, M.R. (1993). Geochemical and mineralogical characteristics of a power station feed-coal. *Proc. Int. J. Coal Geol., Eggborough, England*, 22(1), 1-20.
- Swaine, D.J. (1990). Trace Elements in Coal. (M), Butterworth, London.
- Vassilev, S.V. (1994). Trace elements in solid waste products from coal burning at some Bulgarian thermoelectric power station. *Fuel*, 73(3), 367.

Надійшла до редколегії 10.08.19

V. Nesterovskyi, Dr. Sci (Geol.), Prof.,
E-mail: v.nesterovski@ukr.net,
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;
V. Ishkov, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.,
E-mail: ishwishw37@gmail.com;
Ye. Kozii, Cand. Sci. (Geol.),
E-mail: koziy.es@gmail.com,
Dnipro University of Technology,
19, D. Yavornytskoho Ave., Dnipro, 49005, Ukraine

TOXIC AND POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN THE COAL OF THE SEAM C₈^H OF THE "BLAGODATNA" MINE OF PAVLOHRAD-PETROPAVLIVKA GEOLOGICAL AND INDUSTRIAL AREA

Toxic elements in coal are one of the main sources of environmental pollution. Their content in coal is quite high, therefore the modern raising of ecological requirements needs taking into account the influence of coal-mining enterprises on state of environment. This causes the need of new scientifically grounded methods for forecasting the content of toxic and potentially toxic elements (TaPTE) in rock mass, as well as in mining waste and coal enrichment.

In the article, the results of investigations of TaPTE in coal seam c₈^H of "Blagodatna" mine field of Pavlohrad-Petropavlivka geological and industrial area of Donbas are considered, for the purpose of establishing regularities in their spatial distribution. The average content and lateral variations of TaPTE concentrations in coal seam were established, maps of the isoconcentrate of TaPTE and maps of the regional constituent of their contents in the area were constructed. The constructed maps are the factual basis for the long-term forecast of the concentrations of TaPTE in the rock mass extracted from mines. Linear regression equations are calculated, they characterize relationship between the concentrations of toxic and potentially toxic elements and the main technological parameters of the investigated layer. These equations can be used for short-term and medium-term forecasting of TaPTE content in the extracted rock mass. In its turn, such forecasts should serve as the basis for technological solutions aimed at reducing their content in products and waste of coal enrichment.

In addition, analysis of the result of statistical processing of geochemical information and geological and structural characteristics of the seam c₈^H of mine field of "Blagodatna" mine indicates that the formation of the association of Co-Ni-V-Pb-Cr-Mn is associated with the enrichment of contact zones of the coal layer by these elements with thickness of 0,15-0,20m. The association of Hg and As is due to their genetic connection with the sulfide mineralization of fractured zones of tectonic nature.

Keywords: coal seam, coal height, ash, sulfur, toxic and potentially toxic elements, map of isoconcentrate, map of regional component, regression equation.

В. Нестеровский, д-р геол. наук, проф.,
E-mail: v.nesterovski@ukr.net,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина;
В. Ишков, канд. геол.-минералог. наук, доц.,
E-mail: ishwishw37@gmail.com;
Е. Козий, канд. геол. наук,
E-mail: koziy.es@gmail.com,
Национальный технический университет "Днепропетровская политехника",
пр. Д. Яворницького, 19, г. Днепр, 49005, Украина

ТОКСИЧНЫЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В УГЛЕ ПЛАСТА C₈^H ШАХТЫ "БЛАГОДАТНАЯ" ПАВЛОГРАДСКО-ПЕТРОПАВЛОВСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Токсичные элементы в угле являются одним из основных загрязнителей окружающей среды. Их содержание в угле является достаточно высоким, поэтому современные экологические требования обязывают учитывать влияние угледобывающих предприятий на состояние среды. Это, в свою очередь, обуславливает потребность в новых научно обоснованных методах прогноза содержания токсичных и потенциально токсичных элементов (ТиПТЭ) в горной массе, которая добывается, а также в отходах добычи и углеобогащения.

Рассмотрены результаты исследований ТиПТЭ в угле пласта c₈^H поля шахты "Благodatная" Павлоградско-Петропавловского геолого-промышленного района Донбасса с целью установления закономерностей их пространственного распределения. Установлено среднее содержание и латеральные вариации концентрации ТиПТЭ в угле пласта, построены карты изоконцентрат ТиПТЭ и карты региональной составляющей их содержания для исследованной площади. Построенные карты являются фактологической основой для долгосрочного прогноза концентраций ТиПТЭ в добываемой шахтой горной массе. Для этого рассчитаны линейные уравнения регрессии, которые характеризуют связь между концентрациями ТиПТЭ и основными технологическими параметрами исследованного пласта. Эти уравнения могут быть использованы для краткосрочного и среднесрочного прогноза содержания ТиПТЭ в добываемой горной массе. В свою очередь такой прогноз должен служить основанием для технологических решений, направленных на снижение содержания ТиПТЭ в продуктах и отходах углеобогащения.

Кроме этого, анализ результатов статистической обработки геохимической информации и геолого-структурной характеристики пласта c₈^H поля шахты "Благodatная" свидетельствует, что формирование ассоциации Co-Ni-V-Pb-Cr-Mn связано с обогащением этими элементами приконтактных зон угольного пласта мощностью 0,15–0,20 м. Доказано, что бериллий является единственным элементом, преимущественно связанным с органической составляющей угля. Ассоциация Hg и As обусловлена их генетической связью с сульфидной минерализацией трещиноватых зон тектонической природы.

Ключевые слова: угольный пласт, мощность, зола, сера, токсичные и потенциально токсичные элементы, карта изоконцентрат, карта региональной составляющей, уравнение регрессии.