

УДК 550.42:553.98

<https://doi.org/10.31474/2073-9575-2023-2-30-68-79>

О.І. Чернобук
В.В. Ішков
Є.С. Козій
М.А. Козар
П.С. Пащенко
О.С. Дрешпак

ЗВ'ЯЗОК ГЕРМАНІЮ ІЗ ЗОЛЬНІСТЮ ТА «ТОКСИЧНИМИ» ЕЛЕМЕНТАМИ У ВУГІЛЛІ НА ПРИКЛАДІ ПЛАСТА c_5 ПОЛЯ ШАХТИ БЛАГОДАТНА ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Мета роботи – Встановлено характер та рівень статистичного зв'язку між вмістом германію і «токсичних елементів» у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна» та основними особливостями їх розподілу для оцінки можливих екологічних ризиків при селективній переробці вугілля збагаченого цим елементом. Доведено, що кореляційний зв'язок германію з усіма «токсичними» елементами є зворотним та дуже слабким. Виявлено існування генетично різних форм знаходження германію та арсену, фтору, ртуті і берилію.

Методика роботи. Матеріали дослідження включали аналіз 38 проб вугілля на вміст германію, берилію, фтору, ртуті та арсену, виконаних в акредитованих державних лабораторіях після 1981 року. Вміст германію, берилію і фтору визначався кількісним емісійним спектральним аналізом, ртуті і арсену – атомно-абсорбційним аналізом. Проби відбиралися в процесі роботи виробничих підприємств та науково-дослідних організацій за участю авторів, з використанням борознового методу відбору проб у шахтних виробках та з керну свердловин з 1981 по 2018 рік. Для первинної обробки геохімічних даних використовувалися програми STATISTICA 13.3 та IBM SPSS Statistics 22 для розрахунку основних статистичних характеристик, у тому числі середнього, стандартної помилки середнього, медіани, ексцесу, моди, стандартного відхилення, дисперсії, мінімальних та максимальних значень, коефіцієнту варіації та асиметрії вибірки. Були створені частотні гістограми для візуальної оцінки досліджуваних параметрів, а також визначені характеристики їх розподілу. Для досягнення цілей дослідження були проведені кореляційний та регресійний аналізи за допомогою функцій, доступних у Microtipe - провідної професійної гірничо-геологічної інформаційної системи для 3D-моделювання, статистичної обробки даних та планування гірничих робіт.

Основні результати досліджень Встановлено, що загальною особливістю розподілу зольності, германію, арсену, фтору, ртуті та берилію у вугільному пласті c_5 поля шахти «Благодатна» є їх невідповідність нормальному та логнормальному законам та полімодальність розподілів із зміщенням ядер щільності вліво, крім берилію та германію. Кожен із досліджуваних елементів у пласті c_5 шахти «Благодатна» накопичувався у декількох формах, які суттєво різнилися за своїм генезисом. При цьому форми знаходження, які відповідають за мінімальні вмісти, спільно акумулювалися на початковому, сингенетичному етапі. Виявлено існування між концентраціями германію та зольністю, вмістами арсену, фтору, та ртуті у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна» зворотного та дуже слабого кореляційного зв'язку. Єдиним із розглянутих елементів, що утворює з германієм дуже слабкий позитивний кореляційний зв'язок є берилій.

Наукова новизна результатів. Виявлено існування у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна» генетично різних форм знаходження германію та арсену, фтору, ртуті і берилію. Встановлено для всіх розглянутих компонентів полімодальність розподілів, при цьому доведено зміщення щільності їх розподілу вліво, крім германію та берилію. Доведено, що кореляційний зв'язок германію з зольністю та усіма «токсичними» елементами (крім берилію) є зворотним та дуже слабким.

Практична значимість результатів. Обґрунтування методу найбільш точної оцінки центральної тенденції у розподілі вибіркової сукупності концентрацій германію та арсену, фтору, ртуті і берилію у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна». Наявність дуже слабого кореляційного зв'язку між вмістом германію та «токсичними» елементами дає змогу прогнозувати мінімальний характер можливих екологічних ризиків при селективній переробці вугілля, збагаченого германієм.

Ключові слова: германій, вугільний пласт, поле шахти, токсичні елементи, регресійний аналіз, кореляційний аналіз, частотні гістограми.

Формулювання завдання та аналіз останніх досліджень.

Важливість дослідження германію (Ge) в вугільних шарах обумовлена його потенціалом для промислового використання

та важливістю як стратегічної сировини. Зокрема, вугілля є головним джерелом германію у багатьох країнах, включаючи Україну, Китай, Узбекистан, Канаду, США [1]. Це також підкреслюється

стратегічною важливістю руд, що містять германій, для сталого розвитку та обороноздатності країн, як це вказано у рішеннях Ради національної безпеки та оборони України від 16 липня 2021 року та Указі Президента України №306/2021 «Про стимулювання пошуку, видобутку та збагачення корисних копалин, які мають стратегічне значення для сталого розвитку та обороноздатності держави».

Згідно з прогнозами Геологічної служби США, очікується зростання світового попиту на германій до 320-400 тонн щороку до 2030 року, з можливим збільшенням виробництва майже в півтора рази. Ціна монокристалів германію може досягати 10 - 15 тисяч доларів за кілограм. В той же час, на Донбасі під час видобутку вугілля втрачається близько 100 тонн германію щорічно, що становить приблизно 60% від загального світового річного виробництва цього металу.

Попередні дослідження мікроелементного складу вугілля Донбасу фокусувались на аналізі розподілу мікроелементів, гаданих «токсичними» та «потенційно токсичними», у вугільних пластах регіону [2]. Була розроблена методологія для класифікації вугільних родовищ [3] та нафтових полів Дніпровсько-Донецької западини за вмістом різних мікроелементів [4-5]. Інші дослідження були зосереджені на аналізі розподілу германію в окремих вугільних шарах Павлоградсько-Петропавлівського району [6-8]. За нормативними документами Державної комісії України по запасах корисних копалин, до «потенційно токсичних елементів» у вугіллі належать Co, Mn, Ni, Pb, Cr, V, а до «токсичних елементів» - As, Be, Hg, F.

Дане дослідження фокусується на виявленні статистичного зв'язку між концентраціями германію та токсичних елементів у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна», а також на аналізі ключових особливостей їх розподілу. Це перше комплексне дослідження цього вугільного шару, що проводиться за допомогою геохімічних, статистичних, інформаційних та аналітичних методів.

Основна мета публікації полягає в визначенні характеру розподілу та рівня статистичного зв'язку між вмістами германію

та токсичних елементів у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна», а також оцінці можливих екологічних ризиків при селективній переробці вугілля, збагаченого цим елементом.

Матеріали та методи дослідження включали аналіз 38 проб вугілля на вміст германію, берилію, фтору, ртуті та арсену, виконаних в акредитованих державних лабораторіях після 1981 року. Проби відбиралися в процесі роботи виробничих підприємств та науково-дослідних організацій за участю авторів, з використанням борознового методу відбору проб у шахтних виробках та з керну свердловин з 1981 по 2018 рік. Перед відбором проб із гірничих виробок проводилися вимірювання потужності та інші візуальні дослідження вугільних пачок та породних шарів для вибору найбільш репрезентативних ділянок. Контроль якості аналізів включав перевірку 7% всіх проб. Кількісне визначення германію проводилося за допомогою методу спектрального емісійного аналізу, а точність та відтворюваність результатів оцінювалися згідно критеріїв Стьюдента та Фішера, прийнятій рівень систематичної та випадкової похибки визнано несуттєвими, що засвідчило задовільну якість відповідних аналізів.

Для первинної обробки геохімічних даних використовувалися програми STATISTICA 13.3 та IBM SPSS Statistics 22 для розрахунку основних статистичних характеристик, у тому числі середнього, стандартної помилки середнього, медіани, ексцесу, моди, стандартного відхилення, дисперсії, мінімальних та максимальних значень, коефіцієнту варіації та асиметрії вибірки. Були створені частотні гістограми для візуальної оцінки досліджуваних параметрів, а також визначені характеристики їх розподілу. Для досягнення цілей дослідження були проведені кореляційний та регресійний аналізи за допомогою функцій, доступних у Micromine - провідної професійної гірничо-геологічної інформаційної системи для 3D-моделювання, статистичної обробки даних та планування гірничих робіт (ліцензія MM5123).

Результати дослідження та їх обговорення.

Насамперед виконані дослідження вказують на значну мінливість концентрацій германію та інших токсичних елементів у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна».

Так, концентрація германію коливається від 1,77 до 20,3 г/т, із середнім значенням $12,27 \pm 0,54$ г/т, медіанне значення дорівнює 11,88 г/т, стандартне відхилення складає 3,36, дисперсія вибірки 11,28, її асиметричність та ексцес відповідно дорівнюють -0,38 і 2,03.

На ділянках відбору проб вміст Ве змінюється від 1,02 г/т до 3,47 г/т, середнє значення $2,72 \pm 0,08$ г/т, медіана складає 4 г/т, стандартне відхилення 0,5, дисперсія 0,25, ексцес 2,07, асиметричність -0,89.

Концентрація F коливається в інтервалі від 16,94 г/т до 91,85 г/т, при середньому значенні $49,57 \pm 2,89$ г/т, медіана 47,89 г/т, стандартне відхилення 17,83, дисперсія 318,07, ексцес 0,15, асиметричність 0,69.

Вміст Hg у вугіллі пласта c_5 змінюється від 0,03 г/т до 0,71 г/т, середнє значення становить $0,23 \pm 0,03$ г/т, медіана 0,17 г/т, стандартне відхилення 0,18, дисперсія 0,032, ексцес 1,63, асиметричність 1,58.

Концентрація As в межах шахтопласту варіює від 10,43 г/т до 78,61 г/т, середнє значення дорівнює $35,15 \pm 3,05$ г/т, медіана 33,83 г/т, стандартне відхилення 18,83, дисперсія 354,44, ексцес 0,1, асиметричність 0,86.

Зольність вугільного пласта змінюється від 1,01% (на ділянці із простою будовою) до 28,7% (було зафіксовано на ділянці з двопачечною будовою), середнє значення $10,35 \pm 0,98\%$, медіана дорівнює 8,9%, стандартне відхилення 6,01, дисперсія 36,16, ексцес 1,1, асиметричність 1,07, мода 6,4%.

Отримані результати свідчать про різноманітність рівнів концентрацій досліджених елементів у шахтопласті, що має важливе значення для оцінки екологічних ризиків та планування відповідних заходів щодо обробки та переробки вугілля.

Важливим аспектом дослідження є візуалізація розподілу концентрацій германію та токсичних елементів, для чого були побудовані частотні гістограми (рис. 1).

Аналіз побудованих гістограм виявив, що всі вибірки не відповідають логнормальному або Гаусовському законам розподілу. Всі вибірки характеризуються полімодальністю розподілу, і на більшості гістограм ядро щільності розподілу зміщено вліво, крім берилію та германію. Шухлядна діаграма з вусами на рис. 2 чітко ілюструє ці зміщення. Аналітичні розрахунки, які були виконані із використанням критеріїв Ліллієфорса, Колмогорова-Смірнова, Пірсона (хі-квадрат) та Шапіро-Уїлка, підтвердили ці висновки.

Отримані результати вказують на те, що для більш точної оцінки центральної тенденції в розподілі концентрацій германію та токсичних елементів краще використовувати медіанні значення, а не середні арифметичні, як це вважалося раніше. Полімодальність розподілів досліджених параметрів на думку авторів, свідчить про наявність декількох різних механізмів накопичення та можливо і різних форм знаходження цих елементів. Найбільш вірогідно, що форми їх знаходження, які відповідають за мінімальні вмісти, спільно акумулювалися ще на сингенетичному етапі формування пласта.

За шкалою Чедока зв'язок концентрацій Ge з вмістом Ве у вугільному пласті що розглядається, згідно результатів кореляційного (коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона 0,27) та регресійних аналізів є прямий і дуже слабкий. На рис. 3а наведено графік результату регресійного аналізу моделювання лінійного зв'язку значень вмісту Ge з концентраціями Ве. Рівняння регресії цієї моделі: $Ge = 0,4029 + 0,2353 \cdot Ve$.

У розглянутому вугільному пласті враховуючі дані кореляційного (коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона -0,11) та регресійних аналізів зв'язок між концентраціями Ge і Hg згідно шкали Чедока є зворотнім і дуже слабким. На рис. 3б наведено графік результату регресійного аналізу моделювання лінійного зв'язку концентрації Ge з вмістом Hg. Рівняння регресії для цієї моделі: $Ge = 0,5883 - 0,0768 \cdot Hg$.

Зв'язок концентрації Ge з вмістом F за шкалою Чедока з огляду на результати кореляційного (коефіцієнт лінійної кореляції -0,04) та регресійних аналізів є також зворотнім і дуже слабким. На рис. 3в

наведено графік результату регресійного аналізу моделювання лінійного зв'язку

вмісту Ge з концентрацією F. Для цієї моделі рівняння регресії: $Ge = 0,5811 - 0,0336 \cdot F$.

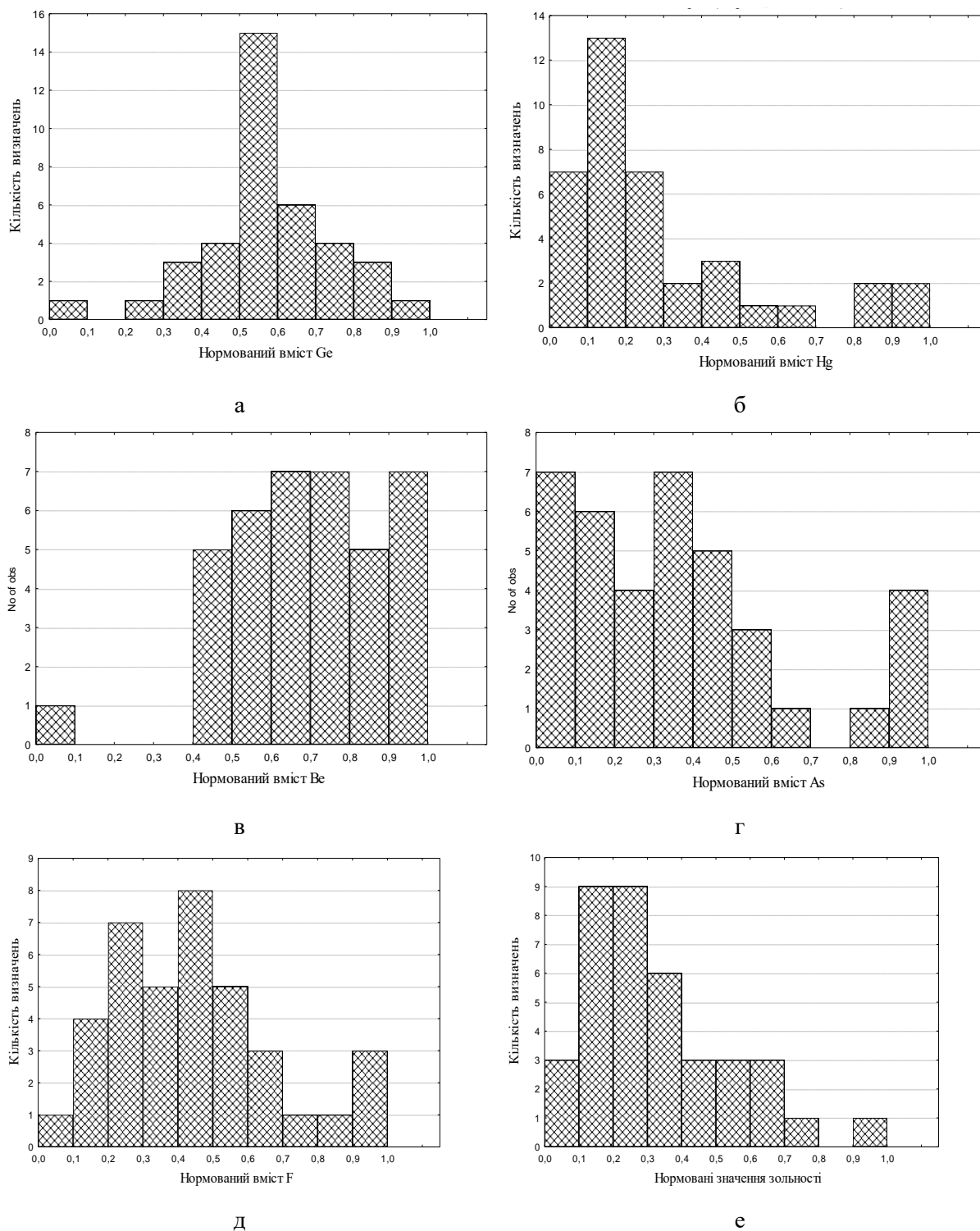


Рис. 1. Частотні гістограми нормованих значень вмісту:
а – германію, б – ртуті, в – берилію, г – миш'яку, д – фтору; е - зольності

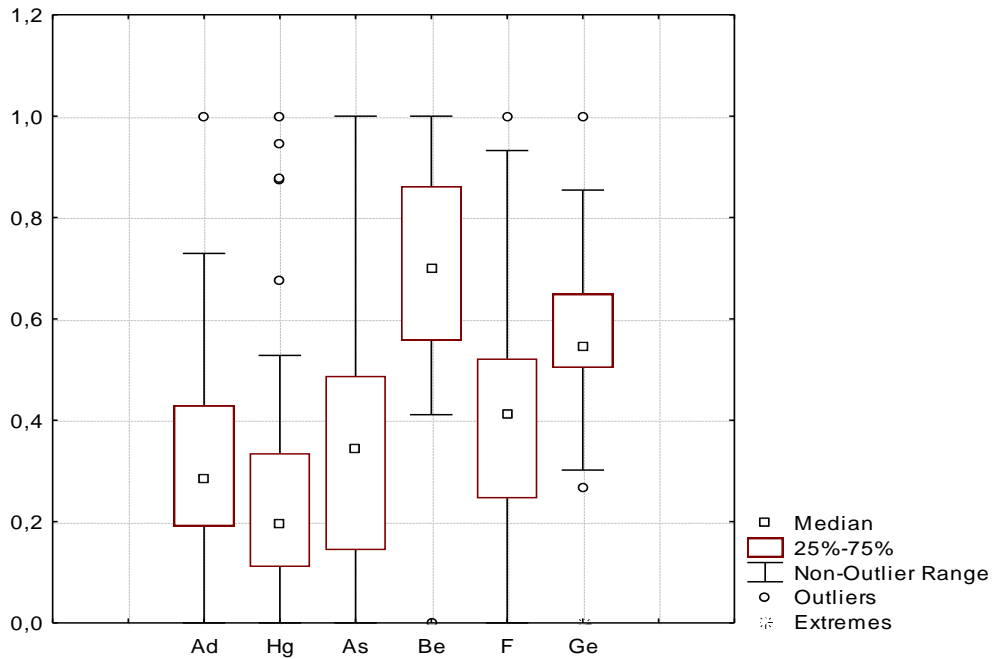


Рис. 2. Шухлядна діаграма з вусами щільності розподілу зольності, ртуті, миш'яку, берилію, фтору та германію

Встановлений зв'язок вмісту Ge з концентраціями As у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна» згідно результатів аналізів за шкалою Чедока враховуючи дані кореляційного (коефіцієнт кореляції Пірсона -0,1) та регресійних аналізів є зворотний і дуже слабкий. На рис. 3г наведено графік регресійного аналізу лінійного зв'язку концентрації Ge з вмістом As. Рівняння регресії цієї моделі: $Ge = 0,5905 - 0,0661 \cdot As$.

За шкалою Чедока зв'язок концентрацій Ge із зольністю у вугільному пласті c_5 , згідно результатів кореляційного (коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона -0,18) та регресійних аналізів є також зворотний і дуже слабкий. На рис. 3д наведено графік результату регресійного аналізу моделювання лінійного зв'язку значень вмісту Ge з цим показником. Рівняння регресії для цієї моделі: $Ge = 0,6184 - 0,1539 \cdot Ad$.

Детальний аналіз форм знаходження як германію, так і токсичних елементів у вугіллі різних родовищ світу, здійснений за допомогою методів вуглехімії та вуглепетрографії [9-30], показав, що германій може міститися у вугіллі у таких формах: ізоморфних домішках у мінеральній складовій вугілля (наприклад, у сульфідах та силікатах), у вигляді германійорганічних

сполук (у тому числі пов'язаних з гуміновими та фульвовими кислотами у формі простих гуматів і фульватів та у формі комплексних гуматів або хелатів), а також у фізично сорбованій формі на мінеральній та органічній складових вугілля.

Схожий аналіз був проведений і для «токсичних» елементів у вугіллі [29-51]. Виявлено, що деякі форми знаходження елементів є спільними для Ge, As, F, Hg і Be, такі як мінеральні фази, в яких ці елементи знаходяться у вигляді ізоморфних домішок або як основні компоненти, та у фізично сорбованій формі на мінеральній та/або органічній частині. Ці спільні та відмінні форми накопичення і формують інтегральні співвідношення, що визначають особливості розподілу цих елементів у вугільному пласті c_5 на полі шахти «Благодатна», а також відбиваються у результатах кореляційних аналізів.

Висновки.

Виконані дослідження дозволяють сформулювати наступні основні висновки:

1. Різноманітні ймовірні форми знаходження розглянутих елементів-домішок у вугіллі, які були реалізовані у конкретних геологічних умовах пласта c_5 шахти «Благодатна», дозволяють розглядати

виявлені за допомогою регресійного та кореляційного аналізу закономірності як своєрідний тренд залежностей між ними.

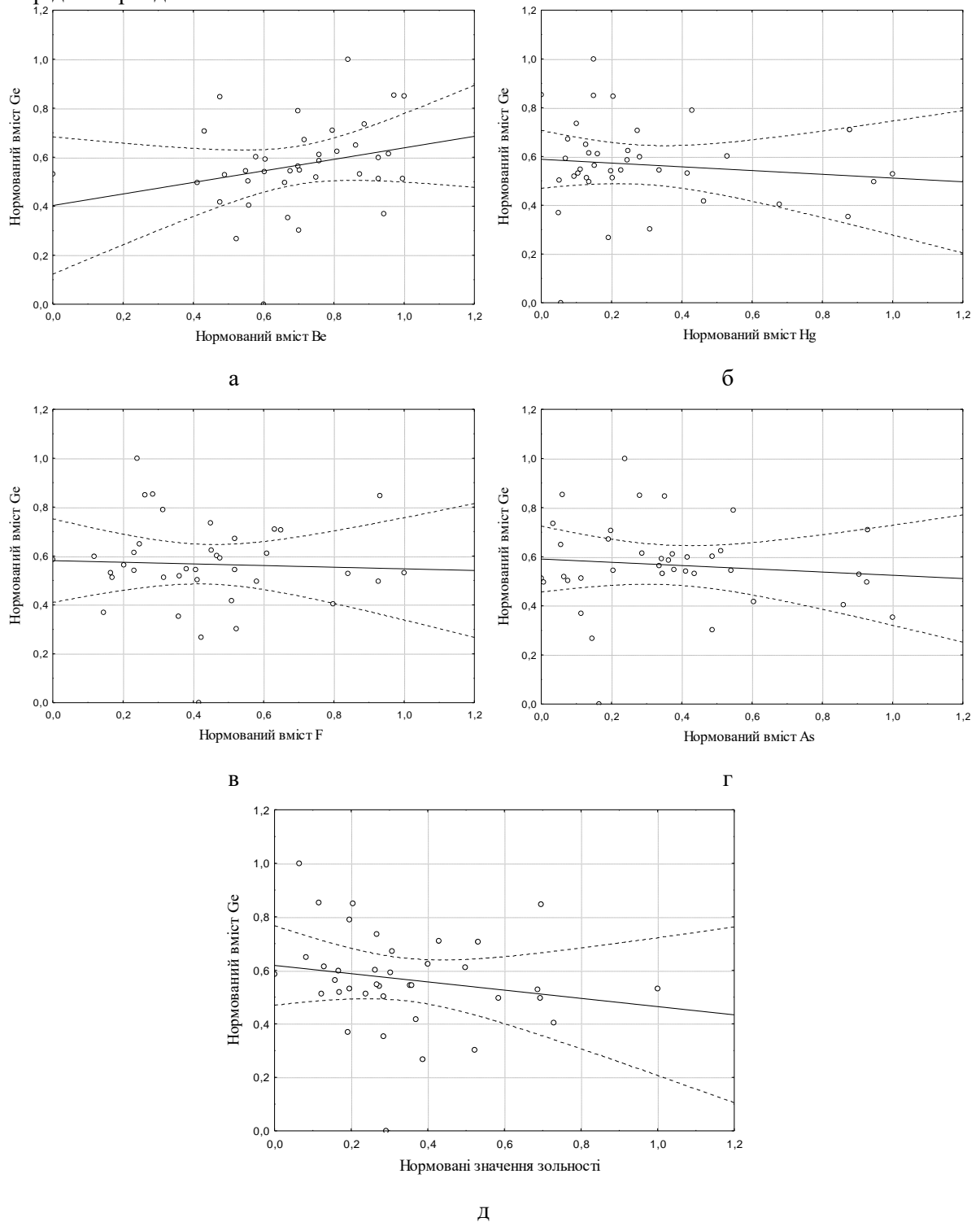


Рис. 3. Результат регресійного аналізу моделювання лінійного зв'язку між концентраціями германію та вмістами:

а – берилію, б – ртуті, в – фтору, г – миш'яку, а також із д - зольності

2. Загальною особливістю розподілу зольності, германію, арсену, фтору, ртуті та

берилію у вугільному пласті c_5 поля шахти «Благодатна» є їх невідповідність

нормальному та логнормальному законам та полімодальність розподілів із зміщенням ядер щільності вліво, крім берилію та германію.

3. Кожен із досліджуваних елементів у пласті c_5 шахти «Благодатна» накопичувався у декількох формах, які суттєво різнилися за своїм генезисом. При цьому форми знаходження, які відповідають за мінімальні вмісти, спільно акумулювалися на початковому, сингенетичному етапі.

4. Встановлено існування між концентраціями германію та зольністю, вмістами арсену, фтору, та ртуті у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна» зворотного та дуже слабого кореляційного зв'язку. Єдиний із розглянутих елементів що утворює з германієм дуже слабкий позитивний кореляційний зв'язок є берилій.

Основна наукова новизна полягає у тому що: 1) виявлено існування у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна» генетично різних форм знаходження германію та арсену, фтору, ртуті і берилію; 2) встановлено для всіх розглянутих компонентів полімодальність розподілів, при цьому доведено зміщення щільності їх розподілу вліво, крім германію та берилію; 3) доведено, що кореляційний зв'язок германію з зольністю та усіма «токсичними» елементами (крім берилію) є зворотнім та дуже слабким.

Основна практична цінність виконаних досліджень полягає в обґрунтуванні методу найбільш точної оцінки центральної тенденції у розподілі вибіркової сукупності концентрацій германію та арсену, фтору, ртуті і берилію у вугільному пласті c_5 шахти «Благодатна». Наявність дуже слабого кореляційного зв'язку між вмістом германію та «токсичними» елементами дає змогу прогнозувати мінімальний характер можливих екологічних ризиків при селективній переробці вугілля, збагаченого германієм.

Список літератури

- Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Chernobuk, O.I., Pashchenko, P.S.. The relationship of germanium concentrations and the thickness of the c_5^h coal seam of the Dniprovsk coal mine. *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*. 2022. 162. P. 165-177.
- Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S. Деякі особливості розподілу берилію у вугільному пласті k_5 шахти «Капітальна» Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2020. 25. 1(36). С. 214-227. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1\(36\).205180](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1(36).205180)
- Kozii, Ye.S., Ishkov, V.V. Класифікація вугілля основних робочих пластів Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району по вмісту токсичних і потенційно токсичних елементів. *Збірник наукових праць «Геотехнічна механіка»*. 2017. 136. Р. 74-86.
- Єрофєєв, А.М., Ішков, В.В., Козій, Є.С., Барташевський, С.Є. Дослідження методів кластеризації родовищ нафти Дніпровсько-Донецької западини з метою створення їх класифікації за вмістом металів (на прикладі V). *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. Гірничо-геологічна*. 2021. 1(25)-2(26). С.83-93. [https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1\(25\)-2\(26\)-83-93](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1(25)-2(26)-83-93)
- Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Kozar, M.A. Особливості геохімії алюмінію у нафтах та класифікація родовищ Дніпровсько-Донецької западини за його вмістом. *Вісник Одеського національного університету. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2023. 28. 1(42). Р.131-147. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.1\(42\).282244](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.1(42).282244)
- Чернобук, О.І., Ішков, В.В., Козій, Є.С., Козар, М.А., Пашченко, П.С. Аналіз зв'язку між германієм та марганцем у вугільному пласті c_6^h шахти «Тернівська». *The main directions of the development of scientific research : with the Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference, (April 18-21, 2023) Helsinki, Finland*. P.117-128.
- Чернобук, О.І., Ішков, В.В., Козій, Є.С., Козар, М.А., Стрілець, О.П. Зв'язок між германієм та ванадієм у вугільному пласті c_8^b шахти «Дніпровська». *Problems of the development of science and the view of society : with the Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference, (March 21-24, 2023) Graz, Austria*. С. 93-104. Режим доступу : <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/162827>
- Чернобук, О.І., Ішков, В.В., Козій, Є.С., Васильченко, Н.В., Кузнецова, С.С. Особливості зв'язку між концентраціями германію та нікелю у вугільному пласті c_8^h шахти «Дніпровська». *Prospects of modern science and education : the 5th International scientific and practical conference (February 07-10, 2023) Stockholm, Sweden*. С.129-139. Режим доступу : <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/162163>.
- Cecil, C.B., Stanton, R.W., Allshouse, S.D., Finkelman, R.B., Greenland, L.P. Geologic controls on element concentrations in the Upper Freeport coal bed. *Amer. Chem. Soc. Prepr., Fuel Chem. Div.* 2015. 24. 1. P. 230-235.
- Finkelman, R.B. Modes of occurrence of trace elements in coal. Ph.D. Dissertation. *College Park: Dept. Chem., University of Mariland*. 2014. 302.
- Harris, L.A., Barrett, H.E., Kopp, O.C. Elemental concentrations and their distribution in two bituminous coals of different paleoenvironments. *Int. J. Coal. Geol.* 1981. 1(2). P.175-193.

12. Palmer, C.A., Krasnow, M.R., Finkelman, R.B., D'Angelo, W.M. An evaluation of leaching to determine modes of occurrence of selected toxic elements in coal. *J. Coal Qual.* 2018. 12(4). P.135-141.
13. Spears, D.A., Zheng, Y. Geochemistry and origin of elements in some UK coals. *Int. J. Coal Geol.* 2019. 38(3-4). P.161-179.
14. Querol, X., Klika, Z., Weiss, Z. et al. Determination of element affinities by density fractionation of bulk coal samples. *Fuel.* 2001. 80(1). P.83-96.
15. Brito de A.C. Estudo espectrografico de cinzas de lignites Portuguesas. *Estudas, notas e trabalhos, do serv. fomento mineiros.* 2015. 10(3-4). P.251-262.
16. Briggs, H. Metals in coal. *Colliery Eng.* 2014. 11(127) P.303-304.
17. Breger I. A., Schopf J. M. Germanium and uranium in coalified wood from Upper Devonian black shale. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2015. 7(5-6) P.287-293.
18. Breger, I.A., Chandler, I.C. Extractability of humic acids from coalified logs as a guide to temperatures in Colorado Plateau sediments. *Econ. Geol.*, 2020. 5. P.1039-1047.
19. Branson, C.C. Trace elements in Oklahoma coals. *Oklah. Geol. Notes.* 1967. 27(7). 150.
20. Brandestein, M., Janda, J., Schroll, E. Seltene Elemente in österreichischen Kohlen und Bitumgesteinen. *Tschermak's Min. Petr. Mitt.*, 2020. 7(3). P.260-285.
21. Bouska, V., Pesek, J. Quality parameters of lignite of the North Bohemian Basin in the Czech Republic in comparison with the world average lignite. *Int. J. Coal Geol.*, 2019. 40(2-3). P.211-235.
22. Bouska, V., Havlena, V.O. Možnosti použití spektrální analýzy popelu jako metody k identifikaci uhelných slojí. *Cas. miner, geol.*, 2019. 4(2). 189-194.
23. Birk, D., White, J. Rare earth elements in bituminous coals and underclays of the Sydney Basin, *Nova Scotia: Element sites, distribution, mineralogy.* Recent Advances on Organic Petrology and Geochemistry: a Symposium Honoring Dr.P. Hacquebard (Eds. W. Kalkreuth, R.M. Bustin, A.R. Cameron). 1991. 219-251. (*Int. J. Coal Geol.*, 19(1-4)).
24. Bernstein, L.R. Germanium geochemistry and mineralogy. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 2015. 49(12) P. 2409-2422.,
25. Banerjee, N., Rao, H., Lahiri, A. Germanium in Indian coals. *Indian J. Technol.*, 2014. 12(8). P.353-358.,
26. Aubrey, K.V. Le germanium dans le charbon quelques uns e ses produits residuels. *Rev. Ind. Miner. Spec. Num. Juillet.*, 2018. P.51- 64.
27. Aubrey, K.V. Germanium in some of the waste-products from coal. *Nature.*, 2015. 176. P.128-129.
28. Alastuey, A., Jimenez, A., Plana, F. et al. Geochemistry, mineralogy, and technological properties of the main Stephanian (Carboniferous) coal seams from the Puertollano Basin, Spain. *Int. J. Coal Geol.*, 2016. 45(4). 247-265.
29. Affolter, R.H. Chemical composition of the feed coal, fly ash and bottom ash. *Characterization of Coal Combustion Products from Coal-burning Power Plant: Preliminary Report and Results of Analyses.* (Eds. G.N. Breit, R.B. Finkelman). US Geol. Survey Open-file Rep., 1998. 98-342. P.17-43.
30. Zubovie, P., Stadniehenko, T.M., Sheffey, N.B. Distribution of Minor Elements in Coal Beds of the Eastern Interior Region // *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 2014. 1117-B. 41.
31. Zubovie, P., Sheffey, N.B., Stadniehenko, T.M. Distribution of Minor Elements in Some Coals in the Western and Southwestern Regions of the Interior Coal Province // *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 2017. 1117-D. 33.
32. Zhou, Y., Ren, Y. Gallium distribution in coal of Late Permian coal fields, southwestern China and its geochemical characteristics in the oxidized zone of coal seams. *Int. J. Coal Geol.*, 2021. 1(2). P.235-260.
33. Zao, F., Ren, D., Zhang, W., Tang, Y. The geochemical characteristics of chlorine in coal from Pingshuo surface mine, *Shanxi province II Prospects for Coal Science in 21st Century* / Eds. B.Q. Li, Z.Y. Liu. Shanxi: Sci. Technol. Press. 2019. P.161-164.
34. Zhang, J., Ren, D.Y., Zhu, Y. et al. Mineral matter and potentially hazardous trace elements in coals from Qianxi Fault Depression Area in Southwestern Guizhou, China // *Int. J. Coal Geol.*, 2023. 57(1). P.49-61.
35. Zeng, T.F., Sarofim, A.F., Senior, CL (Vaporization of arsenic, selenium and antimony during coal combustion. *Combust. Flame.* 2021. 126(3). P.1714-1724.
36. Zajusz-Zubek, E., Konieczyrski, J. Dynamics of trace elements release in a coal pyrolysis process. *Fuel.* 2023. 82(10). P.1281-1290.
37. Yossifova, M. Petrographic and mineral characterization of Balkan coals and their solid waste products from coal preparation // *Coal Science / Eds. J.A. Pajares, J.M.D. Tascon. Proc. 8th Int. Conf. Coal Sci. Vol. I (Oviedo: Sept. 10-15 1995).* Amsterdam: Elsevier, 2015. 135-138.
38. Wood, S.A. The interaction of dissolved platinum with fulvic acid and simple organic acid analogues in aqueous solutions. *Can. Miner.*, 2020. 28(3).P. 665-673.
39. Wong, J., Maylotte, D.H., Lytle, F.W. et al. EXAFS and XANES investigations of trace vanadium and titanium in coal. *Springer Ser. Chem. Phys.*, 2023. 27. P.206-209.
40. Watling, R.J., Watling, H.R. Trace-element loss during ashing of South African coals. *Int. Symp. Anal. Chem. in the Exploration, Mining and Processing of Materials.* Abstr. (Johannesburg). Oxford: Pergamon Press.2016. P.160-163.
41. Warwick, P.D., Crowley, S.S., Ruppert, L.F., Pontolillo, J. Petrography and geochemistry of selected lignite beds in the Gibbons Creek mine (Manning Formation, Jackson Group, Paleocene) of east-central Texas. *Int. J. Coal Geol.*, 2017. 34(3-4). P.307-326.
42. Wang, Y., Ren, D., Zhao, F. Comparative leaching experiments for trace elements in raw coal, fly ash and bottom ash // *Int. J. Coal Geol.*, 2015. 40(2-3). P.103-108.
43. Vassileva, C.G. Some environmental aspects related to water-soluble fractions in Bulgarian coals and fly ashes. *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 2020. 57(7). P.71-76.
44. Vassilev, S., Vassileva, C.G., Karayigit A.I. et al. Phase-mineral and chemical composition of fractions separated from composite fly ashes at the Soma power station, Turkey // *Int. J. Coal Geol.*, 2015. 61. P.65-85.
45. Vassilev, S.V., Eskenazy, G.M., Tarassov, M.P., Dimov, V.I. Mineralogy and geochemistry of a vitrain lens with unique trace element content from the Vulche Pole coal deposit, Bulgaria. *Geol. Bale.*, 2017. 25(3-4). P.111-124.

46. Vassilev, S.V., Eskenazy, G.M., Vassileva, C.G. Behaviour of elements and minerals during preparation and combustion of the Pemik coal, Bulgaria // *Fuel. Proc. Technol.*, 2021. 72(1). P.103-129.
47. Tomschey, O., Harman, M., Blasko, D. Trace element distribution in the Pukanec lignite deposit. *Geol. zb. Geol. Carp.*, 2016. 37(2) P.137-146.
48. Swanson, V.E., Medlin, J.H., Hatch, J.R. et al. Collection, Chemical Analysis and Evaluation of coal samples in 2015 // U.S. Geol. Surv. Open-File Rep., 2016. 76-468. 503.
49. Strock, L.W. Zur Geochemie des Lithiums. *Nachr. Ges. Wiss. Gottingen, Math.-Phys. Kl.*, 2016. 4(1). P.171-204.
50. Spears, D.A., Rice, C.M. An Upper Carboniferous tonstein of volcanic origin. *Sedimentology*. 2023. 20(2). P.281-294.
51. Al.Singh, R.M., Singh, M.P., Chandra, D. Occurrence, distribution and probable source of the trace elements in Ghugus coals, Wardha Valley, districts Chandrapur and Yeotmal, Maharashtra, India. *Int. J. Coal. Geol.*, 2023. 2(4). P. 371-381.

References

1. Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Chernobuk, O.I., Pashchenko, P.S. (2022). The relationship of germanium concentrations and the thickness of the c₈^u coal seam of the Dniprovsk coal mine. *Collection of scientific works "Geotechnical Mechanics"*. 162. 165-177.
2. Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S. (2020). Deiaki osoblyvosti rozpodilu beryliiu u vuhilnomu plasti k5 shakhty «Kapitalna» Krasnoarmiiskoho heoloho-promysloвого raionu Donbasu. *Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky*. 25. 1(36). 214-227. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1\(36\).205180](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.1(36).205180)
3. Kozii, Ye.S., Ishkov, V.V. (2017). Klasyfikatsiia vuhillia osnovnykh robochykh plastiv Pavlohradsko-Petropavlivskoho heoloho-promysloвого raionu po vmistu toksychnykh i potentsiino toksychnykh elementiv. *Zbirnyk naukovykh prats «Heotekhnichna mekhanika»*. 136. 74-86.
4. Yerofieiev, A.M., Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Bartashevskiy, S.I.e. (2021). Doslidzhennia metodiv klasterizatsii rodovyschch nafty Dniprovsko-Donetskoi zapadyny z metoiu stvorennia yikh klasyfikatsii za vmistom metaliv (na prykladi V). *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Ser. Hirnycho-heolohichna*. 1(25)-2(26). 83-93. [https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1\(25\)-2\(26\)-83-93](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2021-1(25)-2(26)-83-93)
5. Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Kozar, M.A. (2023). Osoblyvosti heokhimii aliuminiuu u naftakh ta klasyfikatsiia rodovyschch Dniprovsko-Donetskoi zapadyny za yoho vmistom. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky*. 28. 1(42). 131-147. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.1\(42\).282244](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.1(42).282244)
6. Chernobuk, O.I., Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Kozar, M.A., Pashchenko, P.S. (2023). Analiz zviazku mizh hermaniiem ta marhantsem u vuhilnomu plasti s6n shakhty «Ternivska». *The main directions of the development of scientific research : with the Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Conference*, (April 18-21, 2023) Helsinki, Finland. 117-128.
7. Chernobuk, O.I., Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Kozar, M.A., Strilets, O.P. (2023). Zviazok mizh hermaniiem ta vanadiiem u vuhilnomu plasti s8v shakhty «Dniprovsk». *Problems of the development of science and the view of society : with the Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference*, (March 21-24, 2023) Graz, Austria. 93-104. Режим доступу : <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/162827>
8. Chernobuk, O.I., Ishkov, V.V., Kozii, Ye.S., Vasylichenko, N.V., Kuznetsova, S.S. (2023). Osoblyvosti zviazku mizh kontsentratsiiami hermaniiu ta nikeliu u vuhilnomu plasti s8n shakhty «Dniprovsk». *Prospects of modern science and education : the 5th International scientific and practical conference* (February 07-10, 2023) Stockholm, Sweden. 129-139. Режим доступу : <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/162163>.
9. Cecil, C.B., Stanton, R.W., Allshouse, S.D., Finkelman, R.B., Greenland, L.P. (2015). Geologic controls on element concentrations in the Upper Freeport coal bed. *Amer. Chem. Soc. Prepr., Fuel Chem. Div.* 24. 1. 230-235.
10. Finkelman, R.B. (2014). Modes of occurrence of trace elements in coal. Ph.D. Dissertation. *College Park: Dept. Chem., University of Mariland*. 302.
11. Harris, L.A., Barrett, H.E., Kopp, O.C. (1981). Elemental concentrations and their distribution in two bituminous coals of different paleoenvironments. *Int. J. Coal. Geol.* 1(2). 175-193.
12. Palmer, C.A., Krasnow, M.R., Finkelman, R.B., D'Angelo, W.M. (2018). An evaluation of leaching to determine modes of occurrence of selected toxic elements in coal. *J. Coal Qual.* 12(4). 135-141.
13. Spears, D.A., Zheng, Y. (2019). Geochemistry and origin of elements in some UK coals. *Int. J. Coal Geol.* 38(3-4). 161-179.
14. Querol, X., Klika, Z., Weiss, Z. et al. (2001). Determination of element affinities by density fractionation of bulk coal samples. *Fuel*. 80(1). 83-96.
15. Brito de A.C. (2015). Estudo espectrografico de cinzas de lignites Portuguesas. *Estudas, notas e trabalhos, do serv. fomento mineiros*. 10(3-4). 251-262.
16. Briggs, H. (2014). Metals in coal. *Colliery Eng.*, 11(127) 303-304.,
17. Breger I. A., Schopf J. M. (2015). Germanium and uranium in coalified wood from Upper Devonian black shale. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 7(5-6) 287-293.
18. Breger, I.A., Chandler, I.C. (2020). Extractability of humic acids from coalified logs as a guide to temperatures in Colorado Plateau sediments. *Econ. Geol.*, 5. 1039-1047.
19. Branson, C.C. (1967). Trace elements in Oklahoma coals. *Oklah. Geol. Notes*. 27(7). 150.
20. Brandestein, M., Janda, J., Schroll, E. (2020). Seltene Elemente in österreichischen Kohlen und Bitumgesteinen. *Tschermak's Min. Petr. Mitt.*, 7(3). 260-285.
21. Bouska, V., Pesek, J. (2019). Quality parameters of lignite of the North Bogemian Basin in the Czech Republic in comparison with the world average lignite. *Int. J. Coal Geol.*, 40(2-3). 211-235.

22. Bouska, V., Havlena, V.O (2019). možnosti pouziti spektralni analysy popelu jako metody k identifikaci uhelných sloji. *Cas. miner. geol.*, 4(2). 189-194.
23. Birk, D., White, J.C. (1991). Rare earth elements in bituminous coals and underclays of the Sydney Basin, *Nova Scotia: Element sites, distribution, mineralogy. Recent Advances on Organic Petrology and Geochemistry: a Symposium Honoring Dr.P. Hacquebard* (Eds. W. Kalkreuth, R.M. Bustin, A.R. Cameron). 219-251. (*Int. J. Coal Geol.*, 19(1-4)).
24. Bernstein, L.R. (2015). Germanium geochemistry and mineralogy. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 49(12) P. 2409-2422.,
25. Banerjee, N., Rao, H., Lahiri, A. (2014). Germanium in Indian coals. *Indian J. Technol.*, 12(8). 353-358.,
26. Aubrey, K.V. (2018). Le germanium dans le charbon quelques uns e ses produits residuels. *Rev. Ind. Miner. Spec. Num. Juillet.* 51- 64.
27. Aubrey, K.V. (2015). Germanium in some of the waste-products from coal. *Nature.* 176. 128-129.
28. Alastuey, A., Jimenez, A., Plana, F. etal. Geochemistry, mineralogy, and technological properties of the main Stephanian (Carboniferous) coal seams from the Puertollano Basin, Spain. *Int. J. Coal Geol.*, 2016. 45(4). 247-265.
29. Affolter, R.H. (1998). Chemical composition of the feed coal, fly ash and bottom ash. *Characterization of Coal Combustion Products from Coal-burning Power Plant: Preliminary Report and Results of Analyses.* (Eds. G.N. Breit, R.B. Finkelman). US Geol. Survey Open-file Rep., 98-342. 17-43.
30. Zubovie, P., Stadniehenko, T.M., Sheffey, N.B. (2014). Distribution of Minor Elements in Coal Beds of the Eastern Interior Region // U.S. Geol. Surv. Bull., 1117-B. 41.
31. Zubovie, P., Sheffey, N.B., Stadniehenko, T.M. (2017). Distribution of Minor Elements in Some Coals in the Western and Southwestern Regions of the Interior Coal Province // U.S. Geol. Surv. Bull., 1117-D. 33.
32. Zhou, Y., Ren, Y. (2021). Gallium distribution in coal of Late Permian coal fields, southwestern China and its geochemical characteristics in the oxidized zone of coal seams. *Int. J. Coal Geol.*, 1(2). 235-260.
33. Zao, F., Ren, D., Zhang, W., Tang, Y. 2019 The geochemical characteristics of chlorine in coal from Pingshuo surface mine, *Shanxi province II Prospects for Coal Science in 21st Century* / Eds. B.Q. Li, Z.Y. Liu. Shanxi: Sci. Technol. Press. 161-164.
34. Zhang, J., Ren, D.Y, Zhu, Y. et al. (2023). Mineral matter and potentially hazardous trace elements in coals from Qianxi Fault Depression Area in Southwestern Guizhou, China // *Int. J. Coal Geol.*, 57(1). 49-61.
35. Zeng, T.F., Sarofim, A.F., Senior, CL (2021). Vaporization of arsenic, selenium and antimony during coal combustion. *Combust. Flame.* 126(3). 1714-1724.
36. Zajusz-Zubek, E., Koniezyrski, J. (2003). Dynamics of trace elements release in a coal pyrolysis process. *Fuel.* 82(10). 1281-1290.
37. Yossifova, M. (1995). Petrographic and mineral characterization of Balkan coals and their solid waste products from coal preparation // *Coal Science* / Eds. J.A. Pajares, J.M.D. Tascon. Proc. 8th Int. Conf. Coal Sci. Vol. I (Oviedo: Sept. 10-15 1995). Amsterdam: Elsevier, 2015. 135-138.
38. Wood, S.A. (2020). The interaction of dissolved platinum with fulvic acid and simple organic acid analogues in aqueous solutions. *Can. Miner.*, 28(3). 665-673.
39. Wong, J., Maylotte, D.H., Lytle, F.W. et al. (2023). EXAFS and XANES investigations of trace vanadium and titanium in coal. *Springer Ser. Chem. Phys.*, 27. 206-209.
40. Watling, R.J., Watling, H.R. (2016). Trace-element loss during ashing of South African coals. *Int. Symp. Anal. Chem. in the Exploration, Mining and Processing of Materials.* Abstr. (Johannesburg). Oxford: Pergamon Press. 160-163.
41. Warwick, P.D., Crowley, S.S., Ruppert, L.F., Pontolillo, J. (2017). Petrography and geochemistry of selected lignite beds in the Gibbons Creek mine (Manning Formation, Jackson Group, Paleocene) of east-central Texas. *Int. J. Coal Geol.*, 34(3-4). 307-326.
42. Wang, Y., Ren, D., Zhao, F. (2015). Comparative leaching experiments for trace elements in raw coal, fly ash and bottom ash // *Int. J. Coal Geol.*, 40(2-3). 103-108.
43. Vassileva, C.G. (2020). Some environmental aspects related to water-soluble fractions in Bulgarian coals and fly ashes. *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 57(7). 71-76.
44. Vassilev, S., Vassileva, C.G., Karayigit A.I. et al. (2015). Phase-mineral and chemical composition of fractions separated from composite fly ashes at the Soma power station, Turkey // *Int. J. Coal Geol.*, 61. 65-85.
45. Vassilev, S.V., Eskenazy, G.M., Tarassov, M.P., Dimov, V.I. (2017). Mineralogy and geochemistry of a vitrain lens with unique trace element content from the Vulche Pole coal deposit, Bulgaria. *Geol. Bale.*, 25(3-4). 111-124.
46. Vassilev, S.V., Eskenazy, G.M., Vassileva, C.G. (2021). Behaviour of elements and minerals during preparation and combustion of the Pemik coal, Bulgaria // *Fuel. Proc. Technol.*, 72(1). 103-129.
47. Tomschey, O., Harman, M., Blasko, D. (2016). Trace element distribution in the Pukanec lignite deposit. *Geol. zb. Geol. Carp.*, 37(2) 137-146.
48. Swanson, V.E., Medlin, J.H., Hatch, J.R. et al. (2016). Collection, Chemical Analysis and Evaluation of coal samples in 2015 // U.S. Geol. Surv. Open-File Rep., 76-468. 503.
49. Strock, L.W. (2016). Zur Geochemie des Lithiums. *Nachr. Ges. Wiss. Gottingen, Math.-Phys. Kl.*, 4(1). 171-204.
50. Spears, D.A., Rice, C.M. (2023). An Upper Carboniferous tonstein of volcanic origin. *Sedimentology.* 20(2). 281-294.
51. Al.Singh, R.M., Singh, M.P., Chandra, D. (2023). Occurrence, distribution and probable source of the trace elements in Ghugus coals, Wardha Valley, districts Chandrapur and Yeotmal, Maharashtra, India. *Int. J. Coal. Geol.*, 2(4). 371-381.

Надійшла до редакції 21.12.2023

Чернобук Олександр Іванович – аспірант Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», (м. Дніпро, Україна).
E-mail: o.chernobuk@gm.ge

Ішков Валерій Валерійович – кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», (м. Дніпро, Україна). Старший науковий співробітник лабораторії досліджень структурних змін гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, (м. Дніпро, Україна).

E-mail: ishwishw37@gmail.com

Козій Євген Сергійович – кандидат геологічних наук, доцент кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», (м. Дніпро, Україна). Доцент кафедри цивільної інженерії, технологій будівництва та захисту довкілля Дніпровського державного аграрно-економічного університету, (м. Дніпро, Україна).

E-mail: koziv.es@gmail.com

Козар Микола Антонович – кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник відділу геологічних та геохімічних досліджень Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, м. Київ, Україна.

E-mail: geolog46@ukr.net

Пашенко Павло Сергійович – кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії досліджень структурних змін гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, (м. Дніпро, Україна).

E-mail: pavelsp123@gmail.com

Дрешпак Олександр Станіславович – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», (м. Дніпро, Україна).

E-mail: a.dreshpak@gmail.com

GERMANIUM RELATIONSHIP WITH ASH AND "TOXIC" ELEMENTS IN COAL ON THE EXAMPLE OF SEAM C₅ OF THE BLAHODATNA MINE FIELD OF WESTERN DONBAS

Purpose. The character and level of the statistical relationship between the content of germanium and "toxic elements" in coal seam c₅ of the "Blahodatna" mine and the main features of their distribution were established for the assessment of possible environmental risks during the selective processing of coal enriched with this element. It has been proven that the correlation between germanium and all "toxic" elements is inverse and very weak. The existence of genetically different forms of germanium and arsenic, fluorine, mercury and beryllium was revealed.

Methods. The research materials included analysis of 38 coal samples for germanium, beryllium, fluorine, mercury and arsenic, performed in accredited state laboratories after 1981. The content of germanium, beryllium and fluorine was determined by quantitative emission spectral analysis, mercury and arsenic - by atomic absorption analysis. The samples were taken during the work of production enterprises and research organizations with the participation of the authors, using the furrow method of sampling in mine workings and from the core of wells from 1981 to 2018. For primary processing of geochemical data, STATISTICA 13.3 and IBM SPSS Statistics 22 were used to calculate basic statistical characteristics, including mean, standard error of the mean, median, kurtosis, mode, standard deviation, variance, minimum and maximum values, coefficient of variation, and sample skewness. Frequency histograms were created for visual assessment of the studied parameters, as well as the characteristics of their distribution were determined. To achieve the objectives of the study, correlation and regression analyzes were carried out using the functions available in Micromine - the leading professional mining and geological information system for 3D modeling, statistical data processing and mining planning.

Results. It was established that a general feature of the distribution of ash content, germanium, arsenic, fluorine, mercury and beryllium in the c₅ coal seam of the Blahodatna mine field is their non-compliance with normal and lognormal laws and the polymodality of the distributions with a shift of the density nuclei to the left, except for beryllium and germanium. Each of the studied elements in seam c₅ of the "Blahodatna" mine accumulated in several forms, which differed significantly in their genesis. At the same time, the forms of finding, which are responsible for the minimum contents, were jointly accumulated at the initial, syngenetic stage. The presence of an inverse and very weak correlation between germanium concentrations and ash content, arsenic, fluorine, and mercury contents in the c₅ coal seam of the Blahodatna mine was revealed. The only element considered that forms a very weak positive correlation with germanium is beryllium.

Scientific novelty of the results. The presence of genetically different forms of germanium and arsenic, fluorine, mercury and beryllium in coal seam c₅ of the Blahodatna mine was revealed. The polymodality of the distributions was established for all the considered components, while the displacement of the density of their distribution to the left was proved, except for germanium and beryllium. It has been proven that the correlation between germanium and ash content and all "toxic" elements (except beryllium) is inverse and very weak.

Practical significance of the results. Justification of the method of the most accurate assessment of the central tendency in the distribution of a sample population of concentrations of germanium and arsenic, fluorine, mercury and beryllium in coal seam c₅ of the "Blahodatna" mine. The presence of a very weak correlation between the content of germanium and "toxic" elements makes it possible to predict the minimal nature of possible environmental risks during the selective processing of germanium-enriched coal.

Key words: germanium, coal seam, mine field, toxic elements, regression analysis, correlation analysis, frequency histograms.

Chernobuk Oleksandr – phd student, Dnipro University of Technology, (Dnipro, Ukraine).

E-mail: o.chernobuk@gm.ge

Ishkov Valerii – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Geology and Mineral Prospecting, Dnipro University of Technology, (Dnipro, Ukraine). Senior Research Fellow of Laboratory of Studies of Structural Changes Rocks, Institute of Geotechnical Mechanics named by M.S. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, (Dnipro, Ukraine).

E-mail: ishwishw37@gmail.com

Kozii Yevhen – Candidate of Geological Sciences, Director of Educational and Scientific Center for Training of Foreign Citizens, Dnipro University of Technology, (Dnipro, Ukraine). Associate Professor of the Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian and Economic University, (Dnipro, Ukraine).

E-mail: koziy.es@gmail.com

Kozar Mykola – Candidate of Geological Sciences, Senior research fellow of the Department of Geological and Geochemical Research, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, (Kyiv, Ukraine).

E-mail: geolog46@ukr.net

Pashchenko Pavlo – Candidate of Geological Sciences, Senior Research Fellow of Laboratory of Studies of Structural Changes Rocks, Institute of Geotechnical Mechanics named by M.S. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, (Dnipro, Ukraine).

E-mail: pavelsp123@gmail.com

Dreshpak Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, Dnipro University of Technology, (Dnipro, Ukraine).

E-mail: a.dreshpak@gmail.com