

УДК 550.4 + 553.94 (477)

<https://doi.org/10.30836/gbhgd.2024.19>

**РІДКІСНІ ТА РОЗСІЯНІ ЕЛЕМЕНТИ БУРОГО ВУГІЛЛЯ  
ДНІПРОБАСУ ЯК ВІДДЗЕРКАЛЕННЯ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ТА  
ГЕОХІМІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОРІД УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА  
(НА ПРИКЛАДІ ВЕРХНЬОДНІПРОВСЬКОГО РОДОВИЩА)**

***Іванова А.В., Зайцева Л.Б., Гаврильцев В.Б.***

Інститут геологічних наук НАН України, м. Київ, [ariadna.v.ivanova@gmail.com](mailto:ariadna.v.ivanova@gmail.com)

**RARE AND TRACE ELEMENTS OF BROWN COAL IN THE DNIPROBAS  
AS A REFLECTION OF THE MINERAL COMPOSITION AND  
GEOCHEMICAL FEATURES OF THE ROCKS OF THE UKRAINIAN  
SHIELD (EXAMPLE OF THE VERCHNIODNIPROVSKE DEPOSIT)**

***Ivanova A.V., Zaitseva L.B., Gavryltsev V.B.***

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, [ariadna.v.ivanova@gmail.com](mailto:ariadna.v.ivanova@gmail.com)

The geochemical features of the coal from the Verchniodniprovske deposit of the Dniprobass, situated within the Dnipro megablock of the Ukrainian Shield, were investigated. It is demonstrated that the crystalline rocks of the Ukrainian Shield are the source of rare and trace elements in coal. The methods of migration of elements into the peatland and the possible forms of fixation of elements in the organic matter of coal are demonstrated. For the first time, microcomponents of coal, which are associated with certain rare and trace elements, were discovered.

**Вступ.** Вивчення рідкісних та розсіяних елементів у вугіллі, які розглядаються як супутні корисні копалини і використовуються майже в усіх областях науки і техніки, має вагомим наукове та прикладне значення.

Метою цього дослідження було виявлення шляхів (способів) надходження елементів до торфовищ із областей зносу, форми їх накопичення, визначення ролі вугілля як концентратора рідкісних і розсіяних елементів.

Було досліджено 150 петрографічних шліфів у прохідному поляризованому світлі, використані результати 146 визначень хіміко-технологічних показників якості вугілля, 144 визначення хімічного складу золи та спектрального аналізу. Застосовувались вуглепетрографічні, геохімічні, хімічні та статистичні методи дослідження.

**Об'єкт дослідження.** Вивчалися геохімічні особливості вугілля Верхньодніпровського родовища Дніпровського буровугільного басейну, яке розташоване в межах Українського щита (УЩ) (рис. 1).

При мікроскопічному дослідженні у вугіллі встановлено групи мікрокомпонентів: лігнітиту, гумініту, інертиніту та ліптиніту. В межах груп мікрокомпоненти поділяються залежно від походного рослинного матеріалу та ступеня збереженості ботанічної структури. До групи лігнітиту належать компоненти вуглефікованої деревини. Група гумініту представлена провідними (ксилініт), покривними (фелініт), листовими (паренхіт) тканинами різного ступеня збереженості, склеротинітом та безструктурним доплеринітом. Група інертиніту включає малочисельний семіфюзиніт. До групи ліптиніту належать покривні тканини, просочені суберином (субериніт), включення смоли (резиніт), тканина, що облямовує листові пластинки (кутиніт), мікроекзиніт та

безструктурний мікрокомпонент бітуміно-десміт (розкладена ліпоїдна речовина). Мінеральні компоненти представлені кварцем, глинистим матеріалом частіше каолінітового складу, мусковітом, біотитом, глауконітом, піритом. Рідше трапляються мінерали з груп польових шпатів, амфіболів та піроксенів. Значно поширені акцесорні мінерали: турмалін, циркон, рутил, гранат, магнетит, ільменіт, ставроліт і ін.

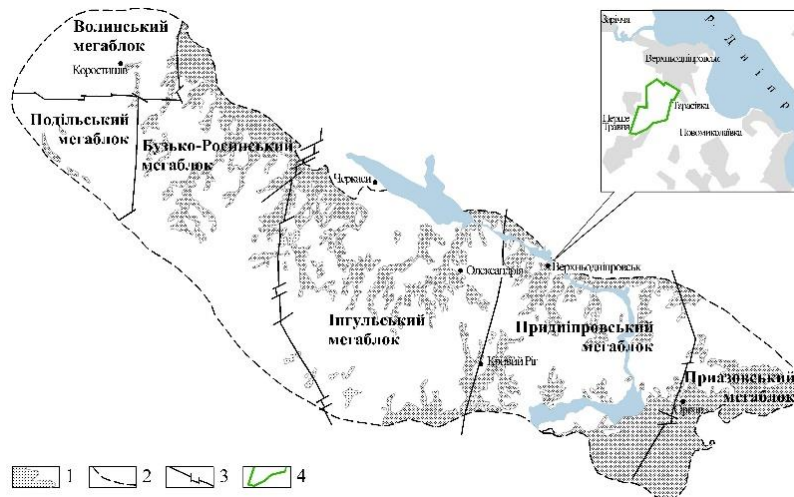


Рисунок 1 – Дніпровський буровугільний басейн [1, 2]. 1 – вугленосні відклади буцацької світи, 2 – границі Дніпробасу, 3 – глибинні розломи, 4 – контури Верхньодніпровського родовища.

Основним джерелом надходження рідкісних та розсіяних елементів в торфовища слугували породи кристалічного фундаменту Придніпровського гранітно-зеленокам'яного катастабільного мегаблоку УЩ [1]. За металогенічним районуванням родовище належить до Середньопридніпровської субпровінції з широким розвитком зеленокам'яних порід, металогенічна специфіка якої визначається наявністю рудопроявів Ni, Co, Cu, Cr, Mo, Au [3]. За геохімічним районуванням родовище знаходиться в межах Придніпровської слабо диференційованої халькофільно-сидерофільної геохімічної області, для якої характерні численні локальні концентрації Cu, Ni, Co, Mo, Mn, Sc, V [4]. За даними ландшафтно-геохімічного районування території УЩ [5], родовище розташоване в межах Степового району (Інгуло-Інгулецького степового підрайону), де у гумусових горизонтах автономних геохімічних ландшафтів прямого зв'язку з породами кристалічного фундаменту найбільш стійкі вторинні ореоли розсіювання утворюють Mn, Ni, Ti, V, Cr, Zr, Cu, Pb, Zn, Y, Sr, менш стійкі – Co, Be, Sn, Ga, La, Ba.

Подібний спектр елементів виявлений у вугіллі Верхньодніпровського родовища: Mn, Ni, Ti, V, Cr, Mo, Zr, Cu, Pb, Ga, Ge, Be, Sc, Y, Yb, La.

Ступінь концентрації елементів, їх якісний склад та особливості розподілу обумовлювались властивостями атомів елементів, фізико-хімічними умовами середовища їх накопичення, фаціальними умовами формування торфовищ.

Оцінка палеосередовища торфоутворення за мікрокомпонентним складом вугілля методом С.Ф.К. Дісселя [6, 7] свідчить, що торфонакопичення відбувалося в зоні озерно-болотної прибережної низинної рівнини в умовах

високого обводнення та ерозійно-тектонічних палеодолин при помітному впливі морської обстановки, рідше в заростаючих озерах [8]. Про хімічний вплив на торфовище морських вод вказує співвідношення  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$  (коефіцієнт Х. Вернера [9]), яке дорівнює у середньому 5,6.

**Результати та їх обговорення.** На кореляційній матриці даних зольності ( $A^c$ ), хімічного складу золи та спектрального аналізу були виділені геохімічні асоціації рідкісних та розсіяних елементів Yb-Y-Be (на рівні коефіцієнтів кореляції  $r = 0,79$  і більших, рис. 2) та Ti-Zr-Sc-V-Cr (на рівні  $r = 0,48$  і більших, рис. 3). Решта елементів не складає стійких асоціацій (сполучень).

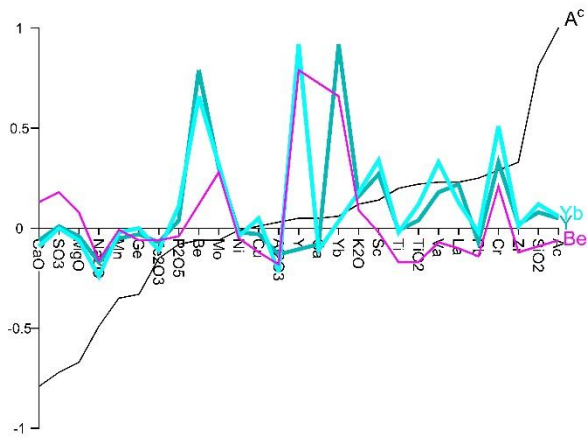


Рисунок 2 – Кореляційні профілі елементів асоціації Yb-Y-Be.

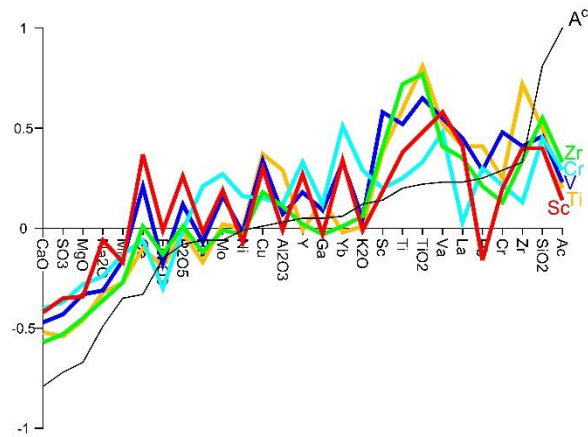


Рисунок 3 – Кореляційні профілі елементів асоціації Ti-Zr-Sc-V-Cr.

Елементи геохімічної асоціації Yb-Y-Be мають близькі до нуля кореляційні зв'язки з силікатами та зольністю, досить значущі позитивні – з гуміновими кислотами (Be, Y) та мікрокомпонентами вугілля з групи гумініту (паренхітом, паренхіто-атритом, фелінітом) (Yb, Y, Be) та ліптиніту (кутинітом, екзинітом, резинітом) (Be). Таким чином, ці елементи мають вуглефільні властивості. Мігруючи в розчинах вони сорбувалися органічною речовиною (ОР) вугілля або знаходяться у формі елементоорганічних сполук (Y, Be) [10]. Крім того, вони можуть знаходитися як елементи-домішки в мінералах теригенного походження (породоутворюючих – польових шпатах, слюдах, акцесорних – турмаліні, ільменіті), надходячи в торфовище з підземними та поверхневими водами у вигляді зависей, тверда фаза яких вивільнювалась в наслідок ерозії кристалічних порід та кори вивітрювання кислого складу. Перебування цих елементів в межах однієї асоціації напевне пояснюється спільністю джерела їх надходження.

Елементи, що входять до геохімічної асоціації Ti-Zr-Sc-V-Cr, мають високі кореляційні зв'язки з зольністю та оксидом кремнію, високі обернені зв'язки з оксидами кальцію, магнію та сірки ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ). Це свідчить про зв'язок цих елементів з теригенним матеріалом основного (Ti, V, Cr) та кислого (Zr, Sc) складу, що накопичувався на стадії торф'яника. Наявність у вугіллі породоутворюючих та акцесорних мінералів-носіїв елементів даної асоціації в якості домішку (амфіболи, піроксени, слюди, гранат, ставроліт), акцесорних мінералів як головних компонентів-носіїв Ti та Zr (рутил, ільменіт, циркон) підтверджують цей висновок. Позитивні кореляційні зв'язки цих елементів з

бітумом та деякими мікрокомпонентами вугілля групи гумініту (Zr), фюзиніту (Ti) та лігнітиту (Sc) свідчать про можливість їх знаходження у вугіллі в сорбованій формі або в комплексах з ОР. Ці елементи об'єднує в асоціацію напевно синхронність їх накопичення.

Елементи Pb, Ga, Cu мають позитивні кореляційні зв'язки з зольністю, оксидом кремнію та оксидом алюмінію, від'ємні – з карбонатами, що свідчить про їх надходження в якості елементів-домішків з теригенними породами кислого складу – алюмосилікатами, силікатами та оксидами (турмалін, ставроліт, ільменіт, глинисті мінерали). Їх позитивний кореляційний зв'язок з деякими мікрокомпонентами вугілля з групи гумініту (Pb, Ga) та ліптиніту (Cu) вказує на можливість їх знаходження в ОР в сорбційній формі.

Ge має досить значну від'ємну залежність від зольності, високий позитивний кореляційний зв'язок (0,73) зі смолистою речовиною вугілля й помітну позитивну залежність від вмісту компонентів груп гумініту (склеротиніту, ксилініту, фелініту) та лігнітиту, що напевно підтверджує переважний зв'язок Ge з ОР вугілля в формі фізично сорбованого на ОР та, можливо, у вигляді комплексних гуматів типу хелатів) [11].

Mo характерний відсутністю залежності від зольності, позитивним зв'язком з оксидом калію, помітним зв'язком з мікрокомпонентом групи гумініту (паренхітом). Це вказує на можливість його входження в якості домішки в польових шпатах, слюдах, а також в сорбційній формі в ОР вугілля.

La має позитивний зв'язок з зольністю та кремнеземом, від'ємний – з карбонатами, що свідчить про його надходження з теригенним матеріалом. В якості домішки може бути присутній в силікатах (ставроліт), оксидах (ільменіт). Позитивний кореляційний зв'язок з бітумом і деякими мікрокомпонентами групи гумініту (ксилинит, паренхит) свідчить про можливість знаходження в ОР в сорбційній формі.

Mn має від'ємні кореляційні зв'язки з силікатами та зольністю та позитивні з CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, що дозволяє припустити його присутність у вигляді домішки в карбонатах та в сульфідах заліза. Позитивно корелюється з гуміновими кислотами, мабуть за рахунок сорбції.

Ni не корелює з зольністю та золоутворюючими компонентами, крім оксиду K<sub>2</sub>O. Може знаходитись в немінеральній сорбованій формі в глинистих мінералах, слюдах, а також як ізоморфний домішок в деяких акцесорних мінералах (ставроліт, ільменіт). Позитивно корелює з мікрокомпонентом вугілля групи ліптиніту – бітумініто-десмітом, напевне може сорбуватися ним або знаходитися в формі гуматів.

**Висновки.** З'ясовано, що джерелом надходження у вугілля рідкісних та розсіяних елементів є кристалічні породи УЩ.

Розглянуті елементи знаходяться у вугіллі в вигляді різної форми зв'язку в породоутворюючих і акцесорних мінералах, а також у ОР вугілля в формі тонкорозсіяних (сорбованих) включень та органомінеральних сполучень.

Такі елементи як Ti, Zr, Sc, V, Cr, Pb, Ga, Cu, Mo, La, Mn, Ni в основному пов'язані з теригенним матеріалом, що не виключає їх присутності в ОР вугілля в основному в сорбційній формі.

Найбільш вуглефільними є елементи Yb, Y, Be, Ge, що знаходяться в ОР вугілля переважно в сорбційній та органічно-пов'язаній формах.

Вперше представлений аналіз кореляційних зв'язків розглянутих елементів з конкретними мікрокомпонентами ОР вугілля.

Висока кореляція Ge з вмістом смоли бензолного екстракту дозволяє припустити можливість отримання германію у технологічному процесі виділення з вугілля бітуму.

### Література

1. Кирилук В.П., Шевченко О.М. Визначальні структурні елементи фундаменту Українського щита (з досвіду складання оглядових карт геологічного змісту) // Мінеральні ресурси України, 2023. № 4. С. 27-37.
2. Радзивилл А.Я., Гуридов С.А., Самарин М.А. и др. Днепровский бурогольный бассейн. Киев: Наукова думка, 1987. 328 с.
3. Бочай Л.В., Покидько В.Е., Кулиш Е.А., Колосовская В.А. Карта редкометального оруденения Украинского щита. Масштаб 1: 1 500 000. Объяснительная записка. Киев: Геоинформ, 1999. 100 с.
4. Галецкий Л.С. Горлицкий Б.А., Купнис Л.А. и др. Геология и металлогения докембрия Украинского щита. Комплект карт масштаба 1:1000000. Объяснительная записка. Киев: Мингео УССР, 1984. 243 с.
5. Міцкевич Б.Ф. Геохімічні ландшафти Українського щита. Київ: Наукова думка, 1971. 175 с.
6. Diessel C.F.K. The correlation between coal facies and depositional environments // Advances in the Study of the Sydney Basin. Proc. 20th Symp. Newcastle: Univ. of Newcastle, 1986. P. 19-22.
7. Diessel C.F.K. Coal-Bearing Depositional Systems. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 721 p.
8. Ivanova A.V., Zaitseva L.B., Gavril'tsev V.B. Reconstruction of Sediment and Peat Accumulation Conditions Based on the Petrographic Composition of Coal in the Verkhnedneprovsk Deposit, Dnieper Brown Coal Basin // Lithology and Mineral Resources, 2021. Vol. 56, № 6. P. 535-547. DOI: 10.1134/S0024490221050023.
9. Werner H. Über den Nachweis mariner Beeinflussung von Torf und Kohle // Geol. Jahrb., 1954. Bd. 69. S. 287-292.
10. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Неорганическое вещество углей. Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2015. 423 с.
11. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Германий в углях. Сыктывкар: УрО РАН, 2004. 204 с.