

СЕДИМЕНТАЦІЙНИЙ ТА ПОСТСЕДИМЕНТАЦІЙНИЙ ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ МІНЕРАЛЬНО-ЕЛЕМЕНТНИХ АСОЦІАЦІЙ У ВУГЛЕПОРОДНИХ МАСИВАХ ДОНБАСУ

Наталія Вергельська

*Державна установа «Науковий центр гірничої геології,
геоекології та розвитку інфраструктури
Національної академії наук України»,
бульв. Академіка Вернадського, 34-б, Київ, Україна, 03142
e-mail: vnata09@meta.ua*

Седиментаційний і постседиментаційний чинники формування вугленосних формацій відіграли провідну роль у накопиченні та збагаченні їх окремими хімічними елементами. Останнім часом велику увагу приділяють можливостям розроблення вугільних покладів як комплексних родовищ. Вугілля, окрім органічних речовин, завжди містить, як домішки, неорганічні компоненти. Дослідження мінерально-елементних асоціацій важливе для визначення процесів, які сприяли формуванню вуглепородних масивів, і змін, які відбулися в постформаційний період.

У зазначених вуглепромислових районах відібрані зразки за мінеральними новоутвореннями несуть сліди високотемпературного впливу, які виражаються у формі доломітизації вапняків, в інтенсивному озалізненні (утворення оксидів та сульфідів заліза), у перекристалізації карбонатів раковин і фосилізації уламків рослинних решток. Магмотермальні процеси, які розпочалися під час утворення морфоstruktur і формування умов торфонакопичення, активізувалися в післякарбонівих гідротермальних проявах у товщі вуглепородного середньокарбонівового масиву, які проявилися у вигляді значних мінеральних новоутворень, найвиразніше представлених сульфідним зруденінням. Інтенсивне сульфідне зруденіння простежується у зразках, шліфах і аншліфах із виразним заміщенням органічних залишків піритом. Процеси інтенсивного зруденіння, що виражені у зміні складу пісковиків дислокованої підшви вугільних пластів, являють собою більш пізні в геологічному часі події, які суттєво відстають від тектонічних і тектоно-магматичних перетворень земної поверхні під басейнами торфонакопичення середнього карбону.

Мінерально-літологічний чинник, зумовлений проявами деяких парагенетичних мінеральних асоціацій, дозволяє проводити кореляцію вугільних пластів за ступенем вуглефікації та виявляти маркувальні горизонти. Сучасний перерозподіл хімічних елементів у вуглепородному масиві представлено переважно карбонатами та сульфатами, які фіксуються як новоутворення в закритих виробках.

Ключові слова: вуглепородні масиви, неорганічні компоненти, седиментаційний процес, постседиментаційний процес, Донбас.

Останнім часом велику увагу приділяють можливостям розроблення вугільних покладів як комплексних родовищ. Вугілля, окрім чисто органічних речовин, завжди містить, як домішки, неорганічні компоненти. За походженням неорганічні компоненти у вугіллі поділяються на три групи: а) неорганічні речовини похідного матеріалу (рослин); б) неорганічно-органічні комплекси та мінерали, утворені на першій стадії (торфоутворення) або привнесені водою та вітром у вугільні родовища під час їх формування; в) мінерали, які відклалися на другій стадії процесу, після консолідації вугілля, завдяки

руху висхідних або низхідних розчинів тріщинами, розривами, пустотами або завдяки перетворенню первинних мінералів.

Значний доробок належить ученим різних країн, серед них Е. Штах і М.В. Червінська, П.В. Зарицький, Є.С. Козій, В.В. Ішков, П.П. Тимофіїв і Л.І. Боголюбова, Р. Техмюмер, Б. Феррарі, О.О. Клевцов, С.М. Бушак і багато інших. За тривалий проміжок часу значних змін набули методи та технології досліджень, що дало змогу розширити знання про природу та походження мінерально-елементних асоціацій у вуглепородних масивах Донбасу.

Мета статті – дослідити макроскопічні та мікроскопічні неорганічні вclusions та мінерально-елементні асоціації для визначення процесів, які сприяли формуванню вуглепородних масивів, і змін, які відбулися в постформаційний період.

Матеріали та методи досліджень. В основу праці покладено матеріали, отримані за результатами досліджень зразків, відібраних під час польових робіт 2004–2022 рр. у Дніпровському буровугільному басейні, торфовищах Українського щита (Ірдинь-2), Дніпровсько-Донецької западини (Галка, Удай) та Донбасу (Красноармійський, Павлоградський, Довжано-Ровеньківський і Донецько-Макіївський вуглепромислові райони). У період польових робіт проведено дослідження мінеральних включень у вугільних пластах і вмшуючих породах, а у вуглепетрографічних дослідженнях визначено мінеральні вclusions у вугільних шліфах. За результатами кількісного спектрального аналізу проведено порівняння значень вмісту хімічних неорганічних елементів (елементів-домішок) у різних типах вугільних формацій. Спектральний аналіз понад 100 зразків проведений у 2005–2022 рр. у лабораторії Інституту геохімії та рудоутворення НАН України та лабораторії «Донецькгеологія» (м. Артемівськ) та в комплексній лабораторії ДП «Укрнаукагеоцентр» (м. Полтава).

Виклад матеріалу досліджень. *Аналіз попередніх досліджень.* Макроскопічні дослідження мінеральних включень у вугільних пластах висвітлені у працях О.О. Клевцова, які він виконав під керівництвом П.В. Зарицького. О.О. Клевцов [10] провів дослідження виявлених валунів і гальки у складі вугільних пластів середнього карбону Донбасу (C_2^3 , C_2^4 , C_2^5 , C_2^7) у межах Центрального, Донецько-Макіївського, Чистяково-Сніжанського, Краснодарського, Шахтинсько-Несвітаєвського та Білокалитвинського вуглепромислових районів. Розмір досліджених зразків гальок коливається в межах 1–10 см, а валунів – 10–40 см, зрідка більші. З погляду мінералогії та петрографії майже 50% псефітів становлять метаморфічні породи, 30% – магматичні, лише приблизно 20% – осадові. Автор робить обережний висновок, що найімовірнішим шляхом переносу грубоуламкового матеріалу з областей зносу є палеоріки, у водах яких псефітовий матеріал фіксувався корінням дерев. Областями зносу він вважає Український щит, Приазовський масив, Ростовський виступ і зону стику Українського щита із Дніпровсько-Донецькою западиною та Донбасом, а також, імовірно, Воронежський масив.

Дослідження В.В. Ішкова та Є.С. Козія [7] про розповсюдження ртуті та хрому у вугіллі основних пластів Красноармійського геолого-промислового району Донбасу пов'язане з підвищенням вимог до охорони навколишнього середовища. У роботах В.В. Ішкова та Є.С. Козія [8; 9] також розглянуті закономірності розподілу токсичних і потенційно токсичних елементів у вугільних пластах Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. Авторами запропоновано науково обґрунтовані методи прогнозу концентрації токсичних і потенційно токсичних елементів у видобутій шахтами гірничій масі, відходах вуглевидобутку та вуглезбагачення.

С.М. Бушак [1] на основі дослідження вугілля нижнього карбону Західного Донбасу встановив генетичну взаємозалежність між величиною зольності та хімічним складом золи, що визначається мінеральним складом неорганічних компонентів вугілля.

С.М. Бушах дослідив тонштейни у вугільних пластах Західного Донбасу та зазначив, що вони є гарним корелятивним показником, що нерідко дозволяє успішно зіставляти досить віддалені один від одного розрізи вугільних пластів. Для цього, на його думку, можна використовувати не лише літолого-мінералогічні особливості каолінових прошарків, але і особливості їхнього хімічного складу (зокрема, алюмокремнієвий і титановий модулі) [3].

Також учений зазначає, що питання не лише якісного складу, але й кількісного вмісту неорганіки у вугіллі багато років ним досліджувалося на основі вугленосних відкладів Донецького (особливо Донецько-Макіївського геолого-промислового району), Львівсько-Волинського басейнів, насамперед Західного Донбасу, який у геологічному відношенні перебуває в межах Дніпровсько-Донецької западини [1–3]. Водночас, на думку С.М. Бушака, залишається багато темних плям стосовно генетичної еволюції неорганічних компонентів вугленосних товщ регіону [1].

Обговорення результатів дослідження. У вугільних пластах упродовж досліджень визначено макроскопічні та мікроскопічні неорганічні включення та мінерально-елементні асоціації, що частково визначають процеси торфонакопичення та формування вуглепородних масивів.

Неорганічні компоненти, що утворилися у вигляді зростків із вугіллям, розрізняються відносно просто. Однак часто буває надзвичайно важко віднести до однієї із вказаних груп елементи, виявлені хімічними аналізами, а також під час мікроскопічних досліджень, із застосуванням рентгеноскопії або інфрачервоної спектроскопії. Із цієї причини зазвичай не роблять різниці між рослинною «золою» та мікроелементами, хоча зовсім немає впевненості в тому, що останні завжди утворювалися під час розкладання рослинного матеріалу. Не виключено, що мікроелементи зобов'язані своїм походженням мінералам, утвореним протягом двох стадій процесу формування вуглепородного масиву. І навпаки, деякі рослини можуть містити кварц, який легко сплутати із зернами кварцу, занесеними у відклади водою або вітром під час першої стадії процесу формування. Інша складність у правильному диференціюванні первинної рослинної «золи» та вторинних мінералів полягає в тому, що у вугіллі можуть міститися субмікроскопічні кристалики мінералів вторинного походження, які непомітні під мікроскопом.

Макроскопічні утворення у вугільних пластах і вміщуючих породах. Зазвичай мінерали, які утворилися водночас із вугіллям або були привнесені у відклади, є дрібнозернистими і тісно зрослися з вугіллям. Зазвичай вони характеризуються постійністю поширення за латералю, що дозволяє з успіхом використовувати їх для ідентифікації та кореляції вугільних пластів. Ця особливість найкраще проявляється в так званого каолін-вуглистого тонштейну [3], деякою мірою в дуже дрібних скупченнях піриту та зернистого кварцу.

Натомість мінерали, які утворилися під час другої стадії процесу вуглефікації, не є ні дрібнозернистими, ні тісно пов'язаними з вугіллям, оскільки більшість із них відклалися у тріщинах і розривних тектонічних порушеннях. Іноді їх поширення можна було простежити на деяку відстань і то швидше у вертикальному напрямку, ніж у горизонтальному, а це свідчить про те, що вони не можуть використовуватися як маркувальні горизонти. Загалом постформаційні зміни (із привнесенням або за відсутності нового матеріалу) вуглепородних масивів і мінералів, які утворились під час першої стадії процесу торфонакопичення, не відобразились на тісному зрощенні цих мінералів із вугіллям і рідко приводили до збільшення розміру окремих зерен мінералу. Що підтверджено подальшими дослідженнями окремих груп мінералів.

Глинисті мінерали. Найбільш важливою групою мінералів у вугіллі є глинисті мінерали. У середньому вони становлять приблизно від 60 до 80% загальної кількості

мінеральних речовин, які асоціюють із вугіллям. Про генезис цих мінералів відомо поки що мало. Легко визначити неозброєним оком (чи під мікроскопом у шліфах) у вуглепородних масивах каолініт, ілліт і серицит (різновид слюди), імовірно, вони мають вторинне походження й утворилися з водних розчинів, або вони являють собою пластичний матеріал, принесений водою у вигляді вивітрилих уламків польового шпату і слюди з Українського щита.

Глинисті мінерали у вуглепородних масивах мають дві абсолютно різні форми. Вони представлені або у вигляді тонкодисперсних включень у вугіллі, або у вигляді каолін-вуглистого тонштейну. Зазвичай діаметр тонкодисперсних включень не перевищує декількох мікрон. Електронно-мікроскопічні дослідження дозволили виокремити тонкозернисті лусочки глинистого мінералу розміром до 100 А. Звідси видно, що дослідження за допомогою оптичного мікроскопа, як у відбитому, так і у проникаючому світлі, що виконуються не часто, можуть бути адекватні за точністю характеристик різних присутніх глинистих мінералів.

Глинисті мінерали, зокрема карбаргіліт і глинистий сланець, можуть спучуватися у присутності води, що є важливим у відпрацюванні вугільних пластів. Здатність до спучування найбільш сильно проявляється в мінералів монтморілонітової групи й ілліті, особливо в поєднанні ілліт-карбаргіліт. Спучування завжди супроводжується значним зменшенням міцності порід масиву та служить однією із причин «видавлювання» порід покрівлі або підшви у вугільних шахтах, створює труднощі у кріпленні окремих, багатих глиною, порід покрівлі. На вуглезбагачувальних фабриках спучення глини є наслідком утворення небажано великих кількостей шламу і серйозно ускладнює проблему зневоднення.

Каолін-вуглистий тонштейн трапляється у вигляді вельми різних форм і може мати зміни в будові навіть на незначних відстанях того самого зразка (рис. 1-а, 1-б). З морфологічного погляду дослідники виділили чотири типи каолін-вуглистого тонштейну [3; 11]. Б. Феррарі вперше висунув ідею про те, що каолін-вуглистий тонштейн має вулканічне походження і про поступове вивітрювання його з утворенням каолініту. Пізніше Е. Штах підтримав ідею такого походження, оскільки на підтримку гіпотези свідчила часта поява циркону та санідину в каолін-вуглистих тонштейнах, його асоціація із кварцом, частково субмікроскопічного розміру, присутність якого пояснюється тим фактом, що польовий шпат і слюда містять більше CO_2 , ніж каолініт.

Потужність шарів каолін-вуглистого тонштейну варіює від декількох міліметрів до 2–15 сантиметрів, тому здебільшого їх можна виділити макроскопічно, хоча неможливо точно віднести до одного із чотирьох різних типів. Зрідка трапляються і дуже дрібні утворення, які можна виявити лише під час мікроскопічного вивчення аншліфів або прозорих шліфів.



Рис. 1. Тонштейн із чіткими дзеркалами ковзання на поверхні у вугільному пласті l_3 між першою і другою пачкою I західної лави ДП ВК «Краснолиманська»

Карбонати – наступна групу мінералів після глинистих, яка найбільш часто трапляється у вугільних пластах. Вони можуть утворюватися як на першій, так і на другій стадіях процесу вуглефікації. Сингенетичними типами в основному є: сидерит у формі радіальних або концентричних скупчень або у вигляді дрібнокристалічних агрегатів і доломіт. Доломіт, типовий для вугільних пластів, які піддавалися дії морської трансгресії. Він або трапляється у формі ідіоморфних кристалів, або, просочуючи рослинні рештки, утворює так звані вапняні стяжіння у вугіллі. У вапняних стяжіннях, які широко варіюють за розмірами (діаметр їх від 1 до 40 см і навіть більше), зрідка може добре зберігатися структура первинних рослин. Без сумніву, карбонати заліза утворилися в анаеробних умовах. А виявлені сингенетичні осадки, що містять велику кількість вітриніту, можна розглядати як доказ того, що його утворення відбувалося в анаеробних умовах, починаючи від ранньої стадії торфонакопичання.

На противагу сидериту та доломіту, кальцит і анкерит відклалися у тріщинах під час другої стадії процесу вуглефікації. Можливо, вугілля, просякнуте кальцитом (пласт l_1^1 ДП ВК «Краснолиманська»), мало місце під час першої стадії торфонакопичення, однак це важко стверджувати з упевненістю, оскільки у пласті m_2^2 того ж вуглеводобувного підприємства зафіксовано вертикальну тріщину, яка розриває вугільний пласт, до 10–15 см, вивопнену кальцитом, а у вугільних пластах l_3 та m_4^2 кальцитом заповнені горизонтальні та вертикальні тріщини до 0,1–0,3 см. У будь-якому разі ці імпрегнації складно розглядати як процеси сингенетичного чи ранньодіагенетичного походження, однозначно вони відбувалися на більш пізній, постседиментаційній стадії.

У сучасних виробках шахти «Піонер» (Красноармійського вуглепромислового району), за їх тривалого перебування без провітрювання формуються кальцито-гіпсові новоутворення, які після потрапляння на поверхню швидко руйнуються. Тобто процеси сучасного перерозподілу окремих хімічних елементів у вуглепородних масивах чітко виражені та потребують моніторингу.

Сульфіди. Із сульфідів у вугіллі найчастіше трапляються пірит і марказит [1–4]. У багатьох вугільних пластах у невеликій кількості містяться сфалерит, галеніт і халькопірит, особливо якщо гідротермальні жили проходять близько від пластів (рис. 2-а, 2-в). Під час першої стадії процесу вуглефікації з'являються сингенетичні або ранньодіагенетичні дрібнокристалічний або дрібноконкреційний пірит, який легко визначити у проникаючому світлі у вугільних шліфах. Переважно у пластах m_3 в Донецько-Макіївському вуглепромисловому районі трапляються концентричні стяжіння піриту (рис. 3), які складаються з піриту, сфалериту та галеніту або халькопіриту. Порівняно рідко спостерігається заміщення піритом стінок клітин рослинного матеріалу, водночас так само, як у вапняних стяжіннях у вугіллі, зберігається структура черепашки, яка могла б зруйнуватися. Пірит у вигляді дрібних зерен або дрібних конкрецій особливо характерний для вітриніту та сапропелевого вугілля. Загалом вугілля, сформоване в паралічних басейнах, багатше піритом, ніж вугілля лімнічних басейнів. Пласти вугілля, що залягають серед паралічних осадкових відкладів і зазнали впливу морської трансгресії, завжди характеризуються особливо високим вмістом піриту, а іноді також органічної сірки. За відсутності таких критеріїв, як морські скам'янілості або вапняні стяжіння, для ідентифікації пластів можна використовувати як маркувальні ознаки наявність сингенетичного або ранньодіагенетичного піриту.

Сульфіди, які відклалися у тріщинах вугільних пластів і вміщуючих порід під час другої стадії процесу вуглефікації (рис. 2-б), представлені марказитом, слідами галеніту, сфалериту, халькопіриту та піриту. Висхідні або низхідні розчини [4; 11; 12] можуть перетворити первинний сидерит на пірит. Імпрегнація фюзеніту і семифюзеніту піритом відбувалася, можливо, наприкінці першої і під час другої стадій процесу вуглефікації.

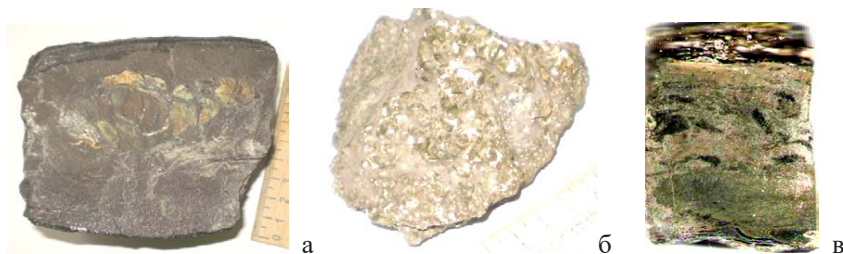


Рис. 2. Пірит у підшві вугільних пластів:
а) підшва пласта m_3 , Шахта ім. О.Ф. Засядька; б) у підшві пласта m_0 кристали піриту. Шахта «Піонер»; в) аншліф зразка підшви пласта m_4^2 ДП ВК «Краснолиманська»



Рис. 3. Зовнішній вигляд включення (сульфідного стяжіння) у вугільному пласті, характерний для вугільних пластів m (Горлівська світа) Донецько-Макіївського та Красноармійського вуглепромислових районів

Асоціації вугілля з 5 до 20% сульфідів, переважно з піритом, називаються карбопіритом.

Оксиди і гідроксиди. Серед оксидів найпоширеніший – кварц. Зрощення вугілля із кварцом, за дуже невеликим винятком, є продуктом першої стадії процесу вуглефікації. Для визначення стадії вуглефікації варто звернути увагу на відмінності у кварці вугільних пластів:

- а) пластичний кварц, який був привнесений водою або вітром і трапляється у вигляді піску, що складається з окатаних зерен;
- б) кварц, що утворився з розчину у вугільних пластах, переважно дрібнокристалічної будови.

Розчинений кремнезем в основному є результатом вивітрювання польового шпату і слюди, тому не дивно, що такий дрібнозернистий кварц зазвичай виявляється в асоціації з іншими тонкодисперсними мінералами (рис. 4), а також у каолін-вуглистих тонштейнах. Друзи з ідіоморфними кристалами кварцу ранньодіагенетичного походження трапляються рідко, були досліджені нами на тріщинах у скам'янілій деревині із Дніпровського буровугільного басейну.

Збагачені кварцом вугільні шари, у які кварц був привнесений водою, у деяких випадках є хорошим критерієм для ідентифікації пластів. Пласти кварцу можна розглядати як маркувальні горизонти тільки на дуже обмежених площах [11; 14; 15]. Дуже важливо визначати з якомога більшою точністю вміст кварцу у вугільних пластах, у вміщуючих породах і найбільше в шахтному пилу.



Рис. 4. Аншліф включення в покрівлі пласта m_1 , Шахта ім. О.Ф. Засядька

Інші оксиди та гідроксиди, як-от гематит, лімоніт, голчата залізна руда і слюди́стий гетит, трапляються рідко. З історичного погляду доцільно згадати про болотні залізнi руди. У каолін-вуглистих тонштейнах Бургер і Штадлер [11; 13] визначили діаспор (гідроокис алюмінію).

Важка фракція. Дотепер ще не проведено систематичне вивчення важких мінералів, пов'язаних із вугіллям або породами покрівлі та підшви вугільних пластів. У дуже невеликих кількостях трапляються циркон, рутил, турмалін, гранат і біотит, які були зафіксовані під час дослідження у прозорих шліфах у бурому вугіллі Дніпровського басейну та кам'яному вугіллі Донбасу.

Солі. У більшості вугілля виявлені тільки сліди хлоридів, сульфатів і нітратів. Однак є площі у Донбасі, де їх вміст настільки великий, що позначається терміном «солоне вугілля». Загалом вміст солі, переважно хлоридів, пов'язаний зі складною інфільтрацією з пермських соляних відкладів. Натепер вугілля зі значним вмістом солі не розробляється.

Мікроелементи. Найбільш важливі мікроелементи, які трапляються у вугіллі, можна використовувати як елементи-індикатори в геологічних дослідженнях, наприклад, присутність бору вказує на вплив моря. Водночас занадто високий вміст бору робить вугілля непридатними для виробництва графітових стержнів для реакторів, а у виробництві алюмінію електролітичним способом шкідливий вміст у вугільних електродах навіть декількох частин на мільйон титану, ванадію та цинку, оскільки вони спричиняють крихкість готового металу.

За результатами проведеного кількісного спектрального аналізу проб торфу, бурого вугілля, кам'яного вугілля й антрацитів визначено особливості вмісту хімічних елементів на всіх стадіях формування від торфовища до антрацитів.

У пробах торфу визначені такі хімічні елементи: Si, Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Ni, Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Cu, Pb, Bi, Ge, Sn, Y, La, Ba, P, Sc та Li. Визначена наявність хімічних елементів, яка перевищує якісні та кількісні показники в бурому вугіллі, може бути пов'язана із впливом виходу на поверхню родонових вод поблизу від місця сучасного формування торфовища.

У пробах деревини з бурого вугілля визначені такі хімічні елементи: Si, Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Ni, Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Cu, Pb, Bi, Ge, Y, La, Ba, Sc та Li.

У всіх пробах бурого вугілля визначені такі хімічні елементи: Si, Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Ni, Ti, V, Cr, Mo, Zr, Nb, Cu, Ga, Be, Pb, Sn, Y, Yb, Ba, P, Sc та Li. У поодиноких пробах визначені Bi, Ge, Ce, La, що можна пояснити привнесенням цих компонентів під час формування даного пласта (розріз Протопопівський). З хімічних елементів, що визначалися, у жодній із проб не були визначені: W, Hf, Th і As. Серед хімічних елементів є такі, значення яких у всіх пробах близькі чи однакові: Mg, Ca та Bi. Така особливість може бути пов'язана з хімічним складом вод у період формування та накопичення торфовищ чи із процесами метасоматозу та діагенезу до утворення сучасного стану буровугільної товщі.

У всіх пробах кам'яного вугілля визначені такі хімічні елементи: Ga, W, Ni, Ge, Co, Be, Nb, Mo, Sn, Ce, Mg, Ca, Fe, Mn, Ti, V, Cr, Zr, Cu, Pb, Bi, Yb, Ba, Sr, Y, La, As, Sb, Zn, Ag, Cd, P, Au, Ta, Tl, Hf, Th, In, U, Sc та Li. Характерною особливістю кам'яновугільних покладів є кореляція показників визначених хімічних елементів як у вугіллі, так і у вміщуючих їх породах. Неможливо не зазначити, що кількісні показники у вугіллі й у вміщуючих породах того самого хімічного елемента можуть розрізнятися в півтора-два рази, а можуть бути й ідентичними.

У всіх пробах антрациту визначені такі хімічні елементи: Ga, W, Ni, Co, Be, Nb, Mo, Sn, Fe, Mn, Ti, V, Cr, Zr, Cu, Pb, Bi, Yb, Ba, Y, Zn, Ag, P, Au, Za, Sc та Li. У зв'язку з найменшою кількістю визначених хімічних елементів до складу антрацитів не ввійшли Ge, Ce, Mg, Ca, Sr, La, As, Sb, Cd, Tl, Hf, Th, In, U, незважаючи на це, визначені окремі компоненти не могли бути складовою частиною рослин-торфоутворювачів, а потрапили в товщу у процесі її формування.

Мікроелементи у вугіллі утворюються або з похідного рослинного матеріалу, або із сумішей органічних і неорганічних новоутворень, як уран, що утворився під час першої стадії процесу вуглефікації. Окрім того, мікроелементи можуть бути компонентами інших мінералів у вугіллі, наприклад срібло в галеніті, миш'як у піриті або у глинистих мінералах. Систематичні дослідження показали, що переважна кількість германію пов'язана безпосередньо з вугіллям, але його походження поки що не з'ясовано. Не виключено, що подібно урану, він трапляється в неорганічних і органічних комплексах.

Із часу перших досліджень мікроелементів у кам'яному вугіллі та вугільній золі [1–3; 7–9; 13] було зроблено багато пропозицій і практичних спроб вилучення з вугілля рідкісних і технологічно цінних металів, як-от германій і уран. Однак натепер це питання ще далеко від вирішення.

У Донбасі, окрім вугільних товщ, відомі ртутнорудні поля, поліметалеві й Au-поліметалеві родовища і рудопрояви Нагольного кряжа. Геологічними роботами встановлено декілька перспективних ділянок на приховане гідротермальне зруденіння, однією з яких є Північна антикліналь, геологічна будова якої дозволяє припускати існування тут промислового гідротермального комплексного сульфідного зруденіння [11; 13; 15; 16].

У більшості вуглепородних масивів Красноармійського, Донецько-Макіївського, Південнодонецького та Центрального вуглепромислових районів у підшві вугільних пластів m_0 , m_3 , m_4^0 , m_4^2 (горлівська світа) визначені різні за товщиною прояви піритизації. Прояви піриту від 0,1 мм (метаморфози рослинних решток, черепашок і незначні лінзочки) до 2–5–10–15 см, іноді трапляються до 2,0 м, та пірито-халькопіритові друзи. Варто зазначити, включення піритизованих рослинних решток і лінзочок піриту, які зафіксовані у верхній частині вугільного пласта, зазвичай доповнюються проявами зруденіння в підшві [4].

Досліджені розрізи вуглепромислових районів, де було відібрано зразки з мінеральними новоутвореннями, несуть сліди високотемпературного впливу, які виражаються в доломітизації вапняків, інтенсивному озалізненні (утворення оксидів і сульфідів заліза), у перекристалізації карбонатів раковин і фосилізації уламків рослинних решток. Що можна пояснити ендегенною активізацією.

На близькість вугленосної палеоструктури до зон ендегенної активізації, у якій формувалися вугільні пласти m у Красноармійському вуглепромисловому районі, вказує також прояв інтенсивної піритизації, виражений заміщенням сульфідами заліза плевита органічних решток, які зберігають їхні текстури та структури у псевдоморфозах мінералів. Процеси інтенсивного зруденіння, що виражені у зміні складу пісковиків дислокованої підшви вугільних пластів, являють собою більш пізні в геологічному часі події, які

суттєво відстають від тектонічних і тектоно-магматичних перетворень земної поверхні під басейнами торфонакопичення середнього карбону.

Висновки. Седиментаційний і постседиментаційний чинники формування вугільних формацій відіграли провідну роль у накопиченні та збагаченні їх неорганічними хімічними елементами. Локалізація та відносна концентрація залежать не тільки від фаціальних умов осадко- і торфонакопичення, а й від подальших процесів метасоматозу, які ми можемо спостерігати макроскопічно у вугільних пластах і вміщуючих породах (пиритово-халькопиритові та кальцитові жили, які виповнюють тріщини).

За вмістом хімічних елементів можемо виділити дві стадії: стадію торфоутворення та бурого вугілля, стадію кам'яного вугілля й антрациту. Стадії розрізняються вмістом дорогоцінних (Ag, Au) хімічних елементів, урану та заліза, якими кам'яне вугілля й антрацити могли бути збагачені в постседиментаційний період формування вуглепородних масивів, що й підтверджують макроскопічні зразки.

Інтерпретація всіх отриманих результатів дослідження приводить до системи взаємопов'язаних і взаємозумовлених висновків:

– кожен з етапів: накопичення, перетворення, діагенез і катагенез (метагенез), мають свої особливі мінеральні асоціації;

– їх зміна можлива за метасоматозу (чи флюїдного підтоку), які збагачують сформовану вугленосну товщу чи товщу, що формується вуглецем і хімічними елементами, які ми можемо спостерігати як окремі послідовні стадії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бушак С.М. Визначення генетичних факторів вуглеутворення за складом неорганічної частини вугілля (на прикладі вивчення зольності). *Геологічний журнал*. 2003. № 3. С. 47–53.
2. Бушак С.М. Особливості складу неорганічних компонентів вугілля Донецько-Майківського ГРП Донбасу у зв'язку із проблемою їх викидонебезпечності. *Сучасні проблеми геології і геохімії корисних копалин* : тези доповідей Наукової конференції. Львів, 1993. С. 27–28.
3. Бушак С.М. Використання тонштейнів для кореляції вугільних пластів Західного Донбасу. *Тектоніка і стратиграфія*. 2005. Вип. 34. С. 87–92.
4. Вергельська Н.В. Ознаки вторинного зруденіння у вуглепородних масивах Південно-Західного Донбасу. *Мінералогія: сьогодні і майбуття* : збірник матеріалів VIII Наукових читань імені академіка Є. Лазаренка, Львів – Чінадієве, 11–14 вересня 2014 р. Львів, 2014. С. 24–25.
5. Вергельська Н.В. Вміст мінеральних компонентів у бурому вугіллі Дніпробасу. *Збірник наукових праць ІФД*. Київ : Логос, 2008. С. 32–36.
6. Етапи утворення вугленосних формацій у геологічних структурах України. ІГН НАН України / А.Я. Радзівіл та ін. Київ : LAT & K, 2012. 215 с.
7. Ішков В.В., Козій Є.С. Аналіз розповсюдження хрому і ртуті в основних вугільних пластах Красноармійського геолого-промислового району. *Тектоніка і стратиграфія*. 2019. Вип. 46. С. 96–105.
8. Ішков В.В., Козій Є.С. Про розподіл токсичних і потенційно токсичних елементів у вугіллі пласта с₇^н шахти «Павлоградська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Київського національного університету*. 2017. № 79. С. 59–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09>.
9. Козій Є.С. Миш'як, берилій, фтор і ртуть у вугіллі пласта с₈^в шахти «Дніпровська» Павлоградсько-Петропавлівського геолого-промислового району. *Вісник Дніпропетровського університету*. 2018. № 26 (1). С. 113–120. <https://doi.org/10.15421/111812>.

10. Клевцов О.О. Грубоуламковий матеріал з вугільних шарів Донбасу і значення його вивчення для вирішення питань вугільної геології та палеогеографії : автореф. дис. ... канд. геологічн. наук : 04.00.21. Київ, 2003. 15 с.
11. Пимоненко Л.І. Геодинаміка формування Донецького басейну. *Тектоніка і стратиграфія*. 2020. Вип. 47. С. 30–42.
12. Радзівілл А.Я. До прогнозу зміни метаноносності вугленосних відкладів Складчастого Донбасу із глибиною. *Збірник наукових праць ІФД*. Київ : Знання, 2001. С. 105–110.
13. Flaig W. Biochemical factors in coal formation. *Coal and coal bearing strata* / D.G. Murchison, T.S. Westoll Edinburgh, 1968. P. 197–232.
14. Landis C.A. Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. *Contr. Miner. Petrol.* 1971. Vol. 30. P. 34–45.
15. Geologic controls on coalbed occurrence in the Donets Basin (Ukraine) / V.A. Privalov et al. *3rd International Methane Nitrogen Oxide Mitigation conference*, 17–19.11.2003. Beijing, 2003. P. 126–129.
16. Vergelska N.V. Tectonic preconditions of coal fields formation in the DNIPRO brown coal basin Ukraine. *Documenta Geonica*, 2013/1 IX Czech and Polish, “*Geology of coal basins*”, 15–17.10.2013. Ostrava, 2013. P. 165–170.

REFERENCES

1. Bushak, S.M. (2003). Vyznachennya henetychnykh faktoriv vuhleutvorenniya za skladom neorhanichnoyi chastyny vuhillya (na prykladi vyvchennya zol'nosti) [Determination of genetic factors of coal formation according to the composition of the inorganic part of coal (on the example of the study of ash content)]. *Heolohichnyy zhurnal*. № 3. S. 47–53.
2. Bushak, S.M. Osoblyvosti skladu neorhanichnykh komponentiv vuhillya Donets'ko-Makiyivs'koho HRP Donbasu u zv'yazku z problemoyu yikh vykydonebezpechnosti [Peculiarities of the composition of inorganic coal components of the Donetsk-Makiiv fracturing of Donbass in connection with the problem of their emission hazard]. *Suchasni problemy heolohiyi i heokhimiyi korysnykh kopalyn*. Tez. dop. nauk. konf. L'viv, 1993. S. 27–28.
3. Bushak, S.M. (2005). Vykorystannya tonshteyniv dlya korelyatsiyi vuhil'nykh plastiv Zakhidnoho Donbasu [The use of tonsteins for the correlation of coal seams of Western Donbass]. *Tektonika i stratyhrafyia*. Vyp. 34. S. 87–92.
4. Vergelska, N.V. (2014). Oznaky vtorynnoho zrudenninnya u vuhleporodnykh masyvakh Pivdenno-Zakhidnoho Donbasu [Signs of secondary mineralization in the coal massifs of South-Western Donbass]. *Mineralohiya: s'ohodennya i maybuttya: zb. mater. VIII Naukovykh chytan' im. akademika Y.E. Lazarenka*, L'viv – Chinadiyeye, 11–14 veresnya. L'viv, 2014. S. 24–25.
5. Vergelska, N.V. (2008). Vmist mineral'nykh komponentiv u buromu vuhilli Dniprobasu [The content of mineral components in brown coal of Dniprobass]. *Zbirnyk naukovykh prats' IFD*. K.: Lohos. S. 32–36.
6. Etapy utvorenniya vuhlenosnykh formatsiy v heolohichnykh strukturakh Ukrainy [Stages of the formation of coal-bearing formations in the geological structures of Ukraine]. ІНН NAN Ukrainy / A.Ya. Radzivill, V.F. Shul'ha, A.V. Ivanova, ta in. K.: LAT&K, 2012. 215 s.
7. Ishkov, V.V., Koziy, Ye.S. (2019). Analiz rozpovsyudzhennya khromu i rtuti v osnovnykh vuhil'nykh plastakh Krasnoarmiys'koho heoloho-promyslovoho rayonu [Analysis of the distribution of chromium and mercury in the main coal seams of the Krasnoarmy geological and industrial district]. *Tektonika i stratyhrafyia*. Vyp. 46. S. 96–105.
8. Ishkov, V.V., Koziy, Ye.S. (2017). Pro rozpodil toksychnykh i potentsiyno toksychnykh elementiv u vuhilli plasta c₇ⁿ shakhty “Pavlohrads'ka” Pavlohrads'ko-Petropavlivs'koho heoloho-promyslovoho rayonu [On the distribution of toxic and potentially toxic elements in the coal of layers s_{7n} of the mine “Pavlogradska” of the Pavlohrad-Petropavlovsk geological

- and industrial district.]. *Visnyk Kyivivs'koho natsional'noho universytetu*. № 79. S. 59–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.79.09>.
9. Koziy, Ye.S. (2018). Mysh'yak, beryliy, ftor i rtut' u vuhilli plasta s8v shakhty "Dniprovs'ka" Pavlohrads'ko-Petropavlivs'koho heoloho-promyslovoho rayonu [Arsenic, beryllium, fluorine and mercury in the coal of layer s8v of the Dniprovska mine of the Pavlograd-Petropavlovsk geological and industrial district.]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu*. № 26 (1). S. 113–120. <https://doi.org/10.15421/111812>.
 10. Klevtsov, O.O. (2003). Hruboulamkovyy material z vuhil'nykh shariv Donbasu i znachennya yoho vyvchennya dlya vyrishennya pytan' vuhil'noyi heolohiyi ta paleoehohrafiyi [Coarse detrital material from the coal seams of Donbas and the importance of its study for solving issues of coal geology and paleogeography]. Avtoref. kand. dys. Kyiv, 15 s.
 11. Pymonenko, L.I., Skopychenko, I.M., Vergelska, V.V. (2020). Heodynamika formuvannya Donets'koho baseynu [Geodynamics of the formation of the Donetsk basin]. *Tektonika i stratyhrafiya*. Vyp. 47. S. 30–42.
 12. Radzivill, A.Ya. (2001). Do prohnozu zminy metanonosnosti vuhlenosnykh vidkladiv Skladchastoho Donbasu z hlybinyou [To the forecast of changes in the methane content of coal-bearing deposits of the Folded Donbass with depth]. *Zbirnyk naukovykh prats' IFD*. Kyiv: Znannya. S. 105–110.
 13. Flaig, W. (1968). Biochemical factors in coal formation, in: Murchison D. G., Westoll T.S. *Coal and coal bearing strata*, Edinburgh, P. 197–232.
 14. Landis, C.A. (1971). Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. *Contr. Miner. Petrol.*, Vol. 30. P. 34–45.
 15. Privalov V.A., Zhykalyak M.V., Panova E.A. (2003). Geologic controls on coalbed occurrence in the Donets Basin (Ukraine). *3rd International Mithane Nitrius Oxida Mitigation conference*, 17–19.11. 2003. Beijing, P. 126–129.
 16. Vergelska, N.V. (2013). Tectonic preconditions of coal fields formation sn the DNIPRO brown coal basin Ukraine. *Documenta Geonica*, 2013/1 IX Czech and Polish, "Geology of coal basins", 15–17.10. Ostrava, 2013. P. 165–170.

SEDIMENTATION AND POST-SEDIMENTATION FACTORS OF THE FORMATION OF MINERAL AND ELEMENT ASSOCIATIONS IN THE COAL-BEARING MASSIVES OF THE DONBAS

Nataliia Vergelska

*State Institution "Scientific Center of Mining Geology,
Geocology and Infrastructure Development
of the National Academy of Sciences of Ukraine",
Akademika Vernadskyi boulevard, 34-b, Kyiv, Ukraine, 03142
e-mail: vnata09@meta.ua*

The sedimentation and post-sedimentation factors of formation of coal-bearing formations played a leading role in their accumulation and enrichment with individual chemical elements. Recently, much attention has been paid to the possibilities of developing coal deposits as complex deposits. Coal, in addition to organic substances, always contains inorganic components as impurities. The study of mineral-elemental associations is important for determining the processes that contributed to the formation of coal massifs and the changes that occurred in the post-formation period.

In the specified coal-mining areas, the selected samples for mineral neoplasms bear traces of high-temperature exposure, which are expressed in the form of dolomitization of limestones, intensive

ironization (formation of iron oxides and sulfides), recrystallization of shell carbonates, and fossilization of fragments of plant remains. The magmothermal processes that began with the formation of morphostructures and the formation of conditions for peat accumulation were activated in the post-Carboniferous hydrothermal manifestations in the stratum of the coal-bearing Middle Carboniferous massif, which manifested themselves in the form of significant mineral neoplasms, most clearly represented by sulphide mineralization. Intense sulphide mineralization can be traced in the samples, sections and cross-sections with distinct replacement of organic residues by pyrite. The processes of intense mineralization, expressed in the change in the composition of the sandstones of the dislocated bottom of the coal seams, represent later events in geological time, which significantly lag behind the tectonic and tectono-magmatic transformations of the earth's surface under the peat accumulation basins of the Middle Carboniferous.

The mineralogical and lithological factor caused by the manifestations of certain paragenetic mineral associations makes it possible to correlate coal seams according to the degree of coalification and identify marking horizons. The modern redistribution of chemical elements in the carbonaceous massif is mainly represented by carbonates and sulfates, which are recorded as neoplasms in closed workings.

Key words: coal massifs, neo-boundary components, sedimentation process, post-sedimentation process, Donbas.