

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-353-62>

УДК 549(477)

САХНО СВІТЛАНА

ТОВ "Технічний університет "Метінвест Політехніка"

<https://orcid.org/0000-0003-3917-9143>

e-mail: svitlana.sakhno@mipolytech.education

ІШКОВ ВАЛЕРІЙ

НТУ "Дніпровська Політехніка"

<https://orcid.org/0000-0002-2871-4174>

e-mail: ishkov.v.v@nmu.one

ЕКОЛОГІЧНА ТА ГЕОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОГО ФОРМУВАННЯ ДИКІТУ У ВУГІЛЬНИХ ПОРОДНИХ ВІДВАЛАХ

Мета. Пошук і дослідження техногенних політипів каолініту на зразках осадових порід українського Донбасу, що містять відбитки рослин кам'яновугільного періода.

Методика. Під час дослідження використовувались методи аналізу і синтезу, метод керівних копалин, метод мікроскопії.

Результати. Наведено основні процеси формування техногенних мінералів на породних відвалах вугільних шахт. Охарактеризовані місця пошуку зразків осадових гірських порід нетипового кольору з відбитками флори карбону. Методом мікроскопічних досліджень встановлено, що зразки переважно складені великими червоподібними і лускатими агрегатами дикіта. Виділені петрографічні і геохімічні особливості дикіту серед глинистих мінералів. Проаналізовано сучасні уявлення про генезис, умови формування і стійкість дикіту. Запропоновано гіпотезу формування дикіту в породах з високим вмістом глинистих часток в умовах породних відвалів вугільних шахт, що знаходились на стадії горіння.

Наукова новизна. Запропонована гіпотеза техногенного формування у вугільних відвалах мінералу дикіт в породах підосви вугільних пластів, які характеризуються високим вмістом глинистих часток і містять залишки палеофлори, переважно кореневих систем.

Практичне значення. Наявність дикіта, може розглядатись, як пошукова ознака для техногенних мінералів, що містять ртуть, що дозволяє оцінити потенційні екологічні ризики.

Ключові слова: техногенні мінерали, дикіт, каолініт, шліф, кристалічна структура.

SAKHNO SVITLANA

Technical University "Metinvest Polytechnic"

ISHKOV VALERY

NTU "Dnipro Polytechnic"

ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL ASSESSMENT OF TECHNOGENIC DIKITE FORMATION IN COAL WASTE DUMPS

Purpose. Search and study of technogenic polytypes of kaolinite on samples of sedimentary rocks of the Ukrainian Donbas containing fossils plants of the Carboniferous period.

Methodology. The methods of analysis and synthesis, the method of indicator fossils, and the method of microscopy were used during the study.

Results. The temperature fields of the heaps at the combustion stage, which exceed 200 C, and the migration of sediments through cracks can form a complex of geochemical conditions for the formation of dickite. In favor of this hypothesis, the rock samples contain carboniferous paleoflora imprints, characteristic of the rocks of the sole of coal seams with a high content of clay minerals. The main processes of formation of technogenic minerals on coal mine waste heaps are presented. The search sites for samples of sedimentary rocks of atypical color with imprints of Carboniferous flora are characterized. By the method of microscopic studies, it was established that the samples are mainly composed of large worm-shaped and scaly aggregates of dickite. The petrographic and geochemical features of dickite among clay minerals are highlighted. Modern ideas about genesis, conditions of formation, and stability of dickite are analyzed. A hypothesis of dickite formation in rocks with a high content of clay particles in the conditions of coal mine waste heaps that were at the stage of combustion is proposed.

Scientific novelty. A hypothesis of technogenic formation of the mineral dickite in coal dumps in the rocks of the base of coal seams, which are characterized by a high content of clay particles and contain the remains of fossils, mainly root systems, is proposed.

Practical significance. The presence of dickite can be considered as a search sign for technogenic minerals containing mercury, which allows assessing potential environmental risks.

Keywords: technogenic minerals, dickite, kaolinite, thin section, crystalline structure.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.05.2025

Прийнята до друку / Accepted 28.05.2025

Вступ

Країни, що мають високі показники видобутку мінеральної сировини виробляють величезну кількість промислових відходів. Кількість та тип цих відходів тісно корелюють з характеристиками промисловості, з якої вони утворюються. Враховуючи значний потенціал промислових відходів завдавати шкоди навколишньому середовищу, їх утилізація та управління становлять серйозні проблеми. Розуміння особливостей, що характеризують певний тип відходів (наприклад, їх хімічний та фазовий склад, технічні характеристики та здатність компонентів потрапляти у водне та ґрунтове середовище), дозволяє оцінити потенційні екологічні ризики. Разом з тим внаслідок різних фізико-

хімічних перетворень на породних відвалах формуються різні техногенні мінерали, дослідження яких в останні роки набуває все більшої популярності.

Відходи вугільної промисловості можуть спричинити низку екологічних проблем. Через вміст нестабільних дисульфідів заліза (піриту, марказит) існує високий ризик кислого шахтного дренажу, пов'язаний з викидом деяких елементів у водотоки та ґрунтові води. Крім того, існує ризик самозаймання та горіння залишків вугілля та розсіяної органічної речовини, присутніх в осадових породах у відвалах. Така теплова активність зазвичай призводить до мобілізації деяких хімічних елементів усередині тіла відвалу, а також до викидів CO, CO₂, NH₃, NO_x, SO₂, органічних сполук та деяких металевих елементів і металоїдів (наприклад, Hg, As) в атмосферу.

Одним з трендів останніх років є використання порід з відвалів старих шахт для потреб дорожнього будівництва і створення будівельних і закладних матеріалів. Тому вугільні відвали стають предметом значного наукового інтересу, викликаного ризиками забруднення навколишнього середовища внаслідок рециклінгу. Окрім того велика частина відвалів розташовані в населених пунктах, і їх рекультивация потребує нових підходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що температура поверхні породних вугільних відвалів неоднорідна. Локальні підвищення температури перевищують 200 градусів Цельсія [1]. Значення рН конденсованої пари коливається від 4,5 до 2. Поверхню відвалів пересікають тріщини з розкриттям від декількох міліметрів до декількох десятків сантиметрів, утворені внаслідок горіння органіки всередині відвалу в умовах дефіциту кисню. На поверхнях тріщин і розломів териконів на пісковиках та сланцях утворюються сульфатвмісні мінеральні асоціації. Це кварц-мусковіт-каоолініт-хлорит; кварц-мусковіт-(каоолініт, гематит); кварц-ярозит-алуніт-(мусковіт), що можна інтерпретувати як зростання ступеня змін, що контролюється зниженням рН. В центральних частинах розломів утворюються такі сульфати: масканьїт та чермігіт, та інші вторинні сульфати – вольтаїт, алуноген та гіпс. Хлоридні мінерали (хлорид амонію, кремерзит) та сасолін (B(OH)₃) зустрічаються рідше. Породи, що знаходяться в зоні техногенних змін, мають високі концентрації Se та Hg. Найвищі концентрації Se (<2730 ppm) наведені у зразках, що містять ярозит-алуніт. Менш змінені зразки мають концентрацію Se від 32 до 149 ppm. Концентрації Hg коливаються від 1 до 290 ppm і не відповідають змінам мінеральних асоціацій. Інші важкі метали (V, Cr, Zn, Cd, Tl, Pb) та As суттєво не мобілізуються [1, 2].

В дослідженні Матяшека та ін. [3] для ідентифікації та опису продуктів як негорючих, так і горючих відвалів було застосовано порошок рентгенівську дифракцію (XRD) у поєднанні з електронно-дисперсійною спектроскопією (EDS) та зображенням зворотно розсіяних електронів (BSE). Ті, що не мали термічної активності, вивільняли переважно сульфати, такі як мінерали групи ярозиту, гексагідрит, ферогексагідрит, гіпс, тенардит, барит, внаслідок процесів вивітрювання піриту, що супроводжувалися ферогексагідритом, швертманнітом, гетитом та арагонітом. Окрім продуктів виходу гарячих газів, таких як сірка, криптогаліт, було виявлено зональну сульфатну шапку (кору) з накопиченням новоутворених фаз (наприклад, алюмініопіракомоніт, піракомоніт, годовіковіт, масканьїт, коктаїт, бусенгоїт та клараїт). Встановлено, що як газові жерла, так і сульфатна кора містять низку рідкісних та екзотичних фаз, таких як Ві, демікелеїт-(Br), демікелеїт-(I), флюорит, селен, NH₄Br, NH₄I, BiOCl, BiBr₃, BiI₃, самородний йод, CdS, CdIn₂S₄, (NH₄,K)AlF₄, (NH₄,K)3AlF₆, сульфат REE з домінуванням Се та інші.

Автори [3-7] зазначають, що температурна мінералізація розломів породних відвалів значною мірою подібна до мінералізації природних вулканічних жерл. Біля розломів відвалів формуються новоутворені польові шпати (санідин, альбіт, андезин), гематит, діопсид, геденбергіт, кордієрит, мінерали магнетиту-магнезіофериту, ангідрит, мікрористали TiO₂, багатий на Mg фаяліт, а у випадку більш інтенсивно вигорілих порід також воластоніт, барієвий польовий шпат та фаза системи Ca-SiO₄-PO₄.

Аналіз літератури [8-12] вказує, що основні дослідження техногенних новоутворень зосереджені на сульфатних мінералах, однак дослідження з виявлення глинистих мінералів зокрема техногенних політипів каоолініту широко не обговорюються в науковій літературі.

Мета статті. Постановка задачі дослідження

Метою статті є дослідження техногенних політипів каоолініту у вуглевмісних породах вугільних відвалів.

Задачами дослідження є пошук характерних зразків гірничої породи, проведення мікроскопічного аналізу, формулювання гіпотези утворення мінералу.

Методи дослідження.

Пошукова частина. Під час дослідження флори карбону на зразках осадових порід, зібраних на породних відвалах, що знаходились на стадії горіння були відібрані зразки нехарактерного білого кольору (рис. 1).



Рис. 1. Зразки палеофлори, відібрані з відвалу шахти «Центральна»

Світло сірий, біло-жовтий і білий колір зразків виділяв їх в загальній масі горілого відвалу червоно-рожевого кольору. Зразки мали локальний розподіл по поверхні відвалу.

Зразки були знайдені на відслоненнях породних відвалів шахт «З-Збіс» (м. Мирноград), ім. Т.Г. Шевченко (с. Шевченко), «Центральна» (м. Мирноград). Поля цих шахт розташовані в центральній частині Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. Серед зазначених шахт єдиною діючою на момент відбору зразків була тільки шахта «Центральна» (рис. 2). Відслонення відвалів, з якого було проведено відбір зразків, утворились в результаті промислового відбору породи для відсіпки дорожнього покриття. Це дало змогу отримати доступ до порід, що були законсервовані у внутрішній частині відвалів.

Лабораторна частина. Дослідження зразків проведено методом мікроскопії.



Рис. 2. Загальний вигляд відслонення породного відвалу шахти «Центральна»

Результати

Аналіз літології вказує, що породи покрівлі і підшви вугільних пластів шахт, відвали яких було досліджено, представлені переважно аргілітами і алевролітами алмазної (C_2^6) і кам'янської (C_2^5) світ середнього карбону. Зразки білого кольору, частіше за все асоціювались з відбитками кореневої системи лепідофітів – стігмаріями, значно рідше з відбитками кори плаунів. Аналіз палеофлори регіону свідчить, що такі відбитки як правило пов'язані з породами підшви вугільних пластів. Відомо, що найбільш поширеною породою підшви вугілля алмазної (C_2^6) і кам'янської (C_2^5) світ є вуглисті сланці (кучерявчики) і глинисті сланці багаті на відбитки рештків зазначеної палеофлори.

На рисунку 3 наведено типові зразки зміненого нетипового кольору з відбитками палеофлори. На рис. 4 наведено фотографії торцевих частин зразків. Очевидно, що зразки були представлені породою з високим вмістом глинистих мінералів, зокрема техногенних політипів каолініту.

Основні складнощі в діагностиці мінералів групи каолініту виникають, в першу чергу, через схожість в будові кристалічної ґратки і ідентичності хімічного складу і, відповідно, схожістю властивостей. Зокрема вони мають «двоповерхову» будову кристалічної ґратки, що складається з дитригональних шарів (тетраедричних і октаедричних) і відрізняються лише особливостями розташування цих сіток. У дикіта елементарна комірка складена двома «двоповерховими» шарами, при цьому дитригональна сітка тетраєдрів трохи зміщена щодо сітки октаєдрів [8].

Надійним інструментом ідентифікації політипів каолініту є петрографічні дослідження, що дозволяють діагностувати відмінності за оптичними властивостями поліморфних мінералів каолініт, накрит, дикіт.



Рис. 3. Зразки порід з відбитками палеофлори: а) *Stigmaria ficoides* б) *Sigillaria*



Рис. 4. Вигляд зразків з торців
а) монолітний дрібнокристалічний б) дрібнотріщинуватий з включеннями мусковіту

Петрографічний опис

Мікроскопічні дослідження проводились на шліфах, виготовлених з відібраних на відвалі зразків. Фото шліфів наведені на рис. 5, 6.

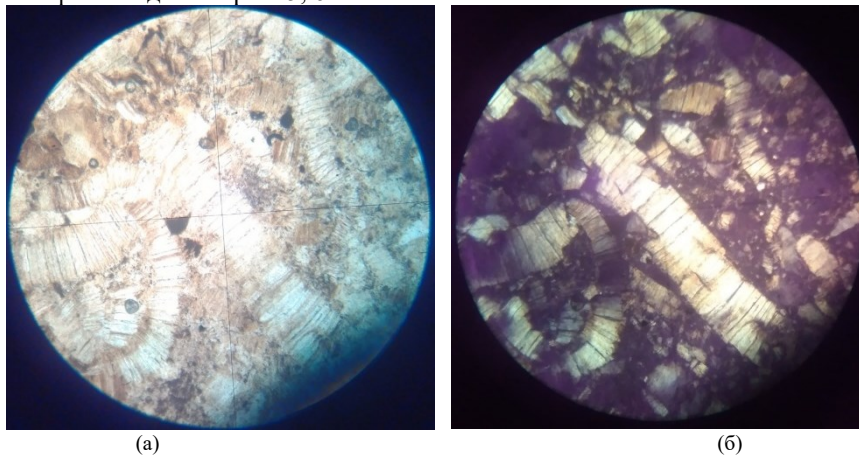


Рис. 5. Дикіт. Збільшення x 60
а) просте прохідне світло; б) поляризоване прохідне світло

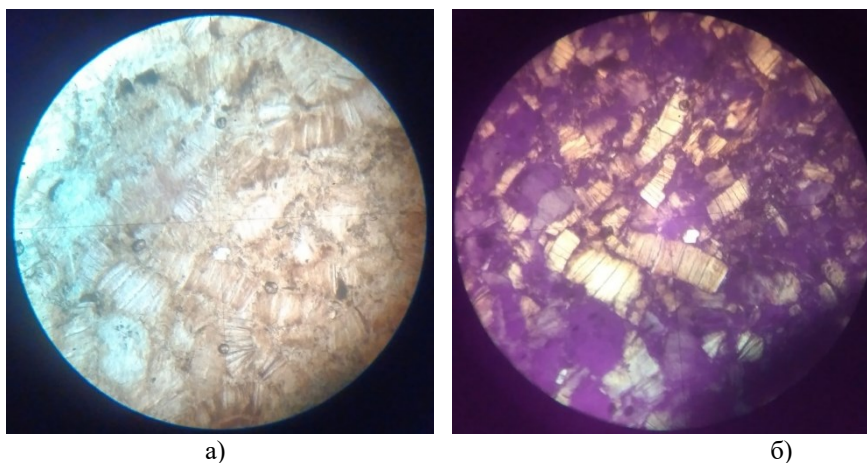


Рис. 6. Дикіт. Збільшення x 60
а) просте проходяще світло; б) поляризоване проходяще світло

Було встановлено, що порода характеризується лепідобластовою структурою і практично повністю складається з великих червоподібних і лускатих агрегатів дикіта (93-94%), дуже дрібних добре окатаних зерен кварцу з характерним хвилястим згасанням (3-4%), дрібних зерен виключно сильно зміненого пелітізованого плагіоклаза (по суті реліктів) – ортоклаза (2,5-3%), одиничних окатаних зерен аллотігенного циркону.

При цьому основними відмінностями оптичних властивостей дикіта були:

- позитивний оптичний знак,
- орієнтування оптичної індикатриси $aN_p = 76-70^\circ$, $aNm = 14-20^\circ$,
- дисперсія оптичних осей $r < v$.

Дикіт характеризується полігенністю. Зокрема дикіт осадового походження, частіше за все, представлений дуже тонкими, сильно дисперсними окремими лусочками неправильної форми. Дикіт гідротермального (низькотемпературного) походження зазвичай утворює псевдогексагональні пластинки, близькі до ізометричної або злегка подовженої форми, часто формує червоподібні агрегати.

В Україні дикіт достовірно діагностований у поліметалевих рудах Нагольного кряжа, Микитівському ртутному полі [9, 10] та метасоматично змінених породах Мужівського золото-поліметалевого родовища в Закарпатті [11, 12], а також діагностований разом з накритом в кримських флішах [13].

Дикіт зустрічається у всьому світі як компонент діагенетичних та гідротермальних асоціацій мінералів. Мінерал зустрічається разом із сульфідами у друзах або тріщинах гідротермальних родовищ. Спостерігалися утворення дикіту у гідротермально розкладених вулканічних породах і як діагенетичне утворення в осадових гірських породах.

Щодо умов утворення дикіту і його політипів в осадових породах існує декілька гіпотез. Ейренберг та ін. [14] пов'язують генезис дикіту з утворенням родовищ нафти, оскільки його знаходили в нафтовміщуючих пісковицях пермського періоду у Північному морі. Дослідження Ейренберга та ін. [14], свідчать, що дикіт замінює глинистий каолінит на глибинах 3,1 - 3,4 км нижче рівня моря при температурі 120 - 130°C. Бьюфорт та ін. [15] вказує, що перетворення каолініту в дикіт відбувається на глибинах 2,5 – 5,0 км. Парнелл та ін. [16] повідомляють, що дикіт є стабільним при температурах понад 100 - 120° С. Дослідження Лансона [17] свідчать, що водні фази, які містять органічні кислоти, які утворюються під час взаємодії води з нафтою або вугіллям, відіграють головну роль у формуванні дикіту. З підвищенням температури гірських порід іони алюмінію і кремнію виділяються з детриту. Мінеральний дикіт осаджується з розчинів, збагачених цими іонами, при зміні фізико-хімічних умов у порожнинах гірських порід.

Таким чином, враховуючі, що температурні поля відвалів на стадії горіння, які перевищують 200 С, і міграція опадів через тріщини може формувати комплекс геохімічних умов для формування дикіту. На користь цієї гіпотези свідчить те, що зразки порід містять відбитки палеофлори карбону, характерні для порід підшви вугільних пластів з високим вмістом глинистих мінералів.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що найбільш ймовірною гіпотезою умов формування дикіту у внутрішній частині породних відвалів на стадії горіння є техногенна перекристалізація під дією гідротермальних розчинів.

Таке пояснення підтверджується новими знахідками зразків з відбитками палеофлори, що йде у розріз з попередньою гіпотезою про зв'язок формування дикіту з малопотужними гідротермальними системами, що розвивались в зонах розтягування масиву при формуванні Центрального скиду [18].

Висновки

Методом петрографічних досліджень ідентифіковано мінерал дикіт в осадових породах, що формують породні відвали вугільних шахт Донбасу. Дослідження проведено на зразках породи, що містить відбитки палеофлори кам'яновугільного періоду. Запропонована гіпотеза техногенного формування мінералу дикіт в умовах породних відвалів, що знаходяться на стадії горіння.

Література

1. Sindern S., Warnsloh J., Witzke T., Havenith V., Neef R., Etoundi Y. Mineralogy and geochemistry of vents formed on the burning coal mining waste dump Anna I, Alsdorf, Germany. *Eur. J. Mineral.* 2005. 17. 130.
2. Szakáll S., Kristály F. Ammonium sulphates from burning coal dumps at Komló and Pécs-Vasas, Mecsek Mts., South Hungary. *Mineral. Spec. Pap.* 2008. 32 154.
3. Matysek D., Jirásek J. Mineralogy of the coal waste dumps from the Czech part of the Upper Silesian Basin: Emphasized role of halides for element mobility. *Int. J. Coal Geol.* 2022. 264. 104138.
4. Ward C.R. Analysis, origin and significance of mineral matter in coal: An updated review. *Int. J. Coal Geol.* 2016. 165. 1–27.
5. Dai S.F., Ren D., Tang Y.G., Yue, M., Hao L.M. Concentration and distribution of elements in Late Permian coals from western Guizhou Province, China. *Int. J. Coal Geol.* 2005. 61. 119–137.
6. Dai S.F., Yan X.Y., Ward, C.R., Hower J.C., Zhao, L., Wang, X.B., Zhao, L.X., Ren, D.Y. Finkelman, R.B. Valuable elements in Chinese coals: A review. *Int. Geol. Rev.* 2018. 60. 590–620.

7. Dai S.F., Wang X.B., Seredin V.V., Hower J.C., Ward C.R. O'Keefe J.M.K., Huang W.H., Li T., Li X., Liu H.D. Petrology, mineralogy, and geochemistry of the Ge-rich coal from the Wulantuga Ge ore deposit, Inner Mongolia, China: New data and genetic implications. *Int. J. Coal Geol.* 2012. 90. 72–99.
8. Newnham R.E., Brindley G.W. The crystal structure of dickite. 1956. *Acta Cryst.* 10. P. 88.
9. Логвиненко Н.В., Франк-Каменецкий В.А. О дикките. *Докл. АН СССР.* 1962. Т. 143. № 5. С. 1186–1189.
10. Наконник Н.И. О накрите и прочих каолинитовых минералах СССР. *Зап. Всерос. минерал. об-ва.* 1941. Ч. 70. № 1. С. 51–64.
11. Фишкин М.Ю. Диккит из вторичных кварцитов Береговского холмогорья Закарпатской области. *Минерал. сб.* 1963. № 17. С. 214–220.
12. Shen M.L., Dai S.F., Nechaev V.P., French D., Graham I.T., Liu S.D., Chekryzhov I.Y., Tarasenko I.A., Zhang S.W. Provenance changes for mineral matter in the latest Permian coals from western Guizhou, southwestern China, relative to tectonic and volcanic activity in the Emeishan Large Igneous Province and Paleo-Tethys region. *Gondwana Res.* 2023. 113. 71–88.
13. Азарська О., Скакун Л., Білоніжка П. Дикіт і накрит із флішової формації Криму *Мінералогічний збірник.* 2010. № 60. Вип. 2. С. 97–105.
14. Ehrenberg S.N., Aagaard P., Wilson M.J., Fraser A. R. & Duthie D.M.L. Depth-Dependent Transformation of Kaolinite to Dickite in Sandstones of the Norwegian Continental Shelf. *Clay Minerals.* 1993. 28. P. 325–352.
15. Beaufort D., Cassagnabere A., Petit S., Lanson B., Berger G., Lacharpagne J. C. & Johansen H. Kaolinite-to-dickite reaction in sandstone reservoirs. *Clay Minerals.* 1998. 33. P. 297–316.
16. Parnell J., Baron M. & Boyce A. Controls on kaolinite and dickite distribution, Highland Boundary Fault Zone, Scotland and Northern Ireland. *Journal of the Geological Society.* 2000. Vol. 157. P. 635 – 640.
17. Lanson B., Beaufort D., Berger G., Bauer A., Cassagnabere A. & Meunier A. Authigenic kaolin and illitic minerals during burial diagenesis of sandstones: a review. *Clay Minerals.* 2002. 37, P. 1–22.
18. Сахно С.В., Ішков В.В., Сахно А.І. Мінерал дикіт в осадових вуглевміщуючих породах Донбасу. Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. 2019. 1(21)-2(22), С. 7-13.

References

1. Sindern S., Wamsloh J., Witzke T., Havenith V. Neef R. & Etoundi Y. (2005). Mineralogy and geochemistry of vents formed on the burning coal mining waste dump Anna I, Alsdorf, Germany. *Eur. J. Mineral.*, 17, 130.
2. Szakáll S. & Kristály F. (2008). Ammonium sulphates from burning coal dumps at Komló and Pécs-Vasas, Mecsek Mts., South Hungary. *Mineral. Spec. Pap.*, 32, 154.
3. Matysek D. & Jirásek J. (2022). Mineralogy of the coal waste dumps from the Czech part of the Upper Silesian Basin: Emphasized role of halides for element mobility. *Int. J. Coal Geol.*, 264, 104138.
4. Ward C.R. (2016). Analysis, origin and significance of mineral matter in coal: An updated review. *Int. J. Coal Geol.*, 165, 1–27.
5. Dai S.F., Ren D., Tang Y.G., Yue, M. & Hao L.M. (2005). Concentration and distribution of elements in Late Permian coals from western Guizhou Province, China. *Int. J. Coal Geol.*, 61, 119–137.
6. Dai S.F., Yan X.Y., Ward, C.R., Hower J.C., Zhao, L., Wang, X.B., Zhao, L.X., Ren, D.Y. & Finkelman, R.B. (2018). Valuable elements in Chinese coals: A review. *Int. Geol. Rev.*, 60, 590–620.
7. Dai S.F., Wang X.B., Seredin V.V., Hower J.C., Ward C.R. O'Keefe J.M.K., Huang W.H., Li T., Li X. & Liu H.D. (2012). Petrology, mineralogy, and geochemistry of the Ge-rich coal from the Wulantuga Ge ore deposit, Inner Mongolia, China: New data and genetic implications. *Int. J. Coal Geol.*, 90, 72–99.
8. Newnham R.E. & Brindley G.W. (1956). The crystal structure of dickite. *Acta Cryst.*, 10, 88.
9. Logvinenko N.V. & Frank-Kamenetsky V.A. (1962). About Dickit. *Doc. USSR Academy of Sciences.*, 143, 5, 1186–1189.
10. Nakovnik N.I. (1941). About nakrit and other kaolinite minerals of the USSR. *West Vseros. mineral. soc.*, 70(1), 51–64.
11. Fishkin M.Yu. (1963). Dickit from secondary quartzites of the Beregovsky hills of the Transcarpathian region. *Mineral. Sat.*, 17. 214–220.
12. Shen M.L., Dai S.F., Nechaev V.P., French D., Graham I.T., Liu S.D., Chekryzhov I.Y., Tarasenko I.A. & Zhang S.W. (2023). Provenance changes for mineral matter in the latest Permian coals from western Guizhou, southwestern China, relative to tectonic and volcanic activity in the Emeishan Large Igneous Province and Paleo-Tethys region. *Gondwana Res.*, 113, 71–88.
13. Azarskaya O., Skakun L. & Bilonizhka P. (2010). Dyckit and cover with flysch formations Crimea *Mineralogical collection*, 60 (2), 97–105.
14. Ehrenberg S.N., Aagaard P., Wilson M.J., Fraser A. R. & Duthie D.M.L. (1993). Depth-Dependent Transformation of Kaolinite to Dickite in Sandstones of the Norwegian Continental Shelf. *Clay Minerals*, 28, 325–352.
15. Beaufort D., Cassagnabere A., Petit S., Lanson B., Berger G., Lacharpagne J. C. & Johansen H. (1998). Kaolinite-to-dickite reaction in sandstone reservoirs. *Clay Minerals*, 33, 297–316.
16. Parnell J., Baron M. & Boyce A. (2000). Controls on kaolinite and dickite distribution, Highland Boundary Fault Zone, Scotland and Northern Ireland. *Journal of the Geological Society*, 157, 635 – 640.
17. Lanson B., Beaufort D., Berger G., Bauer A., Cassagnabere A. & Meunier A. (2002). Authigenic kaolin and illitic minerals during burial diagenesis of sandstones: a review. *Clay Minerals*, 37, 1–22.
18. Sakhno S. & Ishkov V.V. (2019). Dickit mineral in sedimentary carbon rocks of Donbass. *Scientific works of DonNTU: Mining and geological series*, 1(21)-2(22), 7-13. (In Ukrainian).