

## ВТОРИННІ ПЕРЕТВОРЕННЯ МІНЕРАЛІВ – ІНФОРМАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ THE SECOND TRANSFORMATIONS OF MINERALS – ARE INFORMATIVE INDEXES OF GEOLOGICAL PROCESSES

**Л.Ф. Маметова**  
**Ludmila F. Mametova**

Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine ([igtm@nas.gov.ua](mailto:igtm@nas.gov.ua))

На підставі дослідження вторинних (катагенетичних) перетворень мінералів теригенної товщі вугільних родовищ встановлена взаємодія геохімічних і тектонічних процесів. Інформація про їх перебіг фіксується карбонатами, каолінітом, кварцом. Як складова частина геохімічного процесу розглядається гідроліз, в наслідок якого утворюються катагенетичні облямівки: а) кальциту довкола сидериту; б) суцільні або фрагментарні ділянки регенераційного кварцу на периферії одноіменних зерен (уламків). Каолініту в взаємодії з вуглефікованими рослинними рештками, органікою є постачальником води, необхідної для гідролізу, і є показником хімічної активності порових розчинів. Встановлені три генерації кальциту і дві каолініту. Остання модифікація кальциту і новоутворений каолініт (друга генерація) спостерігалися на зернах кварцу, а також в його деформаційних смугах. Інформація про варіації геодинамічного режиму та активізацію тектонічних процесів надають пластичні мікрореформації кварцу. Вони відображають зміну умов деформації.

*Ключові слова:* катагенез, карбонати, каолініт, кварц, новоутворені мінерали, активація процесів деформації.

On the basis of the research of the second (catagenetic) transformations of minerals of terrigenous layer of coal deposits, geochemical and tectonic process interaction is set. Information about progress of these processes is fixed with carbonates, kaolinite and quartz. Hydrolysis as a part of geochemical process is examined. As a result of hydrolysis appear catagenetic lining: a) calcite around siderite; б) continuous or fragmentary areas of regeneration quartz on periphery of the same name flake (slivers). Kaolinite in cooperating with carbonized plant remains and organic are source of water which is necessary for hydrolysis and is the index of chemical activity of detached water. Three generations of calcite and two generations of kaolinite are set. Last modification of calcite and newly-formed kaolinite (second generation) was observed on the quartz flakes, and also in deformation zones of quartz. Information about variations of the geodynamic conditions and activation of tectonic processes is reflected by plastic microdeformations of quartz. They fix the change of deformation terms.

*Keywords:* catagenesis, carbonate, kaolinite, quartz, newly-formed minerals, activation of deformation processes.

### ВСТУП

Вторинні перетворення мінералів у будь-яких породах відображають хід геологічних процесів – ті зміни, які зумовлені варіаціями температури, тиску, тектонічного та флюїдного режимів, нестійкого водневого потенціалу мігруючих розчинів. Ці фактори викликають видозміну структури породотвірних мінералів, появу нових речовин, трансформацію цементу і його кількості (в осадових породах). Такий розвиток зумовлений залученням в сферу перетворень різних компонентів у відповідності до їх реакційної здатності для досягнення стану рівноваги в системі “порода–середовище”. Порушником цього стану є тектонічні рухи, які інтенсифікують мікрореформаційні, геохімічні, міграційні та інші геологічні процеси, інформацію про які несуть нові мінерали-індикатори середовища. Саме вони відтворюють послідовність процесів і динаміку зміни фізико-хімічних характеристик будь-якої породи.

Мета дослідження – виділення мінералів – показників особливих перетворень, їх трансформація різними процесами.

Основним методом пізнання геологічних процесів є дослідження порід за допомогою оптичного та електронного мікроскопів, доповнене визначенням їх хімічних і структурних властивостей аналітичними методами.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Особливості перебігу вторинних перетворень у породах, як фізико-хімічних реакцій, відображають новоутворені мінерали і ті, що трансформуються в процесі.

В осадових породах індикаторами таких змін є карбонатні, глинисті мінерали та кварц, які реагують на найменші коливання параметрів середовища. Одним із ряду показників процесу змін є водневий потенціал (pH) розчинів, які циркулюють в тріщинах і порах будь-яких відкладів. Стійкість асоціації карбонатів (сидериту, кальциту, анкериту) з іншими мінералами породного масиву регулюється іонами  $\text{HCO}_3^-$  і  $\text{CO}_3^{2-}$ ; надлишок першого викликає розчинення кальцію в кислому середовищі, а збільшення концентрації другого –

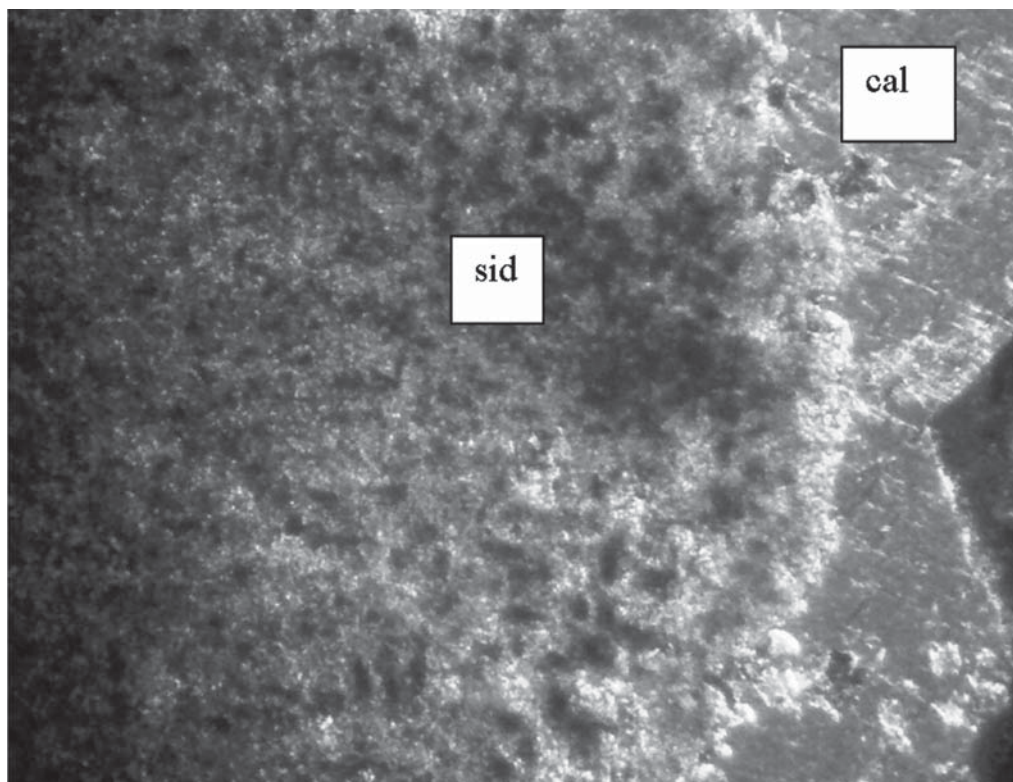
навпаки – карбонатизацію. В пісковиках карбону трансформацію карбонатів і зміну показників рН засвідчує гідроліз розсіяних седиментаційних сидеритів з утворенням облямівки кальциту, стійкого у нових умовах середовища (рис. 1).

В інтервалі показників рН 1-6,4 переважаючим карбонатним компонентом у розчинах є вугільна кислота –  $H_2CO_3$ , при значеннях рН 6,4-10,32 – іони  $HCO_3^-$ , а в більш лужному середовищі – іони  $CO_3^{2-}$ . Варіації показників рН провокують також процес розчинення та заміщення кварцу кальцитом, який можливий не тільки в лужних, а й слабо кислих розчинах (рН 4) (Кашик, 1965). За даними науковців (Павлишин, 1983; Курило, 1986, 2001; Кульчецька, 2009) Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка рН розчинів включень з вуглекислою в зернах кварцу з жил Донбасу становить  $8,0-8,9 \pm 0,2$ , температура гомогенізації – від  $130^\circ$  до  $350^\circ$  С, тиск – понад  $6 \cdot 10^4$  кПа; в кальциті включення гомогенізувались в інтервалі від  $100^\circ$  до  $250^\circ$  С і тиску від 100 до 200 МПа. Отримані показники процесу аутигенного мінералоутворення загалом збігаються з результатами інших експериментів

(аналізи методами піролітичної газової хроматографії, органічної геохімії, термобарогеохімії та ін.) (Кульчецька, 2009; Деревська та ін., 2002).

Поява дрібних кристаликів кальциту по контуру зерен кварцу в пісковиках карбону свідчить про дискретність геохімічних процесів і короткий період рівноваги з середовищем для першого з названих мінералів в умовах рН 7,8-8,5, (рис. 2).

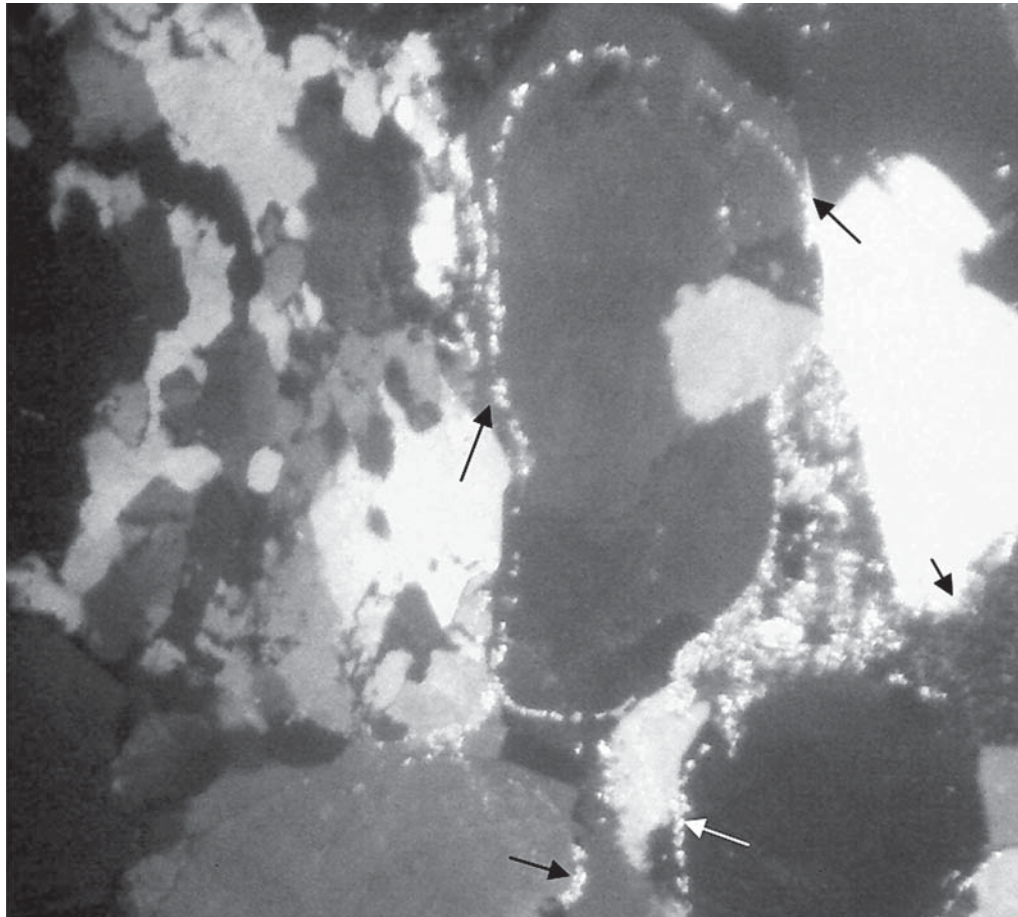
Швидка зміна лужності середовища у бік зростання викликає розчинення кварцу і наступну регенерацію. Сприяє процесу також недосконалість і висока дефектність кремнекисневої сітки кварцу. За умови невеликої товщини шарів і присутності на їхній поверхні структурних ОН-груп та кутової неузгодженості (в середньому  $60^\circ$ ) оптичних осей на контакт розчиняється те зерно, яке знаходиться в напруженому стані (Кульчецька, 2009; Кушнір, Яремчук, 2011; Маметова, 2011; Saruwatari et al., 2004). Присутність води у вигляді адсорбційної плівки підсилює каталітичний ефект і швидкість реакцій. Роль води заключається в гідролізі сильного зв'язку Si-O-Si на лініях дислокацій та утворенні силанольних груп (Si-OHNO-Si) менш «жорстких», ніж зв'язки Si-O



**Рис. 1.** Мікросфероліти сидериту (sid) з облямівкою кальциту (cal), пісковики світи  $C_2^7$  пр.10554-3, св. Д-5 (Донецько-Макіївський район).

Нік. +, 283×213 мкм

**Fig. 1.** Microspherulites of siderite (sid) with framing of calcite (cal), sandstones coal measure  $C_2^7$ .



**Рис. 2.** Кальцит у регенераційній облямівці кварцу пісковиків світи  $C_2^7$ , МК<sub>4</sub>, пр. 10554, св. Д-5, гл. 1115,7 м (Донецько-Макіївський р-н). Нік. +, 677×506 мкм

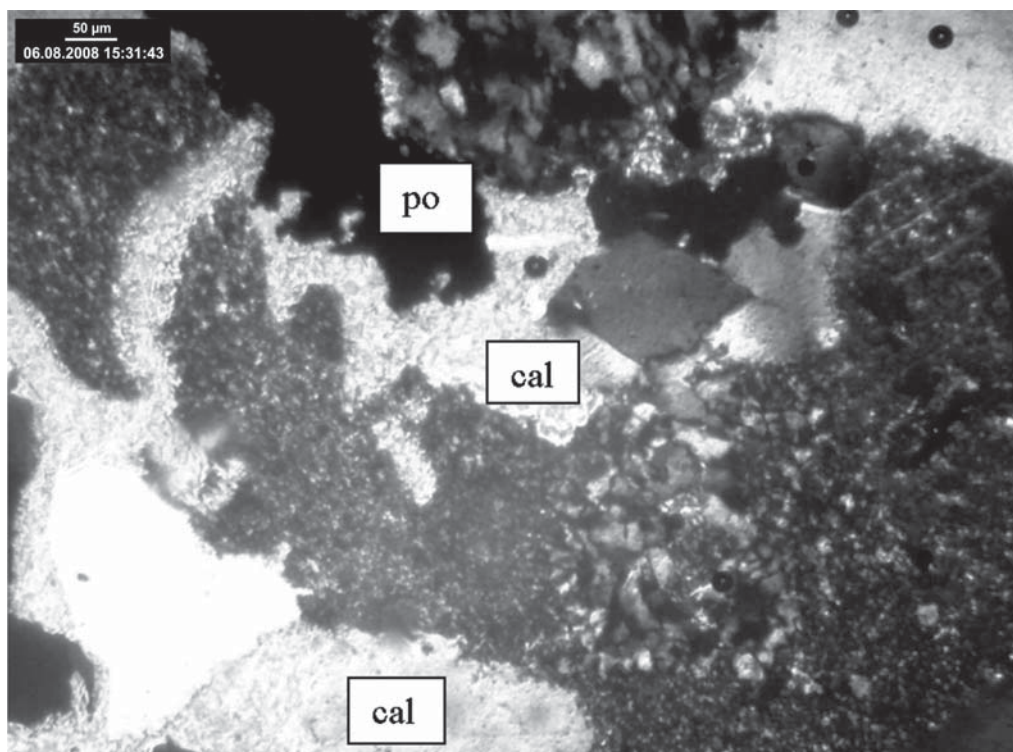
**Fig. 2.** Calcite in the regeneration framing of sandstones quartz of coal measure  $C_2^7$ .

(Кушнір, Яремчук, 2011; Saruwatari et al., 2004). Нарощування регенераційних облямівок також відбувалось за рахунок надлишку діоксиду кремнію при корозії польових шпатів, які постачали в порові розчини леткі компоненти K, Na, Al для подальшого утворення центрів кристалізації аутигенних мінералів (серед них каолініту). Реакцію розчинення польових шпатів провокують органічні сполуки. Спостереження виявили безпосередній вплив і зв'язок вуглефікованої органіки з процесами карбонатизації цементу пісковиків (світи:  $C_2^7$ ,  $C_2^5$ ), окислення якої призводить до утворення кальциту і різкого зменшення пористості в геологічному розрізі гірничого масиву (рис. 3).

Реакція окислення супроводжується агресивністю кальциту щодо уламкового матеріалу та цементу пісковиків. У тектонічних зонах інтенсивність хімічних процесів зростає. Поряд з сидеритом і кальцитом фіксується утворення анкериту, дикіту, хлориту, гетиту та інших мінералів. Присутність водного флюїду і напруга сколювання визначають

каталітичний ефект швидкості геохімічних реакцій (Файф и др., 1981; Хайнике, 1987). Особливості перебігу цих реакцій залежать від природи і розподілу структурних дефектів. Точкові дефекти, дислокації і границі зерен прискорюють перенесення речовин. Можливість утворення зародків (мінералів), з яких починається будь-який хімічний процес, зростає в присутності дислокацій (Файф и др., 1981). Зерна кварцу з деформованою структурою є «майданчиком» для виникнення таких мінералів як: каолініт, дикіт, ларніт (рис. 4, 5).

Перші два мінерали – кальцит і каолініт – спостерігались у двох генераціях, а саме: в цементі та на кварці. В структурній перебудові цих мінералів крім температури і тиску, бере участь порова і міжшарова вода (конституційна). Перетворення каолініту та інших глинистих мінералів відбувається шляхом поступового зменшення в їхній структурі шарів, здатних набухати, і далі – перехід через змішаношаруваті модифікації у гідрослюди 10 Å. У периферійних частинах Донбасу як на південному



**Рис. 3.** Утворення кальциту (cal) за участі розсіяної органіки (po), світа  $C_2^5$  ( $K_7Sk_7^{1H}$ ),  $MK_3$ , шл. 4397-1, гл. 285,0 м, св. 1747, шахта “Суходольська-Східна”, Краснодонський район. Нік. +, 677×506 мкм

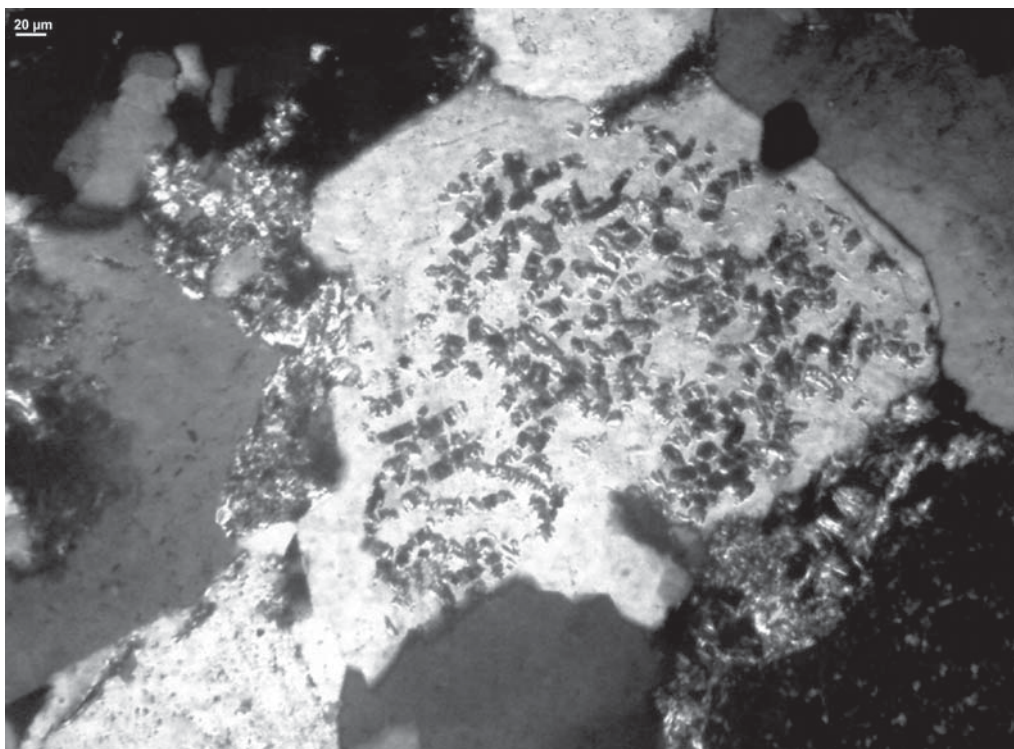
**Fig. 3.** Formation of calcite (cal) at participation of dissipated organic (po), coal measure  $C_2^5$  ( $K_7Sk_7^{1H}$ ).

заході, так і на північному сході каолінит зберігає здатність змінювати структуру до термобаричних умов рівня  $MK_4$  (середня підстадія катагенезу), після якого на перше місце виходить гідрослюда. Переважання гідрослуд пов'язане з їх властивістю знаходитись у рівновазі з параметрами середовища. Щодо каолініту, то його стійкість також залежить від показників рН. Основними факторами, одночасна дія яких сприяє руйнуванню каолініту, Є.Г. Куковський (Куковский и др., 1984) називає інтенсивне промивання порід ґрунтовими водами, активну обробку каолініту органічними речовинами та дію гідроокисів заліза. Органічні сполуки виступають як низькомолекулярний реагент, який активно взаємодіє з поверхнею силікату, що призводить до деструкції каолініту. Каолінит з недосконалою структурою характеризується підвищеною гідрофільністю, адсорбційною здатністю, каталітичною активністю, ємністю обмінних основ. Саме ці його характеристики визначають хід хімічних реакцій та особливості катагенезу.

Завдяки анізотропії кварц здатний реагувати на зміну умов деформації з чергуванням стиску-розтягу та в комбінації із зсувом. Ця властивість ілюструється морфологічно різними типами

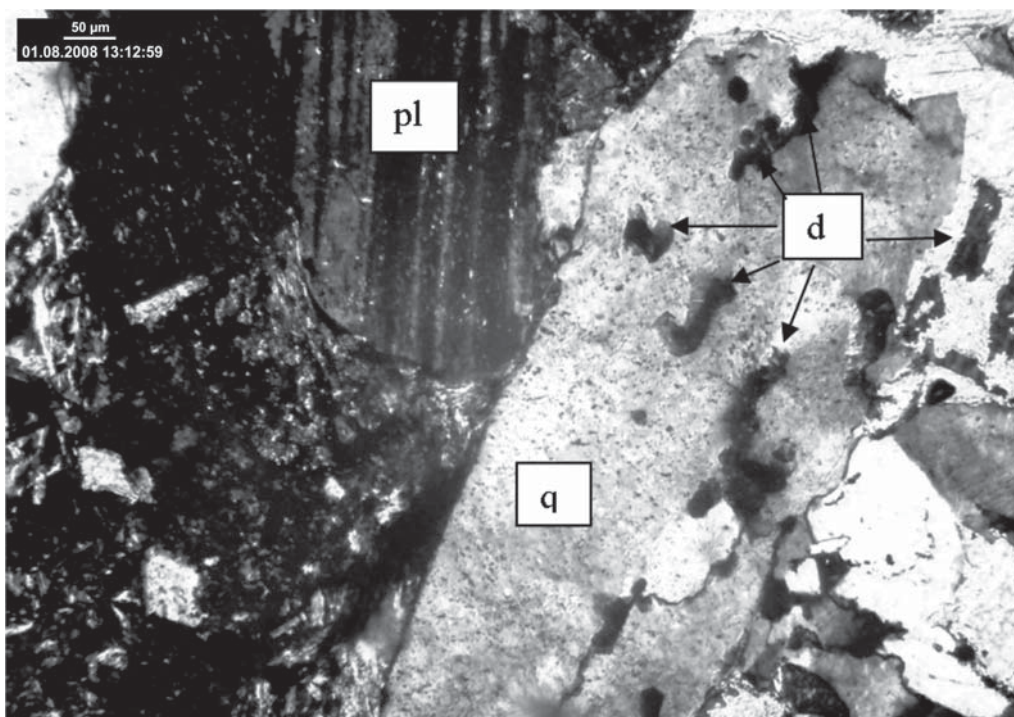
пластичних мікродеформацій (Маметова, 2011, 2015). Аналіз їх поширення дозволив розділити мікродеформації на три групи. Ранні – деформаційні (б'омівські) смуги в зернах декоровані мікрровключеннями і мають вигляд ліній прямих паралельних, перехресних, дугоподібних (рис. 6). Вони синхронізуються з прогинанням басейну, де окремі ділянки перебували в умовах вертикального тектонічного руху різного спрямування.

Наступна тектонічна активізація – період підняття Донбасу – представлена складними комбінаціями мікропорушень структури кварцу: площинами деформації та ірраціональними двійниками. Знакозмінні рухи Донецького мегаблоку відзначались тектонічною напруженістю різного характеру (Маметова, 2010; Привалов, 2005). Неодноразові та різноманітні за морфологією ці рухи фіксуються на мікрорівні саме як деформації структури кварцу, польових шпатів (дуги, блокування, грануляція, мозаїчність, тощо). Грануляція і мозаїчність типові для постінверсійного періоду і поширюються по ранніх мікродеформаціях і локально на активних ділянках. Порушення мікроструктури мінералів і дискретна дія регіональних тектонічних рухів збуджують геохімічні перетворення в породах – вияв-



**Рис. 4.** Новоутворення тонколукуватого каолініту на зернах кварцу пісковиків кам'янської світи ( $C_2^5$ ), МК<sub>3</sub>, шахта Краснолиманська, Красноармійський район. Нік. +, 677×506 мкм

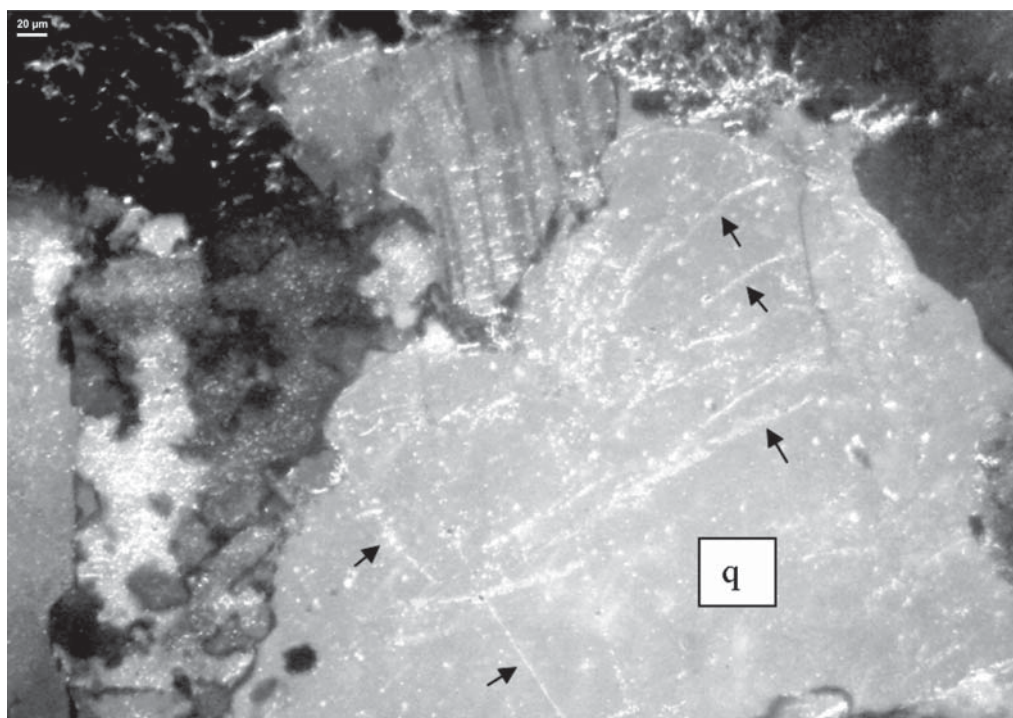
**Fig. 4.** New formations of kaolinite in the sandstones quartz grains of kamyanska coal measure ( $C_2^5$ ) (Krasnolymanska mine, Krasnoarmiysky district).



**Рис. 5.** Агрегати дикіту (d) на кварцовому (q) зерні, світа  $C_2^5$  ( $K_1Sk_1$ ), МК<sub>4</sub>, шл. 2235, св. Е-3379, гл. 1337,7 м, ділянка Краснодарська-Глибока.

Нік. +, 677×506 мкм

**Fig. 5.** Congeries of dicite in the sandstones quartz grain, coal measure  $C_2^5$  ( $K_1Sk_1$ ).



**Рис. 6.** Деформаційні смужки в зернах кварцу (q) пісковика світи  $C_2^7$ , МК<sub>4</sub> шл. 5097-5 св. 3 Г-1, гл. 1396-1398,4 м, поле шахти ім. О.Ф. Засядька.

Нік.+, 677×506 мкм

**Fig. 6.** Deformation strips in the sandstones quartz grain (q), coal measure  $C_2^7$ .

ляють особливості катагенезу з утворенням таких нових мінералів, як – дикіт, ларніт, а також проводять трансформацію вже присутніх у їхньому складі (Маметова, 2010, 2011, 2015).

#### ВИСНОВКИ

На підставі дослідження вторинних (катагенетичних) перетворень мінералів теригенної товщі вугільних родовищ як інформаційних показників геохімічних і тектонічних процесів виділені кальцит, каолінит, кварц. Процес гідролізу як складова частина першого з цих процесів фіксується катагенетичними об'єктами: а) кальциту довкола сидериту; б) суцільними або фрагментарними ділянками регенераційного кварцу на периферії одноіменних зерен

(уламків) і є показниками хімічної активності порових розчинів. Встановлені три генерації кальциту: а) перша (рання) – по периферії сидеритових включень; б) друга (цемент) – корозійна; в) третя – з'являється в деформаційних смугах. Каолінит і карбонати у взаємодії з вуглефікованими рослинними рештками, органікою є постачальниками води, необхідної для гідролізу в консолідованому гірничому масиві. Новоутворений каолінит (2-а генерація) спостерігається на зернах кварцу, а також в його деформаційних смугах. Встановлені закономірності поширення різних типів деформації структури кварцу. Вони інформують про дію тектонічних рухів і служать шляхами для розчинів, дозволяють виконати певну реконструкцію геологічних процесів.

#### REFERENCES

Derevska K.I., Shumlianskyi V.O., Novik V.A., 2002. Postdiagenetic of changing of Carboniferous rocks on the stage of inversion and hypogene ore formations in Donbass, *Aspekty geologii metalevykh i nemetalevykh korysnykh kopalyn*: zb. nauk. prats IGAN NANU, vol. 1, p. 55-72. (In Ukrainian).

Kashik S.A., 1965. About substitution of quartz by calcite in siltages. *Geochimiya*, no. 2, pp. 180-187.

Kukovskiy E.G., Movtchan N.P., Ostrovskaya A.B., 1984. *Strukturnye prevrashcheniya mineralov*. Kiev, Naukova dumka. 118 p. (In Russian).

Деревська К.І., Шумлянський В.О., Новик В.А. Постдіагенетичні змінення порід карбону на етапі інверсії і гіпогенного рудоутворення в Донецькому басейні. *Аспекти геології металевих і неметалевих корисних копалин*. Збірка наукових праць ІГН НАН України, присвячена пам'яті проф. В.І. Скаржинського. Київ, 2002. Т. 1. С. 55-72.

Кашик С.А. О замещении кварца кальцитом в осадочных породах. *Геохимия*. 1965. № 2. С. 180-187.

Куковский Е.Г., Мовчан Н.П., Островская А.Б. Структурные превращения минералов. Киев: Наук. думка, 1984. 118 с.

- Kulchetska G.O., 2009. Volatile components of minerals as indicators of mineralogenesis, Abstract of D.Sc. (Mineralogy, Crystallography), Kyiv, 36 p. (In Ukrainian).
- Kurylo M.V., 2001. Termodynamichni parametry kata-metagenезysu v Donezkomu baseini. Actualni problemy geologii Ukraini, Kyiv, Ukraine, 23-24.05.2001, p.17-18 (In Ukrainian).
- Kurylo M.V., Galaburda Y.A., Dobryanskiy L.A., 1986. Some results of termobarogeokhymycheskogo study of autygenykh minerals from the uglenosnykh deposits of Donbass Litologiya i poleznye iskopaemye, no 2, p. 68-74 (In Russian).
- Kushnir S.V. and Yaremchuk Ya.V., 2011. Compression unusual effects of crystalline lattice on account of hydrated ground up quartz. Mineralogichnyy zhurnal, vol. 33. no. 3. p. 21-27. (In Ukrainian).
- Mametova L.F., 2015. Processes of dissolution and regeneration of minerals in sandstones coal deposits, Geotekhnicheskaya mekhanika, no. 122, pp. 129-139. (In Ukrainian).
- Mametova L.F., 2010. Structural transformations of sandstones as result state. Geotekhnicheskaya mekhanika, no. 85, pp.175-180. (In Ukrainian).
- Mametova L.F., 2011. Struturally-mineralogical transformations of gas-bearing sandstones of Donbassis. Abstract of Ph. D. (Geol). Dnipropetrovsk, 20 p. (In Ukrainian).
- Pavlyshyn V.I., 1983. Typomofyzm quartz, micas and feldspars in endogenous educations. Kiev: Naukova dumka. 231 p. (In Russian).
- Privalov V.A., 2005. Tektonothermal evolution of the Donets Basin. Abstract of D. Sci. diss. Dnipropetrovsk, 35 p. (In Ukrainian).
- Fyfe W.S., Price N.J. and Thompson, 1981. Fluids in the Earth's Crus Moscow: Mir, 435 p. (In Russian).
- Khaynike G., 1987. Tribokhimiya, Mir, Moscow, Russia.
- Saruwatari K., Saruwatari K., Kameda J., Tanaka H., 2004. Generation of hydrogen gas in quartz-water crushing experiments: an example of chemical processes in active faults. Phys. and Chem. Minerals, vol. 31, no. 3, pp. 176-182.
- Кульчецька Г.О. Леткі компоненти мінералів як індикатори умов мінералоутворення: автореф. дис. д-ра геол. наук Спец. 04.00.20 – мінералогія, кристалографія. Київ, 2009. 36 с.
- Курило М.В., Ю.А. Галабурда, Добрянський Л.А. Некоторые результаты термобарогеохимического изучения аутигенных минералов из угленосных отложений Донбасса. Литология и полезные ископаемые, 1986, № 2. С. 68-74.
- Курило М.В. Термодинамічні параметри ката-метagenезису в Донецькому басейні: Матеріали наук. конф. Актуальні проблеми геології України (Київ, 23-24 травня 2001 р.) – К.: ВПЦ „Київський університет”, 2001. С. 17-18.
- Кушнір С.В., Яремчук Я.В. Незвичні ефекти стискування кристалічної ґратки внаслідок висушування гідратованого подрібненого кварцу. Мінералогічний журнал, 2011. Т. 33. № 3. С. 21-27.
- Маметова Л.Ф. Процеси розчинення і регенерації мінералів в пісковиках вугільних родовищ. Геотехн. механіка. 2015. № 122. С. 129-139.
- Маметова Л.Ф. Структурні перетворення пісковиків як наслідок напруженого стану. Геотехн. механіка. 2010. № 85. С. 175-180.
- Маметова Л.Ф. Структурно-мінералогічні перетворення газоносних пісковиків Донбасу: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Спец. 04.00.16 – Геологія твердих горючих копалин. Дніпропетровськ, 2011. 20 с.
- Павлишин В.И. Типоморфизм кварца, слюд и полевых шпатов в эндогенных образованиях. Киев: Наук. думка, 1983. 231 с.
- Привалов В.О. Тектонотермальна еволюція Донецького басейну: автореф. дис. ... доктора геол. наук. Спец. 04.00.16 – Геологія твердих горючих копалин. Дніпропетровськ. 2005. 35 с.
- Файф У., Прайс Н., Томсон А. Флюиды в земной коре. М.: Мир, 1981. 435 с.
- Хайнике Г. Трибохимия. Москва: Мир, 1987. С. 24-32, 53-75
- Saruwatari K., Kameda J., Tanaka H. Generation of hydrogen ions and hydrogen gas in quartz-water crushing experiments: an example of chemical processes in active faults. Phys. and Chem. Minerals. 2004. 31, no 3, p. 176-182.

Manuscript received September 25, 2018;  
revision accepted November 30, 2018

Інститут геотехнічної механіки НАН України,  
Дніпро, Україна

## ВТОРИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ – ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Л.Ф. Маметова

На основании исследования вторичных (катагенетических) превращений минералов терригенной толщи угольных месторождений установлено взаимодействие геохимических и тектонических процессов. Информация о том, как это происходит, фиксируется карбонатом, каолинитом, кварцом. Как составная часть геохимического процесса рассматривается гидролиз, в следствие которого образуются катагенетические оторочки: а) кальцита вокруг сидерита; б) сплошные или фрагментарные участки регенерационного кварца на периферии одноименных зерен (обломков). Каолинит во взаимодействии с углефицированными растительными остатками, органикой поставляет воду, необходимую для гидролиза, и является показателем химической активности поровых растворов. Установленные три генерации кальцита и две каолинита. Последняя модификация кальцита и новообразованный каолинит (вторая генерация) наблюдались на зернах кварца, а также в его деформационных полосах. Информацию о вариациях геодинамического режима и активизации тектонических процессов предоставляют пластичные микродеформации кварца. Они отображают изменение условий деформации.

*Ключевые слова:* катагенез, карбонат, каолинит, кварц, новообразованные минералы, активация процессов деформации.