

УДК 552.1/5:622.277.3.004.67

Маметова Л.Ф., канд. геол. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

ПРОЦЕСИ РОЗЧИНЕННЯ І РЕГЕНЕРАЦІЇ МІНЕРАЛІВ В ПІСКОВИКАХ ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ

Маметова Л.Ф., канд. геол. наук, ст. науч. сотр.
(ІГТМ НАН Украины)

ПРОЦЕССЫ РАСТВОРЕНИЯ И РЕГЕНЕРАЦИИ МИНЕРАЛОВ В ПЕСЧАНИКАХ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Mametova L.F., Ph.D. (Geol.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

PROCESSES OF MINERAL DISSOLUTION AND REGENERATION IN THE SANDSTONES OF COAL DEPOSITS

Анотація. Розчинення і регенерація мінералів є неодмінними складовими літо- і катагенезу теригенних відкладів. Дослідження таких процесів у пісковиках вугільних родовищ засвідчує безперечний вплив цих явищ на фізичні, механічні, колекторські властивості не тільки пісковиків – у геохімічних перетвореннях беруть участь всі породи стратиграфічного розрізу. Пористість, фільтрація, щільність, газонасиченість, пластичні деформації та інші характеристики порід залежать від мінералів, їхньої поведінки зі зміною умов середовища. Серед пісковиків вугільних родовищ найпоширеніші мінерали – це кварц і карбонати. Вони полігенетичні - присутні в уламках, у складі цементу і досить стійкі (особливо кварц) щодо механічного руйнування. Але від дії хімічних реагентів карбонати розчиняються повністю, а кварц – частково. Зміна умов (катагенез) призводить до відновлення цих мінералів. Чинники цих процесів: температура, тиск, водневий потенціал і флюїди діють дискретно на швидкість реакцій, на структурні варіації мінералів, на зміну їхніх властивостей і породного масиву загалом.

За кількістю облямівок вторинного кварцу і появою кількох генерацій кальциту моделюються палеотектонічні рухи, які сприяли їх утворенню.

Ключові слова: пісковики, катагенез, розчинення, регенерація, кварц, карбонати

Вступ. Явища корозії уламкового матеріалу осадочних порід (кварцу, польових шпатів, карбонатів, літокласт та ін.) науковцям відомі давно і фіксувались на всіх стадіях їхнього формування – від діагенезу до метагенезу. У породах віком від протерозою до пліоцену і навіть серед четвертинних відкладів [1] спостерігались процеси розчинення та відновлення мінералів. Найпоширенішими мінералами у складі порід вугільних басейнів є кварц, польові шпати, карбонати, слюди. Наші дослідження зосереджені на поведінці кварцу та карбонатів у складі пісковиків як провідних мінералів, які впливають на газоємнісні, фільтраційні та інші властивості порід. Вони реагують на зміну тиску, температури, геохімічні умови (рівень водневого потенціалу – рН). Процеси розчинення кварцу і карбонатів полістадійні і швидкість їх залежить від зазначених вище чинників. Варіації тиску призводять до структурних дефе-

ктів кристалічної ґратки будь-якого мінералу, викликають пластичні деформації.

Про переорієнтацію кристалічної ґратки мінералів (серед них і кварцу) при неоднорідній деформації йдеться у дослідженнях цілого ряду вітчизняних [2-4, 6] і закордонних [5, 8, 20] науковців. Вивчалась зміна форми мінералів як окремих, так і у вигляді агрегату. В залежності від геологічних умов процеси перетворень інтенсифікуються у певної частини мінералів зі складу породи, а у іншій – гальмуються. Явища розчинення і новоутворення мінералів починаються в діагенезі і тривають після консолідації осадків та їх перетворенні у породи. Зокрема в пісковиках теригенних відкладів вугільних родовищ ці процеси описані при багаторічних дослідженнях [7-14]. Роботи В.А. Баранова [11] і Л.Ф. Маметової [12] показали зв'язок процесів розчинення з пластичними деформаціями мінералів, з палеотектонічними рухами. Рівень перетворень кварцу і карбонатів у відкладах Донбасу свідчить про циклічний перебіг геохімічних процесів. Характеристиці процесу змін мінералів присвячена ця стаття.

Основним методом дослідження розчинення і новоутворення мінералів є мікроскопічне вивчення їх із залученням рентгенівського, термічного та інших аналізів у поєднанні з лабораторними експериментами.

В термодинамічних умовах великих глибин катагенетичні (постседиментаційні) перетворення кварцу і карбонатів відбуваються не синхронно. В сухому стані кварц навіть при високому тиску і температурі є крихким, але в присутності води стає можливим гідроліз його і будь-яких інших модифікацій кремнезему. Численними експериментами [3-5] і спостереженнями доведено [1, 9, 14], що кварц у розчинах з рН 0-5 стійкий, а за лужних умов – з рН 9 і більше – він розчиняється повністю. При температурі 25°C і тиску 1 атм кварц та його модифікації розчиняються повільно (кварц 7 г/т, кристобаліт 12 г/т, опал 20 г/т) – це на порядок повільніше, ніж аморфний кремнезем – 120 г/т (рис. 1).

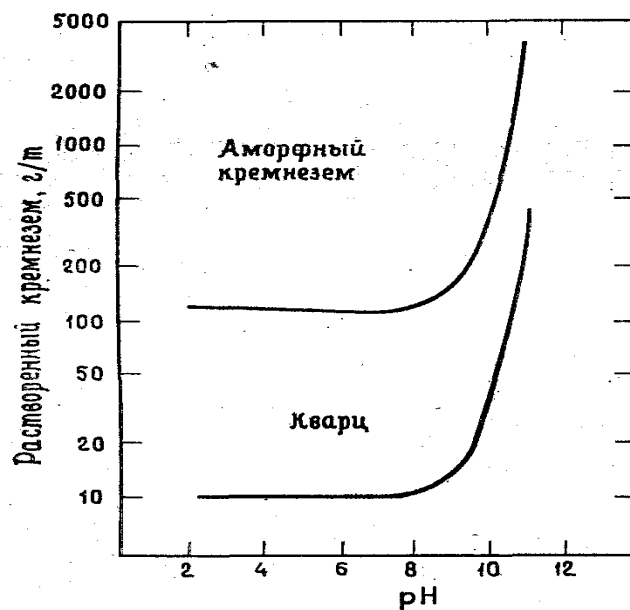
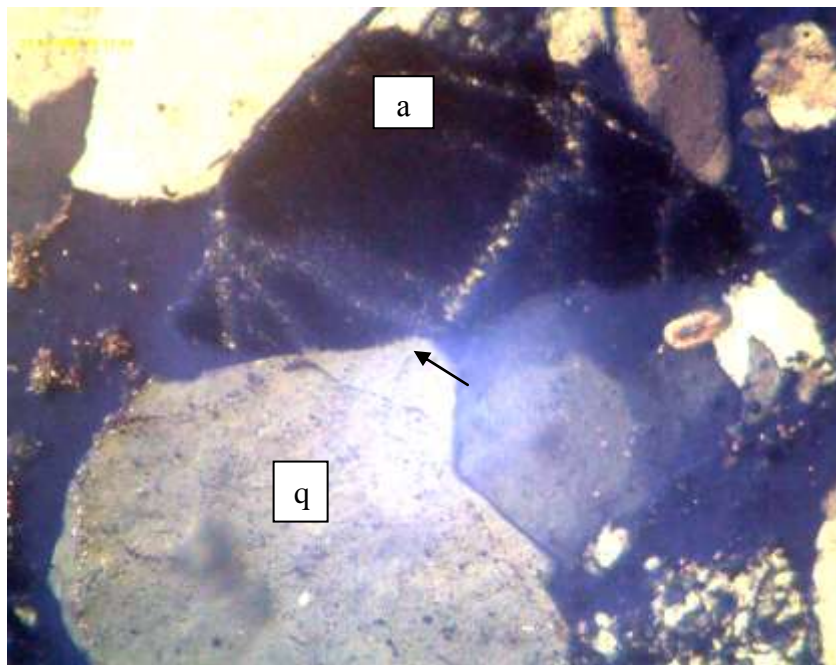


Рисунок 1 – Розчинність кварцу та аморфного кремнезему зі зміною рН [17]

Науковці пояснюють це не тільки високою впорядкованістю структури, але також іншим типом хімічного зв'язку – в кристалічних формах з однорідними ланцюжками зв'язків Si—O—Si [5, 10]. За умови дроблення кристалів кварцу та руйнуванні названих ланцюжків зв'язку в поверхневих шарах кварцу спостерігається поступове зростання розчинності [6].

Гідроліз сильного зв'язку Si—O—Si призводить до заміни його на слабку форму та утворення силанольних груп типу Si—OH·HO—Si, які сприяють процесу дифузії речовини та міграції дислокацій [5]. Енергія розчинності кварцу у воді визначається різницею між енергією дисоціації (16,5 ккал/моль) і енергією осадження (14,5 ккал/моль), яка свідчить про виникнення полімерного воднокремнеземного комплексу H_2SiO_4 . Надлишок іону гідроксилу (OH⁻) при рН біля 9 призводить до зростання швидкості розчинення. Гідроксил каталізує розчинення аморфного кремнезему (опалу) і кварцу через утворення метастабільних форм (кристобаліту, китіту).

Зміна лужності середовища викликає не тільки розчинення кварцу, а і наступну його регенерацію в процесах перетворення мінералів цементу пісковиків та аргілітів Донбасу. Джерелом регенерації як у діагенезі, так і після літифікації були зерна кварцу кородовані кальцитом і доломітом та тонкодисперсна кремениста речовина з порових розчинів (за рахунок трансформації глинистих мінералів). Під час катагенезу цей процес триває, найінтенсивніше – в середню стадію (мезокатагенез – МК₁₋₅). Регенераційна облямівка охоплює або все зерно кварцу по периметру (за сприятливих умов), або лише окремі його ділянки на початку процесу – рис. 2.

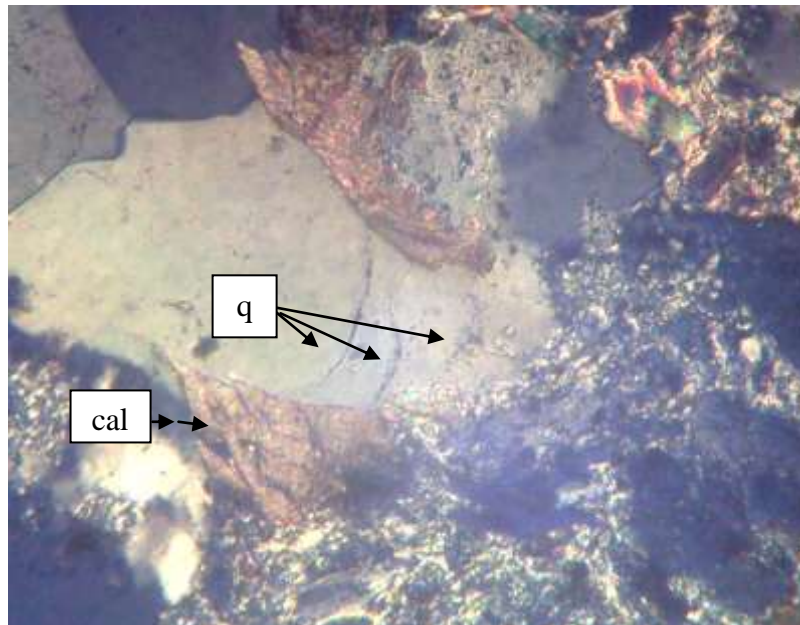


q – кварц; а – кременінь

Рисунок 2 – Регенераційна облямівка кварцу на контакті з уламком кременю, МК₂, світа С₁⁴

На рисунку 2 видно збільшення ширини регенераційної облямівки кварцу з 0,02 мм до 0,04 мм на контакті з уламком кременю. Новоутворений кварц витісняє каолінит-гідрослюдистий цемент. Динамічний аналіз мікроструктур мінералів [3, 4] показав, що при стискуванні відбувається поглинання пружної енергії, яка проявляється у вигляді теплоти розчинення. Розчинність прямо пропорційна хімічному потенціалу, внаслідок чого грані кристалу, які зазнають більшого тиску, будуть розчинятись швидше. Матеріал з цих граней відкладеться на протилежних гранях з меншим тиском.

Встановлено [3], що явище розчинення кварцу можливе лише між зернами з кутовою неузгодженістю оптичних осей на контакті – в середньому 60° . Найінтенсивніше розчинення зерен спостерігається під кутом $\sim 70^\circ$. Причому – розчиняється те зерно, яке знаходиться в напруженому стані. В шліфах з пісковиків карбону Донбасу фіксувались переважно 1-2 облямівки, іноді до 3-х [12]. На рівні МК₂ (початок середньої стадії катагенезу) регенераційні облямівки зерен кварцу не суцільні, а фрагментарні і на показниках відкритої пористості пісковиків з середнього і нижнього карбону мало позначаються – відповідно 10,1 % і 15,1 %. Кількість вторинного (регенераційного) кварцу в пісковиках нижнього карбону – 1-3 %, а в середньому карбоні – досягає 3-4,5 %. За спостереженнями Е.А. Моссур [14] на рівні МК₃ (марка Ж) у південно-західній частині Донбасу розчинення кварцу в крупнозернистих відмінах пісковиків починалось на меншій глибині, ніж у дрібних. Вміст новоутвореного кварцу за її даними 2-4 %. Нарощування регенераційних облямівок також відбувалось за рахунок надлишку діоксиду кремнію при корозії польових шпатів і появі новоутворень кальциту – рис. 3.



q – кварц, cal – кальцит

Рисунок 3 – Потрійна регенерація кварцу і корозія його кальцитом, МК₂, світа С₂⁵

Заміщення кварцу кальцитом за даними [1, 7] можливе і в слабо кислому середовищі з рН 4. Однак, оптимальні умови для цього процесу створюються саме в лужному середовищі (рН 9,8), де поле карбонатного заміщення розширюється завдяки зростанню розчинності кварцу та зменшенню розчинності кальциту. Як видно на рис. 3 утворення кальциту було пізнім щодо регенераційних облямівок кварцу вже на початку середньої стадії катагенезу [13]. На рівні МК₄ спостерігаються ділянки цементації зерен вторинним кварцом облямівки (шл. 558/1, ділянка Орджонікідзевська Глибока). За даними [12, 14] на завершальному етапі середньої стадії катагенезу – МК₅ – регенерація підсилюється за рахунок розчинення польових шпатів і кластичного матеріалу. Регенераційний кварц складає 5,3-6,7 %. На стадії глибинного катагенезу (апокатагенезу – АК) і на початку метагенезу завдяки інтенсивним перетворенням вміст аутигенного кварцу сягає 8,5 % [14]. Деякі вчені [15, 16] зростання інтенсивності вторинних змін (збільшення вмісту аутигенних кварцу і кальциту) пов'язували з тектонічними рухами маятникового типу – зануренням і здійманням.

Найпоширенішим і надто чутливим індикатором зміни термодинамічного стану (умов) в осадових породах є кальцит. Заміщення кальцитом силікатів, кварцу, сульфідів може вказувати на зниження тиску, наприклад, у зв'язку з підйомом осадків або в зв'язку з утворенням ослаблених зон, які характеризуються системами пошарових або січних тріщин розтягу – у ядрах антикліналей. При низьких температурах швидкість розчинення кальциту значно більша ніж у кварцу. Гідроліз первинних карбонатів і деструкція розсіяної органічної речовини є постачальниками вуглекислоти в умовах глибокого залягання порід – їх катагенезу. Гідроліз ряду карбонатів (кальцит-магнезит-сидерит) зростає від першого до третього мінералу. У цьому ж напрямку знижується температура виділення вуглекислоти, яка збагачує порові розчини і витрачається на утворення нових генерацій кальциту. Термоліз і термокатализ розсіяної органічної речовини (рор) в аргілітах, алевролітах і пісковиках веде до переходу гумінових кислот в кероген з подальшим перетворенням його в тверді, рідкі та газоподібні вуглеводні. Аутигенне карбонатування проявляється у вигляді багатоактного виділення розсіяних карбонатів [13], особливо в пісковиках і алевролітах. Поява дрібних кристаликів кальциту по контуру зерен кварцу – рис. 4 – свідчить про короткий період рівноваги для першого з названих мінералів в умовах рН 7,8-8,5.

В результаті мінеральних реакцій у породній товщі безперервно вивільнюються леткі компоненти, що рухаються по границях зерен або всередині, по мікродеформаціях і тріщинках. Такими каналами для порових розчинів і флюїдів є пластичні деформації мінералів – рис. 5.

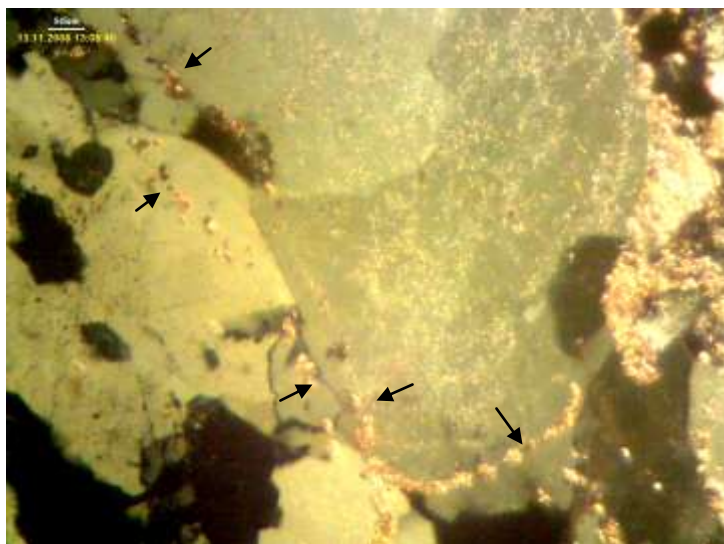


Рисунок 4 – Декорація кальцитом регенераційної облямівки зерен кварцу, світа C_2^7 МК₃, св. Д-5, гл. 1107,7-1115,7 м, шл. 10554-1

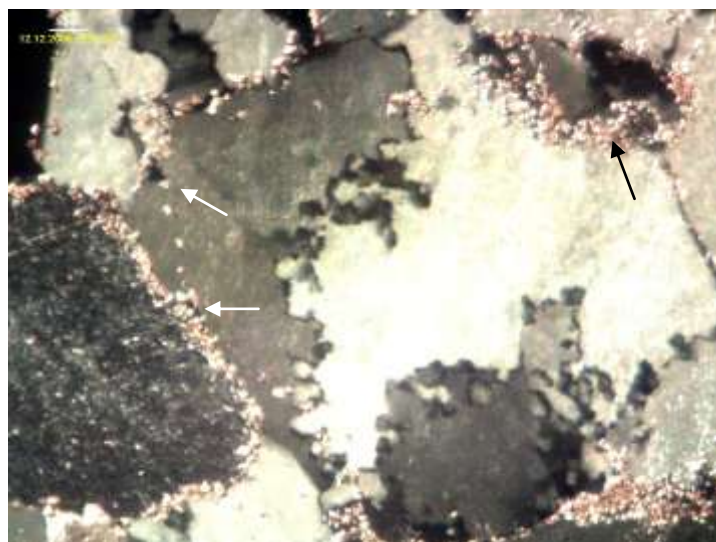
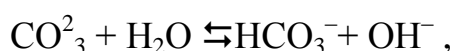


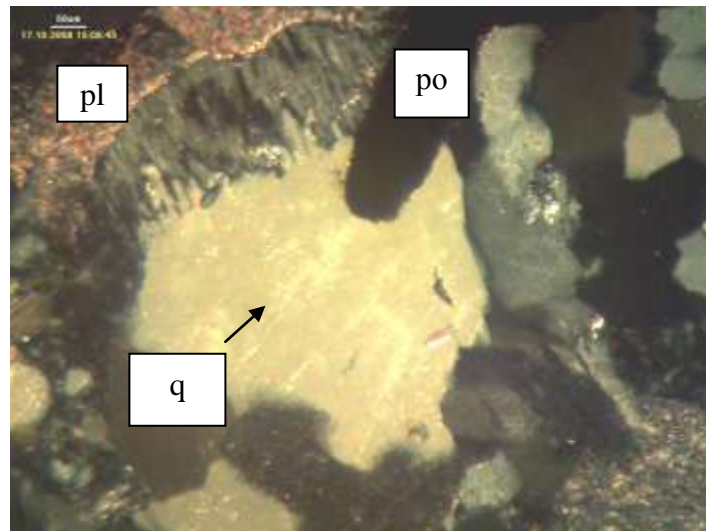
Рисунок 5 – Асинхронність кальцитоутворення і регенерації кварцу у комбінації з грануляцією, світа C_2^7 , МК₃, шл.3981 св. ДМ-1937 гл.705 м, пористість 7,83 %

Це дрібні та дуже тонкі канали – товщина їх 1-2 атомних радіуса [17]. Дифузія одновалентних або двохвалентних катіонів – Na, K, Mg – здійснюється швидше, ніж дифузія кремнію та алюмінію, а також кисню. Як зазначалось багатьма науковцями [7, 15, 17], розчинність кальциту зростає в присутності слабкої вугільної кислоти. В процесі перетворень карбонатні іони реагують з водою і виникають бікарбонатні і гідроксильні іони:



далі – бікарбонатний іон реагує з водою, що призводить до утворення вугільної кислоти (H_2CO_3) і додаткової кількості іонів гідроксилу. Останні провокують збільшення рН і розчини набувають слабо лужного характеру.

Експериментальні дослідження умов розчинності польових шпатів при нормальних температурах і тиску та в інтервалі від 100° до 200° С з тиском CO₂ до 20 атм показали, що лужні елементи розчиняються необмежено, а кремнезем – частково [17]. В приконтурних водах газоконденсатних і нафтових родовищ, багатих гідрокарбонатами, які створюють лужне середовище, розчинність кремнезему зростає [10]. Встановлено [2] – зміни відбуваються не тільки з кварцом – своєрідні обмінні реакції виникають з підвищенням тиску і серед польових шпатів. Із стиснутих ґраток мінералів у розчин потрапляють іони великих розмірів – Ca²⁺ – 1,04 Å і Al³⁺ – 0,57 Å, які гетеровалентно заміщуються іонами меншого радіусу – K⁺ – 0,97 Å і Si⁴⁺ – 0,39 Å [2]. В умовах катагенезу стійкість ортоклазу (K-Na шпат) вища ніж будь-якого плагіоклазу (Ca-Na шпат). Серед останніх найстійкіший альбіт, андезин поступається йому через значну (50 %) заміну атомів кремнію алюмінієм [18]. В пісковиках нижнього карбону між зернами кварцу і польового шпату у присутності розсіяної органічної речовини виникає реакція – кварц „роз’їдає” польовий шпат, тобто проникає в нього вздовж двійникових площин – рис. 6.



q – кварц, pl – польовий шпат, po – розсіяна органічна речовина

Рисунок 6 – Реакційні контакти між кварцом і польовим шпатом в присутності розсіяної органічної речовини, світа C₁⁴, МК₄, шл. 1170с-3, гл. 897,0 м, пористість 6,45 %

Дослідження типоморфних властивостей мінералів, серед них кварцу, польових шпатів, виконувалось в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка, де вивчалась кислотність-лужність постмагматичних процесів законсервованих у включеннях. За даними провідного наукового спеціаліста цього інституту Д.К. Возняка [19] рН розчинів включень з вуглекислою в зернах кварцу з жил Донбасу складає 8,0-8,9 ± 0,2, температура гомогенізації від 130° до 350°С, тиск понад 6·10⁴ кПа. Вміст органічного вуглецю в пісковиках складає 0,09-2,03 мас. %, карбонатність у формі CO₂ – 0,07-0,73 мас. %. Кореляційної залежності між карбонатністю та вмістом в породах органічного

вуглецю не виявлено [12, 13]. З підручників геохімії відомо – живі водорості захищають свій кремнієвий скелет спеціальним покриттям із органічних сполук або багатовалентних іонів. „При цьому виникає плівка комплексів, яка екранує атоми кремнію від нуклеофільної атаки гідроксильних іонів і перешкоджає розчиненню кремнезему” [10].

Приклади корозії плагіоклазу кварцом спостерігались також у пісковиках середнього карбону (світа C_2^6) Донецько-Макіївського району з тим же рівнем катагенезу – MK_4 – на глибині 1033,0 м і більше. Під час катагенезу в структурі польового шпату відбувається фазовий перехід з відходом крупного катіону Са (деанортитизація плагіоклазу) – рис. 7.



Рисунок 7 – Смуга деанортитизації плагіоклазу (pl) та утворення аутигенних слюд навколо кварцового зерна, світа C_2^7 , св. Д-5, MK_4 , шл. 10514-2, гл. 1232,0 м, пористість 5,75 %

Вилуговування польового шпату є незворотнім процесом. Незалежно від природи польового шпату аутигенні утворення слюд є переважно калієвими. Цілком очевидно, що рідкісні знахідки парагоніту та маргариту не випадкові – їх утворення це другий етап катагенетичного перетворення польового шпату, тобто – відбулось катагенетичне заміщення каолініту, який на першому етапі утворився по каркасній структурі в період її розчинення. Далі – з наступним заміщенням катіонів калію, які поступають з новими порціями порових вод відповідно до механізму твердофазової перекристалізації каолінітового шару в слюдикий [18].

На думку [17, 20], механізм розчинення кварцу контролюється зустрічними реакціями на поверхні розподілу кварц-флюїд.

Висновок

В катагенезі відбувається багаторазова диференціація кварцу і карбонатів у складі пісковиків. За кількістю облямівок вторинного кварцу і появою кількох генерацій кальциту моделюються палеотектонічні рухи, які провокували їх

утворення. Перевага процесів розчинення сприяє покращенню ємнісних та фільтраційних характеристик порід.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Махнач, А.А. Постседиментационные изменения межсолевых девонских обложений Припятского прогиба / А.А. Махнач. – Минск: Наука и техника. 1980. – С. 94-99
2. Копелиович, В. Постседиментационные преобразования пород иотнейской формации Прионежья / А.В. Копелиович, И.С. Симанович // Проблемы осадочной геологии докембрия. – М.: Недра, 1966, Вып.1. – С. 61-79
3. Делицин, И.С. Структурообразование кварцевых пород / И.С. Делицин – М: Наука, 1985. – 191 с.
4. Казаков, А.Н. Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов / А.Н. Казаков – Ленинград: Наука, 1987. – 272 с
5. Кристи, Дж.М. Деформационные структуры в минералах / Дж.М. Кристи, А.Дж. Арделл // Электронная микроскопия в минералогии – М.: Мир, 1979. – 391 с.
6. Кушнір, С.В. Незвичні ефекти стискування кристалічної ґратки внаслідок висушування гідратованого подрібненого кварцу / С.В. Кушнір, Я.В. Яремчук // Мінералогічний журнал. – 2011. – № 3, том 33. – С. 21-27.
7. Кашик, С.А. О замещении кварца кальцитом в осадочных породах / С.А. Кашик // Геохимия. – 1965. – № 2. – С. 180-187.
8. Haggie M., Jones R. (1987) „Density functional analysis of the hydrolysis of Si–O Bonds in disiloxan. Application to hydrolytic weakening in quartz”. *Phil. Mag. Lett.* – 55. no 1. pp. 47-51.
9. Холодов, В.Н. Элизионные системы Днепровско-Донецкого авлакогена. Сообщение 1. Геологическое строение авлакогена, катагенетические процессы Предкавказья и Большого Донбасса / В.Н. Холодов // Литология и полезные ископаемые – М.: 2011. – С. 568-590.
10. Мицюк, Б.М. Физико-химические превращения кремнезема в условиях метаморфизма / Б.М. Мицюк, Л.И. Горогоцкая – К.: Наукова думка, 1980. – 236 с.
11. Баранов, В.А. Закономерности формирования видов пластических микродеформаций в кварце песчаников Донбасса / В.А. Баранов, Л.Ф. Маметова // Науковий вісник НГАУ. – 2001. - №5. – С. 77-79.
12. Маметова, Л.Ф. Структурно-мінералогічні перетворення газоносних пісковиків Донбасу: дис...канд. геол. наук: 04.00.16 „Геологія твердих горючих копалин” /Л.Ф. Маметова – Дніпропетровськ. 2011. – 175 с.
13. Маметова, Л.Ф. Трансформація карбонатів пісковиків середнього карбону Донбасу. / Л.Ф. Маметова // Мінералогічний збірник, 2012. – № 62, вип. 1, – С. 202-208.
14. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса / В.Е. Забигайло, А.З. Широков, И.С. Белый [и др.]. – К.: Наукова думка, 1974. – 270 с
15. Минский, Н.А. О связи вторичной минерализации осадочных пород с тектонической активностью / Н.А. Минский // Известия Академии наук СССР, сер. геологическая, 1967. – № 9 – С. 70–80.
16. Привалов, В.А. Тектонотермальная эволюция Донецкого бассейна: дис...д-ра геол. наук : 04.00.16 защищена 30.09.05 / Привалов В. А. – Днепропетровск. 2005. – 339 с.
17. Файф, У. Флюиды в земной коре / У. Файф, Н. Прайс, А. Томпсон – М.: Мир, 1981. – 435 с.
18. Куковский, Е.Г. Превращения слоистых силикатов / Е.Г. Куковский.– К.: Наукова думка, 1973. – 103 с.
19. Павлишин, В.И. Типоморфизм кварца, слюд и полевых шпатов в эндогенных образованиях / В.И. Павлишин. – К.: Наукова думка, 1983. – 232 с.
20. 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.

REFERENCES

- 1 Makhnach, A.A. (1980), *Postsedimentatsionnye izmeneniya mezhsolvevykh devonskikh otlozheniy Pripyatskogo progiba* [Postsedimentation changes of the intersalt devonian levyingings of the Prypyat bending], Nauka i tekhnika, Minsk, Belorussia.
2. Kopeliovich, A.V. and Simanovich, I.S. (1966), „Postsedimentate transformations of rocks of the iotniyskaya formation Prionezhya”, *Problemy osadochnoy geologii dokembriya*, no.1, Nedra, Moscow, pp. 61-

79.

3. Delitsin, I.S. (1987). *Strukturoobrazovansye kvartsevykh porod* [Structure forming quartz rocks], Nauka, Moscow, SU.

4 Kazakov A.N. (1987) *Dinamicheskii analiz mikrostrukturnykh oriyentirovok mineralov* [Dynamic analysis of microstructure orientations of minerals], Nauka, Leningrad, SU.

5. Christie, J.M. and Ardell, A.J. (1979), „Deformation structures in minerals”, in Wenk H.R. (ed.), *Electron microscopy in mineralogy*, Mir, Moscow, SU.

6. Kushnir S.V. and Yaremchuk Ya.V.(2011) „Compression unusual effects of crystalline lattice on account of hydrated ground up quartz”. *Mineralogical journal (Ukraine)*, vol. 33. no. 3. pp. 21-27.

7. Kashik, S.A. (1965). „About substitution of quartz by calcite in siltages”. *Geochemistry*, no. 2. pp. 180-187.

8. Haggie, M. and Jones, R. (1987) „Density functional analysis of the hydrolysis of Si–O Bonds in disiloxan. Application to hydrolytic weakening in quartz”. *Phil. Mag. Lett.* – 55, no 1, pp. 47-51.

9. Kholodov V.N. (2011). „Elyzyonnye systems of Dneprovo-Donetskogo avlakogena. Report 1. Geological structure of avlakogena, katagenetycheskye processes Predkavkazya and Bolshogo Donbassa”, *Lytologyya and minerals*, no 6, pp. 568-590.

10. Mitsyuk, B.M. and Gorogotskaya, L.I. (1980) *Fiziko-khimicheskiye prevrashcheniya kremnezema v usloviyakh metamorfizma* [Physico-chemical transformations of silica under metamorphism], Naukova dumka, Kiev, UA.

11. Baranov V.A. and Mametova L.F. (2001) „Conformities to the law of forming of types of plastic microdeformation in the quartz of sandstones of Donbassa”, *Scientific announcer NGAU*, no. 5, pp. 77-79.

12. Mametova, L.F. (2011), „Structurally-mineralogical transformations of gas-bearing sandstones of Donbassis”, Abstract of Ph.D. (Geol.) dissertation, Dnepropetrovsk. Ukraine.

13. Mametova, L.F. (2012), «Transformation of carbonates of sandstones of middle carboniferous of Donbas», *Mineralogical Collection*, no. 62 (1), pp. 202-208.

14. Zabihaylo, V.Yef., Shirokov, A.Z., Byelyy, I.S. [and others] (1974), *Geological factors of outbursts hazards breeds of Donets Basin* [Geological factors of prone to outburst breeds of Donbass], Naukova dumka, Kiev, SU.

15. Minskiy, N.A. (1967) „About communication of second myneralyzatsyy of siltages with tectonic activity”, *Izvestiya Akademii nauk SSSR*, vol. geol., no. 9, pp. 70-80.

16. Privalov, V.A. (2005), Tektonothermal evolution of the Donets Basin. Abstract of D. Sc. dissertation, Dnepropetrovsk, UA.

17. Fyfe, W.S., Price, N.J. and Thompson, A. (1981), *Flyudy v zemnoy kore* [Fluids in the Earth's Crust], Mir, Moscow, SU.

18. Kukovskiy, E.G. (1973), *Prevrashchenia sloistykh silikatov* [Transformations of the stratified silicates], Naukova dumka, Kiev, SU.

19. Pavlishin, V.I. (1983), *Tipomorfizm kvartsa, sluyd i polevyukh shpatov v endogennyukh obrazovaniyakh* [Typomorfizm quartz, micas and feldspars in endogenous educations], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

20. Saruwatari, K., Kameda, J. and 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.

Про автора

Маметова Людмила Федорівна, кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії структурних досліджень гірських порід відділу геології вугільних родовищ великих глибин, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, Дніпропетровськ, Україна, igtmnanu@uandex.ru

About the author

Mametova Liudmyla Fedorivna, Candidate of Geology (Ph.D), Senior Researcher in Laboratory of Researches of the Structural Changes in the Rock in Department of Geology of Coal Beds at Great depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnipropetrovsk, Ukraine. igtmnanu@uandex.ru

Аннотация. Растворение и регенерация минералов являются неперенными составляющими лито- и катагенеза терригенных отложений. Исследование таких процессов в песчаниках угольных месторождений показало бесспорное влияние их на физические, механические, коллекторские свойства не только песчаников – в геохимических превращениях принимают участие все породы стратиграфического разреза. Пористость, фильтрация, плотность, газонасыщенность, пластические деформации и другие характеристики пород зависят от минералов, их поведения с изменением условий среды. Среди песчаников угольных месторождений самые распространенные минералы – это кварц и карбонаты. Они полигенетичны - присутствуют в обломках, в составе цемента – и достаточно стойкие (особенно кварц) при механическом разрушении. Но от действия химических реагентов карбонаты растворяются полностью, а кварц – частично. Изменение условий (катагенез) приводит к новообразованию этих минералов. Факторы этих процессов: температура, давление, водородный потенциал и флюиды действуют дискретно на скорость реакций, на структурные вариации минералов, на изменение их свойств и породного массива в целом. По количеству оторочек вторичного кварца и появлению нескольких генераций кальцита моделируются палеотектонические движения, провоцирующие их образование.

Ключевые слова: песчаники, катагенез, растворение, регенерация, кварц, карбонаты.

Abstract. Mineral dissolution and regeneration are fundamentally pertinent to the lithogenesis and catagenesis. Studies of these processes in sandstone of the coal deposits demonstrated their influence on physical, mechanical and collector properties of not only the sandstones themselves, but also of the rocks in the stratigraphic column as they undergo geochemical changes. Porosity, hydraulic conductivity, density, gas saturation, susceptibility to ductile deformation and other rock properties depend on the minerals and their behavior in the changing environment. Quartz and carbonates are the most common minerals in sandstones of the coal deposits. They are polygenetic, occurring both as detrital grains and cement, and are characterized by high mechanical resistance (especially quartz). However, chemical reagents dissolve carbonates completely, while quartz is dissolved only partially. Changing conditions (as in catagenesis) also lead to new growth of these minerals. Temperature, pressure, pH and fluids are the factors which discretely affect the chemical reaction rates, structural varieties of minerals and their properties and properties of the rock column as a whole. The secondary quartz overgrowths and the presence of several generations of carbonates are used for modeling paleotectonic movements that trigger them.

Keywords: sandstones, catagenesis, dissolution, regeneration, quartz, carbonates.

Статья поступила в редакцию 2.01.2015

Рекомендовано к печати д-ром геол. наук В.А. Барановым

УДК 622.23562

Мец Ю.С. д-р техн. наук, профессор,
Антонов А.Ю. д-р техн. наук, профессор
(ГВУЗ «Криворожский национальный университет»)

Левицкий А.П., инженер
(ООО «МИ-ЦЕНТР»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА НА КАРЬЕРАХ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Мец Ю.С. д-р техн. наук, професор,
Антонов А.Ю. д-р техн. наук, професор
(ДВНЗ «Криворізький національний університет»)

Левіцький А.П., інженер
(ООО «МИ-ЦЕНТР»)

РОЗРОБКА МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГІЄЮ ВИБУХУ НА КАР'ЄРАХ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОЇ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ

Mets Yu.S., D.Sc.(Tech.), professor,
Antonov A.Yu., D.Sc.(Tech.), professor
(SHEI "Kryvyi Rih National University")

Levitskiy A.P., M.S (Tech)
(LLC "ME-Centre")

DEVELOPMENT OF METHODS OF THE EXPLOSIVE ENERGY MANAGEMENT AT OPEN-PITS BASED ON LINEAR ELASTICITY

Аннотация: Работа посвящена разработке эффективных методов по управлению энергией взрыва на карьерах. Базисом в данной исследовании есть основные положения динамической теории упругости. Проведен анализ условий достижения равномерного дробления пород. Была подтверждена возможность достижения равномерного дробления путем применения в центральной части заряда взрывчатых веществ с пониженной скоростью детонации или путем изменения диаметра заряда. Проведенное сравнение эффективности данных способов позволило определить преимущество использования метода с изменением диаметра заряда, по критерию эффективности управления. Разработан математический метод определения значений детонационного давления для оптимального протекания процесса взрыва.

Ключевые слова: карьер, энергия взрыва, упругость.

Введение

Известно, что основным технологическим процессом добычи крепких железистых кварцитов является отделение части пород от массива с помощью энергии взрыва. Поэтому рациональные методы ведения взрывных работ на карьерах, обеспечивающих интенсивное дробление горных пород, позволяют обеспечить высокую эффективность выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, и, в конечном счете, повысить производительность работ.