

УДК 549:552.5(477-534)

Петро Білоніжка, Юрій Дацюк

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005,
mineral@franko.lviv.ua*

ВПЛИВ ЕНДОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ НА ФОРМУВАННЯ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ОСАДОВИХ ПОРІД (НА ПРИКЛАДІ ГІРСЬКОГО КРИМУ)

Наведено результати вивчення аутигенних мінералів в осадових породах Гірського Криму. Новоутворені мінерали й мінеральні асоціації представлені смектитами, цеолітами, кременями, глауконітом, фосфоритом, магнетитом та ільменітом. Вони утворилися під час підводного звітрювання пірокластичного матеріалу, принесеного атмосферними потоками з місць виверження вулканів, та з гідротермальних розчинів, які проникали в донні відклади морських басейнів по конседиментаційних розломах. Фазовий склад новоутворених мінералів вивчено дифрактометричним аналізом, а їхні мікроструктури – під електронним мікроскопом. Наявність у кременях і фосфоритах викопних форм коколітів, діатомей, кремнієвих губок і радіолярій свідчить про вплив на їхнє утворення не тільки ендегенних процесів, а й мікроорганізмів.

Ключові слова: аутигенні мінерали, осадові породи, вулканічний попіл, гідротермальні розчини, мікроорганізми, Гірський Крим.

Вступ. Осадові породи верхньої оболонки земної кори представлені глинами, аргілітами, алевролітами, пісковиками, які утворилися в морських седиментаційних басейнах з теригенного піщано-глинистого матеріалу, принесеного водними потоками з суходолу, та мергелями й вапняками, осадженими з морської води. Детальні мінералогічні дослідження засвідчують, що нерідко в осадових товщах наявні смектити й інші мінерали, які є продуктами зміни тонкодисперсного пірокластичного матеріалу (“замаскована пірокластичка”). Зокрема, Н. Вассоевич [11], який вивчав флішові формації в різних регіонах Землі, зазначив, що серед міцних темно-сірих аргілітів іноді трапляються тонкі прошарки глин, характерними ознаками яких є пластичність, некарбонатність, світлий колір і відсутність мікрофауни. Це бентонітові глини, головною складовою частиною яких є смектити. За даними В. Дріца та А. Косовської [13], смектити є представниками початкової стадії підводного звітрювання (гальміролізу) базальтів і пірокластичного матеріалу; вони поширені регіонально й мають високу фемічність. Часто смектити перебувають у парагенетичній асоціації з селадонітом, глауконітом, цеолітами й іншими аутигенними мінералами [14]. Прояви селадоніт-глауконітової мінералізації виявлено в межах багатьох підводних вулканічних утворень Японського моря [12].

Отже, в осадових породах наявні аутигенні мінерали, які утворилися завдяки підводному звітрюванню вулканогенного матеріалу або з гідротермальних розчинів, що

проникали в донні відклади морських басейнів по конседиментаційних розривних порушеннях.

Нижче наведено результати наших досліджень осадових порід Гірського Криму, у яких виявлено аутигенні мінерали, що сформувалися завдяки звітрюванню привнесеного пірокластичного матеріалу та з гідротермальних розчинів [2–9].

Методи дослідження. Опис стратиграфічних розрізів флішової формації T_3-J_1 і карбонатних відкладів крейди й палеогену, а також відбирання взірців для мінералогічних досліджень виконано під час проведення навчальної геологічної практики студентів на Кримському півострові, у межиріччі Бодраку й Качі.

Для вивчення фазового складу глинистих мінералів виконано гранулометричний аналіз осадових порід і відібрано глинисту фракцію розміром $< 0,01$ мм методом відмюлювання. Мономінеральну фракцію глауконіту виділено з піщаних фракцій розміром 0,10–0,25 і 0,25–0,50 мм електромагнітною сепарацією, а магнетиту й ільменіту (0,10–0,25 мм) – магнітом. Фазовий склад мінералів визначали дифрактометричним аналізом, а мікроструктуру мінералів вивчали під сканувальним електронним мікроскопом.

Результати дослідження. У процесі детального вивчення стратиграфічного розрізу флішу в околиці с. Прохолодне на східному схилі гори Патіль виявили декілька тонких (3–5 см) і один потужніший (40 см) прошарок ясно-сірої пластичної бентонітової глини, яка залягає на прошарку інтенсивно змінених туфів. Дифрактометричним аналізом визначено, що глиниста фракція ($< 0,01$ мм) цієї породи складена, головню, зі **сметтиту** (1,6 нм) з домішками гідрослюди (1,0, 0,506, 0,334 нм) і кварцу (0,425, 0,334 нм), тоді як глинисті мінерали темно-сірих аргілітів представлені гідрослюдою (1,0, 0,497, 0,334 нм) з домішкою змішаношаруватої фази гідрослюда–сметтит (1,17 нм), тобто за складом і походженням бентонітової глини й аргіліти значно відрізняються (рис. 1).

Сметтити також є суттєвою складовою частиною глинистого матеріалу мергелів і незначною домішкою вапняків верхньої крейди й палеогену. На дифрактограмах усіх глинистих фракцій розміром $< 0,01$ мм, виділених з цих порід, зафіксовано дуже інтенсивний базальний рефлекс сметтиту (1,5 нм) з домішками гідрослюди, кварцу й цеоліту кліноптилоліт-гейландитової групи (0,88, 0,78 нм) (рис. 2).

Цеоліти представлені дрібненькими таблитчастими і призматичними кристаликами, розсіяними в глинистій субстанції. За даними А. Косовської [15], мінерали цієї групи поширені в мезо-кайнозойських осадових і вулканогенно-осадових породах на континентах та в сучасних донних осадах морів і океанів.

Зазначимо, що в досліджуваному районі не зафіксовано прояви вулканізму пізньокрейдового й еоценового часу. Проте відомо, що під час виверження вулканів тонкодисперсний вулканічний попіл піднімається високо в атмосферу й потоками повітря переноситься на сотні–тисячі кілометрів. Згідно з дослідженнями О. Муранова [17], на Землі є понад 2 500 вулканів, з яких 600 активні, а інші згаслі. Проте і згаслі вулкани часом “оживають”. Більшість вулканів розташована вздовж берегової лінії Тихого океану, в Індонезії, Японії, на Камчатці, у так званому вогняному поясі Землі.

У 79 р. в Італії недалеко від Неаполя відбувся потужний вибух вулкана Везувій, який засипав пірокластичним матеріалом міста Геркуланум і Помпея. Під час розкопок, які розпочали ще у 18 ст., з’ясовано, що потужність товщі вулканічних уламків і попелу досягала 10–12 м, виявлено амфітеатр, вулиці, зруйновані будівлі, бібліотеку, останки людей тощо.

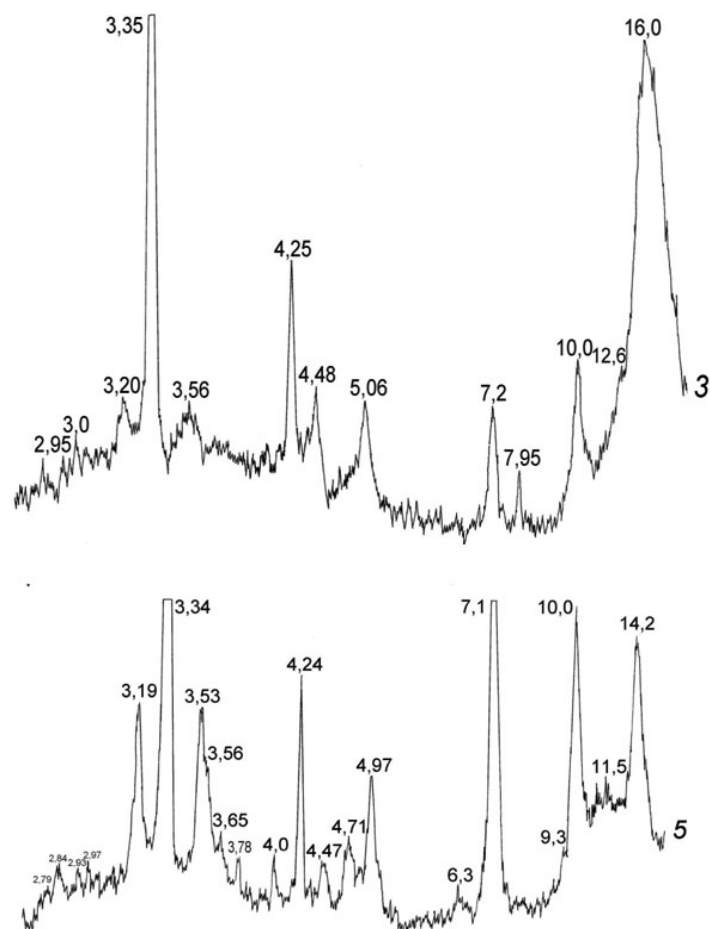


Рис. 1. Дифрактограми глинистих фракцій (< 0,01 мм), виділених із прошарку бентонітової глини у флішовій товщі (3) та аргілітів верхньотаврійської світи флішу (5), Å.

У 1883 р. в Індонезії відбувся надпотужний вибух вулкана Кракатау, під час якого в атмосферу було викинуто майже 18 км^3 вулканічного попелу і газів на висоту до 30 км. Вони розсіялися на земній поверхні на відстані до 5 300 км. Слабкі виверження Кракатау були 1928 і 1933 рр.

У 1952 р. за 250 км від столиці Японії Токіо вибухнув підводний вулкан, хмари попелу якого піднялися в атмосферу на висоту до 7–8 км.

Оцінюючи процеси вулканізму, акад. О. Заварицький зазначав, що вулканізм у житті нашої планети й, особливо, в її історії має винятково важливе значення; не може бути геологічного вивчення земної кулі без чіткого уявлення про сутність вулканічних процесів [17].

Кремені. У верхньокрейдових і палеогенових мергелях і вапняках Гірського Криму виявлено тонкі прошарки, лінзи й конкреції кременів. За даними рентгенівського аналізу, вони складені халцедоном з домішкою низькотемпературного кристобаліту [5].

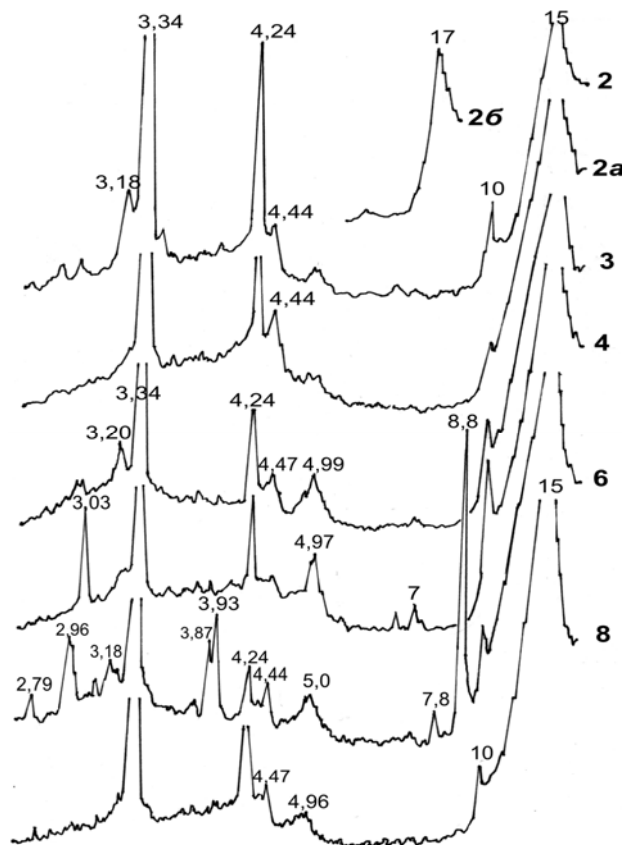


Рис. 2. Дифрактограми глинистих фракцій (< 0,01 мм), виділених із верхньокрейдових карбонатних порід Гірського Криму:

2 – мергель сеноману, гора Кремінна; 2a – фракція < 0,001 мм, виділена з тієї ж породи; 2b – фракція < 0,01 мм, оброблена етиленгліколем; 3 – пелітоморфний вапняк, верхній турон, гора Кремінна; 4 – кірочки глини на поверхні стилітових утворень вапняку, верхи турону, окраїна с. Трудолюбівка; 6 – прошарок бентонітової глини в мергелях сантону, там же; 8 – мергель, верхи маастрихту, окраїна с. Скалисте.

Під електронним мікроскопом у мікропорожнинах кременів виявлено натічні утворення сферичної форми, імовірно, опалу, представлені тонкими паличкоподібними індивідами (рис. 3), та цеоліти планкоподібної форми (рис. 4). Подібні утворення в кременях відомі в осадових породах інших районів [20, 23].

Важливо, що досліджувані кремені поширені не по всьому стратиграфічному розрізу карбонатних порід, а тільки в деяких його частинах. Це пов'язано з проявами ендегенних процесів, які час від часу відбувалися в досліджуваному районі.

Зауважимо, що вміст Si в морській воді дуже низький – 3 мг/л; хомогенне осадження кремнезему можливе тільки в тому випадку, коли концентрація Si досягає 100–120 мг/л залежно від рН середовища. Тому хомогенним способом кремені формуються лише в безпосередній близькості до джерел надходження гідротерм у донні відклади седиментаційних басейнів.

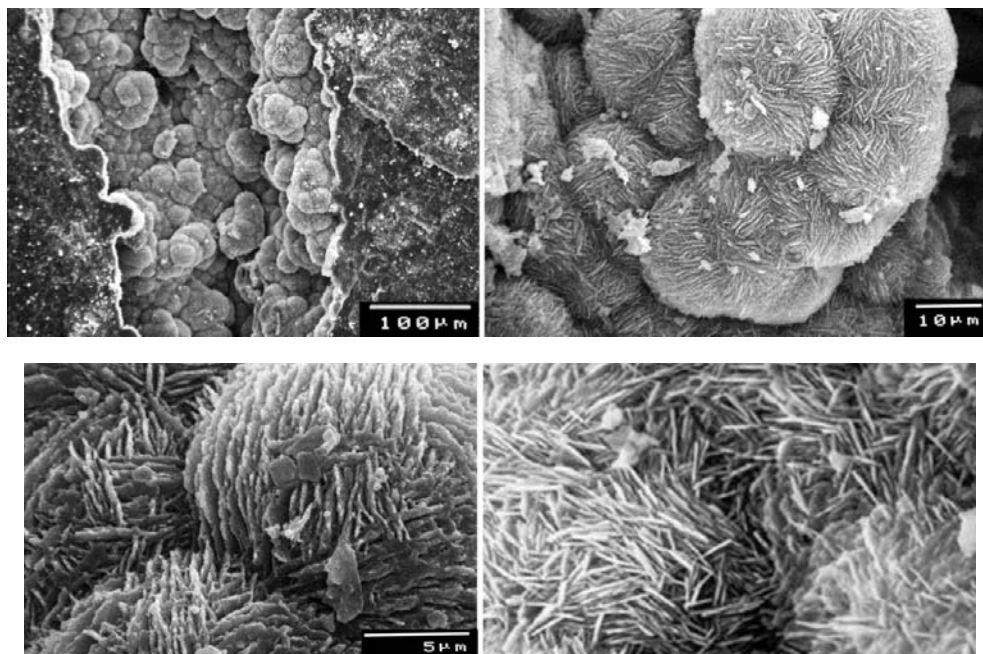


Рис. 3. Опал у мікропорожнинах кременю.

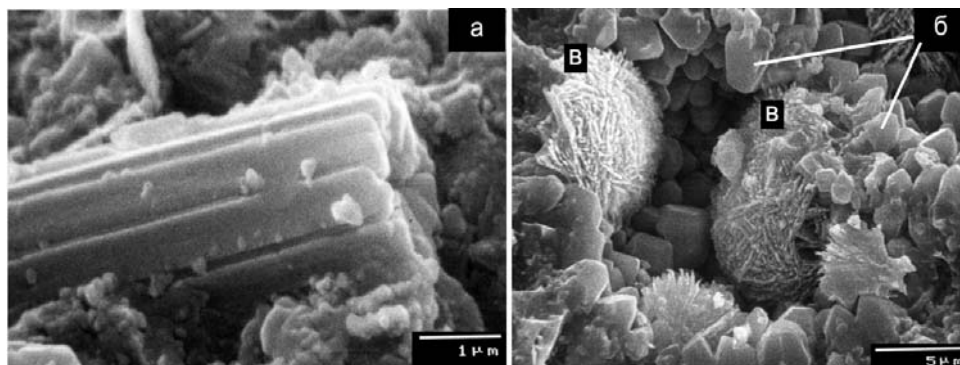


Рис. 4. Цеоліти в мікропорожнинах кременю.

Під електронним мікроскопом у кременях виявлено фрагменти губок, діатомей, радіолярій [2, 5]. Наявність мікрофауни свідчить про біогенне походження кременів. Очевидно, вміст Si в морській воді був недостатній для його осадження хімічним способом. Своєрідною особливістю кремнієвих мікроорганізмів є здатність концентрувати (у десятки–сотні разів) для своїх потреб силіцій з морської води [2].

Глауконіт. На нерівній, хвилястій поверхні (унаслідок підводного розмивання) мергелів маастрихту залягають карбонатні пісковики датського ярусу, а мергелів танету – глини іпрського ярусу. У них виявлено розсіяні, місцями скупчені зерна глауконіту (рис. 5) та виділення фосфориту.

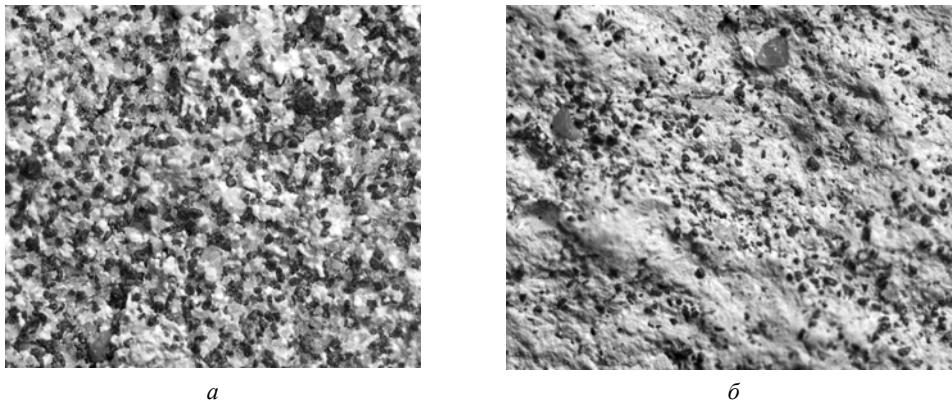


Рис. 5. Глауконіт з кишень розмивання в покрівлі мергелів маастрихту (а) та розсіяний глауконіт в основі шару глин іпрського ярусу (б).

Зерна глауконіту округлої, овальної, ниркоподібної форми (рис. б), темно-зеленого до чорного кольору. Особливістю зерен глауконіту з відкладів, які залягають на розмитій покрівлі танетських мергелів, є наявність тріщин синерезису, заповнених кремнеземом і кальцитом, тоді як зерна глауконіту з відкладів, що залягають на покрівлі розмитих піщаних мергелів маастрихту, мають гладку блискучу поверхню без тріщин синерезису. Очевидно, перший з них первинний, седиментаційний, а другий – перевідкладений і перекристалізований. За фазовим складом і мікроструктурою виявлений глауконіт подібний до мінералу з осадових порід інших районів [21].

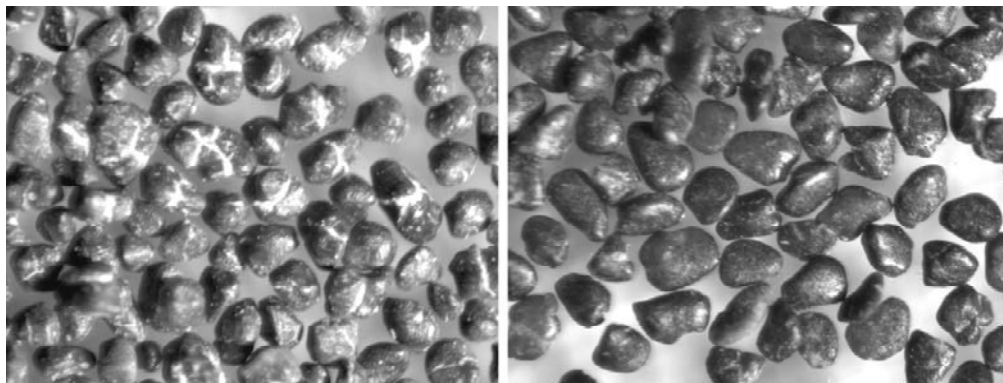


Рис. 6. Форма зерен глауконіту.

Імовірно, досліджуваний глауконіт утворився з гідротермальних розчинів, змішаних з морською водою. Про формування глауконіту завдяки розкладанню вулканічних утворень та з гідротермальних розчинів зазначено у працях багатьох дослідників [12, 16–18 та ін.]. Відомо, що вміст заліза й алюмінію в морській воді дуже низький – $1 \cdot 10^{-6} \%$ [19]. Тому для утворення глауконіту потрібні інші джерела цих елементів, зокрема, гідротерми.

Важливу інформацію щодо поширення й умов формування глауконіту одержано на підставі вивчення сучасних донних осадів морів і океанів [12, 16]. З'ясовано, що в сучасних донних осадах Тихого океану глауконіт поширений близько до континентів і

острівних дуг на шельфі й континентальному схилі вздовж усього узбережжя океану. Межа його поширення майже цілком збігається з так званою андезитовою лінією, яка контролює також поширення базальтів андезитової зони (рис. 7).



Рис. 7. Поширення глауконіту вздовж узбережжя Тихого океану:
1 – глауконіт; 2 – андезитова лінія (Фізико-географічний атлас світу, 1964).

Фосфорити. У парагенетичній асоціації з глауконітом перебувають фосфорити, які мають округлу, видовжену й неправильну форму (рис. 8). Чорна поверхня фосфоритів часто покрита численними хаотично розміщеними ниткоподібними утвореннями ясно-сірого кольору. Вони, як і основна маса фосфориту, представлені карбонатфторопатитом [3].

Досліджено мікроструктуру фосфоритів. У них виявлено добре збережені викопні форми коколітів, фрагменти губок [3] і таблитчасті кристалики апатиту (рис. 9).

Вміст фосфору в морській воді також дуже низький – $7 \cdot 10^{-6} \%$ [19]. Очевидно, і фосфорити, і глауконіт у досліджуваних відкладах Гірського Криму утворилися з гідротермальних розчинів та під впливом мікроорганізмів.

Досліджуючи фосфорити з дна океанів, Г. Батурін дійшов висновку [1], що вони формуються в ділянках апвелінгу не хемогенно, а біогенно. Вплив вулканізму на утворення фосфоритів описала й Н. Бродська [10].

Ільменіт і магнетит. У Гірському Криму мергелі сеноману стратиграфічно незгідно залягають на карбонатних пісковиках верхнього альбу (враконський горизонт). На контакті цих відкладів у південно-західній околиці с. Прохолодне виявлено прошарок (20–30 см) перевідкладеного карбонатного пісковика (рис. 10) з напівобточеними гравійними зернами кварцу з зеленою облямівкою пелітоморфного матеріалу та розсіяними чорними вкрапленнями.

Дифрактометричний аналіз засвідчив, що зелений мінерал представлений смектитом (1,5 нм) (рис. 11), а чорні вкраплення – магнетитом (0,295, 0,253, 0,242, 0,209, 0,1713, 0,1616, 0,1484 нм) та ільменітом (0,274, 0,253, 0,228, 0,1860 нм). Рудні мінерали утворюють кристалики і зростки. Форма кристалів магнетиту октаедрична, рідше ромбододекаедрична, а ільменіту – таблитчаста і пластинчаста (рис. 12). Детальніше ці мінерали описано у праці [7].



Рис. 8. Конкреції фосфоритів.

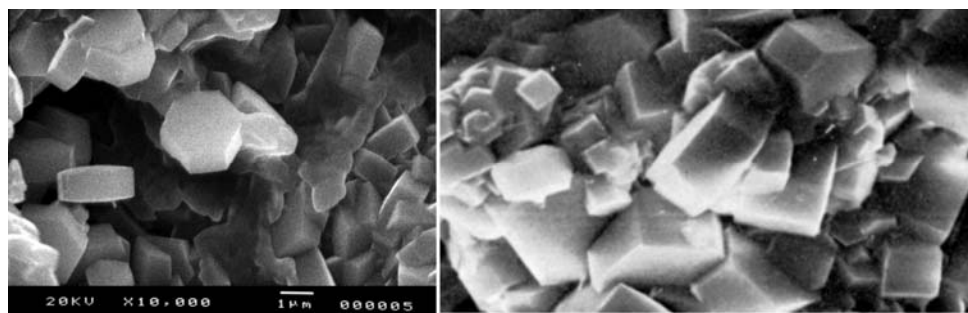


Рис. 9. Таблитчасті кристали апатиту з фосфоритів.



Рис. 10. Перевідкладений карбонатний пісковик.

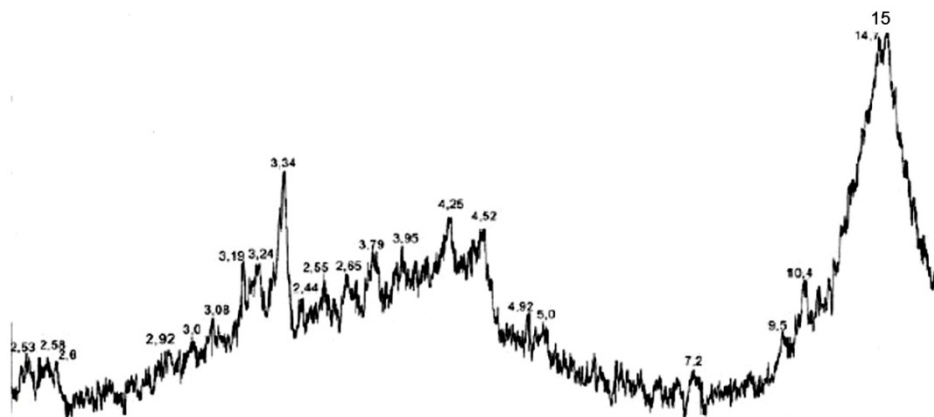
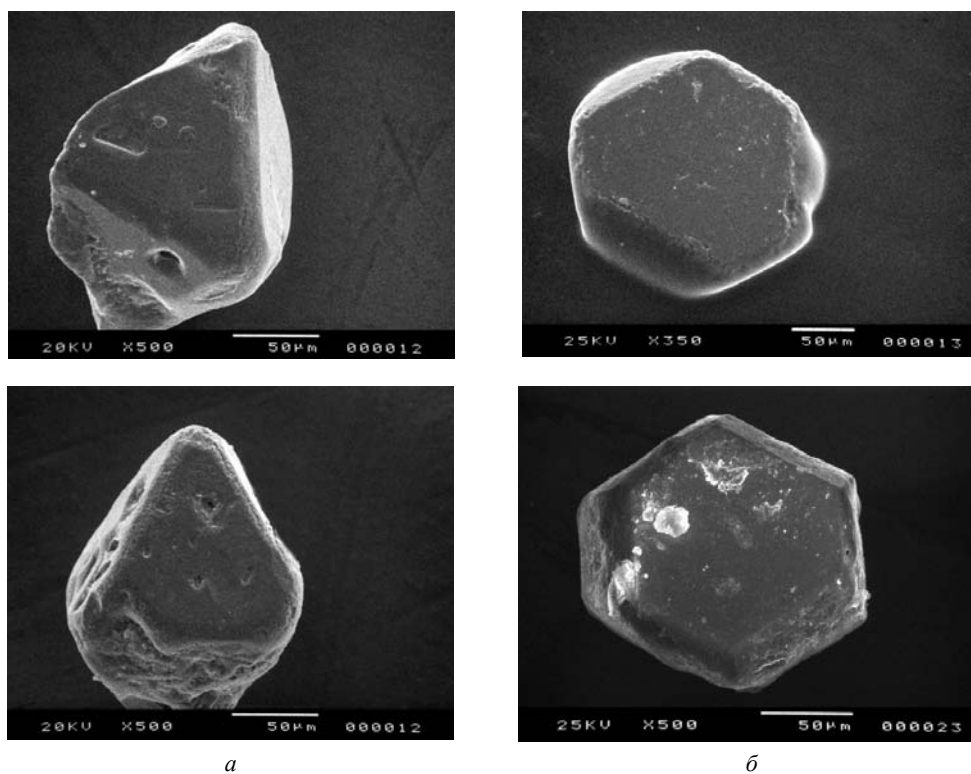


Рис. 11. Дифрактограма смектиту з перевідкладеного карбонатного пісковику, Å.



a

б

Рис. 12. Морфологія кристалів магнетиту (*a*) та ільменіту (*б*) під електронним мікроскопом.

Висновки. Результати виконаних досліджень дають підстави зробити такі висновки. У відкладах осадових порід Гірського Криму нерідко трапляються смектити, цеоліти, кремені, глауконіт, фосфорити, рідше ільменіт і магнетит, які утворилися в морських

седиментаційних басейнах завдяки підводному звітрюванню вулканічного попелу та з гідротермальних розчинів.

Наявність у кременях і фосфоритах фрагментів і добре збережених викопних форм коколітів, діатомей, кремнієвих губок і радіолярій свідчить про вплив на аутигенне мінералоутворення не тільки ендегенних процесів, а й мікроорганізмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Батурич Г. Н. Фосфориты на дне океанов / Г. Н. Батурич. – М. : Наука, 1978. – 231 с.
2. Білоніжжа П. Нариси з мінералогії Гірського Криму (межиріччя Бодраку і Качі) / П. Білоніжжа. – Львів, 2017. – 166 с.
3. Білоніжжа П. Фосфорити з палеогенових відкладів Криму / П. Білоніжжа, Ю. Дацюк // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2011. – Вип. 25. – С. 114–124.
4. Білоніжжа П. Електронно-мікроскопічне вивчення глауконіту з палеогенових відкладів Криму / П. Білоніжжа, Ю. Дацюк // Мінерал. зб. – 2013. – № 63, вип. 2. – С. 106–113.
5. Білоніжжа П. Мінеральний склад і мікроструктура кременів із верхньокрейдових і палеогенових відкладів басейну р. Бодрак (Крим) / П. Білоніжжа, Ю. Дацюк // Мінерал. зб. – 2014. – № 64, вип. 1. – С. 118–125.
6. Білоніжжа П. Деякі аспекти геологічної будови і мінерального складу флішової формації в басейні р. Бодрак (Крим) / П. Білоніжжа, Л. Генералова, О. Шваєвський // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2010. – Вип. 24. – С. 109–120.
7. Білоніжжа П. Магнетит та ільменіт із зони підводного розмивання карбонатного пісковика верхнього альбу в межиріччі Бодрака і Качі (Гірський Крим) / П. Білоніжжа, Ю. Дацюк, С. Бекеша // Мінерал. зб. – 2017. – № 67, вип. 1. – С. 82–89.
8. Білоніжжа П. М. Сліди вулканізму в палеогенових відкладах Гірського Криму (за даними мінералогічних досліджень) / П. М. Білоніжжа // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2002. – Вип. 16. – С. 96–101.
9. Білоніжжа П. М. Вплив вулканізму на формування верхньокрейдових відкладів Криму / П. М. Білоніжжа // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2004. – Вип. 18. – С. 96–101.
10. Бродская Н. Г. Роль вулканизма в образовании фосфоритов / Н. Г. Бродская. – М. : Наука, 1974. – 199 с.
11. Вассоевич Н. Б. Флиш и методы его изучения / Н. Б. Вассоевич. – Л. ; М. : Гостоптехиздат, 1948. – 216 с.
12. Высокожелезистые диоктаэдрические слоистые силикаты из гидротермальных пород и осадков вулканических построек Японского моря / М. И. Липкина, В. А. Дриц, С. И. Ципурский и др. // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1987. – № 10. – С. 92–111.
13. Дриц В. А. Глинистые минералы: смектиты, смешаннослойные образования / В. А. Дриц, А. Г. Коссовская. – М. : Наука, 1990. – 206 с.
14. Дриц В. А. Глинистые минералы: слюды, хлориты / В. А. Дриц, А. Г. Коссовская. – М. : Наука, 1991. – 177 с.

15. *Коссовская А. Г.* Генетические типы цеолитов клиноптилолит-гейландитовой группы континентов и океанов / А. Г. Коссовская, В. Д. Шутов, М. Я. Кац // Природные цеолиты. – М. : Наука, 1980. – С. 8–30.
16. *Логвиненко Н. В.* К вопросу о генезисе глауконита в осадках Тихого океана / Н. В. Логвиненко, И. И. Волков, А. Г. Розанов // Литология и полезные ископаемые. – 1975. – № 2. – С. 3–13.
17. *Муранов О.* Незвичайне і грізне в природі / О. Муранов. – К. : Веселка, 1976. – 351 с.
18. Новые данные об аутигенных слоистых силикатах в металлоносных осадках впадины Атлантис-II (Красное море) / Г. Ю. Бутузова, В. А. Дриц, Н. А. Лисицина, С. И. Ципурский // Литология и полезные ископаемые. – 1983. – № 5. – С. 82–88.
19. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. В. Кокин, А. Е. Мирошников, В. Г. Прохоров. – М. : Недра, 1990. – 480 с.
20. *Ilieva A.* Structural state of opal siliceous rocks, Eastern Rhodope / A. Ilieva, B. Mihailova // Compt. rend. Acad. Bulg. Sci. – 2002. – Vol. 55, N 2. – P. 65–70.
21. Mineralogical characteristics and geological significance of Albian (Early Cretaceous) glauconite in Zanda, southwestern Tibet, China / Xiang Li et al. // Clay Minerals. – 2012. – Vol. 47. – P. 45–58.
22. *Tschernich R. W.* Zeolites of the world / Rudy W. Tschernich. – Geoscience Press, Inc., 1992. – 563 p.
23. *Welton J. E.* SEM Petrology Atlas / Joann E. Welton. – American Association of Petroleum Geologists, 1984. – 237 p.

*Стаття: надійшла до редакції 05.09.2019
прийнята до друку 04.10.2019*

Petro Bilonizhka, Yurii Datsiuk

*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskoho St., Lviv, Ukraine, 79005,
mineral@franko.lviv.ua*

THE INFLUENCE OF ENDOGENIC PROCESSES ON THE FORMATION OF SEDIMENTARY ROCKS MINERAL COMPOSITION (BY EXAMPLE OF MOUNTAIN CRIMEA)

The results of the study of authigenous minerals in the sedimentary rocks of Mountain Crimea (interfluvium of Bodrak and Kacha rivers) are presented. Neogenic minerals and mineral associations are represented by smectites, zeolites, flints, glauconite, phosphorite, magnetite and ilmenite. For the study of minerals, a granulometric analysis of sedimentary rocks was performed, the clay fraction and monomineral fractions of glauconite, magnetite, and ilmenite were selected. The phase composition of the minerals was determined by diffractometric analysis, and the microstructure of the minerals was studied under a scanning electron microscope.

The investigated bentonites and dark gray argillites differ considerably in composition and origin: the clay fraction of the former is represented by smectites with admixture of hydromica

and quartz, and the second – by hydromica with an admixture of mixed-layer phase hydromica-smectite.

Thin layers, lenses, and nodules of flints are found in Upper Cretaceous and Palaeogene marls and limestones. They are composed of chalcedony with an admixture of low-temperature cristobalite, contain opal and zeolites in microcavities. Fragments of sponges, diatoms, and radiolarians were found in flints. In the carbonate sandstones of the Danian stage, primary, sedimentary glauconite is present, and in the clays of the Ypresian stage, it is redeposited and recrystallized. In paragenetic association with glauconite are phosphorites, the groundmass of which is composed of carbonate-fluorine-apatite. In the layer (20–30 cm) of the redeposited carbonate sandstone (south-western outskirts of the Prokholodne-village), the grains and crystals of magnetite and ilmenite have been found.

The results of the mineralogical and geochemical studies made it possible to conclude that the described minerals have been formed in marine sedimentation basins due to the underwater weathering of volcanic ash and hydrothermal solutions. The presence in flints and phosphorites of fragments and well-preserved fossil forms of coccoliths, diatoms, silicon sponges and radiolarians testifies to the impact on authigenous mineral formation not only of endogenous processes, but also of microorganisms.

Key words: authigenous minerals, sedimentary rocks, volcanic ash, hydrothermal solutions, microorganisms, Mountain Crimea.