

УДК 523.681

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУР УДАРНОГО МЕТАМОРФІЗМУ В КАРПАТСЬКОМУ МЕТЕОРІТІ *КНЯГИНЯ*

Н. Кичань

*Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України
та Міністерства з надзвичайних ситуацій України
03680 м. Київ, просп. акад. Палладіна, 34,а
E-mail: cosmin2@i.com.ua*

Наведено результати оптично-мікроскопічного та сканувального електронно-мікроскопічного дослідження карпатського метеорита *Княгиня*. Зроблено висновок, що ступінь ударно-метаморфічного перетворення метеорита відповідає стадії S4.

Ключові слова: метеорит, структури плавлення, камасит, теніт, плесит, ударний метаморфізм, Карпати.

Майже всі метеорити містять ознаки ударного метаморфізму. Виникали вони в разі співударяння материнських тіл метеоритів під час їхнього перебування в поясі астероїдів. Завдяки дослідженню характеру і ступеня зміни в метеоритах ми можемо визначити умови існування материнських тіл метеоритів у космосі.

Вчені виділяють у метеоритах деформаційні структури (крихкої деформації – тріщини, дроблення кристалів, зміщення; пластичної – викривлення кристалічної ґратки мінералів, двійникування, згини кристалів) та структури нагрівання (перекристалізація, структури хімічної неоднорідності металу, плавлення мінералів) [3, 5]. Експериментальні дослідження деформаційних структур у силікатних мінералах (олівін і плагіоклаз) [8] дали змогу виділити шість стадій ударно-метаморфічного перетворення речовини метеорита і визначити ударний тиск, який зумовив ці перетворення. Проте структури ударного метаморфізму можна успішно вивчати не лише за силікатною складовою метеоритів; для визначення ступеня та характеру змін у метеоритах придатні й фізичні властивості нікелістого заліза.

Попередні дослідження карпатського метеорита *Княгиня* [2, 6] свідчать про значний вплив ударного метаморфізму на первинні структурно-мінералогічні характеристики цього хондриту. Раніше визначено ударний тиск та оцінено температуру, яка супроводжувала процес ударного метаморфізму. Ми на сучасному електронно-мікроскопічному обладнанні виконали додаткові структурно-мінералогічні дослідження структур ударного метаморфізму в метеориті та визначили ступінь ударного метаморфізму згідно з загальноприйнятою класифікацією [8].

Падіння метеорита *Княгиня* спостерігали 9 липня 1866 р. о 17 год поблизу с. Княгиня Великоберезнянського р-ну Закарпатської обл. Воно відбулося під час найбільшого метеоритного дощу, зафіксованого на території України; знайдено близько тисячі уламків загальною масою 500 кг. Згідно з відомостями А. Ясинської [6], основна частина метеорита (близько 300 кг) зберігається у Віденському приро-

дознавчо-історичному музеї. На жаль, в Україні кількість речовини метеорита *Княгиня* досить обмежена, що суттєво ускладнює його дослідження. За літературними даними [1, 6], у метеоритній колекції Національного науково-природничого музею НАН України зберігаються лише 112 г, а у Львівському національному університеті імені Івана Франка – 159 г речовини метеорита. Для нашого дослідження зразки метеорита люб'язно надані колегами із Комітету з метеоритів НАН України.

Мінеральний склад метеорита *Княгиня* такий: олівін, гіперстен, енстатит, плагіоклаз, нікелісте залізо, троїліт, піротин, хроміт, ільменіт, магнетит [6]. Кількісний склад метеорита за даними попередніх дослідників: силікатів – 93,3 %, нікелістого заліза – 2,2, троїліту – 4,4, хроміту й магнетиту – 0,1 % [6]. Будова метеорита нерівномірнозерниста, текстура – реліктова хондритова. Хондри головню колосникової, складної колосникової, ексцентрично-променистої та мікропорфірової структури. Непрозорі мінерали представлені нікелістим залізом, троїлітом і хромітом. Зерна металу і троїліту розташовані переважно в матриці метеорита, іноді всередині хондр. Зерна хроміту діагностовано в зростках з металом і троїлітом, а також у вигляді дрібнозернистих агрегатів у плагіоклазі [2, 6]. Метеорит класифіковано як звичайний хондрит хімічної групи L та петрологічного типу 5 [2, 6], з незначними ознаками звітрювання, які відповідають стадії W1-2 [4].

Структурно-мінералогічні особливості та хімічний склад металу і троїліту досліджено в двох аншлифах загальною площею 1,3 см². Для цього використано оптичний мікроскоп марки ПОЛАМ-Р321 та електронний мікроскоп марки JEOL JSM 6490LV. У процесі дослідження на сканувальному електронному мікроскопі (СЕМ) використовували напругу 20 кВ. Хімічний склад мінералів у аншлифах вивчено за допомогою енергодисперсійного спектрометра марки Penta FETx3 Oxford Instruments, яким обладнано СЕМ.

Електронно-мікроскопічні дослідження нікелістого заліза в аншлифах та визначення його складу дали нам змогу детальніше класифікувати зерна металу за формою, хімічним складом та оцінити силу впливу ударного метаморфізму на метеорит *Княгиня*. У метеориті наявні всі три типи зерен металу, які виділені раніше [3]. До першого належать зерна неправильної амебоподібної форми розміром від 250 до 650 мкм, до другого – ізометричні зерна розміром від 100 до 250 мкм, третій тип – округлі частинки розміром від 20 до 100 мкм. Найбільше поширені зерна неправильної форми з гострими краями.

Нікелісте залізо представлене камаситом, тенітом і плеситом. Камасит має полікристалічну структуру та нейманові лінії. Під час протравлення аншлифа розчином 5 % ніталу всередині зерен камаситу виявлено нейманові лінії, деякі з них зігнуті й деформовані [2, 6]. Теніт наявний у вигляді окремих зерен і зростків з камаситом. Більшість зерен та їхніх ділянок у теніті складена плеситом [2]. Зерна плеситу мають грубу (мікрографічну) структуру.

У зернах металу і троїліту є включення інших мінералів, здебільшого силікатів, та округлих, значно менших за розміром зерен фосфатів (рис. 1). Деякі зерна нікелістого заліза містять включення троїліту або хроміту. В троїліті знайдено включення зерен ільменіту.

Ударний метаморфізм у досліджених аншлифах метеорита *Княгиня* представлений такими структурами: плавлення (пилуваті, жилкуваті, кулясті та структури сумісного плавлення металу й силікату) та пластичних деформацій (нейманові лінії).

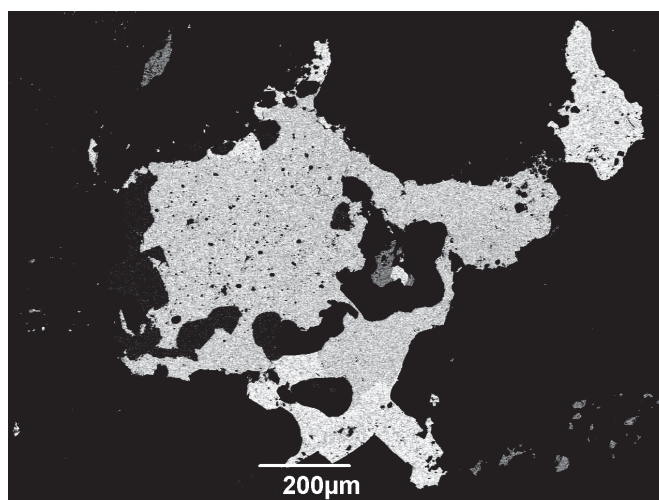


Рис. 1. СЕМ-зображення зростка троїліту (сіре) і нікелістого заліза (біле) з силікатними та фосфатними включеннями (темно-сіре), розташованого в силікатній матриці хондриту (темне).

Структури плавлення розміщені в матриці метеорита на контакті металевої та силікатної складових. Пилюваті структури плавлення – це дрібні зерна нікелістого заліза і троїліту, які заповнили вільні дрібні пори в матриці метеорита. Висока проникна здатність розплаву сульфїду заліза призводить до розтікання його по тріщинах у матриці метеорита. Сульфїд заліза утворює жилкуваті структури плавлення, оскільки температура підвищується під час співударяння материнських тіл метеоритів у поясі астероїдів [2]. У деяких випадках ці жилкуваті структури складені евтектичними структурами плавлення троїліту та нікелістого заліза.

У метеориті поширені кульки плавлення, складені троїлітом, камаситом і тенітом. На локальних ділянках контакту силікату та металу діагностовано структури спільного плавлення металу й силікатів. У переважній більшості звичайних хондритів такі структури складаються лише окремо з силікатних кульок та з кульок металу. В метеориті *Княгиня* ці структури мають складну будову: вони утворені кульками силікатів, усередині яких містяться металеві кульки (рис. 2). Металеві та троїлітові кульки плавлення схожі на такі ж структури в метеоритах *Бахмут* і *Річки* [2]. Додатковою ознакою ударно-метаморфічної зміни первинної структури метеорита під час його перебування в поясі астероїдів є зростки камаситу й теніту зі структурою грубоструктурного плеситу. В наших зразках вони становлять близько 60 % від усього нікелістого заліза.

За допомогою енергодисперсійного спектрометра вивчено хімічний склад зерен нікелістого заліза та троїліту (див. таблицю). Камасит у метеориті *Княгиня* має змінний вміст Ni від зерна до зерна (4,80–9,12 мас. %) та рівномірний склад у межах зерен; містить незначну кількість Co – 0,57–1,98 мас. %. Вміст Ni в теніті коливається в межах від 30,30 до 52,11 мас. %, вміст Co – від 0 до 0,95 мас. %. Виконані дослідження засвідчують ширші межі коливання складу зерен теніту, ніж визначено раніше [7] під час дослідження лише 16 зерен теніту в хондриті *Княгиня*. Згідно з цими даними, теніт вміщує $43,9 \pm 3,2$ мас. % Ni та $0,2 \pm 0,5$ мас. % Co.

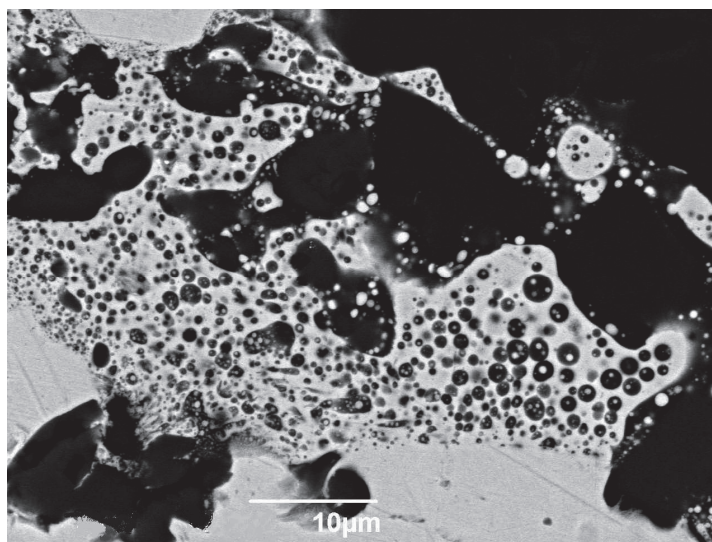


Рис. 2. СЕМ-зображення складної структури спільного плавлення металу (біле) та силікату (темне) на контакті цих мінералів у матриці метеорита.

Хімічний склад нікелістого заліза і троїліту метеорита *Княгиня* за даними енергодисперсійних досліджень, мас. %

Елемент	Камасит (37)*			Теніт (42)*			Троїліт і піротин (63)*		
	мін.	макс.	середнє	мін.	макс.	середнє	мін.	макс.	середнє
Fe	89,87	94,17	91,84	47,89	68,82	59,41	55,57	61,71	59,11
Ni	4,80	9,12	6,78	30,30	52,11	40,29	0	2,41	0,12
Co	0,57	1,98	1,37	0	0,95	0,31	0	1,04	0,16
S	–	–	–	–	–	–	38,29	43,57	40,79
Cr	–	–	–	–	–	–	0	0,81	0,06
Cu	–	–	–	–	–	–	0	0,99	0,07
Ti	–	–	–	–	–	–	0	0,37	–
V	–	–	–	–	–	–	0	0,20	–
Zn	–	–	–	–	–	–	0	0,58	–
Mn	–	–	–	–	–	–	0	0,36	–

* У дужках наведено кількість аналізів.

Сульфіду заліза властива однорідність хімічного складу в межах зерна та широка варіація від зерна до зерна, що відповідає 55,57–61,71 мас. %, а також наявність невеликої кількості домішок Co ($\leq 1,04$ мас. %). Відповідно до енергодисперсійних досліджень, змінний склад сульфіду заліза свідчить про наявність троїліту і піротину, що підтверджує дані А. Ясинської [6]. У деяких зернах троїліту є незначні домішки Co, Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, V, Ti.

Незважаючи на те, що метеорит упав 143 роки тому, ознаки звітрювання в ньому виявлені лише в окремих зернах металу. В поодиноких зернах, складених грубо-структурним плеситом, зафіксовано ознаки так званого селективного звітрювання. Тобто, оскільки вміст нікелю в камаситовій складовій менший, ніж у тенітовій, то саме вона окислилась першою, а теніт не змінився (рис. 3). Під бінокелем спо-

стережено тонкі облямівки бурого кольору навколо деяких зерен металу, представлені оксидами заліза. В силікатах матриці метеорита структури звітрювання слабо поширені.

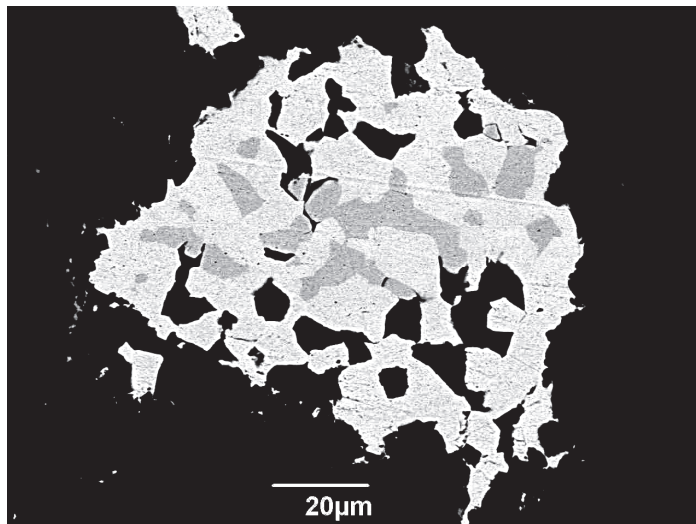


Рис. 3. СЕМ-зображення селективного звітрювання в зерні грубоструктурного плеситу: біле – теніт, сіре – камасит, темно-сіре – окиснений камасит; зерно розташоване в силікатах матриці (темне).

Отже, унаслідок додаткових досліджень ми діагностували поширені структури ударного метаморфізму (жилкуваті структури та кульки плавлення, складні структури спільного плавлення металу та силікатів), численні зростки камаситу й теніту зі структурою грубоструктурного плеситу, а також підтвердили, що в зернах теніту нема плеситу типу IV. Усі зазначені перетворення речовини метеорита можуть бути зумовлені значним впливом ударного метаморфізму на структурно-мінералогічні характеристики метеорита під час його перебування в космосі. З урахуванням результатів попередніх [6] та оригінальних досліджень можна зробити висновок про декілька співударянь метеорита в період його перебування в поясі астероїдів: з першим пов'язані основні структурно-мінералогічні та хімічні зміни; з другим, менш інтенсивним, – виникнення нейманових ліній, а третій, найслабший, призвів до деформації цих ліній. Раніше вплив основного ударного тиску на метеорит оцінено як 25 ГПа з температурою нагрівання загальної частини метеорита до 500 °С та локально – до температури плавлення олівіну та троїліту [3]. В загальноприйнятій класифікації впливу ударного метаморфізму на звичайні хондрити Д. Штоффлера зі співавт. стадію S4 характеризує наявність зерен олівіну з хвилястим і мозаїчним загасанням, які утворилися за ударного тиску 30–35 ГПа. За результатами попередніх досліджень хондриту [6], у ньому є такі структури; також висловлено припущення про наявність зерен маскелініту. Температура ударного нагрівання на стадії S4 становить 350–600 °С [8]. З урахуванням численних структур плавлення та з огляду на відсутність плеситу типу IV в теніті можна підтвердити дані попередніх дослідників [2] про ударне нагрівання метеориту понад 500 °С, а в локальних місцях – до температури плавлення металу й силікатів.

Поєднанням отриманих даних з даними попередніх дослідників [2, 6] можна оцінити силу впливу ударного метаморфізму на метеорит як стадію S4.

Авторка щиро вдячна В. Семененко за допомогу в обговоренні результатів досліджень і написанні статті та В. Сливінському за технічну допомогу під час проведення електронно-мікроскопічних досліджень.

1. Семененко В.П., Гіріч А.Л., Русько Ю.О. Каталог метеоритів, що зберігаються в Національному науково-природничому музеї НАН України (на 1 січня 2007 р.) // Мінерал. журн. 2007. Т. 29. № 2. С. 72–82.
2. Семененко В.П., Соботович Э.В., Тертычная Б.В. Метеориты Украины. Киев: Наук. думка, 1987. 220 с.
3. Соботович Э.В., Семененко В.П. Вещество метеоритов. Киев: Наук. думка, 1984. 191 с.
4. Ширінбекова С.Н. Порівняльна характеристика ступеня вивітрювання хондритів з метеоритної колекції Національного науково-природничого музею НАН України // Записки Укр. мінерал. т-ва. 2008. № 5. С. 96–104.
5. Юдин И.А., Коломенский В.Д. Минералогия метеоритов. Свердловск: УНТЦ АН СССР, 1987. 200 с.
6. Ясинская А.А. Минералого-химическое исследование метеорита Княгиня // Минерал. сб. 1965. № 19. Вып. 2. С. 172–189.
7. Afitalab F., Wasson J.T. Composition of the metal phases in ordinary chondrites: implications regarding classification and metamorphism // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1967. Vol. 31. N 5. P. 861–868.
8. Stöffler D., Keil K., Scott E.R.D. Shock metamorphism of ordinary chondrites // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1991. Vol. 55. P. 3845–3867.

PECULIARITIES OF SHOCK METAMORPHISM STRUCTURES IN THE CARPATHIAN METEORITE *КНЯГИНЯ*

N. Kychan

*Institute of Environmental Geochemistry of NA SU
Acad. Palladin Av. 34a, UA – 03680 Kyiv-142, Ukraine
E-mail: cosmin2@i.com.ua*

The results of optic microscopic and scanning electron microscopic study of meteorite *Княгиня* are given. The data show the evidences of shock metamorphism in the meteorite as S4 stage.

Key words: meteorite, structures of melting, kamacite, taenite, plessite, shock metamorphism, Carpathians.

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР УДАРНОГО МЕТАМОРФИЗМА
В КАРПАТСКОМ МЕТЕОРИТЕ *КНЯГИНЯ*****Н. Кичань**

*Институт геохимии окружающей среды НАН Украины
и Министерства по чрезвычайным ситуациям Украины
03680 г. Киев, просп. акад. Палладина, 34,а
E-mail: cosmin2@i.com.ua*

Приведены результаты оптически-микроскопического и сканирующего электронно-микроскопического изучения карпатского метеорита *Княгиня*. Сделан вывод, что степень ударно-метаморфического преобразования метеорита соответствует стадии S4.

Ключевые слова: метеорит, структуры плавления, камасит, тэнит, плессит, ударный метаморфизм, Карпаты.

Стаття надійшла до редколегії 22.05.2009

Прийнята до друку 15.09.2009