

## СТРУКТУРИ УДАРНОГО МЕТАМОРФІЗМУ В МЕТЕОРІТІ ГРУЗЬКЕ

---

Структурно-мінералогічні дослідження нового українського метеорита Грузьке показали, що він належить до звичайних хондритів хімічної групи Н і петрологічного типу 4 [2]. Мінеральний склад хондрита представлений олівіном, піроксеном, нікелістим залізом (камасит, теніт і плесит), троїлітом, нормативним плагіоклазом, хромітом, самородною міддю, мерилітом, СІ-апатитом, а також поодинокими зернами ільменіту та кремнезему. Однією із характерних особливостей метеорита є наявність різноманітних структур ударного метаморфізму, які вказують на декілька співударянь в його космічній історії. До них належать структури крихких (зсув деформаційних пластинок та монокристалів у троїліті) і пластичних деформацій (планарні структури в олівіні, нейманові лінії в камаситі, деформаційні пластинки в троїліті, зігнуті зерна зонального теніту, орієнтована структура мікрографічного плеситу), структури ударного нагріву (мозаїчне погасання олівіну, полікристалічні камасит і троїліт, зональний теніт, мікрографічний плесит, вклучення в камаситі, вторинний троїліт, амебоподібна форма зерен камаситу), а також структури плавлення (пилоподібні, сітчасті та каркасні структури троїліту, ділянки плавлення в силікатах) [2]. Відповідно до експериментальних досліджень деформаційних структур в олівіні та плагіоклазі, виділено шість стадій ударно-метаморфічного перетворення речовини метеорита і встановлено величину ударного тиску, яка зумовила ці перетворення [6]. Проте вивчення структур ударного метаморфізму можна успішно проводити не лише за силікатною складовою метеоритів, а й за нікелістим залізом, фізичні властивості якого добре підходять для визначення ступеня та характеру змін у метеоритах [4].

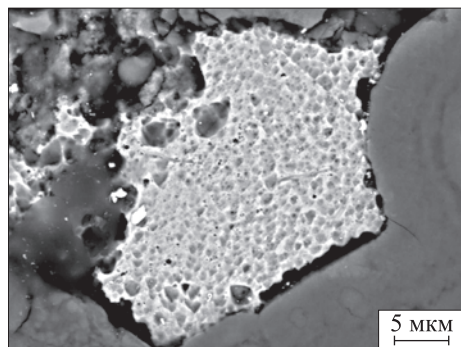
Одним із інформативних методів є метод електронно-мікроскопічного вивчення структури в полірованих зразках метеорита, особливо протравленої поверхні зерен нікелістого заліза. Детальні дослідження особливостей будови нікелістого заліза у протравленому 5%-м ніталом (розчин азотної кислоти в спирті) протягом 10 с аншліфі метеорита Грузьке площею 1,12 см<sup>2</sup> було проведено під оптичним мікроскопом марки ПОЛІАМ-Р321 і за допомогою електронного мікроскопа марки JEOL JSM 6490LV.

Згідно із попередніми даними, нікелисте залізо в метеориті представлене камаситом, тенітом, тонко- та грубоструктурним плеситом. Більші за розміром зерна переважно складені камаситом або його зростками з тенітом, а менші — зональним тенітом, інколи грубоструктурним плеситом. Хімічний склад нікелистого заліза відрізняється не лише від зерна до зерна, а і в межах зерен. Масова частка Ni в камаситі становить 6,68—8,32 %, Co — 0,27—0,53, у теніті Ni — 48,5—54,8, Co 0,0—0,13 % [2].

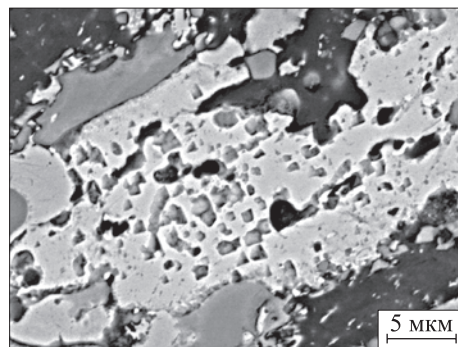
Зерна камаситу за формою можна поділити на великі, амебоподібні з гострими краями і численними вклученнями (силікати, фосфати, хроміт, самородна мідь, кремнезем) та менші, округлі або овальні зерна з більш гладкими краями. За формою зерен нікелистого заліза і наявністю в них численних вклучень інших мінералів метеорит Грузьке дуже подібний до хондрита Галків (H4) [1, 5], але відрізняється від нього деякими структурно-мінералогічними характеристиками, пов'язаними з вищим ступенем ударного метаморфізму в поясі астероїдів і нижчою стадією вивітрювання на Землі [2].

Сканувальні електронно-мікроскопічні дослідження зерен камаситу в аншліфі вказують на різний ступінь їх протравлення, що засвідчує їх складну неоднорідну структуру. Вищий ступінь протравлення відмічений у центральній частині зерен камаситу. У його великих амебоподібних зернах наявні декілька систем нейманових ліній, деякі з яких характеризуються переривчастістю та деформовані. Протравлена поверхня зерен нікелистого заліза переважно пориста (рис. 1), аналогічна пористій поверхні камаситу в метеориті Кагарлик [3]. Така поверхня є типовою для дрібних зерен камаситу овальної та округлої форми. В метеориті метал і троїліт асоціюють із зернами самородної міді розміром до 30 мкм. Після протравлення у зразку відзначено ділянки в зернах нікелистого заліза та в зернах самородної міді (рис. 2), які містили кристали кубічної сингонії.

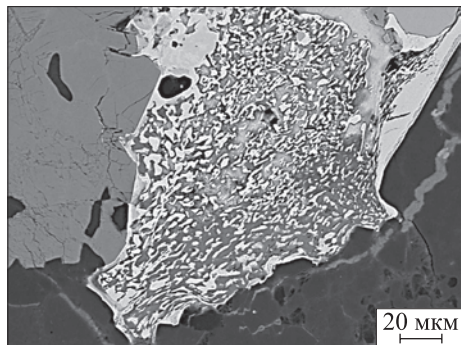
Плесит має тонко- і грубоструктурну будову. Плесит другого типу представлений мартенситом (голчастим), а також його метаморфогенним продуктом — мікрографічним плеситом (рис. 3). Унаслідок пластичної деформації зерна мікрографічного плеситу мають орієнтовану структуру відповідно до форми зерна. Мартенситова структура також була змінена і має складну смугасту будову (рис. 4). Розміри мартенситових голок відповідають  $<4 \times 35$  мкм. Зерна теніту в метеориті характеризуються зональною будовою (від двох до чо-



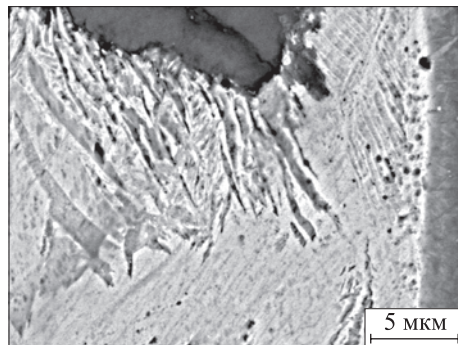
**Рис. 1.** Сканувальне електронно-мікроскопічне (СЕМ) зображення пористої поверхні протравленого зерна камаситу в аншліфі хондрита Грузьке. Темно-сіре — силікати



**Рис. 2.** СЕМ-зображення зерна самородної міді (біле), в якому були кристали кубічної сингонії. Сіре — троїліт, темно-сіре — гідроксиди заліза



**Рис. 3.** СЕМ-зображення мікрографічної структури плеситу. Сіре зерно ліворуч — хроміт, темно-сіре — силікати



**Рис. 4.** СЕМ-зображення складної смугастої мартенситової структури плеситу. Темно-сіре — силікати

тирьох зон). Серцевина зональних зерен теніту має мікрографічну, рідше мартенситову будову, на периферії зерен спостерігається зона плеситу типу IV.

Троїліт метеорита Грузьке, як і нікелисте залізо, характеризується полікристалічною будовою. По межах монокристалів, зміщених у результаті ударного метаморфізму, широко розвинені прожилки гідроксидів заліза. Окремі зерна переповнені великими силікатними включеннями, аналогічно з нікелістим залізом. У низці зерен троїліту наявні унікальні пластинчасті деформації. Вони представлені системою паралельних пластинок завтовшки 3—5 мкм, які в окремих випадках характеризуються зсувом по площині деформації. Завдяки розвинутим по периферії хондр структурам плавлення троїліту більшість з них щільно зрослися з матрицею [2]. В метеориті дуже поширені пилоподібні, жилкуваті, каркасні, сітчасті структури плавлення троїліту, а також евтектичні структури плавлення троїліту і нікелістого заліза.

Нормативний плагіоклаз діагностований як мезостазис мікропорфірових хондр і ділянок ударного розплаву (маскелініту) матриці. Зазвичай він вміщує кристали хроміту. Внаслідок ударного метаморфізму плагіоклаз характеризується різко вираженим хвилястим погасанням.

Кристали хроміту спостерігаються в асоціації з металом і троїлітом, а також як скупчення дрібних ідіоморфних та амебоподібних зерен у жилках нормативного плагіоклазу і ударних ділянках. Більшість зерен хроміту тріщинуваті. Хімічний склад хроміту неоднорідний, з підвищеною масовою часткою (%) MgO (3,37—4,15), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,49—7,10), TiO<sub>2</sub> (2,20—2,46) і V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,59—0,68).

Отже, наявність численних структур ударного метаморфізму, характер їх прояву та неоднорідна структура нікелістого заліза і троїліту свідчать про складну космічну історію материнського тіла метеорита [2]. Діагностування деформованих нейманових ліній дає можливість ще раз підтвердити, що в космічній історії материнського тіла метеорита було декілька співударянь. Перший зумовив головні ударно-метаморфічні зміни хондрита. Згідно зі шкалою Штоффлера та ін. [6], ступінь ударного тиску за першого співударяння становила 30—35 [2], за наступних — не вище 8 ГПа. Зіткнення материнського тіла хондрита з іншими тілами в поясі астероїдів привели до утворення та деформування нейманових ліній, спричинили пластичні деформації металевих і сульфідних зерен, а також структури зсуву деформаційних пластинок і монокристалів зерен у троїліті.

Авторка щиро вдячна В.П. Семененко за допомогу під час обговорення результатів досліджень і написання статті та В.М. Сливінському за технічну допомогу під час проведення електронно-мікроскопічних досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кичань Н.В., Ширінбекова С.Н., Сливінський В.М. Структурно-мінералогічні особливості нікелістого заліза метеорита Галків // Зап. Укр. мінерал. тов-ва. — 2009. — **6**. — С. 70—76.
2. Семененко В.П., Гіріч А.Л., Кичань Н.В., Ширінбекова С.Н. Структурно-мінералогічні особливості кам'яного метеорита Грузьке // Мінерал. зб. — 2010. — **60**, № 1. — С. 59—69.
3. Семененко В.П., Соботович Э.В., Тертычная Б.В. Метеориты Украины. — Киев: Наук. думка, 1987. — 220 с.
4. Соботович Э.В., Семененко В.П. Вещество метеоритов. — Киев: Наук. думка, 1984. — 191 с.
5. Semenenko V.P., Girich A.L. The Galkiv meteorite: H4 chondrite from Ukraine // Meteorit. Planet. Sci. — 1998. — **33**. — P. A193—A196.
6. Stöffler D., Keil K., Scott E.R.D. Shock metamorphism of ordinary chondrites // Geochim. Cosmochim. A. — 1991. — **55**. — P. 3845—3867.