

УДК 523.681

СТРУКТУРНО-МІНЕРАЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАМ'ЯНОГО МЕТЕОРИТА *ГРУЗЬКЕ*

В. Семененко, А. Гіріч, Н. Кичань, С. Ширінбекова

*Інститут геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України
03680 м. Київ, просп. акад. Палладіна, 34а
E-mail: cosmin@i.ua*

Наведено структурно-мінералогічні характеристики кам'яного метеорита *Грузьке*, який належить до останньої знахідки на території України. За результатами оптичних, електронно-мікроскопічних і рентгеноспектральних досліджень метеорит класифіковано як звичайний хондрит H4, ступінь ударно-метаморфічного перетворення якого відповідає S4, а земного звітрювання – W2.

Ключові слова: метеорит, структура, мінерали, ударний метаморфізм, класифікація, Україна.

Історія знахідки. Сьогодні на території України зареєстровано 44 метеорити [2]. Останній з них – кам'яний метеорит *Грузьке*, знайдений на полі наприкінці березня 2007 р. біля с. Грузьке Кіровоградського р-ну Кіровоградської обл. Географічні координати знахідки відповідають 48°32' N і 32°03' E. Під час польових робіт геофізика Кіровської експедиції П. Німенський, Ю. Розанович та О. Паховчак звернули увагу на одиничний камінь бурого кольору, який лежав на поверхні ґрунту. Порівняно з земними породами він мав підвищену питому вагу та високу щільність, що дало підстави припустити його метеоритну природу. Більше двох років взірць зберігався на складі Кіровської експедиції в Києві.

У липні 2009 р. невеликий уламок метеорита, а також його шліф були надані у відділ космоєкології та космічної мінералогії Інституту геохімії навколишнього середовища НАН України куратором мінералогічної колекції Інституту геохімії, мінералогії та рудотворення імені М.П. Семененка НАН України Л. Соломатіною для діагностики.

Після підтвердження космічної природи взірця основна маса метеорита – 3,423 кг – надійшла в Комітет з метеоритів НАН України для дослідження і подальшого зберігання в Національному науково-природничому музеї НАН України. Рішення про передання взірця ухвалено завдяки люб'язності та зусиллям заступника директора Кіровської експедиції Л. Сініченка і геофізика П. Німенського (рис. 1).

Макроскопія. Метеорит належить до індивідуальних взірців (рис. 2). Він повністю покритий корою плавлення, колір якої бурий унаслідок звітрювання за земних умов, а його розміри відповідають 18,0×13,0×8,5 см. Форма взірця наближена до трикутної піраміди, одна з вершини якої була сколота ще до знахідки, ймовірно, плугом чи бороною під час сільськогосподарських робіт. На поверхні взірця видно окремі механічні борозни. У Кіровській експедиції від метеорита відбито два фрагменти, з яких І. Решетило виготовив прозорий і поліровані шліфи.



Рис. 1. Геофізик П. Німенський (ліворуч) і заступник директора Кіровської експедиції Л. Сініченко з кам'яним метеоритом *Грузьке*, який вони безкоштовно передали в Комітет з метеоритів НАН України 22 липня 2009 р.



Рис. 2. Загальний вигляд хондрита *Грузьке*. На поверхні взірця розташовані регмагліпти.

Переважна частина кори плавлення вкрита типовими регмагліптами, розмір яких змінюється від $1,5 \times 1,3$ до $3,0 \times 2,6$ см.

Свіжі відколи та полірована поверхня мають темно-сірий–чорний колір, високу густину, а також значний вміст зерен нікелістого заліза (рис. 3), що є мінералогічним свідченням належності метеорита до звичайних високозалізистих хондритів, тобто до хімічної групи Н. На жаль, з огляду на інтенсивне звітрювання хондрита за земних умов не лише кора плавлення, а й свіжі відколи пронизані гідроксидами заліза.

Методи дослідження. З відбитих взірців метеорита виготовлено поліровані шліфи. Структурно-мінералогічні особливості вивчені в одному прозорому шліфі площею

1,6 см² за допомогою оптичного мікроскопа марки МИН-8, а також у трьох полірованих шліфах загальною площею 4 см² за допомогою оптичного мікроскопа марки ПОЛАМ Р-312 та сканувального електронного мікроскопа марки JSM-6490 LV фірми Jeol, який обладнано енергодисперсійним спектрометром (EDS) марки INCA Penta FETx3. Спектрометричні дослідження дали змогу отримати дані про хімічний склад дрібних зерен мінералів та їхніх включень. Точний хімічний склад зерен розміром понад 5 мкм визначено за допомогою мікроаналізатора марки JXA-8200 фірми Jeol (Техцентр НАН України) за сили струму 10 нА, прискорювальної напруги 15 кВ, діаметра зонда 2 мкм з використанням ZAF поправок.

Структура. Метеорит має типову хондритову текстуру, у якій досить чітко видно контури окремих хондр. Більшість хондр перебуває в щільному зростанні з матрицею завдяки розвинутим по периферії структурам плавлення троїліту. Структура хондр переважно мікропорфірова (рис. 4), колосникова, менше – ексцентрично-промениста або повнокристалічна. Окремі хондри належать до слабкорозкристалізованих скляних. Усі структурні типи хондр представлені головню силікатними мінералами з незначним вмістом рудних зерен.

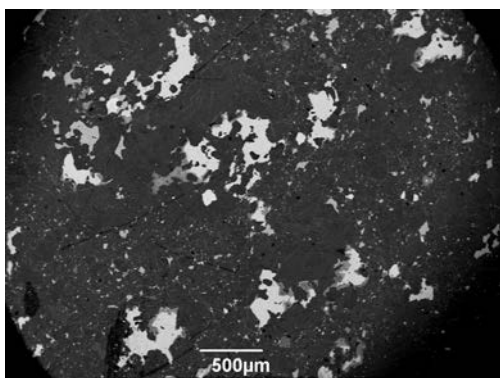


Рис. 3. Сканувальне електронно-мікроскопічне (SEM) зображення полірованого шліфа хондрита *Грузьке*. Матриця метеорита збагачена зернами металу (біле), для яких характерна чітко виражена амебоподібна форма. Темно-сіре – силікати, сіре – гідроксиди заліза, ясно-сіре – троїліт.

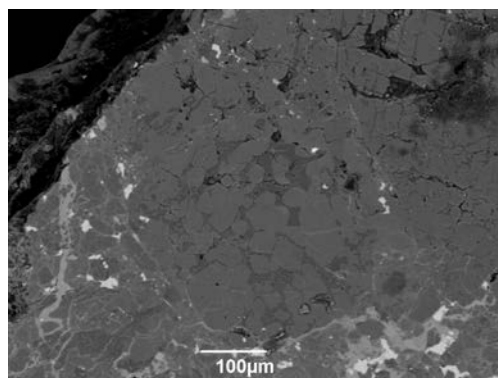


Рис. 4. СЕМ-зображення мікропорфірової хондри в полірованому шліфі хондрита *Грузьке*. Хондра представлена ідіоморфними кристалами олівину і слабкорозкристалізованим склом. У матриці хондрита розвинуті численні прожилки гідроксидів заліза (ясно-сіре).

Матриця хондрита напівпрозора, інтенсивно пронизана гідроксидами заліза і складена нерівномірнотзернистим силікатним агрегатом, який збагачений рудними мінералами.

Мінеральний склад хондрита: олівін $Fa_{18,0-19,2}$, піроксен $En_{81,2-83,2}Fs_{15,9-17,4}Wo_{0,93-1,88}$, нікелісте залізо (камасит, теніт і плесит), троїліт, менше кальцієвого піроксену складу $En_{47,5-48,4}Wo_{45,1-46,4}Fs_{5,94-6,89}$, нормативного плагіоклазу $Ab_{76,2-84,6}An_{9,2-14,1}Or_{4,47-9,64}$, хроміту, самородної міді, мериліту, СІ-апатиту, наявні поодинокі зерна ільменіту й кремнезему. Хімічний склад мінералів неоднорідний і змінюється не тільки від зерна до зерна, а й у межах зерен (табл. 1–3). Олівін і піроксен є головними силікатними мінералами хондр і матриці, нікелісте залізо і троїліт наявні головню в матриці, нормативний плагіоклаз – у ділянках ударних розплавів, а мериліт, СІ-апатит і кремнезем – як включення в нікелістому залізі й троїліті.

Таблиця 1

Хімічний і компонентний склад силікатів у хондриті *Грузьке*, мас. %

Компонент	Олівін (<i>n</i> = 10)	Піроксен (<i>n</i> = 28)	Са-піроксен (<i>n</i> = 3)	Плагіоклаз (<i>n</i> = 11)
MgO	<u>43,0–44,5</u> 43,7	<u>30,7–31,9</u> 31,4	<u>17,1–17,4</u> 17,2	<u>Н. в.–0,03</u> <0,01
K ₂ O	<u>Н. в.–0,03</u> <0,01	<u>Н. в.–0,03</u> <0,01	Н. в.	<u>0,71–1,25</u> 0,98
P ₂ O ₅	<u>Н. в.–0,12</u> <0,02	<u>Н. в.–0,03</u> <0,01	<u>0,01–0,05</u> 0,03	<u>Н. в.–0,04</u> <0,01
Al ₂ O ₃	<u>Н. в.–0,07</u> <0,01	<u>0,05–0,20</u> 0,14	<u>0,30–0,49</u> 0,40	<u>21,3–22,2</u> 21,7
MnO	<u>0,41–0,52</u> 0,46	<u>0,43–0,56</u> 0,49	<u>0,23–0,26</u> 0,25	<u>Н. в.–0,06</u> <0,02
Na ₂ O	<u>Н. в.–0,05</u> <0,01	<u>Н. в.–0,04</u> <0,02	<u>0,46–0,55</u> 0,52	<u>6,49–9,67</u> 8,95
CaO	<u>Н. в.–0,05</u> <0,03	<u>0,50–1,00</u> 0,72	<u>22,5–23,1</u> 22,8	<u>1,86–2,58</u> 2,36
Cr ₂ O ₃	<u>Н. в.–0,13</u> <0,02	<u>0,04–1,61</u> 0,18	<u>0,66–0,70</u> 0,68	<u>Н. в.–0,05</u> <0,01
SiO ₂	<u>38,6–39,7</u> 39,2	<u>55,6–56,6</u> 56,1	<u>53,7–54,5</u> 54,2	<u>63,9–65,2</u> 64,6
FeO	<u>17,2–18,4</u> 17,7	<u>10,9–11,9</u> 11,3	<u>3,76–4,45</u> 4,03	<u>0,44–1,14</u> 0,77
TiO ₂	<u>Н. в.–0,13</u> <0,02	<u>0,03–0,25</u> 0,13	<u>0,16–0,36</u> 0,27	<u>0,02–0,05</u> 0,03
V ₂ O ₃	<u>Н. в.–0,04</u> <0,01	<u>Н. в.–0,04</u> <0,01	<u>Н. в.–0,07</u> 0,04	<u>Н. в.–0,02</u> Н. в.
Ni	<u>Н. в.–0,07</u> <0,02	<u>Н. в.–0,12</u> <0,01	<u>0,01–0,03</u> <0,02	<u>Н. в.–0,05</u> <0,02
Сума	101,22	100,42	100,43	99,43
Fa	<u>17,9–19,3</u> 18,6			
Fs		<u>15,9–17,4</u> 16,5	<u>5,94–6,89</u> 6,31	
En		<u>81,2–83,2</u> 82,1	<u>47,5–48,3</u> 47,9	
Wo		<u>0,93–1,88</u> 1,35	<u>45,2–46,4</u> 45,7	
Ab				<u>76,2–84,6</u> 81,9
An				<u>9,2–14,1</u> 12,1
Or				<u>4,47–9,64</u> 6,01

Примітки: Тут і далі в чисельнику наведено межі вмісту, у знаменнику – середнє значення.
Н. в. – не визначено; *n* – кількість аналізів.

Таблиця 2

Хімічний склад нікелістого заліза і троїліту в хондриті *Грузьке*, мас. %

Компонент	Камасит (n = 10)	Теніт (n = 6)	Плесит (n = 5)	Троїліт (n = 10)
Fe	<u>85,7–94,1</u> 92,5	<u>42,6–51,9</u> 48,6	<u>72,3–84,9</u> 78,0	<u>61,5–63,1</u> 62,3
S	<u>Н. в.–0,01</u> Н. в.	<u>Н. в.–0,12</u> 0,06	<u>Н. в.–0,01</u> Н. в.	<u>36,0–37,1</u> 36,7
Si	<u>Н. в.–0,02</u> <0,01	<u>Н. в.–0,03</u> <0,01	<u>Н. в.–0,01</u> Н. в.	<u>Н. в.–0,01</u> Н. в.
Cr	<u>Н. в.–0,02</u> Н. в.	<u>Н. в.–0,03</u> Н. в.	<u>Н. в.–0,04</u> <0,02	<u>Н. в.–0,04</u> <0,01
Co	<u>0,27–0,53</u> 0,45	<u>Н. в.–0,13</u> 0,07	<u>0,13–0,24</u> 0,19	<u>Н. в.–0,05</u> <0,01
P	<u>Н. в.–0,01</u> Н. в.	<u>Н. в.–0,01</u> <0,01	Н. в.	<u>Н. в.–0,01</u> Н. в.
Ni	<u>6,68–8,32</u> 7,08	<u>48,5–54,8</u> 51,6	<u>15,1–26,3</u> 21,5	<u>Н. в.–0,92</u> 0,10
Cu	<u>Н. в.–0,08</u> 0,03	<u>0,09–0,32</u> 0,23	<u>Н. в.–0,11</u> 0,03	<u>Н. в.–0,05</u> <0,02
Сума	100,11	100,50	99,74	99,08

У полірованому шліфі хондрита *Грузьке* зафіксовано типові для хондритів [2, 4] ідіоморфні, колосникові та ксеноморфні зерна олівіну. Ксеноморфні є переважно в матриці. У прохідному світлі більшість зерен має хвилясте або мозаїчне загасання, що свідчить про деформацію їхньої кристалічної ґратки. Хімічний склад олівіну відповідає $Fe_{18,0-19,2}$ (див. табл. 1), а відсоток його модального відхилення – 1,44. Окремі зерна вміщують домішки TiO_2 , Cr_2O_3 , CaO і V_2O_5 . Наявність у складі незначних концентрацій Al_2O_3 , Na_2O і Ni зумовлена забрудненням аналізу навколишніми мінералами в процесі дослідження.

Піроксени представлені низько- ($En_{81,2-83,2}Fs_{15,9-17,4}Wo_{0,93-1,88}$) і рідше – висококальцієвими ($En_{47,5-48,4}Wo_{45,1-46,4}Fs_{5,94-6,89}$) різновидами, трапляються у вигляді як окремих зерен, так і зростків. На відміну від низькокальцієвого, висококальцієвий піроксен має вищі концентрації домішок Al_2O_3 , MnO , Na_2O , Cr_2O_3 і TiO_2 (див. табл. 1).

Нікелісте залізо представлене камаситом, тенітом, тонко- і грубоструктурним плеситом. Розмір їхніх зерен змінюється від мікрометричного до 2 мм. Більші за розміром зерна складені головню камаситом або його зростками з тенітом, а менші – зональним тенітом, інколи грубоструктурним плеситом. Форма зерен камаситу, особливо великих, амебоподібна із зазубреними краями (рис. 5). У деяких випадках такі зерна переповнені досить великими включеннями силікатів, фосфатів, хроміту (рис. 6), самородної міді та кремнезему. Менші за розміром зерна металу мають форму, близьку до овальної.

Будова камаситу полікристалічна, теніту – полізональна, а плеситу – тонко- і грубоструктурна (мікрографічна). Кількість зон у теніті змінюється від двох (серцевина плеситу з оболонкою Ni -збагаченого теніту) до чотирьох (серцевина мікрографічного плеситу, зона теніту, зона плеситу типу IV, оболонка Ni -збагаченого теніту). Центральна частина багатьох зерен теніту має мікрографічну будову (рис. 7). У зернах металу наявні структури пластичної деформації – нейманові лінії в камаситі та зігнуті зерна зонального теніту, у яких мікрографічний плесит має орієнтовану структуру.

Таблиця 3

Хімічний склад хроміту й фосфатів у хондриті *Грузьке*, мас. %

Компонент	Хроміт (n = 6)	Cl-апатит (n = 2)	Мериліт (n = 3)
MgO	<u>3,37–4,15</u> 3,74	0,21	<u>3,51–3,63</u> 3,56
K ₂ O	<u>Н. в.–0,02</u> <0,01	<0,01	<u>0,05–0,09</u> 0,07
P ₂ O ₅	Н. в.	Н. в.	<u>43,5–47,2</u> 45,9
Al ₂ O ₃	<u>6,49–7,10</u> 6,73	0,09	<u>Н. в.–0,12</u> 0,05
MnO	<u>0,71–0,83</u> 0,78	0,16	<u>0,03–0,07</u> 0,05
Na ₂ O	<u>Н. в.–0,03</u> <0,01	0,17	<u>2,37–2,65</u> 2,50
CaO	<u>Н. в.–0,09</u> <0,02	52,9	<u>46,1–46,5</u> 46,3
Cr ₂ O ₃	<u>55,0–56,6</u> 2,50	<0,02	<u>Н. в.–0,92</u> 0,32
SiO ₂	<u>Н. в.–0,06</u> <0,02	0,98	<u>Н. в.–1,37</u> 0,49
FeO	<u>28,0–29,2</u> 28,7	1,87	<u>0,72–4,15</u> 1,87
TiO ₂	<u>2,20–2,46</u> 2,35	Н. в.	<u>Н. в.–0,04</u> <0,01
V ₂ O ₃	<u>0,59–0,68</u> 0,63	<0,01	<u>Н. в.–0,01</u> Н. в.
S	Н. в.	<0,02	Н. в.
Ni	<u>Н. в.–0,04</u> <0,01	0,04	<u>0,03–0,06</u> 0,04
F	Н. в.	0,76	<u>0,29–0,51</u> 0,40
Cl	Н. в.	2,83	<u>Н. в.–0,01</u> Н. в.
Сума	98,83	100,03	101,49

Примітка. Для хлор-апатиту наведено середні значення.

Хімічний склад камаситу змінюється від зерна до зерна, а теніту – у межах зерен відповідно до М-подібного профілю розподілу нікелю. Ці мінерали за хімічним складом достатньо чисті (див. табл. 2), містять значно менше елементів-домішок, ніж метал інших нерівноважних хондритів.

За формою зерен нікелістого заліза і наявністю в них багатьох включень інших мінералів метеорит *Грузьке* дуже подібний до хондрита *Галків* (Н4) [1, 5], однак відрізняється від нього структурно-мінералогічними характеристиками, пов'язаними з вищими ступенями ударного метаморфізму в поясі астероїдів і звітрюванням на Землі.

Троїліт трапляється у вигляді окремих зерен (рис. 8, 9), в асоціації з нікелістим залізом (див. рис. 7), а також утворює численні пилоподібні, сітчасті (рис. 10) та каркасні структури плавлення в матриці метеорита.

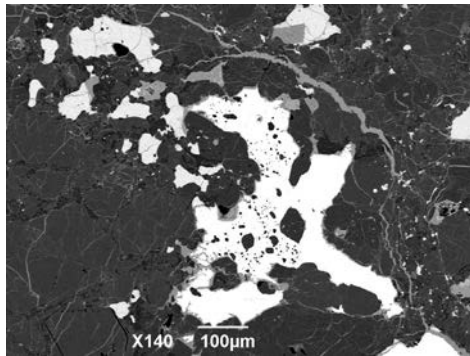


Рис. 5. СЕМ-зображення амєбоподібного зерна камаситу, яке збагачене включеннями силікатів, фосфатів і кремнезему. У верхній частині розташоване зерно троїліту (ясно-сіре), яке асоціює з ідіоморфним кристалом хроміту (ромбоподібне сіре). По периферії металевих і сульфідних зерен, а також по тріщинах у силікатах (темно-сіре) розвинуті гідроксида заліза (сіре).

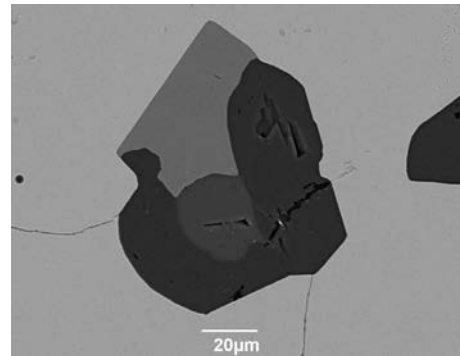


Рис. 6. СЕМ-зображення полімінерального включення в зерні полікристалічного камаситу (біле). Відповідно до енергодисперсійних досліджень хімічного складу включення представлено мас. %: піроксеном (темно-сіре) – 56,8 SiO₂; 31,4 MgO; 10,5 FeO; 0,76 CaO; 0,52 MnO, хромітом (ясно-сіре) – 57,7 Cr₂O₃; 27,9 FeO; 6,36 Al₂O₃; 4,62 MgO; 2,48 TiO₂; 0,89 V₂O₅, мерилітом (сіре в центрі включення) – 48,5 P₂O₅; 44,1 CaO; 3,61 MgO; 2,42 Na₂O; 1,29 FeO.

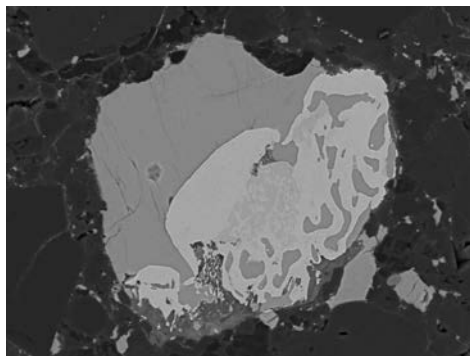


Рис. 7. СЕМ-зображення зростка зерна теніту (біле), який уміщує мікрографічний плесит, з троїлітом (сіре). Значна частина камаситових ділянок у плеситі сульфідизована внаслідок ударного нагрівання і складена троїлітом. Темно-сіре – силікати.

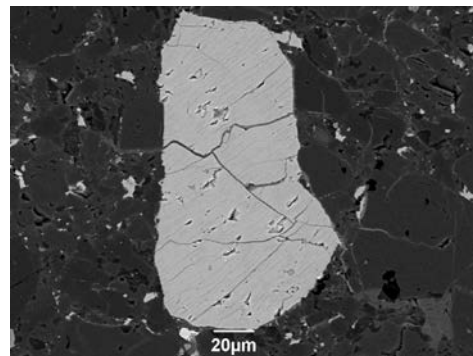


Рис. 8. СЕМ-зображення полікристалічного зерна троїліту, яке містить пластинки деформації. Темно-сіре – силікати.

В окремих випадках фіксують троїліт другої генерації, розвинутий по камаситу мікрографічного плеситу (див. рис. 7). Для багатьох великих зерен троїліту характерна полікристалічна будова зі слабкою розорієнтацією монокристалів, а також наявність у деяких зернах пластинчастих деформацій (див. рис. 8, 9). Троїліт містить включення інших мінералів і достатньо чистий за хімічним складом (з незначними варіаціями від зерна до зерна) (див. табл. 2). Наявність в окремих точках Ni зумовлена забрудненням аналізу асоційованим металом.

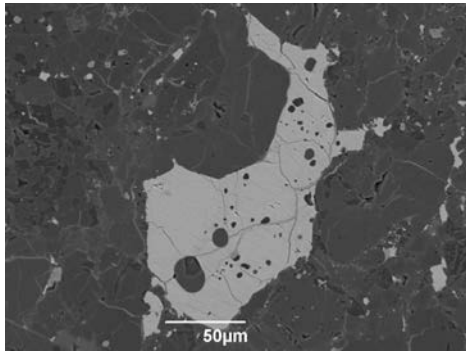


Рис. 9. СЕМ-зображення полікристалічного зерна троїліту, яке містить пластинки деформації та збагачене включеннями. По периферії монокристалів розвинуті гідроксиди заліза. Темно-сіре – силікати.

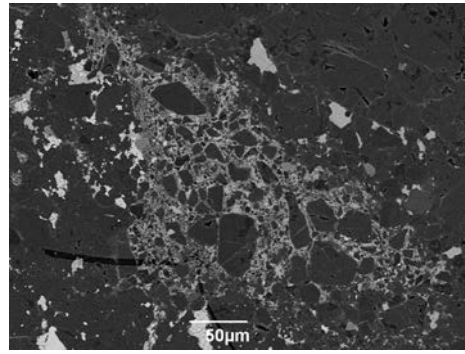


Рис. 10. СЕМ-зображення сітчастої структури плавлення троїліту в матриці хондрита *Грузьке*. Темно-сіре – силікати.

Плагіоклаз діагностований як поодинокі зерна мікронного розміру з різко вираженим хвилястим загасанням в асоціації з силікатами, як включення в камаситі та у вигляді мезостазису мікропорфірових хондр і ділянок ударного розплаву (маскелініту) матриці, який уміщує кристали хроміту (рис. 11, 12). Відповідно до енергодисперсійних досліджень, молекулярна формула включень плагіоклазу відповідає $Ab_{80,6}An_{11,7}Or_{7,78}$, а маскелініту – $Ab_{78,9}An_{13,2}Or_{6,89}$.

Хроміт зафіксований у вигляді кристалів, які асоціюють з металом і троїлітом, а також як скупчення дрібних амебоподібних (див. рис. 11) та ідіоморфних (див. рис. 12) зерен в ударних ділянках і жилках нормативного плагіоклазу. Хімічний склад хроміту неоднорідний, наявні досить високі концентрації MgO , Al_2O_3 , TiO_2 і V_2O_5 (див. табл. 3).

Поодинокі зерна ільменіту виявлені в асоціації з нікелістим залізом (рис. 13) і троїлітом матриці хондрита. Згідно з енергодисперсійними дослідженнями, хімічний склад одного із зерен такий, мас. %: 53,3 TiO_2 ; 38,4 FeO ; 4,87 MnO ; 3,13 MgO і 0,32 Cr_2O_3 .

Окремі зерна самородної міді розміром до 10 мкм асоціюють з металом і троїлітом. За даними рентгеноспектральних досліджень зерно, яке асоціює з камаситом, має такий склад, мас. %: 91,7 Cu ; 5,56 Fe ; 2,04 Ni ; 0,42 S ; 0,19 P (сума – 99,93).

Хлор-апатит, мериліт і кремнезем (98,5 мас. % SiO_2 ; 1,47 мас. % FeO) знайдені в багатьох металевих і сульфідних зернах як включення. На відміну від хлор-апатиту, мериліт не містить хлору та має нижчий вміст фтору (див. табл. 3).

Ознаки ударного метаморфізму. В хондриті наявні численні ознаки ударного метаморфізму. 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 нагрівання (мозаїчне загасання олівіну, полікристалічні камасит і троїліт, зональний теніт, мікрографічний плесит, включення в камаситі, вторинний троїліт, амебоподібна форма зерен камаситу), а також структури плавлення (пилоподібні, сітчасті та каркасні структури троїліту, ділянки плавлення в силікатах).

Наявність структур ударного метаморфізму та характер їхнього прояву однозначно засвідчують мінімум два удари в космічній історії материнського тіла метеорита, які

відіграли важливу роль у зміні його первинних структурно-мінералогічних особливостей. Перший з них зумовив основні ударно-метаморфічні зміни хондрита. З урахуванням мозаїчної будови зерен олівіну ступінь ударного тиску відповідає 30–35 ГПа за шкалою Д. Штоффлера та ін. [6]. Ударна температура супровідного нагрівання досягла температури плавлення троїліту (988 °С), що зумовило утворення багатьох ділянок з пилоподібними, сітчастими й каркасними структурами плавлення [4], а відповідно, і спікання хондр з матрицею. У цей же період утворились переплавлені локалізовані ділянки й жилки нормативного плагіоклазу (маскелініту) з хромітом. Залишкова температура нижче 500 °С сприяла полікристалізації зерен камаситу і троїліту, формуванню зональних зерен теніту і включень у камаситі й троїліті внаслідок твердофазової дифузії хімічних елементів-домішок у металі, а також появи грубоструктурного плеситу [3, 4].

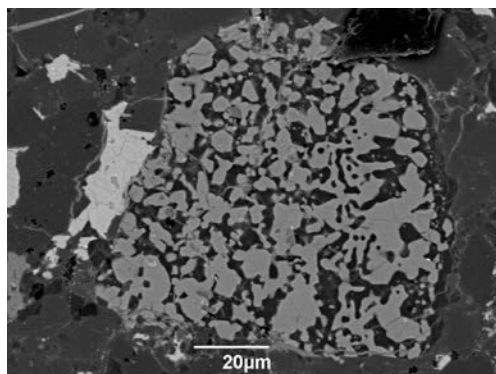


Рис. 11. СЕМ-зображення локалізованої ділянки, яка представлена нормативним плагіоклазом (чорне) і переважно амебоподібними зернами хроміту (сіре). Ясно-сіре – троїліт, темно-сіре – силікати.

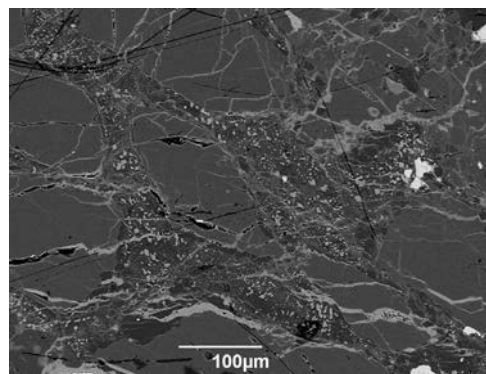


Рис. 12. СЕМ-зображення ударних жилок (темно-сіре), які вміщують ідіоморфні кристали хроміту (ясно-сіре). Силікатна матриця й ударні жилки пронизані гідроксидами заліза.

Останній удар був менш інтенсивним, ніж попередній, і не супроводжувався помітним нагріванням речовини хондрита. Внаслідок ударного тиску $\geq 80 \cdot 10^2$ МПа утворились нейманові лінії в камаситі, пластичні деформації металевих і сульфідних зерен, а також структури зсуву деформаційних пластинок і монокристалічних зерен у троїліті.

Відповідно до деформаційної шкали Д. Штоффлера та ін. [6], хондрит *Грузьке* належить до інтенсивно змінених метеоритів, ступінь ударно-метаморфічних перетворень у якому класифіковано як S4.

Ознаки земного звітрювання. Метеорит досить помітно звітрений за земних умов не лише в приповерхневих ділянках, а й усередині.

Відповідно до селективного характеру, зумовленого пріоритетністю звітрювання троїліту й камаситу щодо теніту, гідроксиди заліза кородували поверхню зерен металу і троїліту, проникли всередину цих мінералів по міжфазових та монокристалічних межах, а також пронизали міжзерновий простір і тріщини в силікатах. Звітрені зональні зерна теніту мають зональну будову розвинутих з периферії гідроксидів заліза (рис. 14).

За результатами мікрозондових досліджень хімічний склад однорідної за будовою ділянки гідроксиду заліза в камаситі відповідає гетиту, мас. %: 80,7 FeO; 9,82 NiO; 0,39 S; 0,19 P₂O₅; 0,14 SiO₂; 0,04 MgO (сума – 91,46). Згідно зі шкалою звітрювання метеоритів Ф. Влотського [8], ступінь звітрювання хондрита *Грузьке* відповідає W2.

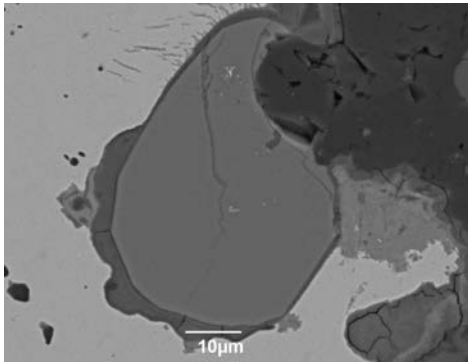


Рис. 13. СЕМ-зображення кристала ільменіту (сіре), який асоціює з камаситом (ясно-сіре). На контакті мінералів, а також в окремих ділянках камаситу розвинуті гідроксиди заліза.

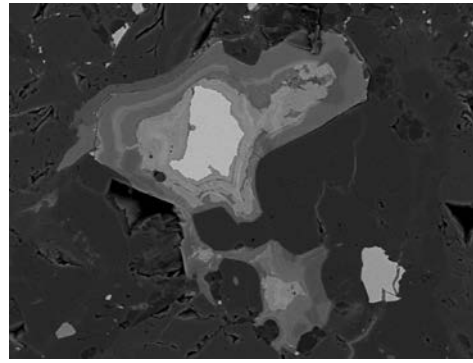


Рис. 14. СЕМ-зображення релікта зонального зерна теніту, яке представлено серцевиною металу (біле) і гідроксидами заліза зональної будови (ясно-сірі, сірі зони). Темно-сіре – силікати.

Отже, відповідно до хіміко-петрологічної класифікації хондритів [7], підвищений вміст зерен нікелістого заліза в метеориті, а також вміст Fa в олівіні і Fs у піроксені дають підстави класифікувати хімічну групу хондрита як Н. Відсоток модального відхилення фаялітового компонента в олівіні (1,44), а також інші структурно-мінералогічні характеристики (слабка розкristалізація скла, чіткі контури хондр, домінування низькокальцієвого піроксену над висококальцієвими) свідчать про належність хондрита до петрологічного типу 4. Згідно з отриманими результатами, новий український метеорит *Грузьке* класифіковано як звичайний хондрит Н4, ступінь ударно-метаморфічних перетворень якого відповідає S4, а ступінь звітрювання – W2.

Метеорит є перспективним космічним взірцем для детального дослідження включень мінералів у металевих і сульфідних зернах з метою реконструкції фізико-хімічних умов виникнення й еволюції первинного металу в протопланетній туманності, особливостей його перетворення в разі ударного метаморфізму в материнських тілах, а також під час звітрювання метеорита за земних умов.

Автори глибоко вдячні В. Соболеву і В. Сливінському за технічну допомогу в проведенні мікрозондових і електронно-мікроскопічних досліджень. Особлива вдячність Л. Сініченку, П. Німенському і Л. Соломатиній за сприяння та безкоштовне передання Комітету з метеоритів НАН України метеорита Грузьке.

1. Кичань Н.В., Ширінбекова С.Н., Сливінський В.М. Структурно-мінералогічні особливості нікелістого заліза метеорита *Галків* // Записки Укр. мінерал. т-ва. 2009. № 6. С. 70–76.
2. 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.
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 // *Meteoritic. and Planet. Sci.* 1998. Vol. 33. P. A193–A196.
6. *Stöffler D., Keil K., Scott E.R.D.* Shock metamorphism of ordinary chondrites // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1991. Vol. 55. P. 3845–3867.
7. *Van Schmus W.R., Wood J.A.* A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1967. Vol. 31. P. 745–765.
8. *Wlotska F.A.* A weathering scale for the ordinary chondrites (abstract) // *Meteoritics.* 1993. Vol. 28. P. 460.

STRUCTURE-MINERALOGICAL FEATURES OF THE GRUZ'KE STONE METEORITE

V. Semenenko, A. Girich, N. Kychan', S. Shyrinbekova

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

Mineralogical characteristics of the stone meteorite *Gruz'ke*, the last found on the territory of Ukraine, are given. Optical, electron-microscopic and electron microprobe analysis allow us to classify the meteorite as the usual chondrite H4 type, a shock metamorphism stage S4 and a weathering grade W2.

Key words: meteorite, structure, minerals, shock metamorphism, classification, Ukraine.

СТРУКТУРНО-МІНЕРАЛОГІЧЕСЬКІ ОСОБЕННОСТИ КАМЕННОГО МЕТЕОРИТА ГРУЗЬКЕ

В. Семененко, А. Гирич, Н. Кичань, С. Ширинбекова

*Институт геохимии окружающей среды НАН и МЧС Украины
03680 г. Киев, просп. акад. Палладина, 34а
E-mail: cosmin@i.ua*

Приведены структурно-минералогические характеристики каменного метеорита *Грузьке*, принадлежащего к последней находке на территории Украины. Согласно результатам оптических, электронно-микроскопических и рентгеноспектральных исследований, метеорит классифицирован как обыкновенный хондрит H4, степень ударно-метаморфического преобразования соответствует S4, а земного выветривания – W2.

Ключевые слова: метеорит, структура, минералы, ударный метаморфизм, классификация, Украина.

Стаття надійшла до редколегії 31.08.2010
Прийнята до друку 21.10.2010