

## ОСОБЛИВОСТІ МІНЕРАЛОГІЇ МІКРОХОНДР У МЕТЕОРИТІ КРИМКА (LL3.1)

---

*Наведено структурно-мінералогічні та хімічні характеристики мікрохондр у тонкозернистих оболонках хондр метеорита Кримка. Вперше знайдені унікальні структури налипання мікрохондр на поверхню хондр, а також піроксенова мікрохондра з включеннями нанокристалів Mg, Al-шпінелі, що вказує на її належність до висотемпературних конденсатів.*

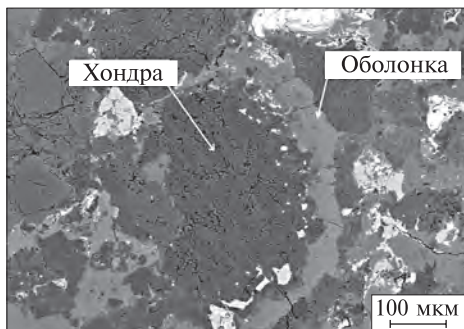
*За валовим хімічним складом тонкозернисті оболонки відповідають примітивній непрозорій матриці хондрита Кримка, що свідчить про формування мікрохондр на ранніх етапах мінералоутворення в газопиловій туманності. Допускається, що наявність мікрохондр є додатковим критерієм примітивності тонкозернистої речовини хондритів.*

*Ключові слова:* метеорит, хондрит, оболонки хондр, тонкозерниста речовина, мікрохондри, мінерали, хімічний склад.

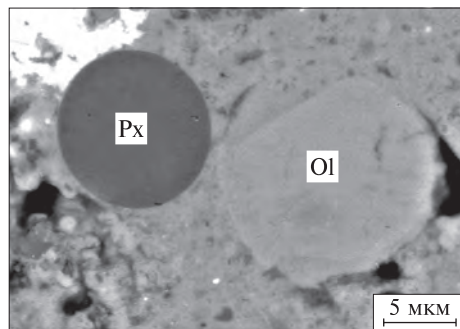
---

Вивчення первинної тонкозернистої речовини, яка збереглась у примітивних хондритах як реліктовий агломерат пилових зерен, є одним із актуальних завдань мінералогії та космохімії [2, 3, 5, 6]. Саме ця речовина утворилася внаслідок акреції нанометричного силікатного і метал-сульфідного пилу протопланетної туманності і була проречовиною для формування планет.

Сучасні дослідження (див. огляд [3]) дають змогу виділити такі ознаки примітивності тонкозернистої речовини, яка визначена А.Дж. Брерлі [6] як агломерат переважно силікатних зерен розміром  $\leq 5$  мкм: темний до чорного колір, мікро- та нанометричні розміри зерен, поліглобулярна будова субмікронних зерен, домінування силікатних зерен, а саме олівіну і піроксенів, над метал-сульфідними, структурна складність тонких полімінеральних асоціацій, неоднорідність хімічного складу мінералів, наявність органічних сполук і графіту, а також акцесорних зерен високотемпературних мінералів, частина з яких має досонячне походження. За розміром зерен вона складається з трьох головних компонентів: із найбільш поширених (1) нанометричних ( $\ll 1$  мкм) і (2) тонкозернистих ( $< 5$  мкм), а також з другорядних (3) грубих ( $> 5$  мкм) силікатних і метал-сульфідних зерен. У тонкозернистій речовині хондритів можуть бути мікрохондри [7, 9—14], тобто силікатні кульки, розмір яких, згідно із попередніми дослідженнями, відповідає  $\leq 40$  мкм [11]. Вони були діагностовані в матриці, у ксенолітах, а також в оболонках хондр і ксенолітів. На відміну від інших компонентів тонкозернистої речовини, дані щодо мікрохондр



**Рис. 1.** Уламок хондри з горбистою поверхнею і силікатною тонкозернистою оболонкою  
**Fig. 1.** A chondrule fragment with irregular surface surrounded by a fine-grained rim



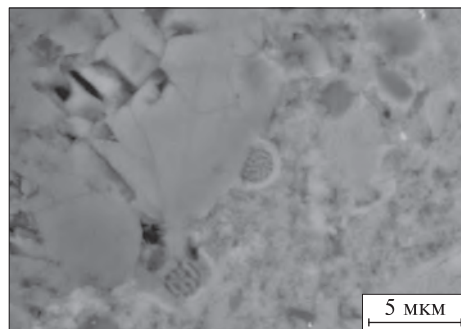
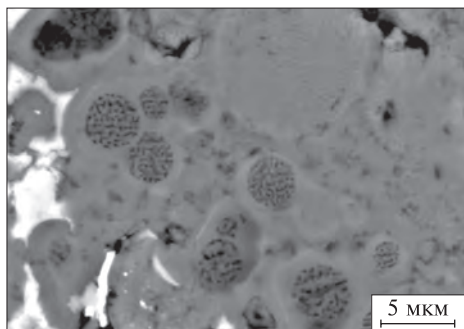
**Рис. 2.** Піроксенова та уламок олівінової мікрохондри в тонкозернистій оболонці хондри  
**Fig. 2.** A pyroxene microchondrule and a fragment of olivine microchondrule within a fine-grained chondrule rim

достатньо обмежені. Попередні дослідження вказують на те, що структура їх однорідна, інколи зерниста, ексцентрично-промениста, мікропорфірова, смугаста або колосникова. Мінеральний склад переважно піроксеновий, меншою мірою олівіновий або піроксен-олівіновий.

Перші дослідження дали змогу дійти висновку щодо належності мікрохондр до другорядного, але повсюдного компонента протопланетної туманності [12]. Водночас дослідження тонкозернистої речовини в різних текстурних складових метеорита Кримка [13, 14] засвідчує наявність мікрохондр лише в окремих випадках, що ставить під сумнів їх повсюдність у пиловій компоненті туманності. Із семи вивчених тонкозернистих ксенолітів мікрохондри були знайдені лише в одному вуглистом ксеноліті ВК13 із текстурними ознаками первісної акреції [13], а також в оболонці вуглистого графітвмісного ксеноліта К1 [14]. Мікрохондри не були виявлені у ксеноліті ВК14 [13], магнетитвмісних ксенолітах ВК2 і ВК4 [1], у збагаченому металом ксеноліті ВК16 [4], а також у великій безхондровій ділянці матриці ВК15 [13].

Для з'ясування природи мікрохондр і характеру розподілу в тонкозернистій речовині метеоритів здійснено системний їх пошук і структурно-мінералогічне вивчення в оболонках хондр метеорита Кримка, перші результати якого наведено нижче. При цьому слід зазначити, що до оболонок віднесено всі тонкозернисті прихондрові ділянки матриці, які цілісно огортають хондри незалежно від ступеня їх компактності. Вони відрізняються за кольором і ступенем окиснення від таких самих оболонок сусідніх хондр і свідчать про наявність налипшого пилу на поверхні хондр у період агломерації материнського тіла метеорита.

*Об'єкт і методи досліджень.* У полірованому шліфі хондрита Кримка площею 260 мм<sup>2</sup> за допомогою оптичного мікроскопа марки ПОЛАМ Р-312 попередньо ідентифіковані хондри з тонкозернистими силікатними оболонками. За допомогою сканувального електронного мікроскопа (СЕМ) марки JEOL JSM-6490LV, обладнаного енергодисперсійним спектрометром Penta FETx3 Oxford Instruments, в оболонках 22 хондр діагностовані мікрохондри та вивчені їх структурно-мінералогічні та хімічні характеристики. Дослідження проведено у відбитих і вторинних електронах за напруги 30 кВ, сили струму 80 мкА та діаметра зонда 3 мкм. За допомогою енергодисперсійних досліджень вивчено



**Рис. 3.** Скупчення піроксенових мікрохондр смугастої будови, більшість з яких злиплися. По периферії мікрохондр розвинуті олівінові (?) оболонки

**Fig. 3.** Aggregates of pyroxene-rich microchondrules with striped structure most of which are stuck together. The microchondrules are rimmed by olivine (?) shells

**Рис. 4.** Піроксенові мікрохондри ( $Fs_{46.8}En_{52.7}Wo_{0.47}$ ), які у вигляді високотемпературних крапель налипли на горбисту поверхню хондр. Мікрохондри мають олівінову (?) оболонку

**Fig. 4.** Pyroxene microchondrules ( $Fs_{46.8}En_{52.7}Wo_{0.47}$ ) stuck onto a coarse chondrule surface as high-temperature droplets. The microchondrules are surrounded by olivine (?) shells

хімічний склад мінералів мікрохондр в окремих точках, а валовий хімічний склад тонкозернистої речовини оболонок — на окремих ділянках розміром  $7,5 \times 7,5$  мкм. Еталоном для хімічних аналізів був кобальт. У цій статті всі фотографії представлені електронно-мікроскопічним зображенням у відбитих електронах.

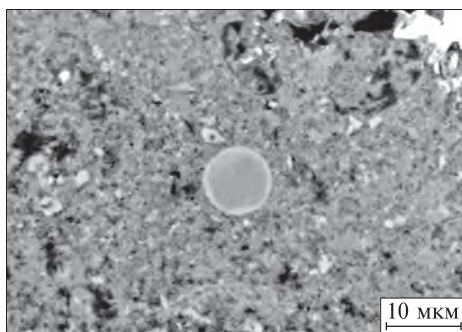
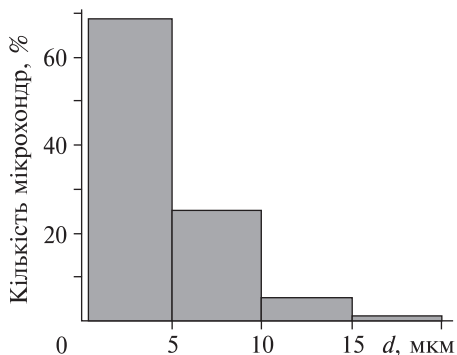
*Характер розподілу.* У вивчених нами оболонках хондр кількість мікрохондр коливається від 2 до 60 і в середньому відповідає 17 одиницям на одну оболонку. Серед досліджених хондр лише 4 характеризуються чітко вираженою горбистою поверхнею (рис. 1), а інші — злегка горбистою або гладенькою. Цікаво зазначити, що саме оболонки хондр із горбистою поверхнею мають підвищений вміст мікрохондр на відміну від оболонок хондр із гладенькою поверхнею. В переважній більшості випадків мікрохондри чітко індивідуалізовані (рис. 2) і лише в окремих ділянках вони наявні як агрегатні об'єкти із кількох мікрохондр, що злиплися (рис. 3).

На горбистій поверхні однієї із хондр знайдені рідкісні структури безпосереднього налипання мікрохондр, характер яких вказує на різну температуру крапель силікатного розплаву: високотемпературні краплі мають напівсферичну форму (рис. 4), а низькотемпературні — сферичну.

*Розміри і форма.* Оскільки мікрохондри вивчали у полірованих шліфах, то оцінка їх істинних розмірів деякою мірою є суб'єктивною. Згідно з отриманими даними для 372 мікрохондр (рис. 5), розміри 69 % повністю співвідносяться з визначенням розмірності тонкозернистої речовини і відповідають  $\leq 5$  мкм, 25 % — 5—10 мкм, 5 % — 10—15 мкм і 1 % — 15—20 мкм.

Домінуюча кількість мікрохондр має ідеальну кулясту форму (рис. 6), інколи злегка деформовану. Іноді спостерігаються лише їх фрагменти (див. рис. 2), що свідчить про активні процеси перемішування пилової компоненти в період акреції мінерального пилу.

*Будова і мінеральний склад.* Переважна більшість мікрохондр безструктурна і має однорідну будову (див. рис. 2), меншою мірою — смугасту (див. рис. 3), зернисту, складну, а в окремих випадках — ексцентрично-променисту або колосникову будову (рис. 7). На відміну від інших, майже всі безструктурні

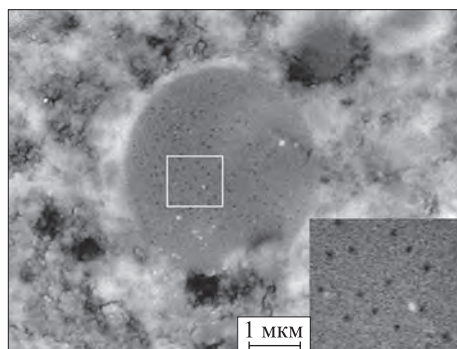
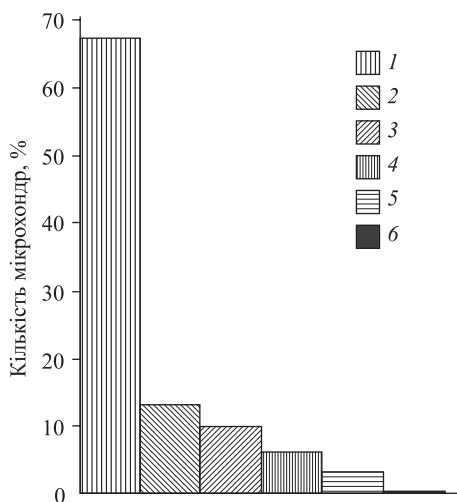


**Рис. 5.** Гістограма розподілу мікрохондр за розміром ( $d$ ) у тонкозернистих оболонках хондр метеорита Кримка (загальна кількість мікрохондр — 372)

**Fig. 5.** Histogram of distribution of microchondrular sizes within fine-grained chondrular rims of the Krymka meteorite (total number of microchondrulars is 372)

**Рис. 6.** Тонкозерниста силікатна речовина оболонки з класичною олівиновою мікрохондрою, периферія якої збагачена залізом

**Fig. 6.** Classical olivine microchondrular with Fe-enriched periphery within a fine-grained silicate rim



**Рис. 7.** Гістограма розподілу мікрохондр за будовою у тонкозернистих оболонках хондр метеорита Кримка (загальна кількість мікрохондр — 372). Будова мікрохондр: 1 — однорідна; 2 — смугаста; 3 — зерниста; 4 — складна; 5 — ексцентрично-промениста; 6 — колосникова

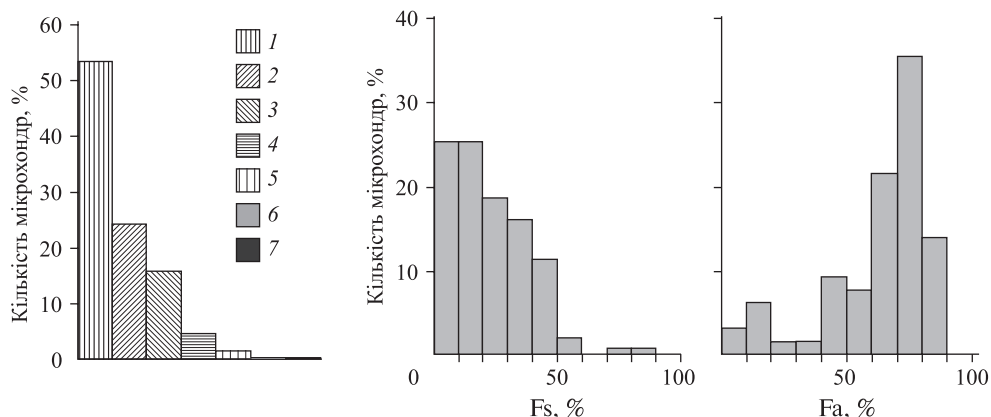
**Fig. 7.** Histogram of distribution of microchondrular textures within fine-grained chondrular rims of the Krymka meteorite (total number of microchondrulars is 372). Microchondrular structure: 1 — homogeneous; 2 — striped; 3 — granular; 4 — complicated; 5 — eccentric-ray; 6 — net-like

**Рис. 8.** Піроксенова мікрохондра з включеннями нанокристалів Mg,Al-шпінелі (чорні кубічні включення). Зліва внизу окреслено ділянку в збільшеному масштабі

**Fig. 8.** Inclusions of a Mg,Al-spinel in a pyroxene microchondrular (quadrangular black points). The enlarged part is presented in the right corner

мікрохондри характеризуються мономінеральним складом. Лише іноді вони містять тверді включення нанометричного розміру (рис. 8).

Мінеральний склад мікрохондр досить обмежений (рис. 9). Майже 53 % з них складені піроксеном, 24 % — олівіном і 16 % — піроксеном з олівіном,



**Рис. 9.** Гістограма розподілу мікрохондр за мінеральним складом у тонкозернистих оболонках хондр метеорита Кримка (загальна кількість мікрохондр — 372). *Мінеральний склад мікрохондр:* 1 — Px; 2 — Ol; 3 — Px + Ol; 4 — Px + Pl; 5 — силікатні, збагачені сульфідами; 6 — Ca-багатий Px + Pl; 7 — Ol + Ca-фосфат

**Fig. 9.** Histogram of distribution of microchondrular minerals within fine-grained chondrular rims of the Krymka meteorite (total number of microchondrulars is 372). *Mineral composition microchondrulars:* 1 — Px; 2 — Ol; 3 — Px + Ol; 4 — Px + Pl; 5 — silicates, enriched with sulphides; 6 — Ca-rich Px + Pl; 7 — Ol + Ca-phosphate

**Рис. 10.** Гістограма вмісту Fs в піроксені і Fa в олівіні мікрохондр із тонкозернистих оболонок хондр метеорита Кримка

**Fig. 10.** The Fs-contents of pyroxene and Fa-contents of olivine within fine-grained chondrular rims of the Krymka meteorite

а решта мають полімінеральний склад і представлені піроксеном і плагіоклазом, силікатною речовиною із сульфідом заліза, висококальцієвим піроксеном і олівіном, а також олівіном і Ca-фосфатом. В окремих тонкозернистих оболонках олівінові мікрохондри переважають над піроксеновими. Олівінові мікрохондри мають зональну будову і характеризуються наявністю тонкої збагаченої залізом оболонки з плавним переходом до Mg-збагаченого ядра (див. рис. 6). У поодиноких випадках спостерігається наростання олівінової оболонки на поверхню піроксенової мікрохондри (див. рис. 3). Контакт між ними чіткий.

Надзвичайно цікаво є знахідка піроксенової мікрохондри, в якій наявні рівномірно розподілені нановключення кубічних кристалів Mg,Al-шпінелі (див. рис. 8), що свідчить про високотемпературні умови утворення Mg,Al-вмісної силікатної мікрохондри з подальшою кристалізацією шпінелі найімовірніше внаслідок повторного нагріву, зумовленого ударнометаморфічним перетворенням материнського тіла метеорита.

*Хімічний склад мінералів мікрохондр.* Відповідно до енергодисперсійних досліджень хімічний склад піроксенів і олівіну неоднорідний (рис. 10). Більшість із 150 проаналізованих піроксенових мікрохондр ( $Fs_{0-50}$ ) складені енстатитом, меншою мірою — бронзитом або гіперстенном. Лише дві мікрохондри містять до 70—90 % Fs. Хімічний склад висококальцієвого піроксену, що асоціює з олівіном в мікрохондрі, відповідає  $Fs_{16,7}En_{66,4}Wo_{16,9}$ .

Переважає більшість олівінових мікрохондр збагачені залізом і містять 60—90 % фаялітового компонента з домінуванням  $Fa_{70-80}$ . Лише шість із 65 олівінових мікрохондр мають магнезійний склад  $Fa_{0-20}$ . У межах тонкозернистої оболонки однієї з хондр спостерігаються дві групи олівінових мікрохондр з різним хімічним складом ( $Fa_8$  і  $Fa_{78-84}$ ), що вказує на їх гетерогенність.

**Валовий хімічний склад тонкозернистих оболонок хондр метеорита Кримка, за даними енергодисперсійних досліджень, %**

**EDS data on a bulk composition (%) of fine-grained chondrule rims of the Krymka meteorite**

Компонент	Межі	Середнє *	Компонент	Межі	Середнє *
Na <sub>2</sub> O	0,00—2,30	0,64	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00—0,43	0,04
MgO	4,46—28,4	11,2	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00—4,02	0,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00—6,55	2,55	MnO	0,00—1,03	0,44
SiO <sub>2</sub>	25,0—44,4	35,1	FeO	28,4—58,6	46,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00—3,71	0,38	CoO	0,00—1,32	0,29
SO <sub>3</sub>	0,00—5,79	0,99	NiO	0,00—3,57	1,12
K <sub>2</sub> O	0,00—0,72	0,16	CuO	0,00—1,28	0,16
CaO	0,00—5,68	1,03	SiO <sub>2</sub> /MgO	2,48—4,05	3,23
TiO <sub>2</sub>	0,00—0,67	0,07	$\frac{\text{FeO}}{\text{FeO} + \text{MgO}}$	0,75—0,86	0,80

\* Кількість аналізів — 22.

*Валовий хімічний склад тонкозернистих оболонок, в яких діагностовані мікрохондри, переважно подібний один до одного, хоча і характеризується помірними варіаціями (див. таблицю). Він збагачений FeO, а вміст SiO<sub>2</sub> відповідає нормативному олівіну (Fa<sub>62,7–77,3</sub>). Вміст MgO коливається від 4,46 до 28,4 %. В оболонках наявні помітні концентрації Ni, Co, S, а також тугоплавких елементів Al, Ca і в деяких випадках Ti. Відношення SiO<sub>2</sub>/MgO становить 2,48—4,05, FeO/(FeO + MgO) — 0,75—0,86, що свідчить про належність тонкозернистої речовини вивчених оболонок до непрозорої примітивної матриці. При цьому в багатьох випадках вона характеризується вищим ступенем примітивізму, ніж стандартна темна матриця хондрита Кримка (SiO<sub>2</sub>/MgO — 2,9; FeO/(FeO + MgO) — 0,79 [8]).*

Отже проведення дослідження дають змогу виділити такі структурно-мінералогічні й хімічні особливості мікрохондр та оболонок, що вміщують їх:

- мікрохондри знайдені в тонкозернистих оболонках багатьох хондр. Оболонки хондр із горбистою поверхнею збагачені мікрохондрами, а з гладенькою — містять їх у незначній кількості;
- домінуючий розмір мікрохондр ( $\leq 5$  мкм) повністю відповідає класифікації тонкозернистої речовини за розміром;
- переважна більшість мікрохондр безструктурні й представлені піроксеном, меншою мірою — олівіном; в оболонках поодиноких хондр олівінові мікрохондри переважають над піроксеновими;
- хімічний склад піроксенів і олівіну неоднорідний; для піроксену характерно домінування енстатиту, для олівіну — фаяліту, що відповідає попереднім дослідженням мікрохондр у хондритах [10—14]; наявність в окремих оболонках олівінових мікрохондр з різко відмінним хімічним складом засвідчує їх гетерогенність;
- валовий хімічний склад оболонок характеризується незначними варіаціями від хондри до хондри і за ступенем примітивності не лише відповідає, а й перевищує непрозору матрицю хондрита Кримка.

*Природа мікрохондр.* О. Крот зі співавторами [9, 10] вважають, що переважна більшість піроксенових мікрохондр утворилась із крапель туману внаслідок

док переплавлення і випаровування поверхні хондр з подальшою конденсацією і агломерацією пилових зерен. Доказом цього є горбиста поверхня хондр з ознаками переплавлення і текучості, а також відповідність хімічного складу мінералів поверхні хондр і мікрохондр у тонкозернистих оболонках. Утворення крапель туману навкруги хондр автори пов'язують з одиничним процесом нагрівання, за яким відбувся миттєвий захват сконденсованих мікрохондр пиловою компонентою, що оточувала хондри. Постійний і хаотичний рух крапель у пиловому середовищі підтверджується наявністю складних за будовою, але однакових за хімічним складом мікрохондр. На відміну від піроксенових, олівінові мікрохондри утворилися внаслідок миттєвого переплавлення високоокисненого силікатного пилу, що оточував хондри. Домінування піроксенових мікрохондр над олівіновими пояснюється пріоритетністю нагрівання більших і темніших об'єктів, тобто хондр, оскільки вони абсорбують світло ефективніше, ніж дрібні й світлі пилові зерна.

**Висновки.** За результатами проведених нами досліджень мікрохондр у хондриті Кримка можна зробити такі попередні висновки.

1. Визначення мікрохондр [11] як округлих об'єктів розміром  $\leq 40$  мкм не є коректним. Воно має ґрунтуватися на їх домінантному розмірі  $\leq 10$  мкм з окремим виключенням до 20 мкм.

2. Відсутність мікрохондр розміром  $> 20$  мкм, а також мікрохондр з мікропорфіровою будовою у вивчених оболонках може свідчити про помилкову діагностику зрізів верхівок типових хондр як мікрохондр у попередніх дослідженнях [11].

3. Значне збагачення тонкозернистих оболонок горбистих хондр мікрохондрами, а також знахідка структур безпосереднього налипання мікрохондр на поверхню горбистої хондри є однозначним підтвердженням висновку О. Крота [9, 10] про формування піроксенових мікрохондр унаслідок переплавлення і випаровування поверхні хондр. Водночас ми допускаємо, що в оболонках хондр з гладенькою поверхнею, а також у вивчених раніше ксенолітах і їх оболонках [13, 14] мікрохондри могли утворитися в результаті високоенергетичних процесів переплавлення і переконденсації як тонкозернистого пилу туманності, так і поверхні інших хондр або великих силікатних зерен. Саме такий процес міг зумовити конденсацію високотемпературних крапель з тугоплавкими компонентами, розкristалізація яких привела до формування піроксенової мікрохондри зі шпінеллю. При цьому ми допускаємо значне переміщення мікрохондр з потоком пилової компоненти туманності від області утворення до області акреції тонкозернистої речовини, хондр, ксенолітів та окремих великих зерен. Процес переміщення супроводжувався налипанням субмікронного силікатного пилу і мікрохондр на поверхню більших об'єктів.

4. Відсутність мікрохондр у переважній більшості тонкозернистих ксенолітів [1, 4, 13, 14] на відміну від оболонок хондр може вказувати на різний компонентний склад пилового середовища, зумовленого хронологічним або просторовим фактором, в якому вони формувались.

5. Мікрохондри не були повсюдним, хоч і другорядним компонентом протопланетної туманності, як припускає А. Рубін [12]. Вони відсутні у світлій матриці, в більшості ксенолітів і наявні переважно у темній тонкозернистій речовині, зокрема у ксеноліті ВК13 з акреційними протохондрами [13], що є ознакою їх формування на ранніх етапах мінералоутворення в газопиловій туманності. Ми вважаємо, що наявність мікрохондр може бути додатковим критерієм примітивності тонкозернистої речовини, а процес їх утворення — одним із ранніх фізико-хімічних процесів у газопиловій туманності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гіріч А.Л., Семененко В.П. Мінералогія магнетитвмісних ксенолітів у кам'яному метеориті Крымка (LL3.1) // Доп. НАН України. — 2004. — Т. 9. — С. 105—113.
2. Семененко В.П. Чи збереглися у метеоритах структурно-мінералогічні прикмети первісної акреції в протопланетній туманності? // Зап. Укр. мінерал. тов-ва. — 2007. — Т. 4. — С. 67—73.
3. Семененко В.П. Мінералогія пилової компоненти протопланетної туманності // Там само. — 2011. — Т. 8. — С. 175—178.
4. Семененко В.П., Гіріч А.Л. Примітивна високозалізна речовина в хондриті Крымка (LL3.1) // Там само. — 2007. — Т. 3. — С. 41—44.
5. Brearley A.J. Matrix and fine-grained rims in the unequilibrated CO<sub>3</sub> chondrite ALHA77307: Origins and evidence for diverse, primitive nebular dust components // *Geochim. Cosmochim. Acta*. — 1993. — V. 57. — P. 1521—1550.
6. Brearley A.J. Nature of matrix in unequilibrated chondrites and its possible relationship to chondrules // *Chondrules and Protoplanetary Disk*. — New York: Cambridge Univ. Press, 1996. — P. 137—151.
7. Christophe Michel-Levy M. A new component of the Mezö-Madaras breccia: A microchondrule- and carbon-bearing L-related chondrite // *Meteoritics*. — 1988. — V. 23. — P. 45—48.
8. Huss G.R., Keil K., Taylor G.J. The matrices of unequilibrated ordinary chondrites: Implication for the origin and history of chondrites // *Geochim. Cosmochim. Acta*. — 1981. — V. 45. — P. 33—51.
9. Krot A.N., Rubin A.E. Microchondrule-bearing chondrule rims: Constraints on chondrule formation // *Chondrules and Protoplanetary Disk*. — New York: Cambridge Univ. Press, 1996. — P. 181—184.
10. Krot A.N., Rubin A.E., Keil K., Wasson J.T. Microchondrules in ordinary chondrites: Implication for chondrule formation // *Geochim. Cosmochim. Acta*. — 1997. — V. 61. — P. 463—473.
11. Rubin A.E., Scott E.R.D., Keil K. Microchondrule-bearing clast in the Piancaldoli LL3 meteorite: A new kind of type 3 chondrite and its relevance to the history of chondrules // *Ibid.* — 1982. — V. 46. — P. 1763—1776.
12. Rubin A.E. An olivine-microchondrule-bearing clast in the Krymka meteorite // *Meteoritics*. — 1989. — V. 24. — P. 191—192.
13. Semenenko V.P., Bischoff A., Weber I. et al. Mineralogy of fine-grained material in the Krymka (LL3.1) chondrite // *Meteoritics and Planetary Science*. — 2001. — V. 36. — P. 1067—1085.
14. Semenenko V.P., Jessberger E.K., Chaussidon M. et al. Carbonaceous xenoliths in the Krymka LL3.1 chondrite: Mysteries and established facts // *Geochim. Cosmochim. Acta*. — 2005. — V. 69. — P. 2165—2168.

Надійшла 19.03.2012

В.П. Семененко, К.А. Шкуренко

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИИ МИКРОХОНДР  
В МЕТЕОРИТЕ КРЫМКА (LL3.1)

Представлены структурно-минералогические и химические характеристики микрохондр в тонкозернистых оболочках хондр метеорита Крымка. Впервые найдены уникальные структуры налипания микрохондр на поверхность хондр, а также пироксеновая микрохондра с включениями нанокристаллов Mg,Al-шпинели, что указывает на её принадлежность к высокотемпературным конденсатам. По валовому химическому составу тонкозернистые оболочки соответствуют примитивной непрозрачной матрице хондрита Крымка, что свидетельствует о формировании микрохондр на ранних этапах минералообразования в газопылевой туманности. Допускается, что наличие микрохондр является дополнительным критерием примитивности тонкозернистого вещества хондритов.

*Ключевые слова:* метеорит, хондрит, оболочки хондр, тонкозернистое вещество, микрохондры, минералы, химический состав.



V.P. Semenenko, K.O. Shkurenko

MINERALOGICAL FEATURES OF MICROCHONDRULES  
IN THE KRYMKA (LL3.1) METEORITE

Mineralogical and chemical characteristics of microchondrules in fine-grained chondrule rims of the Krymka meteorite are given. According to the study of 372 microchondrules found within 22 chondrule rims, nearly 70 % of them are less than 5  $\mu\text{m}$  in size. No microchondrules more than 20  $\mu\text{m}$  in size were detected. Amount of the microchondrules within different chondrule rims varies from 2 to 60. Their highest amount is present in a fine-grained material which surrounds the chondrules with the irregular surface. One of the rims contains unique structures of microchondrules sticking onto a chondrule surface. The data are direct evidence of A. Krot's et al. supposition about their formation as a result of remelting and recondensation of a chondrule surface.

The micrichondrules are predominantly composed of major pyroxene and minor olivine. Ca-pyroxene, plagioclase, Ca-phosphate, iron sulfide and Mg,Al-spinel are found as rare minerals. Uniformly distributed regular nanometric inclusions of the Mg,Al-spinel are distinguished within a pyroxene microchondrule indicating probably to its high-temperature origin. The most of pyroxene microchondrules are predominantly low-FeO and contain  $\text{Fs}_{0-50}$  and few of them are high-FeO corresponding to  $\text{Fs}_{70-90}$ . The olivine composition is consistent with  $\text{Fa}_{60-90}$  and in rare cases with  $\text{Fa}_{0-20}$ .

Bulk composition of a fine-grained material of the chondrule rims is moderately variable and is characterized by the following relations:  $\text{SiO}_2/\text{MgO} = 2.48-4.05$  and  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO}) = 0.75-0.86$ . According to the date the fine-grained material of the rims corresponds to those of a primitive opaque matrix of the Krymka chondrite.

Taking into account the distribution of microchondrules within a fine-grained material of different textural units of the Krymka chondrite their formation on the early stage of a protoplanetary nebular is speculated. The presence of microchondrules within a fine-grained material may be used as a criterion of its primitiveness.

*Keywords:* meteorite, chondrite, chondrule rims, fine-grained material, microchondrule, minerals, chemical composition.