

**В.П. Семененко, А.Л. Гіріч, Н.В. Кичань**

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34  
E-mail: cosmin@i.ua

## **СТРУКТУРНО-МІНЕРАЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАМ'ЯНОГО МЕТЕОРИТА ГАЛКІВ (H4)**

---

Наведено дані про історію падіння та головні структурно-мінералогічні особливості метеорита Галків (H4, S3, W0). Хондрит характеризується вищим ступенем неоднорідності хімічного складу піроксену, ніж олівину, наявністю акцесорної кількості зерен шпінелі з різним ступенем метаморфогенних змін, високо- та низько-Са плагіоклазу, окремих різко ксеноморфних зерен камаситу з великою кількістю крупних включень мінералів і численних ознак ударного метаморфізму. Результати досліджень свідчать про збереженість у метеориті реліктів високотемпературних мінералів, а також про хімічну гетерогенність мінералів у період агломерації материнського тіла хондрита.

*Ключові слова:* метеорит, хондрит, мінерали, нікелісте залізо, структура, скульптура поверхні, ударний метаморфізм.

**Вступ.** Кам'яний метеорит Галків (рис. 1) належить до генетично важливої групи метеоритів — нерівноважних хондритів, у яких збереглися структурно-мінералогічні і хімічні ознаки ранніх фізико-хімічних процесів у протопланетній туманності. Він класифікований [8] як хондрит H4 з ударною стадією S3 і дуже низьким ступенем земного вивітрювання W0.

Метеорит упав 12 січня 1995 р. об 11:30 за центральноєвропейським часом біля с. Галків Ріпкінського р-ну Чернігівської обл. (51°41' N, 30°47' E). Падіння метеорита, за словами очевидців, супроводжувалось сильними звуковими ефектами, що нагадували політ реактивного літака. Після приземлення на околиці села поруч з возом місцевого жителя В.М. Леоненка, метеорит злегка підскочив на лузі і покрутився. Від несподіванки візник попрямував до села, де на машинно-тракторній станції розповів селянам про незвичайну подію, що вказувала на ймовірність падіння метеорита. Того ж дня місце падіння відвідав мешканець села В.М. Сердюк, який знайшов на лузі чорний камінь вагою близько 5 кг і передав його до Галківської середньої школи, а згодом — директору Ріпкінського музею краєзнавства О.І. Жилі.

У лютому 1996 р. професор Чернігівського педагогічного інституту І.К. Коваль привіз частину метеорита вагою близько 30 г до Комітету по метеоритах НАН України для діагностики. Після підтвердження космічної природи зразка, співробітники відділу космоекології та космічної мінералогії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) ім. М.П. Семененка НАН України виїхали до с. Ріпки для збору інформації щодо обставини падіння метеорита та оформлення офіційної передачі зразка на зберігання до колекції метеоритів Національного науково-природничого музею НАН України [2]. Спроба

співробітників відділу знайти додаткові зразки метеорита навколо с. Галків у наступну поїздку (рис. 2) була безуспішною, що дало змогу припустити падіння лише одного індивідуального зразка хондрита. На завершення історії цікаво відмітити, що через рік після падіння метеорита В.М. Леоненко стверджував, що саме ця подія ініціювала його хвороби і всі тяготи, пов'язані з ними.

**Методи дослідження.** Від головної частини метеорита було відрізано зразок масою 200 г, з якого виготовили 13 полірованих шліфів загальною площею 18,32 см<sup>2</sup> і два прозорі шліфи загальною площею 2,93 см<sup>2</sup> для петрографічних досліджень у відбитому і прохідному світлі під оптичним мікроскопом марки ПОЛАМ-Р321. Для з'ясування фазового складу та будови зерен нікелістого заліза один із полірованих шліфів був протравлений 5 %-вим ніталом (розчин азотної кислоти в спирті) упродовж 15 с за кімнатної температури. З дрібної фракції метеорита Галків за допомогою бінокюля було відібрано кілька хондр та їхніх уламків, а також 50 зерен нікелістого заліза для сканувального електронно-мікроскопічного (СЕМ) дослідження скульптури поверхні. Серед відібраних зерен Fe,Ni-металу переважали зерна неправильної (амебоподібної) форми з матовою поверхнею. Складність очищення таких зерен від силікатів зумовила значні обмеження у вивченні їхньої скульптури. СЕМ дослідження хондр та їх уламків виконано за допомогою електронного мікроскопа марки PEM-100y, а зерна Fe,Ni-металу — електронного мікроскопа марки *JEOL JSM 6490LV*.

Хімічний склад мінералів визначено в полірованих шліфах на мікроаналізаторі марки *JCSA-733* фірми *Jeol* в Технічному центрі НАН України (аналітик В.Б. Соболев) за сили струму 10 нА, прискорювальної напруги 15 кВ для силікатів і 25 кВ для металічних фаз, діаметрі зонда 2 мкм, із використанням *ZAF* поправок. Похибка аналізів становила 1,5 відн. % для головних елементів і 0,03 абс. % для другорядних. Частково хімічний склад мінералів визначено за допомогою енергодисперсійного спектрометра марки *Penta FETx3 Oxford Instruments*, яким обладнано електронний мікроскоп марки *JEOL JSM 6490LV*.

**Макроскопічні дослідження.** Індивідуальний зразок метеорита (рис. 1) має конусоподібну форму і покритий чорною корою плавлення товщиною до 0,5 мм. Кора плавлення характеризується наявністю борозенок, закономірність розташування яких вказує на орієнтацію зразка під час польоту крізь атмосферу Землі. На свіжому зламі хондрита добре видно хондри та їхні уламки переважно сірого, рідше темно- або світло-сірого кольору, а також численні зерна металу, що є типовим для хондритів групи *H*.

**Структурно-мінералогічна характеристика.** Хондрит Галків складається з хондр, їхніх уламків і матриці. За результатами петрографічних досліджень, хондри мають чіткі контури, округлу або еліпсоподібну форму, розмір у більшості випадків становить 0,2—2 мм. У хондриті наявні всі структурні типи хондр, серед яких переважають хондри порфірової та

ексцентрично-променистої будови, в меншій мірі — прихованокристалічної, колосникової та складної радіально-променистої (рис. 3, *a*). Відмічені окремі структури часткового або повного проникнення дрібних прихованокристалічних хондр у більші, переважно порфірові хондри. Прихованокристалічні хондри і мезостазис порфірових та колосникових хондр складені слабкорозкристалізованим склом бурого, іноді сірого кольору. Мезостазис порфірових хондр містить вторинні скелетні кристали олівіну і піроксену.

Згідно СЕМ досліджень, поверхня хондр характеризується тонкозернистою будовою, численними порами, сходінками росту на гранях окремих кристалів, а також наявністю ознак співударів з іншими хондрами, зокрема мікрократерів та структур часткового проникнення менших хондр. На поверхні зламу однієї із хондр складноколосникової будови у слабкорозкристалізованому мезостазисі чітко видно пластинчасту форму олівінових колосників із заокругленими ребрами і вершинами (рис. 3, *b*).

Матриця хондрита має нерівномірнозернисту будову і складена силікатами та крупними зернами нікелістого заліза і троїліту. На окремих ділянках матриці між хондрами розташовані високопористі тонкозернисті олівін-піроксенові агрегати, подібні до високопористих фрагментів хондрита Саратов [5].

Метеорит містить ординарні для звичайних хондритів мінерали: олівін, низько-Са піроксен, нікелісте залізо, троїліт, менше — високо-Са піроксен, хроміт, плагіоклаз, фосфати, самородну мідь, а також поодинокі зерна шпінелі, ільменіту та вюститу [1, 8]. Діагностовано окремі зерна кремнезему. На відміну від силікатів, нікелісте залізо і троїліт поширені переважно в матриці хондрита.

*Олівін і низько-Са піроксен* є головними мінералами хондрита Галків і представлені ідіо-, гіпідіо- та ксеноморфними зернами. Кристалічна форма зерен характерна для хондр, а неправильна або уламкова — для матриці. Хімічний склад олівіну ( $\text{Fe}_{17,4-19,5}$ ; відсоток середнього відхилення  $PMD$  — 2) характеризується вищим ступенем гомогенності, ніж низько-Са піроксен ( $\text{Fe}_{8,34-21,9}\text{En}_{77,1-90,4}\text{Wo}_{0,08-6,49}$ ;  $PMD$  — 7) (табл. 1, рис. 4). Наявність окремих Р-вмісних зерен олівіну (до 0,25 мас. %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) є специфікою хімічного складу і не пов'язана із забрудненням фосфатами, що потребує подальших детальніших досліджень. Дещо підвищена концентрація  $\text{TiO}_2$  (до 0,85 мас. %) у деяких аналізах олівіну може бути зумовлена їх забрудненням ільменітом.

*Високо-Са піроксен* відмічений у вигляді окремих зерен або оболонок навколо низько-Са піроксену і характеризується широкими варіаціями хімічного складу ( $\text{Fe}_{2,09-13,5}\text{En}_{46,8-75,3}\text{Wo}_{11,2-49,9}$ ) (табл. 1, рис. 5).

*Плагіоклаз* розташований у хондрах і матриці у вигляді поодиноких округлих або пластинчастих зерен. Деякі з них представлені полісинтетичними двійниками. Хімічний склад

двох пластинчастих зерен різко відмінний (рис. 6). Одне зерно збагачене на анортитову компоненту (мас. %): 47,6 SiO<sub>2</sub>; 33,8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 16,6 CaO; 2,36 Na<sub>2</sub>O; 0,24 FeO; 0,22 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,05 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; <0,02 K<sub>2</sub>O; сума — 100,90; Ab<sub>20,4</sub>An<sub>79,5</sub>Or<sub>0,11</sub>, а інше — збіднене (мас. %): 66,6 SiO<sub>2</sub>; 20,3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,65 CaO; 9,84 Na<sub>2</sub>O; 0,65 FeO; 1,53 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,12 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1,36 K<sub>2</sub>O; сума — 101,02; Ab<sub>88,7</sub>An<sub>3,25</sub>Or<sub>8,07</sub>. Збагачений на анортит плагіоклаз у вигляді полісинтетично здвійникованих зерен входить до складу діопсид-плагіоклазової хондри із включенням шпінелі (рис. 3, а). Асоціація тугоплавких, збагачених на Ca і Al, мінералів у хондрі свідчить про її високотемпературні умови утворення, можливо, в результаті переплавлення первісного пилу. Збіднений на анортит плагіоклаз відмічений у складі асоціації фосфат — хроміт — нікелісте залізо у матриці хондрита і належить до метаморфогенних мінералів. Прихованокристалічний мезостазис порфірових та колосникових хондр за складом відповідає нормативному плагіоклазу, який також ділиться на дві групи — збагачений і збіднений на анортитову компоненту (табл. 1, рис. 6), що є додатковим свідченням гетерогенності речовини хондрита.

*Нікелісте залізо* у вигляді окремих зерен або асоціацій із троїлітом і хромітом, інколи з ільменітом, майже рівномірно розподілене в матриці хондрита, а також як округлі зерна — в окремих хондрах. Переважна більшість із них є ксеноморфними і вміщують мікронні включення інших мінералів. Характерною особливістю нікелістого заліза в хондриті Галків є наявність різко ксеноморфних, амебоподібних зерен камаситу з гострими кутами і великою кількістю досить крупних (до 10 мкм) включень піроксену, фосфатів і хроміту (рис. 7). Будова таких зерен подібна до паласитової структури залізо-кам'яних метеоритів. Окремі зерна камаситу частково сульфідизовані.

Травлення ніталом показало, що зерна металу складені головним чином камаситом і в меншій мірі — тенітом. Згідно з результатами рентгеноспектральних досліджень, камасит характеризується помірною варіацією хімічного складу від зерна до зерна (табл. 2, рис. 8), а також незначним вмістом Cr, Cu, P, S і Si. Наявність Si зумовлена, найімовірніше, забрудненням аналізів силікатами.

На відміну від зерен камаситу, зерна теніту мають переважно близьку до округлої форму, менші розміри і зональну будову. Зональні зерна мають 2—4 зони, окремі з них представлені плеситом типу IV, або грубоструктурним, мікрографічним) плеситом. Зональність будови зерен теніту зумовлена M-подібним профілем розподілу Ni, вміст якого коливається від 26 мас. % в центрі до 50,7 — на периферії зерен (табл. 2, рис. 8).

Цікаві результати отримані під час СЕМ досліджень поверхні зерен нікелістого заліза, виділених із дрібної фракції хондрита. За формою та розмірами зерна нікелістого заліза можна поділити на три групи [1]. До першої належать зерна амебоподібної форми розміром 250—450 мкм з гострими краями і матовою поверхнею, на якій спостерігається пластинчаста скульптура

(рис. 9, а). До другої групи — ізометричні зерна розміром 100—250 мкм з блискучою полігонально-увігнутою поверхнею. Третя група представлена округлими зернами розміром до 100 мкм з блискучою гладенькою поверхнею. На поверхні амебоподібних зерен нікелістого заліза діагностовані численні скульптурні елементи, зокрема сходинки росту (рис. 9, б), включення силікатних зерен, кубічних кристалів хроміту та світлих мікронних кульок із гладенькою поверхнею.

*Троїліт* представлений окремими зернами або асоціаціями з нікелістим залізом, які мають неправильну або округлу форму і полікристалічну будову. Як і нікелісте залізо, троїліт містить численні силікатні включення. Хімічний склад троїліту змінюється у вузьких межах (табл. 2). В окремих асоціаціях з Fe, Ni-металом троїліт має світліший відтінок і вміщує незначну кількість Ni, що вказує на його належність до троїліту другої генерації.

*Хроміт* представлений ідіо- та гіпідіоморфними зернами (5—30 мкм), переважно в асоціації з нікелістим залізом і троїлітом. Хімічний склад хроміту (табл. 3) характеризується підвищеним вмістом таких високотемпературних компонентів, як  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (до 5,69 мас. %), MgO (3,94),  $\text{TiO}_2$  (1,63) і  $\text{V}_2\text{O}_3$  (0,73).

Окремі зерна *шпінелі* відмічені лише у двох хондрах і розрізняються за хімічним складом, що свідчить про різну ступінь їх метаморфогенного перетворення. Перше розташоване всередині радіальної діопсид-плагіоклазової хондри, округле, слабо зональне Fe-вмісне зерно розміром 80 мкм (рис. 3, а), центральна частина якого вміщує (мас. %): 63,0  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 17,7 MgO; 13,6 FeO; 3,75  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 0,22  $\text{V}_2\text{O}_3$ ; 0,12 MnO; 0,04  $\text{TiO}_2$ ; <0,03 CaO; сума — 98,46; кількість аналізів — 1. Друге — це розташовані всередині порфірової хондри, збагачені хромом Fe-вмісні ідіоморфні зональні кристали розміром 5—50 мкм, середній хімічний склад яких відповідає (мас. %): 51,9  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 14,8 MgO; 16,4 FeO; 14,6  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 0,14  $\text{V}_2\text{O}_3$ ; 0,24 MnO; 0,12  $\text{TiO}_2$ ; 0,04  $\text{SiO}_2$ ; <0,03 CaO; сума — 98,25; кількість аналізів — 2.

*Фосфати* представлені зернами Cl-апатиту та мериліту (табл. 3). Обидва мінерали поширені в асоціаціях хроміт — силікати — нікелісте залізо, а також у вигляді включень у зернах нікелістого заліза.

Крупне гіпідіоморфне зерно *ільменіту* відмічене в асоціації з нікелістим залізом, троїлітом та хромітом. Згідно з результатами енергодисперсійних досліджень воно вміщує (мас. %): 54,7  $\text{TiO}_2$ ; 38,5 FeO; 4,42 MgO; 2,41 MnO.

*Вюстит* діагностований у складі комірчасто-сітчастих структур плавлення, формування яких зумовлене імпаکتними процесами. За даними енергодисперсійних досліджень, він вміщує (мас. %): 98,6 FeO і 1,39 NiO.

Складені кремнеземом зерна неправильної або таблитчастої форми розміром 20—50 мкм діагностовані в асоціації з піроксеном у матриці хондрита та всередині повнокристалічних

піроксенових хондр (середній склад, мас. %: 99,1 SiO<sub>2</sub>; 0,25 FeO; 0,14 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,09 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,05 Na<sub>2</sub>O; <0,03 MgO; *сума* — 99,66; кількість аналізів — 4).

Окремі неправильної форми зерна *самородної міді* відмічені в деяких зернах теніту.

**Ознаки ударного метаморфізму** досить широко представлені структурами ударної деформації та нагріву. До перших належать численні тріщини в зернах силікатів, троїліту, іноді фосфатів (але яка частина з них зумовлена імпактними процесами, а яка виникла під час виготовлення полірованих шліфів, визначити важко), а також ознаки деформації кристалічної ґратки силікатів і камаситу. Так, погасання силікатів у поляризованому світлі змінюється від повного до мозаїчного. Найпоширенішими є зерна з хвилястим погасанням. Повне погасання характерне для зерен у порфірових хондрах. Планарні структури відмічені майже у 25 % кристалів олівіну.

Амебоподібна форма зерен Fe,Ni-металу, а також їхні зубчасті контури є, найімовірніше, результатом імпактного перетворення речовини хондрита, що підтверджується їх частковою сульфідизацією, а також скульптурами пластинчастої деформації на поверхні зерен камаситу. Вони представлені однією або декількома системами паралельних пластинок, які виникли внаслідок зсувної деформації в кристалічній ґратці металу під час ударного метаморфізму. Здебільшого ці елементи розміщуються на окремих ділянках поверхні зерен, іноді уся поверхня зерна вкрита пластинками. В деяких випадках спостерігаються скульптури згину (рис. 9, *a*) або розщеплення пластинок металу, що вказує на його додаткову деформацію. На зернах з гладкою блискучою поверхнею деформаційні скульптурні елементи практично відсутні.

До ознак ударного нагріву належать полікристалічна будова троїліту, часткова сульфідизація зерен камаситу, мікрографічний плесит і включення інших мінералів у зернах нікелістого заліза, корозійні пори на поверхні металічних зерен, а до ознак плавлення — структури плавлення троїліту.

Підвищений вміст включень та їхні досить великі розміри [4] не лише усередині зерен металу, а й на їхній поверхні є додатковим свідченням твердофазової дифузії хімічних елементів у металі з подальшою кристалізацією власних мінералів унаслідок постімпактного охолодження материнського тіла метеорита від температури ударного нагріву.

Уперше в полірованому шліфі метеорита Галків виявлено вюстит, який належить до рідкісних акцесорних мінералів звичайних хондритів і утворюється або внаслідок ударного метаморфізму, або в зовнішній частині кори плавлення [7]. З огляду на знахідку його в сітчасто-комірчастих структурах плавлення всередині полірованого шліфа, можна з упевненістю діагностувати цей мінерал як продукт ударно-метаморфічного перетворення нікелістого заліза хондрита. Додатковою ознакою зміни хімічного складу мінералів метеорита є наявність у ньому Ni-вмісного троїліту. Попередні дослідження метал-троїлітових асоціацій в

ударно-метаморфізованих хондритах однозначно вказують на імпактну сульфідизацію зерен камаситу і утворення Ni-вмісного троїліту другої генерації [3].

Таким чином, метеорит Галків має різноманітні структурні, мінералогічні і хімічні ознаки ударно-метаморфічного перетворення в космосі. За шкалою Д. Штофлера та ін. [9], характер змін в олівіні відповідає ударній стадії S3.

**Ознаки земного вивітрювання.** Відповідно до результатів дослідження, виконаного у 1996 р., ступінь вивітрювання метеорита Галків, як і більшості відомих падінь звичайних хондритів, низька і відповідає W0, за шкалою Ф. Влотського [10]. Вивчення виготовлених у 1996 р. полірованих шліфів метеорита, здійснене С.Н. Ширінбековою у 2008 р. [6], показало підвищення ступеня їх вивітрювання у лабораторних умовах до рівня W2—3.

**Висновки.** Головними структурно-мінералогічними особливостями хондрита Галків є вища ступінь неоднорідності хімічного складу піроксену відносно олівіну, наявність окремих зерен Р-вмісного олівіну, акцесорних кількостей зерен шпінелі з різним ступенем метаморфогенних змін, високо- і низько-Са плагіоклазу, окремих різко ксеноморфних зерен камаситу з великою кількістю крупних включень піроксену, фосфатів і хроміту, рідкісного мінералу — вюститу, а також численних ознак ударного метаморфізму. Отримані результати свідчать про збереженість у метеориті реліктів високотемпературних мінералів, а також про хімічну гетерогенність мінералів у період агломерації материнського тіла хондрита.

На завершення необхідно відмітити перспективність і важливість подальших ізотопних досліджень реліктів високотемпературних мінералів у хондриті Галків, що збереглися в процесі хондроутворення під час переплавлення первісного пилу. Доволі важливим є те, що хондрит належить до мало поширених метеоритів, у яких хондри, а також окремі зерна мінералів легко відділяються від основної частини метеорита, що спрощує їх коректне і детальне дослідження.

*Автори глибоко вдячні В.Б. Соболеву і В.М. Сливінському за технічну допомогу у виконанні мікрозондових та електронно-мікроскопічних досліджень.*

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кичань Н.В., Ширінбекова С.Н., Сливінський В.М. Структурно-мінералогічні особливості нікелістого заліза метеорита Галків // Зап. 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. — 29, № 2. — С. 72—82.
3. Семененко В.П., Самойлович Л.Г., Тертычная Б.В. Изменение зерен троилита при повторном нагреве хондритов // Космическое вещество : Сб. науч. тр. — Киев : Наук. думка, 1986. — С. 94—99.
4. Семененко В.П., Тертычная Б.В., Клейманов А.Н. Скульптура поверхности частиц никелистого железа // Метеоритика. — 1987. — Вып. 46. — С. 73—80.
5. Семененко В.П., Шаркин О.П., Гирич А.Л. Высокопористые фрагменты в хондрите Саратов (L4) // Геохимия. — 1992. — 6. — С. 881—892.

6. Ширінбекова С.Н. Порівняльна характеристика ступеня вивітрювання хондритів з метеоритної колекції Національного науково-природничого музею НАН України // Зап. Укр. мінерал. т-ва. — 2008. — 5. — С. 96—104.
7. Юдин И.А., Коломенский В.Д. Минералогия метеоритов. — Свердловск : УНТЦ АН СССР, 1987. — 200 с.
8. Semenenko V.P., Girich A.L. The Galkiv meteorite: H4 chondrite from Ukraine // Meteoritics and Planet. Sci. — 1998. — 33. — P. A193—A196.
9. Stöffler D., Keil K., Scott E.R.D. Shock metamorphism of ordinary chondrites // Geochim. et cosmochim. acta. — 1991. — 55. — P. 3845—3867.
10. Wlotzka F. A weathering scale for the ordinary chondrites (Abstract) // Meteoritics. — 1993. — 28, № 3. — P. 460.

Надійшла 11.04.2017

#### REFERENCES

1. Kychan, N.V., Shyrinbekova, S.N. and Slyvynskiy, V.M. (2009), *Zap. Ukr. mineral. tov.*, Vol. 6, Kyiv, UA, pp.70-76.
2. Semenenko, V.P., Girich, A.L. and Rus'ko, Yu.O. (2007), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 29 No 2, Kyiv, UA, pp. 72-78.
3. Semenenko, V.P., Samoilovich, L.G. and Tertychnaya, B.V. (1986), *Kosmicheskoe veschestvo*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, pp. 94-99.
4. Semenenko, V.P., Tertychnaya, B.V. and Kleymanov, A.N. (1987), *Meteoritika*, Vyp. 46, pp. 73-80.
5. Semenenko, V.P., Sharkin, O.P and Girich, A.L. (1992), *Geokhimiya*, Vol. 6, Moscow, RU, pp. 881-892.
6. Shyrinbekova, S.N. (2008), *Zap. Ukr. mineral. tov.*, Vol. 5, Kyiv, UA, pp. 96-104.
7. Yudin, I.A. and Kolomenskiy, V.D. (1987), *Mineralogiya meteoritov*, Ural. nauch.-tekhn. tsentr AN SSSR, Sverdlovsk, RU, 200 p.
8. Semenenko, V.P. and Girich, A.L. (1998), *Meteoritics and Planet. Sci.*, Vol. 33, pp. A193-A196.
9. Stöffler, D., Keil, K. and Scott, E.R.D. (1991), *Geochim. et cosmochim. acta.*, Vol. 55, pp. 3845-3867.
10. Wlotzka, F. (1993), *Meteoritics*, Abstract, Vol. 28, No. 3, p. 460.

Received 11.04.2017

*В.П. Семененко, А.Л. Гирич, Н.В. Кичань*

Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
им. Н.П. Семененко НАН Украины  
03142, г. Киев, Украина, пр-т Акад. Палладина, 34  
E-mail: cosmin@i.ua

#### СТРУКТУРНО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАМЕННОГО МЕТЕОРИТА ГАЛКИВ (H4)

Представлены данные об истории падения и главных структурно-минералогических особенностях метеорита Галкив (H4, S3, W0). Хондрит характеризуется более высокой степенью неоднородности химического состава пироксена, чем оливина, наличием акцессорного количества зерен шпинели с разной степенью метаморфогенных изменений, высоко- и низко-Са плагиоклаза, отдельных резко ксеноморфных зерен камасита с большим количеством крупных включений минералов, многочисленных признаков ударного метаморфизма. Результаты исследований свидетельствуют о сохранности в метеорите реликтов высокотемпературных минералов, а также о химической гетерогенности минералов у период агломерации родительского тела хондрита.

*Ключевые слова:* метеорит, хондрит, минералы, никелистое железо, структура, скульптура поверхности, ударный метаморфизм.

*V.P. Semenenko, A.L. Girich, N.V. Kychan*

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy  
and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142  
E-mail: cosmin@i.ua

#### STRUCTURE-MINERALOGICAL FEATURES OF THE GALKIV (H4) STONE METEORITE



The data on the history of fall and major structural and mineralogical characteristics of the Galkiv meteorite (*H4, S3, W0*) are given. Chondrite is characterized by a higher degree of the chemical heterogeneity of pyroxene, than olivine, by the presence of accessory grains of spinel with different stages of metamorphic transformation, high-Ca and low-Ca plagioclase, minor sharply xenomorphic kamacite grains with high content of coarse inclusions of pyroxene, phosphates, chromites and a texture which reminds the pallasite one, plural evidences of shock metamorphism, including identified rare mineral — wustite. The data indicate the safety of high-temperature relicts of minerals in the meteorite during accretion of the parent body of chondrite. The Galkiv chondrite is perspective for isotopic studies of the high temperature relicts of minerals, preserved during chondrules formation probably as a result of remelting of protoplanetary dust.

*Keywords:* meteorite, chondrite, minerals, Fe,Ni-metal, structure, surface sculpture, shock metamorphism.

Таблиця 1. Хімічний склад силікатів у хондриті Галків (H4), визначений за допомогою мікрозонда, мас. %  
 Table 1. Chemical composition of silicates within the Galkiv (H4) chondrite, obtained by electron microprobe, wt. %

Компонент	Олівін		Піроксен				Мезостазис	
	межі (107)	середнє	низько-Са		високо-Са		збіднений Са	збагачений Са
			межі (77)	середнє	межі (7)	середнє	середнє (2)	середнє (5)
SiO <sub>2</sub>	37,3—40,2	38,7	53,7—58,2	55,9	45,9—56,7	52,2	62,3	51,8
TiO <sub>2</sub>	Н. в.—0,85	0,06	Н. в.—0,57	0,09	Н. в.—2,71	0,86	0,75	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Н. в.—0,10	<0,02	Н. в.—1,88	0,30	0,17—13,1	4,17	20,7	31,3
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Н. в.—0,64	0,04	Н. в.—1,26	0,31	0,37—2,48	1,22	0,55	0,21
MgO	41,3—44,3	42,7	27,5—34,4	31,0	15,4—26,2	17,9	0,69	0,11
FeO	16,2—18,4	17,3	5,62—14,1	10,5	1,20—8,40	4,36	1,15	0,63
MnO	0,31—0,51	0,41	Н. в.—0,73	0,38	Н. в.—0,44	0,27	0,03	0,03
CaO	Н. в.—0,51	<0,02	0,04—3,22	0,51	5,42—23,2	18,0	3,10	13,6
Na <sub>2</sub> O	Н. в.—0,08	<0,01	Н. в.—0,16	<0,02	Н. в.—0,95	0,55	9,47	3,29
K <sub>2</sub> O	Н. в.—0,04	<0,01	Н. в.—0,05	<0,01	Н. в.—<0,02	<0,01	0,27	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Н. в.—0,25	0,06	Н. в.—0,26	0,05	Н. в.—0,20	0,10	0,03	Н. в.
Сума		99,3		99,1		99,7	99,1	101,1
Fa	17,4—19,5	18,5						
Fo	80,5—82,6	81,5						
Fs			8,34—21,9	15,8	2,09—13,5	7,3		
En			77,1—90,4	83,2	46,8—75,3	53,7		
Wo			0,08—6,49	1,0	11,2—49,9	39,0		
Ab							83,4	30,7
An							15,1	68,8
Or							1,53	0,48

Примітка. Тут і у табл. 2, 3 — у дужках вказано кількість аналізів; Н. в. — не визначено.

Note. Here and in the Tables 2, 3 — the number of analysis is in brackets; Н. в. — is not determined.

Таблиця 2. Хімічний склад нікелістого заліза і троїліту в хондриті Галків (H4), визначений за допомогою мікрозонда, мас. %  
 Table 2. Chemical composition obtained by electron microprobe of nickel iron and troilite within the Galkiv (H4) chondrite, wt. %

Елемент	Камасит		Теніт		Троїліт	
	межі (23)	середнє	межі (19)	середнє	межі (18)	середнє
Fe	91,2—94,6	92,7	49,2—72,2	61,6	61,9—63,6	62,9
Ni	4,45—6,84	5,96	26,0—50,7	36,8	Н. в.—0,27	0,04
Co	0,32—0,58	0,48	0,03—0,14	0,09	Н. в.—<0,02	Н. в.
Cu	Н. в.—0,06	<0,01	0,11—0,43	0,21	Н. в.—0,48	0,04
Cr	Н. в.—0,16	<0,02	Н. в.—0,16	<0,02	Н. в.—0,03	<0,01
S	Н. в.—0,11	<0,02	Н. в.—0,06	<0,02	35,7—38,0	36,9
P	Н. в.—0,09	<0,02	Н. в.—0,09	<0,02	Н. в.—0,08	<0,02
Si	Н. в.—0,07	<0,01	Н. в.—0,09	<0,01	Н. в.—0,05	<0,01
Сума		99,2		98,8		99,9

Таблиця 3. Хімічний склад хроміту і фосфатів у хондриті Галків (H4), визначений за допомогою мікрозонда, мас. %

Table 3. Chemical composition of chromite and phosphates within the Galkiv (H4) chondrite, obtained by electron microprobe, wt. %

Компонент	Хроміт		СІ-апатит		Мериліт	
	межі (15)	середнє	межі (10)	середнє	межі (14)	середнє
SiO <sub>2</sub>	Н. в.—0,27	<0,02	Н. в.—0,18	0,05	Н. в.—0,21	0,05
TiO <sub>2</sub>	1,08—1,63	1,42	Н. в.—0,17	0,04	Н. в.—0,11	<0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,01—5,69	5,34	Н. в.—0,05	<0,02	Н. в.—0,07	<0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57,3—60,3	59,3	Н. в.—0,13	0,04	Н. в.—0,19	0,06
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,51—0,73	0,59	Н. а.	Н. а.	Н. а.	Н. а.
MgO	2,28—3,94	2,58	Н. в.—0,15	0,03	2,53—4,17	3,51
FeO	27,8—28,9	28,5	0,12—0,46	0,30	0,40—1,55	0,82
MnO	0,61—0,88	0,75	Н. в.—0,08	<0,02	Н. в.—0,07	<0,02
CaO	<0,01—0,37	0,06	53,5—57,2	55,3	47,0—49,7	48,1
Na <sub>2</sub> O	Н. в.—0,10	<0,02	0,16—0,34	0,24	2,23—3,98	2,72
K <sub>2</sub> O	Н. в.—0,03	<0,01	Н. в.—0,03	<0,01	<0,02—0,08	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Н. в.—0,20	0,04	37,4—41,3	39,1	41,0—44,3	43,2
F	Н. а.	Н. а.	0,23—1,17	0,83	0,25—0,90	0,56
Cl	Н. а.	Н. а.	2,10—5,51	3,94	Н. в.—1,25	0,10
Сума		98,6		99,9		99,3

Примітка. Н. а. — не аналізувалось.

Note. Н. а. — was not analyzed.

*Рис. 1.* Загальний вигляд метеорита Галків (H4)

*Fig. 1.* General view of the Galkiv (H4) meteorite

*Рис. 2.* Свідок падіння метеорита В.М. Леоненко (праворуч), директор Ріпкинського музею краєзнавства О.І. Жила (третій ліворуч) та голова Галківської сільради (другий праворуч) на місці падіння хондрита Галків разом зі співробітниками відділу космоєкології та космічної мінералогії ІГМР НАН України В.М. Сливінським, В.П. Семененко та А.Л. Гірич (зліва направо). Травень 1996 р.

*Fig. 2.* V.M. Leonenko, witness of the meteorite fall (right), O.I. Zhyla, head of the Ripky Museum of Local Lore (third from the left), and head of the Galkiv village council (second from the right) on a site of the Galkiv chondrite fall together with researchers of the Department of Cosmoecology and Cosmic Mineralogy of the M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine V.M. Slyvynskiy, V.P. Semenenko, and A.L. Girich (from left to right). May, 1996

*Рис. 3.* Сканувальні електронно-мікроскопічні (СЕМ) зображення хондр у метеориті Галків: *a* — складна радіально-промениста діопсид-плагіоклазова хондра, яка містить округле включення шпінелі (Sp) (світло-сіре і сіре — олівін і піроксени, темно-сіре — плагіоклаз, біле — троїліт і нікелісте залізо, чорне — пори та дефекти поліровки). Полірований шліф хондрита, у відбитих електронах; *b* — олівінові колосники пластинчастої форми із заокругленими ребрами і вершинами в слабкорозкристалізованому мезостазисі. Поверхня зламу складноколосникової хондри, у вторинних електронах

*Fig. 3.* Scanning electron microscopic (SEM) images of the chondrules in the Galkiv meteorite: *a* — a compound radial-  
radiate diopside-feldspatic chondrule, which contains a round inclusion of spinel (Sp) (light gray and gray — olivine and  
pyroxenes, dark gray — feldspar, white — troilite and nickel iron, black — holes and polishing defects). Polished section  
of the chondrite. In backscattered electrons (BSE); *b* — lath-shaped olivine bars with rounded edges and tops located  
within poorly crystallized mesostasis. Broken surface of a complicated barred chondrule, in secondary electrons

*Рис. 4.* Гістограма вмісту фаяліту (Fa) в олівіні та ферросиліту (Fs) в низькокальцієвому піроксені хондрита Галків

*Fig. 4.* Histogram of Fa-content of olivine and Fs-content of Ca-low pyroxene within the Galkiv chondrite

*Рис. 5.* Діаграма хімічного складу висококальцієвого піроксену в хондриті Галків, мол. %

*Fig. 5.* Diagram of chemical composition of Ca-pyroxene within the Galkiv chondrite, mol. %

*Рис. 6.* Діаграма хімічного складу плагіоклазу (1) і мезостазису (2) в хондриті Галків, мол. %

*Fig. 6.* Chemical composition of feldspar (1) and mesostasis (2) within the Galkiv chondrite, mol. %

*Рис. 7.* СЕМ зображення у відбитих електронах різко ксеноморфного (амебоподібного) зерна камаситу (біле) з великою кількістю крупних включень силікатів (сіре, темно-сіре) і хроміту (Chr). Світло-сіре — троїліт. Полірований шліф хондрита Галків

*Fig. 7.* BSE image of the sharply xenomorphic (amoeboid) kamacite grain (white) with high content of coarse inclusions of silicates (gray, dark gray) and chromite (Chr). Light gray is troilite. Polished section of the Galkiv chondrite

*Рис. 8.* Графік вмісту Ni і Co в нікелістому залізі (1 — камасит, 2 — теніт) хондрита Галків

*Fig. 8.* Ni vs. Co plot of the Fe,Ni-metal (1 — kamacite, 2 — taenite) within the Galkiv chondrite

*Рис. 9.* СЕМ зображення у вторинних електронах скульптури поверхні зерен камаситу в хондриті Галків: *a* — зігнуті пластинчасті структури деформації; *b* — сходинки росту (стрілки) та заглиблення від кристалів, що викришилися з поверхні зерна

*Fig. 9.* SEM images in secondary electrons of a surface sculpture of the kamacite grains within the Galkiv chondrite: *a* —  
curved lamellar structures of deformation; *b* — the growth steps (arrows) and imprints of crystals crumbled out from the  
grain surface