

УДК 523.681

## ПЕРШІ ЗНАХІДКИ САМОРОДНИХ ВОЛЬФРАМУ І СРІБЛА В МЕТЕОРИТАХ

В. Семененко, А. Гіріч

ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”  
03680 м. Київ-142, просп. акад. Палладіна, 34а  
E-mail: cosmin@i.ua

Наведено результати електронно-мікроскопічних, енергодисперсійних та рентгеноспектральних досліджень уперше знайдених у метеоритах самородних вольфраму і срібла. Самородний вольфрам діагностовано в камаситовій фазі металевих кульок мікропорфірових хондр, а самородне срібло – у продуктах звітрювання метал-сульфідної оболонки хондри в хондриті *Кримка* (LL3.1). Мінерали представлені мікро- і нанометровими зернами й мають рафінований хімічний склад. Зроблено висновок про твердофазову дифузійну природу самородних металів у хондриті *Кримка*. Висловлено припущення, що формування самородного вольфраму з первинного W-вмісного камаситу зумовлене, головню, процесами хондроутворення й ударного метаморфізму, а самородного срібла – процесами звітрювання первинних Ag-вмісних метал-сульфідних фаз.

*Ключові слова:* метеорит, самородний вольфрам, самородне срібло, камасит, метал-сульфід, хондра.

Структурно-мінералогічні дослідження примітивного хондриту *Кримка* (LL3.1) на електронно-мікроскопічному рівні дали змогу вперше діагностувати в метеоритах самородні вольфрам і срібло [1, 6, 19]. Рідкісні знахідки самородного вольфраму відомі в земних [3, 5, 15] і місячних породах [4]. На жаль, більшість із них є дискусійними й належать до сумнівних з огляду на забруднення дослідних лабораторій техногенним вольфрамом і підвищенням прецизійності сучасних методів дослідження. Виявлений у метеориті вольфрам викликає підвищений науковий інтерес, оскільки, відповідно до термодинамічно розрахованої схеми конденсації мінералів із вихолоджуваного газу сонячного складу [16], він належить до перших високотемпературних конденсатів протосонячної туманності.

Самородне срібло, на відміну від золота, ні разу не було знайдене в метеоритах. Лише в енстатитовому ахондриті *Pena Blanca Spring* в акцесорних кількостях діагностовано рідкісні мінерали срібла –  $\text{AgCrS}_2$  і  $\text{AgCr}_2\text{S}_4$ , а також Ag-вмісні мінерали – Ag-алабандин  $(\text{Mn,Fe,Ag})\text{S}$  з вмістом 10,4 % Ag і Ag-добреліт  $\text{FeCr}_2\text{S}_4$ , який уміщує 0,75 % Ag [12]. Цікаво, що нейтронно-активаційні дослідження свідчили про дуже нерівномірний розподіл Ag у вуглистій речовині метеорита *Кримка* [8, 10], а також в інших метеоритах [11, 17]. Однак мінерал-носії срібла і його природа не з'ясовані.

Нижче наведено результати вивчення перших знахідок самородних вольфраму і срібла в хондриті *Кримка*.

**Об'єкти та методи дослідження.** Самородні вольфрам і срібло знайдені в полірованих шліфах хондрита *Кримка* робочої колекції Комітету з метеоритів НАН України. Детальні структурно-мінералогічні дослідження цих аншліфів проводили за допомогою

оптичного мікроскопа марки ПОЛАМ Р-312 та сканувального електронного мікроскопа марки JSM-6490 LV фірми Jeol, обладнаного енергодисперсійним спектрометром (EDS) марки INCAPentaFETx3, що дало змогу визначити якісний хімічний склад зерен мінералів. Частину даних з хімічного складу зерен вольфраму і нікелістого заліза отримано на мікроаналізаторі марки JXA-8200 фірми Jeol у Техцентрі НАН України за сили струму 10 нА, прискорювальної напруги 15 кВ, діаметра зонда 2 мкм з використанням ZAF поправок.

**Мінералого-хімічні особливості та природа самородного вольфраму.** Зерна самородного вольфраму діагностовано всередині металевих і метал-сульфідних кульок однієї з мікропорфірових олівінових хондр [1, 19], а також у кульках розташованого поряд фрагмента аналогічної за структурою хондри (рис. 1, *a*).

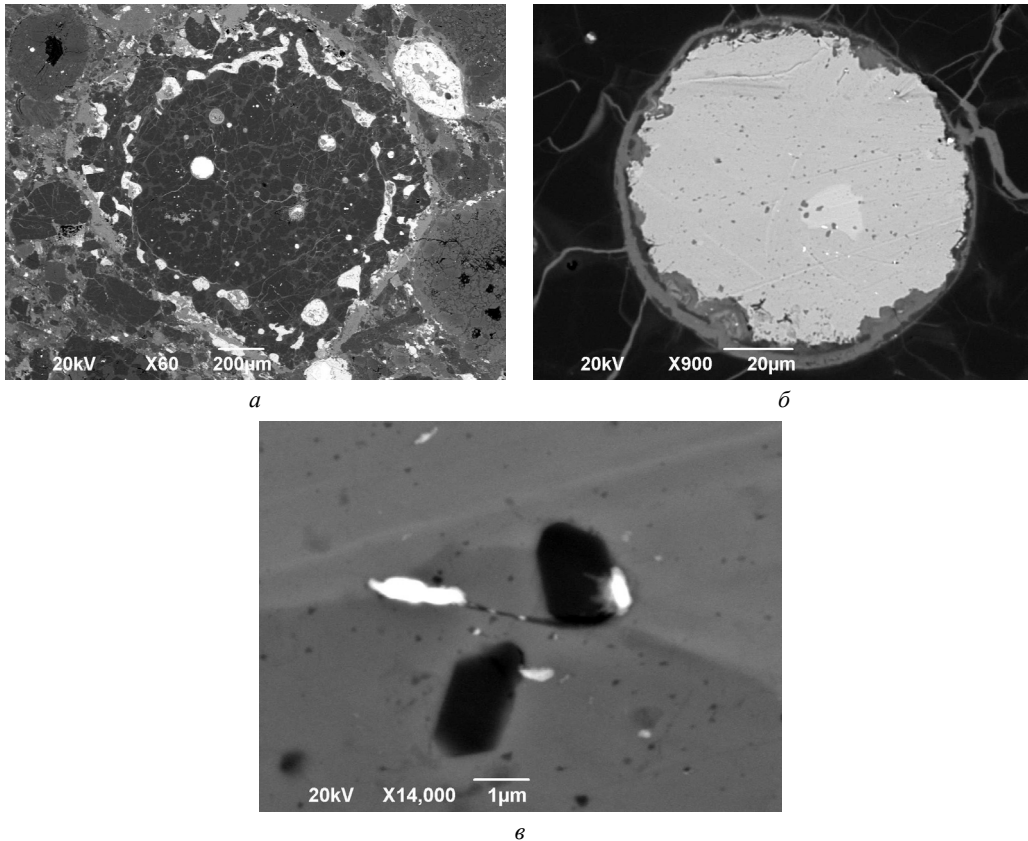


Рис. 1. Сканувальне електронно-мікроскопічне зображення самородного вольфраму у відбитих електронах у полірованому шліфі хондрита *Кримка*:

*a* – будова мікропорфірової хондри, у металевих кульках (біле) якої розташовані включення самородного вольфраму; темно-сіре – силікати; *б* – одна з металевих кульок, камаситова фаза (сіра) якої вміщує самородний вольфрам (біле), а також численні включення інших мінералів. По периферії кульки і в силікатах (чорне) хондри розвинуті гідроксиди заліза. Світло-сіра ділянка в центрі кульки складена тенітом; *в* – включення самородного вольфраму (біле), які розташовані на міжфазовій межі кристалів хроміту (чорне) і металу (сіре), а також усередині камаситу.

Хондра має округлу форму, чітко виражений хвилястий край, що свідчить про горбисту будову її поверхні, кристали олівину, кількість яких переважає над мезостагісом, а також мантию з метал-сульфідних кульок на периферії хондри й окремі металеві кульки в її ядрі. Хондра покрита тонкозернистою силікатною оболонкою.

Металева фаза кульок представлена нікелістим залізом, а саме – камаситом, в окремих ділянках – тенітом (див. рис. 1, б). Кульки мантиї евтектичної будови, яка типова для незмішуваних метал-сульфідних розплавів. Переважна більшість кульок частково або повністю змінена процесами земного звітрування.

Самородний вольфрам розташований лише в камаситовій фазі (див. рис. 1, б) у вигляді окремих зерен розміром  $\leq 4 \times 2$  мкм, видовженої, інколи близької до округлої форми й у відбитих електронах має дуже високу відбивну здатність. Він локалізований переважно на міжфазових межах камасит–теніт або камасит–хроміт, у тріщинах і порах, а також усередині камаситу (див. рис. 1, в). Відповідно до рентгеноспектральних досліджень, хімічний склад камаситу відповідає в середньому за трьома точками, мас. %: 94,6 Fe, 3,97 Ni, 0,94 Co, 0,25 Cr, 0,08 Si, 0,04 Cu, 0,04 S. Теніт за енергодисперсійними даними вміщує до 48 мас. % Ni. Самородний вольфрам в окремих точках вміщує до 0,2 мас. % Re. На жаль, мікро- та нанометрові розміри зерен вольфраму в металі не дають змоги точно визначити його склад, зокрема, з'ясувати вміст у ньому тугоплавких елементів-домішок. Максимальна концентрація вольфраму в одному з аналізів досягає 82,3 мас. % за вмісту, мас. %: 13,4 Fe, 1,33 Ni, 1,24 Si, 1,05 Ca, 0,60 S, 0,07 Cr. Якщо не враховувати забруднення хімічного складу вольфраму мінералами, що асоціюють, то вивчені включення належать до хімічно чистого самородного вольфраму, інколи з домішкою Re.

На сучасному етапі досліджень отримані результати дають підстави констатувати таке: 1) характер поширення самородного вольфраму лише в нікелістому залізі мікропорфірових хондр є важливим свідченням його космічної природи, а не належності до забруднення; 2) рафінований хімічний склад вольфраму свідчить про багатостадійність і складність фізико-хімічних процесів його відокремлення від інших тугоплавких елементів у протопланетній туманності; 3) тісна асоціація W з камаситом підтверджує його сидерофільний характер і свідчить про входження до складу металевих зерен у доагломерацийний період та їхню подальшу спільну історію в материнському тілі метеорита; 4) процес хондротворення мав важливий вплив на формування включень самородного вольфраму в камаситі. Зокрема, зональна будова хондри та її горбиста поверхня є, найімовірніше, наслідком високотемпературних процесів формування незмішуваних силікат-метал-сульфідних розплавів з подальшим охолодженням і повторним розплавленням та переконденсацією поверхні хондри; 5) розташування мікро- і нанозерен самородного вольфраму на міжфазових межах, у порах і тріщинках камаситу є важливим свідченням його метаморфогенного походження внаслідок твердофазової дифузії W в металі. Наявність у хондриті й, зокрема, у хондрі прикмет ударного метаморфізму засвідчує його важливу роль у стимулюванні дифузії вольфраму в камаситових кульках.

Хоча це перша знахідка самородного вольфраму, попередніми дослідженнями багатих на Ca та Al включень хондритів виявлено їхнє значне збагачення Re, W, Mo, а також зернами тугоплавких сплавів елементів Pt-групи [14]. Склад тугоплавких сплавів у межах одного включення представлений від Os- до Pt-збагаченими зернами, а їхнє утворення пояснювали високотемпературною конденсацією тугоплавких сидерофільних елементів протопланетної туманності [13].

Мінералого-хімічні результати наших досліджень породжують, на жаль, більше запитань, ніж дають на них відповіді. Відповідно до термодинамічно розрахованої схеми, температури конденсації W і нікелістого заліза з газу сонячного складу, що охолоджувався, відмінні. Якщо перший конденсувався за температури 1 850–1 400 К, то другий – у діапазоні 1 350–1 250 К і тиску  $10^{-4}$  бар [16]. Тобто в період конденсації нікелістого заліза W та інші тугоплавкі елементи повинні були вже повністю сконденсуватись.

Поки що важко відповісти на питання, які процеси зумовили повне фракціонування W і супутніх тугоплавких сидерофільних елементів та в якій формі вольфрам увійшов до складу окремих металевих зерен у протопланетній туманності. Одним із можливих припущень може бути входження W у вигляді карбіду або нітриду вольфраму. Наступні процеси (а) хондротворення, які супроводжувались утворенням метал-сульфід-силікатних незмішуваних розплавів і їхнім різким охолодженням, (б) високоенергетичні процеси переплавлення і часткового випаровування поверхні хондри, а також (в) ударнометаморфічні процеси материнського тіла метеорита могли сприяти розпаду карбіду або нітриду вольфраму і подальшій твердофазовій дифузії W в нікелістому залізі з кристалізацією самородних зерен.

Запропонований механізм утворення вольфраму є лише першим припущенням, яке можна зробити на підставі отриманих даних. Цілком імовірно, що подальші дослідження підтвердять або спростують його, а також дадуть змогу зрозуміти фізико-хімічні процеси повного фракціонування W ще до входження в склад металевих зерен у протопланетній туманності.

**Мінералого-хімічні особливості та природа самородного срібла.** Мікрометричні зерна самородного срібла та їхні скупчення знайдено на дні й стінках підковподібної порожнини розміром  $0,26 \times 0,14$  мм, а саме – у порах і тріщинах Fe,Ni,S-гідроксидів, розвинутих у метал-сульфідній оболонці (рис. 2, а) однієї з мікропорфірових олівін-піроксенових хондр метеорита *Кримка* [6]. Кількість троїліту в оболонці значно вища, ніж металу, який представлений камаситом (93,1 мас. % Fe, 5,77 мас. % Ni, 1,69 мас. % Co) і менше – тенітом (51,8 мас. % Fe, 47,3 мас. % Ni, 0,54 мас. % Co). Оболонка пронизана окремими прожилками гідроксидів заліза.

Самородне срібло представлене окремими зернами ( $\leq 3$  мкм) (див. рис. 2, б), дендритоподібними агрегатами (див. рис. 2, в) ( $\leq 7$  мкм), а також пластинками (див. рис. 2, з) ( $\leq 5 \times 3$  мкм). Під час дослідження у відбитих електронах видно, що зерна мають переважно округлу, інколи близьку до кубічної форму (див. рис. 2, д), дендритоподібні агрегати – гілчасту, а тонкі пластинки з незначною пластичною деформацією (див. рис. 2, з). Водночас у вторинних електронах і за зниженої яскравості чітко видно, що не тільки агрегати (див. рис. 2, е), а й окремі зерна і пластинки мають тонку глобулярну структуру, у якій розмір глобул  $\leq 100$  нм. Отже, розподіл самородного срібла по формі зерен є умовним, оскільки, по суті, вони є скупченнями нанометрових глобул і відрізняються лише за розміром і характером розташування глобул.

Хімічний склад срібла дуже чистий, у ньому нема типових для земного срібла домішок Au, Zn, Pb, Bi, Sb, As і Hg [2, 7]. Відповідно до даних енергодисперсійних досліджень, найвищі значення вмісту срібла не перевищують 95,6 мас. %, а решта хімічних елементів (Fe, Ni, S, в окремих точках Cu) належить до забруднення аналізу Fe,Ni,S-гідроксидами, у яких міститься самородне срібло. Середній склад гідроксидів, отриманий з 18 точок аналізу по периферії порожнини, відповідає, мас. %: 86 FeO, 6,76 SO<sub>3</sub>, 4,78 NiO, 1,54 CoO, 0,27 SiO<sub>2</sub>, 0,18 Na<sub>2</sub>O, 0,06 MgO.

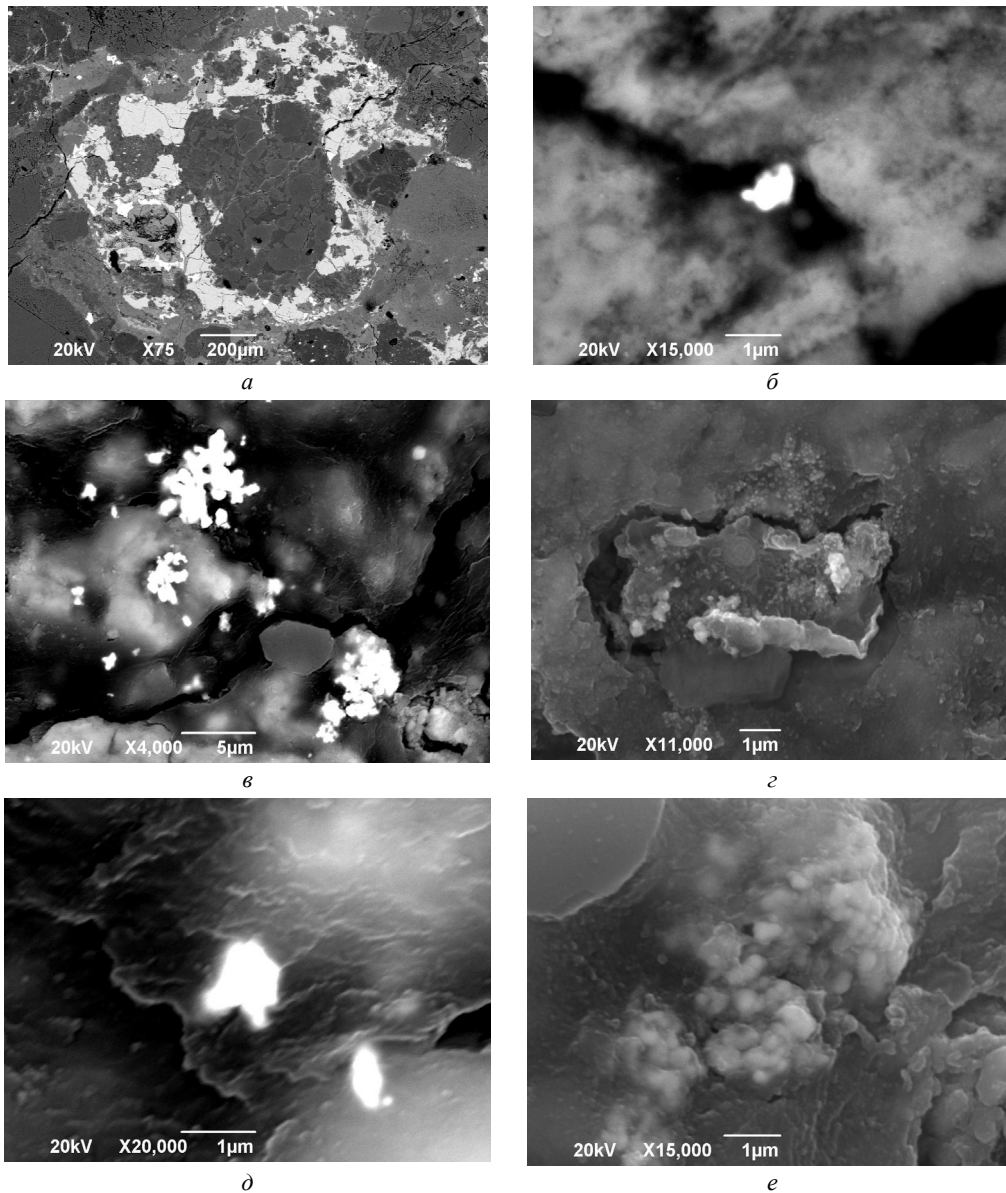


Рис. 2. Сканувальне електронно-мікроскопічне зображення самородного срібла у відбитих і вторинних (*z, e*) електронах у полірованому шліфі хондрита *Кримка*: *a* – метал-сульфідна оболонка (світло-сіра) мікропорфірової хондри, у продуктах звітрювання якої (зліва сіра трикутна ділянка з чорною підковоподібною порожниною) знайдено зерна самородного срібла; *b* – зерно самородного срібла (біле) у тріщині Fe,Ni,S-гідроксидів; *c* – окремі зерна і дендрито-подібні скупчення самородного срібла (біле), розташовані серед гідроксидів на дні й стінках порожнини. У нижній частині зображення видно рідкісний кристал корунду; *z* – пластинчасте зерно самородного срібла зі слідами пластичної деформації (світло-сіре) серед Fe,Ni,S-гідроксидів; *d* – зерно самородного срібла, форма якого близька до кубічної; *e* – глобулярна будова агрегату самородного срібла.

Крім самородного срібла, у порожнині наявні окремі зерна олівіну ( $\text{Fe}_{23,8}$ ), піроксену ( $\text{En}_{60}\text{Fs}_{33}\text{Wo}_{6,99}$ ), Са-піроксену ( $\text{En}_{46,6}\text{Fs}_{37,2}\text{Wo}_{16,2}$ ), а також гексагональні кристали корунду (99,5 мас. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 0,5 мас. % СаО) розміром  $\leq 5$  мкм (див. рис. 2, в). Знахідка гексагональних кристалів корунду – це перша знахідка корунду *in situ* в метеориті *Кримка*. Раніше цей мінерал знайдено завдяки хімічній сепарації речовини метеорита і подальшим ізотопним дослідженням [9]. Результати цих праць дали змогу діагностувати  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у хондриті *Кримка* як зерна мінералу досонячного походження.

Характерними особливостями самородного срібла в хондриті *Кримка* є його тісна асоціація з Fe,S,Ni-гідроксидами, розташування в порах і тріщинках, глобулярна будова різних за формою зерен, нанометрові розміри глобул, залежність розміру і форми зерен від можливості росту в просторі, рафінований хімічний склад, а також асоціація в одній порожнині з надзвичайно рідкісним для метеоритів високотемпературним мінералом – корундом.

З урахуванням тісної асоціації срібла в метеориті з Fe,S,Ni-гідроксидами, які, відповідно до складу, є продуктом окиснення метал-сульфідних фаз, а також з огляду на відсутність домішок інших хімічних елементів у самородному сріблі можна зробити припущення про його утворення внаслідок процесів звітрювання Ag-вмісних нікелістого заліза і троїліту. Кристалохімічні властивості та атомні/іонні радіуси срібла й металевого або двовалентного заліза приблизно подібні, тому ці хімічні елементи можуть ізоморфно заміщувати один одного [7]. Однак у процесі звітрювання металеве і двовалентне залізо легко переходять у тривалентне, що зумовлює витіснення атомів срібла з кристалічної ґратки мінералів, у цьому випадку з нікелістого заліза і троїліту. Фактично твердофазова дифузія срібла в разі окиснення цих мінералів привела до формування субмікронних глобул та їхніх скупчень у зонах розвантаження, тобто в порах і тріщинках Fe,S,Ni-гідроксидів. Чим більшим був простір для акреції глобул, тим більші за розмірами й складніші за формою утворилися агрегати самородного срібла.

Значимо також, що не тільки в газопиловій протопланетній туманності, а й усередині материнського тіла метеорита Ag-вмісний первинний метал і троїліт неодноразово пройшли етап метаморфічних змін, пов'язаних головно з ударним метаморфізмом [18]. Довга космічна історія речовини метеорита є відповідальною за утворення рафінованого самородного срібла.

Асоціація самородного срібла з кристалами корунду, які, відповідно до ізотопних даних, мають у метеориті *Кримка* досонячну природу [9], може бути свідченням конденсаційного походження Ag-вмісних первинних мінералів. Наприклад, згідно з даними Дж. Вассона [17], 50 % Ag конденсується у вигляді твердого розчину в металі за температури 952 К і тиску  $10^{-4}$  бар. Можливо, саме такі конденсати налипли на поверхню мікропорфірової хондри ще в до- або в агломераційний період формування материнського тіла метеорита. Подальші процеси термального та ударно-метаморфічного перетворення, а також звітрювання металу і троїліту сприяли твердофазовій дифузії Ag у них з утворенням зерен самородного срібла.

Отже, знахідка в межах одного метеорита рідкісних самородних мінералів з різними фізико-хімічними властивостями і відмінними *PT*-умовами утворення має важливе значення для з'ясування умов мінералоутворення як на різних етапах конденсації протопланетної туманності [11, 17], так і внаслідок фізико-хімічних процесів перетворення первинної речовини в материнських тілах метеоритів. Отримані дані свідчать про фундаментальну роль нікелістого заліза як абсорбенту й носія рідкісних елементів прото-

планетної туманності у формуванні поліметалевих родовищ Землі. Подальші дослідження чутливішими методами хімічного складу самородних вольфраму і срібла, нікелістого заліза, трюїліту й особливо продуктів їхнього звітрювання, а також, можливо, нових асоціацій мінералів дадуть змогу наблизитись до точніших термодинамічних параметрів конденсації речовини газопилової туманності в широкому діапазоні температур, а також до істинної історії формування цих рідкісних мінералів і материнських тіл метеоритів загалом.

1. Генетические типы нанометровых зерен минералов в метеоритах / В. П. Семененко, А. Л. Гирич, С. Н. Ширинбекова, Т. Н. Горовенко, Н. В. Кичань // *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии*. – 2012. – Т. 10, № 1. – С. 1–10.
2. Латыш И. К. Серебро в природе / И. К. Латыш. – Киев : АртЭк, 1997. – 134 с.
3. Лукин А. Е. О самородном вольфраме в породах нефтегазоносных комплексов / А. Е. Лукин // *Доп. НАН України*. – 2009. – № 2. – С. 121–130.
4. Мохов А. В. Луна под микроскопом: новые данные по минералогии Луны : атлас / А. В. Мохов, П. М. Карташов, О. А. Богатиков. – М. : Наука, 2007. – 127 с.
5. Самородный вольфрам с включениями оксида иттрия из аллювия р. Большая Поля (Приполярный Урал) / М. И. Новгородова, Н. Н. Недашковская, А. В. Рассказов, Н. В. Трубкин, Е. И. Семенов, Б. Л. Кошелев // *Докл. РАН*. – 1995. – Т. 340, № 5. – С. 681–684.
6. Семененко В. П. Перша знахідка самородного срібла в метеоритах / В. П. Семененко // *Зап. Укр. мінерал. т-ва*. – 2010. – Т. 7. – С. 58–63.
7. Серебро. Геология, минералогия, генезис, закономерности размещения месторождений / [Отв. ред. Н. А. Шило]. – М. : Наука, 1989. – 240 с.
8. Угlistые включения в хондрите Крымка (LL3) / В. П. Семененко, Г. М. Колесов, Л. Г. Самойлович [и др.] // *Геохимия*. – 1991. – № 8. – С. 1111–1121.
9. Aluminum-calcium- and titanium-rich oxide stardust in ordinary chondrite meteorites / L. R. Nittler, C. M. O'D. Alexander, R. Gallino [et al.] // *Astrophys. J.* – 2008. – Vol. 682. – P. 1450–1478.
10. Carbonaceous xenoliths in the Крымка LL3.1 chondrite: Mysteries and established facts / V.P. Semenenko, E. K. Jessberger, M. Chaussidon [et al.] // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 2005. – Vol. 69. – P. 2165–2182.
11. Chemical fractionations in meteorites. VI. Accretion temperatures of H-, LL- and E-chondrites, from abundance of volatile trace elements / J. C. Laul, R. Ganapathy, E. Anders and J. W. Morgan // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1973. – Vol. 36. – P. 329–357.
12. Lin Y. T. The first meteoritic silver minerals in Peña Blanca Springs enstatite achondrite: assemblages, compositions and silver isotopes / Y. T. Lin, A. El Goresy, I. D. Hutcheon // *LPSC*. – 1989. – Vol. 20. – P. 572–573.
13. MacPherson G. J. Calcium-Aluminum-rich inclusions in chondritic meteorites / G. J. MacPherson // *Treatise on Geochemistry* : [Eds. H. D. Holland and K. K. Turekian]. – Elsevier Ltd., 2004. – Vol. 1. – P. 201–246.
14. MacPherson G. J. Primitive materials surviving in chondrites: refractory inclusions / G. J. MacPherson, D. A. Wark, J. T. Armstrong // *Meteorites and the Early Solar System* : [Eds. J. F. Kerridge, M. S. Matthews]. – Tucson : The Univ. of Arizona Press, 1988. – P. 746–807.

15. New mineral names / J. L. Jambor, V. A. Kovalenker, J. Puziewicz, A. C. Roberts // Amer. Mineralogist. – 1996. – Vol. 81. – P. 1282–1286.
16. Palme H. Solar system abundances of the elements / H. Palme, A. Jones // Treatise on Geochemistry : [Eds. H. D. Holland and K. K. Turekian]. – Elsevier Ltd., 2004. – Vol. 1. – P. 41–62.
17. Palme H. Moderately volatile elements / H. Palme, J. W. Larimer, M. E. Lipschutz // Meteorites and the Early Solar System : [Eds. J. F. Kerridge, M. S. Matthews]. – Tucson : The Univ. of Arizona Press, 1988. – P. 436–471.
18. Semenenko V. P. Shock-melted material in the Krymka LL3.1 chondrite: Behavior of the opaque minerals / V. P. Semenenko and C. Perron // Meteorit. Planet. Sci. – 2005. – Vol. 40. – P. 173–185.
19. The nanometer-sized mineral grains and their genetic types in meteorites / V. P. Semenenko, A. L. Girich, K. O. Shkurenko [et al.] // Meteorites. – 2011. – N 1. – P. 13–19.

#### FIRST RECORDS OF NATIVE TUNGSTEN AND SILVER IN METEORITES

V. Semenenko, A. Girich

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

The results of electron-microscopic, energy dispersive and microprobe studies of native tungsten and silver first found in the meteorites are given. The native tungsten is discovered within a kamacite phase of metal globules in porphyritic chondrules, and native silver is detected within weathering products of a metal-sulphide chondrule rim in the *Krymka* (LL3.1) chondrite. The minerals are presented by micro- and nanometer-sized grains and are characterized by purified chemical composition. The conclusion about a solid phase diffusion nature of the native metals in the *Krymka* chondrite is made. Formation of the native tungsten from a primary W-containing kamacite caused mainly by the processes of chondrule formation and shock metamorphism, and origin of native silver resulted from the processes of weathering of primary Ag-containing metal-sulphide phases are speculated.

*Key words:* meteorite, native tungsten, native silver, kamacite, metal-sulphide, chondrule.

#### ПЕРВЫЕ НАХОДКИ САМОРОДНЫХ ВОЛЬФРАМА И СЕРЕБРА В МЕТЕОРИТАХ

В. Семененко, А. Гірич

*ГУ “Институт геохимии окружающей среды НАН Украины”  
03680 г. Киев-142, просп. акад. Палладина, 34а  
E-mail: cosmin@i.ua*

Приведено результаты электронно-микроскопических, энергодисперсионных и рентгеноспектральных исследований впервые найденных в метеоритах самородных вольфрама и серебра. Самородный вольфрам диагностирован в камаситовой фазе металличе-



ских шариков микропорфировых хондр, а самородное серебро – в продуктах выветривания металл-сульфидной каемки хондры в хондрите *Крымка* (LL3.1). Минералы представлены микро- и нанометровыми зёрнами и имеют рафинированный химический состав. Сделано вывод о твердофазовой диффузионной природе самородных металлов в хондрите *Крымка*. Допускается, что формирование самородного вольфрама из первичного W-содержащего камасита обусловлено, главным образом, процессами хондрообразования и ударного метаморфизма, а самородного серебра – процессами выветривания первичных Ag-содержащих металл-сульфидных фаз.

*Ключевые слова:* метеорит, самородный вольфрам, самородное серебро, камасит, металл-сульфид, хондра.

Стаття надійшла до редколегії 26.04.2012

Прийнята до друку 29.05.2012