

УДК 549.2(477-551.242.5.055)

ПЕРША ЗНАХІДКА КУСОНГІТУ В ЕКСПЛОЗИВНИХ УТВОРЕННЯХ УКРАЇНИ

Н. Білик, І. Яценко, І. Побережська, В. Степанов

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, 79005 м. Львів, Україна
E-mail: natbilik@mail.ru*

В експлозивних утвореннях Українського щита вперше діагностовано карбід вольфраму – кусонгіт WC в асоціації з інтерметалевими сплавами та безкисневими мінералами. Мінерал має сталеве-сірий колір, непрозорий, з металічним блиском, різноманітної форми, розмір зерен – від 0,2 до 0,8 мм; утворює самостійні кристали та зростки з інтерметалідами. За результатами мікрозондового аналізу, емпірична формула кусонгіту – $W_{0,998}C_{1,003}$. Середнє значення мікротвердості – 2 166 кг/мм² (за шкалою Мооса – 9,03). Припускають, що формування кусонгіту і парагенетичних з ним сполук відбувається за мантийних умов, транспортування матеріалу на поверхню пов'язане з флюїдизацно-експлозивними процесами мантийного типу.

Ключові слова: кусонгіт, інтерметалевий сплав, алмаз, мантийні мінерали, експлозивна структура, Український щит.

Кусонгіт як мінерал карбід вольфраму WC (Кристалохімічна класифікація 1.ВА.25) затверджений Міжнародною мінералогічною асоціацією (ММА) і Комісією з нових мінералів і назв мінералів (КНМНМ) у жовтні 2007 р. Мінерал відкритий 1986 р. в алмазозносних хромітитах офіолітової асоціації Luobusha (графство Qusong, Тибет, Китай) [18] і названий за місцем знахідки – Кусонг (Тибет). Кристал мінералу зберігається в Геологічному музеї Китаю.

Зазначимо, що самородні метали Fe, Zn, Pb, Al, Cr, Ni, Sn, Os, Ir, Ru, Rh, Pd, Au, Ag, W, Cu, Ti, інтерметалеві та безкисневі сполуки й аналогічні карбіди (Fe-Ni, Cr-Ni, Fe-Co, Fe-Si, Fe-Ti-Si, Ni-Fe-Cr, Ni-C, Cr-C, Ti-C, W-C, Si-C, Fe-Co, Al-Fe-La, Fe-Mn, Au-Ag, Ag-Sn, Ti-W, Cu-Zn, Si-Ca, Ti-N, Si-Ca-Cu, Ni-Fe-Ir, Rt-Fe, Pt-Fe-Pd, Fe-Ru) виявлені раніше в кількох регіонах світу. Вони вивчені та описані багатьма дослідниками [13, 14, 16, 17, 19, 20]; деякі самородні метали й карбіди, аналогічні WC, знайдені на Коряцькому нагір'ї в Росії та в альпійських метаморфічних породах [15]. Дані про WC як про невідомий матеріал опубліковані 1997 р. С. Главатських зі співавт. [3].

У ході вивчення мінерального складу експлозивних утворень України ми зафіксували наявність інтерметалевих сплавів та безкисневих мінералів, в асоціації з якими і діагностовано кусонгіт. Вони виявлені в породах експлозивних структур на Українському щиті: Зеленогайської кільцевої структури, лампроїтової трубки Мрія (Західне Приазов'я), а також в експлозивних структурах Кіровоградсько-Смілянського поля. Їх відшукали в алмазозносних породах східного борту Білокоровицької структури (північно-західна частина Українського щита) [12].

Морфологію, внутрішню будову і хімічний склад зерен вивчали за допомогою сканувального електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЕММА-102-02. Твердість мінералу визначали на мікротвердометрі ПМТ-3, відкаліброваному за галітом (NaCl), навантаження на індентор становило 100 г.

Кусонгіт утворює нерівні, гранульовані або пластинчасті частинки розміром 0,2–0,8 мм. Мінерал сталевो-сірого кольору (рис. 1), непрозорий, з металічним блиском. Зерна кусонгіту мають різноманітну форму: трапляються ізометричні зерна (див. рис. 1, *в, г*), частинки призматичної (див. рис. 1, *б*) та неправильної форми (див. рис. 1, *а, з*). Деякі зерна виявляють елементи самоогранювання (див. рис. 1, *в, г*).

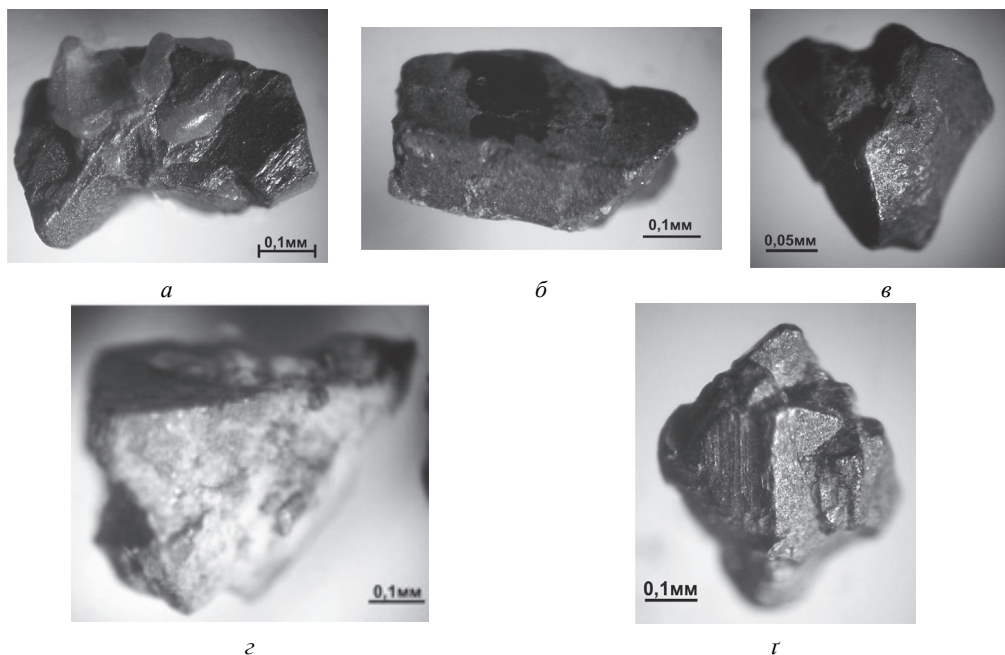


Рис. 1. Морфологія зерен кусонгіту:

а – зерно неправильної форми у зростках з кварцом; *б* – призматичне зерно з кірочкою гіпергенних змін на поверхні та кварцом (біле); *в, г* – ізометричне зерно з елементами самоогранювання; *з* – зерно неправильної форми з присипками карбонатів.

На поверхні зерен простежують нальоти або кірочки гіпергенних мінералів червоного й темно-коричневого кольору. Кусонгіт трапляється також у зростках з кварцом (див. рис. 1, *а, б*), на деяких зернах виявлено присипки карбонатів. В окремих випадках він асоціює з інтерметалевим сплавом системи Cu–Zn (рис. 2).

Поверхня зерен кусонгіту неоднорідна. У полірованих шліфах вони виявляють тонкозернистий характер структури (рис. 3, 4).

Мікрокристали, що формують цю неоднорідну структуру, мають ізометричний, короткопризматичний обрис, розмір не перевищує перших мікронів (див. рис. 4, *з*). Деяким зернам притаманна зональна будова (див. рис. 4, *в*), периферійні частини затемнені, проте хімічний склад центральної та периферійної частин не відрізняється. На наш погляд, центральна частина досліджуваних зерен має щільнішу будову.

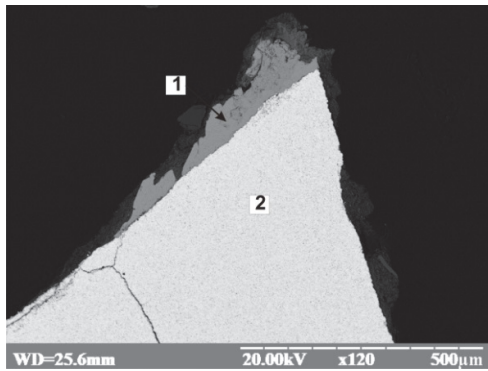


Рис. 2. Кусонгіт (2) з інтерметалідом Cu–Zn (1), Зеленогайська кільцева структура. BSE-зображення.

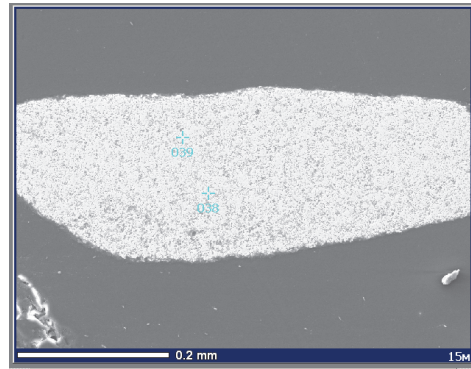
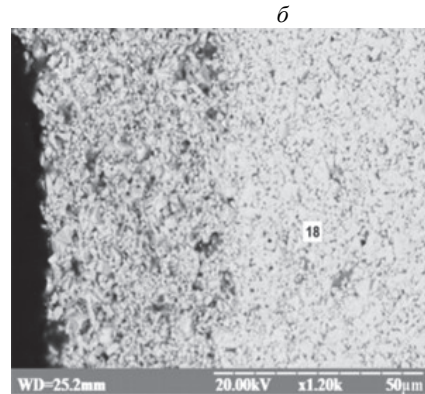
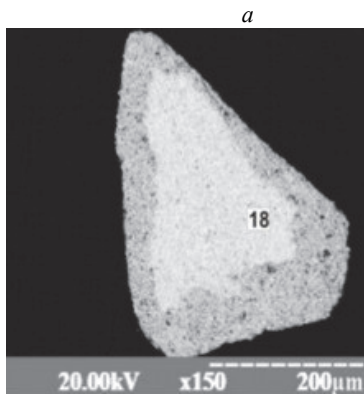
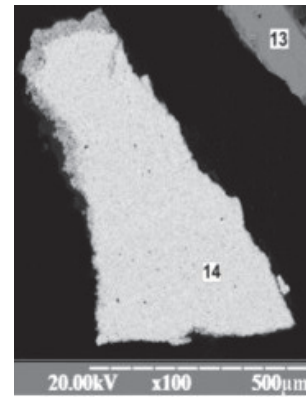
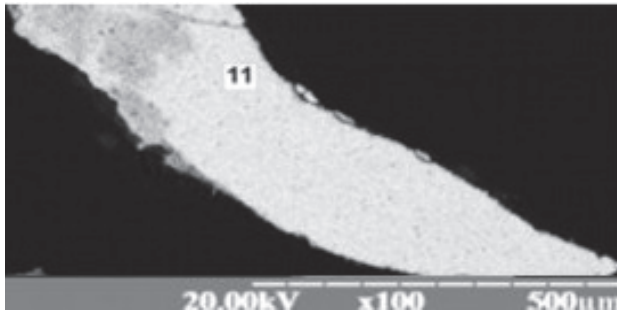


Рис. 3. Тонкозернистий характер структури зерна кусонгіту, трубка Мрія. BSE-зображення.



в

г

Рис. 4. Неоднорідна будова зерен кусонгіту:

a, б – Кіровоградсько-Смілянське поле, Кіровоградський блок (кусонгіт – зерна 11, 14); *в* – зональне зерно кусонгіту (18), Білокоровицька структура; *г* – тонкозернистий характер структури кусонгіту (збільшена ділянка зерна 18). BSE-зображення.

У процесі вивчення хімічного складу зерен з'ясовано, що кристали складені винятково з вольфраму й вуглецю (табл. 1). Вміст вуглецю варіює від 5,8 до 6,2 мас. % із середнім значенням 5,98 мас. %. За результатами мікрозондового аналізу емпірична формула кусонгіту – $W_{0,998}C_{1,003}$, спрощена – WC.

Таблиця 1

Хімічний склад (мас. %) та формульні коефіцієнти кусонгіту

Компоненти	Номер проби							
	1	2	3	4	5	6	7	8
W	93,10	92,20	92,90	92,30	86,61	88,63	92,17	91,17
C	6,20	5,90	6,00	5,90	5,80	6,00	6,00	6,01
Сума	99,30	98,10	98,90	98,20	92,41	94,63	98,17	97,18
Формульні коефіцієнти								
W	0,990	1,010	1,006	1,011	0,988	0,982	1,002	0,995
C	1,010	0,990	0,994	0,989	1,012	1,018	0,998	1,005

Примітки: 1–4 – Приазовський блок, трубка Мрія, проба 189 А/1; 5 – Білокоровицька структура, проба 1409/3; 6, 7 – Кіровоградський блок, Кіровоградсько-Смілянське поле, св. 4056-83; 8 – Зеленогайська кільцева структура, св. 4096.

Вимірювання мікротвердості мінералу, який за мікрозондовим аналізом діагностовано як кусонгіт, виконували на приладі ПМТ-3. Проведено 52 заміри. Мінімальне значення мікротвердості становило 1 850 кг/мм² (за шкалою Мооса – 8,6), максимальне – 2 595 (9,5), середнє – 2 166 кг/мм² (9,03). Максимальна кількість замірів (21) потрапляє в поле з мікротвердістю 2 270 кг/мм² (9,13) (рис. 5).

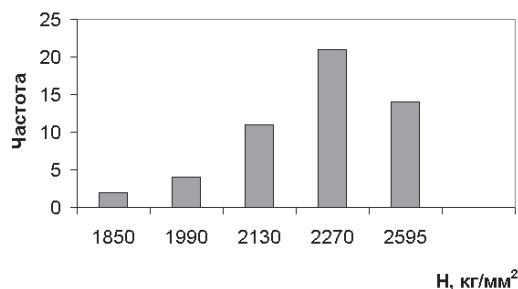


Рис. 5. Гістограма розподілу мікротвердості кусонгіту із Зеленогайської кільцевої структури.

Разом з кусонгітом у всіх випадках виявлено специфічну мінералізацію (табл. 2), представлену самородними металами Si, Fe, Zn, Pb, Cr, Ni, Au, Ag, W, Cu, Ti, Sb, As, Sn, їхніми інтерметалевими сплавами, безкисневими сполуками Fe-Si, Fe-Ti-Si, Ni-Fe-Cr, Ni-C, Fe-C, Cr-C, Ti-C, W-C, Fe-Co, Al-Fe-La, W-C, Fe-Mn, Au-Ag, Ag-Sn, Ti-W, Cu-Zn, Si-Ca, Ti-N, Fe-Si, Si-Ca-Cu, Ni-Fe-Ir, Rt-Fe, Pt-Fe-Pd, Fe-Ru та безкисневими мінералами (алмаз, муасаніт, когеніт), що свідчить про різко відновне середовище формування кусонгіту. У багатьох випадках наявні також силікатно-металеві сферули та гіалокласти глибинного типу [2, 4, 5, 8]. Оскільки кусонгіт фіксується в одному і тому ж мінеральному парагенезисі незалежно від місця знахідки (див. табл. 2), то це свідчить про споріднений тип джерела формування. Специфічні флюїдизаційно-експлозивні процеси забезпечують транспортування глибинної речовини у приповерхневі шари.

Таблиця 2

Мінеральні асоціації з кусонгітом та супутні їм

Геолого-структурна позиція	Супутні мінеральні асоціації			
	Безкисневі мінерали та сполуки	Самородні метали, інтерметалеві сплави	Глибинні мінерали кімберліт-лампроїтового парагенезису	Сферули, гіалокласти [9]
1	2	3	4	5
Хромітити у складі офіолітової асоціації Луобуса, Тибетське плато [17]	Алмаз, муасаніт, $Fe_{0,84}Si_2$ (luobusaite), Fe-Ti-Si, Ni-C, Fe-C, Cr-C, Ti-C, Si-Ca-Cu, Ti-N, Si-Ca, кусонгіт	Fe-Mn, Os-Ir, Ni-Fe-Cr, Fe-Co, Al-Fe-La, Fe-Mn, Au-Ag, Ag-Sn, Ti-W, Cu-Zn, Ni-Fe-Ir, Rt-Fe, Pt-Fe-Pd, Fe-Ru	Коесит, хромшпінеліди	
Вулканокластичні відклади, трубка Мрія, Приазовський блок Українського щита	Алмаз, муасаніт, кусонгіт	Pb, Sn+Pb, Pb-As, Sn-Pb-As, Cu-Zn, Au	Мантіїний корунд з сингенетичними включеннями аморфної оксидної фази системи Al-Zr-Fe-Ti-TR, циркон, ільменіт, ставроліт	Титан-манган-залізо-силікатні сферули та гіалокласти, Au (сферули)
Вулканокластичні відклади, експлозивні структури Кіровоградсько-Смілянського поля, Кіровоградський блок Українського щита	Алмаз, кусонгіт	Cu-Zn	Циркон, ільменіт	Магнетит-вюстит-залізні сферули, титан-манган-залізо-силікатні сферули
Вулканокластичні відклади, Зеленогайська кільцева структура, Кіровоградський блок Українського щита	Алмаз, кусонгіт	Fe, Cu, Cu-Zn, Fe-Cu	Альмандин, циркон, пікроільменіт, хромшпінеліди	Титан-манган-залізо-силікатні сферули, гіалокласти з олівіном та самородним залізом
Вулканогенно-осадові породи, білокоровицька світа, східний борт Білокоровицької структури, північно-західна частина Українського щита	Алмаз, муасаніт, кусонгіт, FeSi	Fe, Al, Al-Cu, Cu-Zn, Fe-Ni-Cr, Ag, Cu-Ag, Au, Pb, Cu	Піроп, олівін, кіаніт, хромшпінеліди, пікроільменіт, корунд, монацит	Комплекс сферул різноманітного складу (магнетит-вюстит-залізні, Ti-Mn-Fe-силікатні, кальцій-силікатні та ін.)

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5
Продукти експлозії на другому конусі Північного прориву Великого Тріщинного Толбачинського виверження у fumarolі Трубка [2]	Муасаніт, когеніт	Fe, Cu, Al, Zn, Pb, Sn, Ti		

Загальновідомими й досконало вивченими типами прояву флюїдизатно-експлозивної діяльності є вибухові структури кімберліт-лампроїтового типу. Це пов'язано з їхньою комерційною цінністю як носія алмазів. Вивчення інших типів флюїдизатно-експлозивних утворень мантійного типу нині перебуває на стадії розвитку [1, 9–11]. Китайські дослідники описану мінеральну асоціацію так і називають – “мантіїні мінерали” [18].

Принциповим є питання походження безкисневих сполук та їхнього зв'язку з генезисом алмазу. На нашу думку, можливе існування двох способів утворення. Перший – це безпосереднє транспортування речовини металосфери в поверхневі умови за участю імпульсних експлозивних процесів. Другий пов'язаний з можливими процесами металізації окисно-силікатних оболонок Землі внаслідок впливу глибинних високовідновних флюїдів. А. Лукін виділив їх в особливу групу “гіперглибинних” вуглеводневих утворень, що охоплюють і самородні метали, походження яких він пов'язує з рівнем поділу ядро–мантія [6]. У комплексі всі дані свідчать на користь більш глибинного рівня формування цих сполук, ніж глибина формування кімберлітів.

А. Макеєв зі співавт. [7] виявив півки зазначених вище самородних металів та їхніх сплавів на поверхні алмазів уральського типу, а також аналогічні включення в середині кристалів. Це дало змогу стверджувати, що уральські алмази належать до окремого, глибинного некімберлітового типу. За розрахунками авторів, такі мінеральні асоціації сформовані за температури 1 600–2 500 °С. Утворення карбиду вольфраму відбувається у високотемпературному середовищі, оскільки температура його плавлення значно вища, ніж інших карбідів металів [15].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алмазоносные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. Опыт минерогенеза алмаза / Г. М. Яценко, Д. С. Гурский, Е. М. Сливко [и др.]. – Киев : УкрГГРИ, 2002. – 331 с.
2. Бекеша С. Особливості морфології та внутрішньої будови мікросферул України / С. Бекеша, І. Яценко // Мінерал. зб. – 2010. – № 60, вип. 2. – С. 89–96.
3. Главатских С. Ф. Новые данные о природном карбиде вольфрама / С. Ф. Главатских, М. Е. Генералов, Н. В. Трубкин // Докл. АН. – 1997. – Т. 352, № 2. – С. 226–229.
4. Ендогенні Ti-Mn-Fe-силікатні сферули із експлозивних структур та вулканогенно-осадових формацій України / І. Яценко, Г. Яценко, С. Бекеша [та ін.] // Мінерал. зб. – 2012. – № 62, вип. 1. – С. 83–101.
5. Леткі компоненти в ендогенних сфералах у зв'язку з проблемою флюїдизатно-експлозивного рудогенезу / І. Яценко, Г. Яценко, І. Наумко [та ін.] // Мінерал. зб. – 2012. – № 62, вип. 2. – С. 189–199.

6. Лукин А. Е. О включениях природного соединения кальция и углерода в минеральных образованиях, связанных с внедрением суперглубинных флюидов / А. Е. Лукин // Доп. НАН України. – 2007. – № 1. – С. 122–130.
7. Макеев А. Б. Природный синтез алмаза через металлические мембраны / А. Б. Макеев // Петрология литосферы и происхождение алмаза : Междунар. симпозиум, посвящ. 100-летию со дня рождения акад. В. С. Соболева : тез. докл. – Новосибирск, 2008. – С. 58.
8. Мантийное вещество эксплозивного происхождения в осадочных формациях Карпатского региона, связь с проблемами нефтегазоносности и рудоносности / И. Яценко, Н. Билик, Р. Кудеравец [и др.] // Геодинамика. – 2013. – № 2 (15). – С. 72–74.
9. Рыбальченко А. Я. Теоретические основы прогнозирования и поисков коренных месторождений алмазов туффизитового типа / А. Я. Рыбальченко, Т. М. Рыбальченко, В. И. Силаев // Изв. Коми НЦ УрО РАН. – 2011. – Вып. 1 (5). – С. 54–66.
10. Флюидно-эксплозивные образования в осадочных комплексах / А. П. Казак, Н. Н. Копылова, Е. В. Толмачёва, К. Э. Якобсон. – СПб. : Минерал, 2008. – 42 с.
11. Флюїдизатно-експлозивні та кластитові формації докембрію Українського щита / Г. М. Яценко, Є. М. Сливко, О. В. Гайовський [та ін.] // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2009. – Вип. 23. – С. 47–70.
12. Яценко И. Г. Самородные металлы и другие безкислородные соединения эксплозивного происхождения / И. Г. Яценко, С. Н. Бекеша, Н. Т. Билик // Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых : междунар. науч.-практ. конф. Судакские геологические чтения IV (IX) : материалы. – Судак, 2013. – С. 94–96.
13. Bird J. M. Josephinite: Specimens from the Earth's core? / J. M. Bird and M. S. Weathers // Earth Planet. Sci. Letters. – 1975. – Vol. 28. – P. 51–64.
14. Melville W. Josephinite, a new nickel-iron / W. Melville // Am. J. Sci. – 1892. – Vol. 43. – P. 509–515.
15. Native metals and carbides in alpine-type ultramafites of Koryak Highland / N. S. Rudashevsky, G. G. Dmitrenko, A. G. Mochalov and Y. P. Men'shikov // Acta Mineralogica Sinica. – 1983. – N 9. – P. 71–82 (in Russian).
16. Origin of podiform chromitites, diamonds, and associated mineral assemblage in the Luobusa ophiolite, Tibet / Bai W. J., Zhou M. F., P. T. Robinson [et al.]. – Beijing : Seismological Publishing House, 2000 (in Chinese).
17. Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: A study of solid and fluid inclusions in chromite / F. Melcher, W. Grum, G. Simon [et al.] // J. Petrol. – 1997. – Vol. 38. – P. 1419–1458.
18. Qusongite (WC): A new mineral / Qingsong Fang, Wenji Bai, Jingsui Yang [et al.] // Am. Mineral. – 2009. – Vol. 94. – P. 387–390.
19. Shi N. C. Crystal chemistry of metallic carbides in the depth of Earth / Shi N. C., Bai W. J. and Li G. W. // Earth Science Frontiers. – 2005. – N 12. – P. 29–35 (in Chinese).
20. Ultra-high pressure minerals in the Luobusa ophiolite, Tibet and their tectonic implications / P. T. Robinson, Bai W. J., J. Malpas [et al.] // Tectonics of China. – Geol. Society of London Special Publication, 2004. – Vol. 226. – P. 247–271.

*Стаття: надійшла до редакції 15.08.2014
прийнята до друку 24.09.2014*

THE FIRST OCCURRENCE OF QUSONGITE IN EXPLOSIVE FORMATIONS OF UKRAINE

N. Bilyk, I. Yatsenko, I. Poberezhska, V. Stepanov

*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskiy St., 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: natbilik@mail.ru*

Tungsten carbide – qusongite WC – has been first discovered in explosive formations of the Ukrainian Shield in association with intermetallic alloys and oxygen-free minerals. Qusongite is steel-gray in colour, opaque, with a metallic lustre, has different shapes, grain size is from 0,2 to 0,8 mm; it forms separate crystals and intergrowths with intermetallic compounds. According to the microprobe analysis results, the empirical formula of qusongite – $W_{0,998}C_{1,003}$. The average value of microhardness is 2 166 kg/mm² (on the Mohs scale – 9,03). Probably, qusongite and paragenetic compounds have been formed under the mantle conditions; the transportation of material to the surface has been connected with fluidized-explosive processes of mantle type.

Key words: qusongite, intermetallic alloy, diamond, mantle minerals, explosive structure, Ukrainian Shield.

ПЕРВАЯ НАХОДКА КУСОНГИТА В ЭКСПЛОЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ УКРАИНЫ

Н. Билык, И. Яценко, И. Побережская, В. Степанов

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Грушевского, 4, 79005 г. Львов, Украина
E-mail: natbilik@mail.ru*

В эксплозивных образованиях Украинского щита впервые диагностировано карбид вольфрама – кусонгит WC в ассоциации с интерметаллическими сплавами и безкислородными минералами. Кусонгит стально-серого цвета, непрозрачный, с металлическим блеском, разнообразной формы, размер зерен – от 0,2 до 0,8 мм; образует самостоятельные кристаллы и сростки с интерметаллидами. По результатам микрозондового анализа, эмпирическая формула кусонгита – $W_{0,998}C_{1,003}$. Среднее значение микротвердости составляет 2 166 кг/мм² (по шкале Мооса – 9,03). Возможно, формирование кусонгита и парагенных с ним соединений происходило в мантийных условиях; транспортирование материала на поверхность связано с флюидизатно-эксплозивными процессами мантийного типа.

Ключевые слова: кусонгит, интерметаллический сплав, алмаз, мантийные минералы, эксплозивная структура, Украинский щит.