

УДК 523.681

МІНЕРАЛОГІЯ МЕТЕОРИТНИХ КУЛЬОК КАРПАТСЬКОГО БОЛІДА EN171101

В. Семененко, А. Гіріч, Т. Горovenко

*Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України
та Міністерства з надзвичайних ситуацій України
03680 м. Київ, просп. акад. Палладіна, 34,а
E-mail: cosmin2@i.com.ua*

Наведено результати пошуку фрагментів боліда EN171101, який упав у Закарпатті 17 листопада 2001 р., а також структурно-мінералогічного і хімічного дослідження кульок, відібраних у пробах ґрунту під траєкторією польоту боліда.

Ключові слова: болід, метеорит, кульки, мінерали, хімічний склад, Закарпаття.

Сімнадцятого листопада 2001 р. близько 20 год за київським часом жителі Західної України, Словаччини, Польщі та Угорщини спостерігали над Карпатами величезний яскравий болід, який пролетів з північного сходу на південний захід, що супроводжувалось типовими світловими і звуковими ефектами. Цей болід зареєстрований трьома чеськими і двома словацькими станціями Європейської болідної мережі й отримав назву EN171101 [5]. Згідно з даними болідної служби, світлова траєкторія завдовжки 106 км простягнулась від м. Долина Івано-Франківської обл. до селища Тур'ї Ремети Перечинського р-ну Закарпатської обл. Болід масою близько 4 300 кг увійшов в атмосферу Землі на висоті 81,4 км під кутом 40° зі швидкістю 18,5 км/с. На висоті 31,9 км унаслідок вибуху він втратив 72 % початкової маси і продовжив рух у вигляді групи з трьох фрагментів [5]. У точці затримки на висоті 13,5 км біля с. Тур'ї Ремети болід загас і випав на землю у вигляді кількох фрагментів загальною масою близько 450 кг. Район падіння метеорита розташований поряд з місцем падіння найбільшого (загальною масою 500 кг) українського кам'яного метеоритного дощу *Княгиня*, який випав у с. Княгиня Великоберезнянського р-ну 1866 р. Згідно з оцінками астрономів П. Спурного і В. Порубчана [5], метеорит є кам'яним і належить, найімовірніше, до звичайних хондритів.

На жаль, як зазначають астрономи [5], усі п'ять болідних станцій розташовані дуже далеко від траєкторії польоту (190–620 км) і лише з північно-західного боку від неї, що різко зменшило точність визначення основних параметрів польоту тіла. Тобто реєстрація польоту боліда поза межами болідної мережі в 10 разів гірша, ніж у її межах. Крім того, фіксація боліда дуже низько над горизонтом не дала змоги забезпечити його фотометрію стандартними камерами.

З 2002 по 2007 рр. співробітники відділу космoeкології та космічної мінералогії Інституту геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України в районі падіння боліда (рис. 1) провели шість щорічних експедицій з пошуку зразків метеорита, тобто залишків боліда EN171101 [1, 4]. Експедиції організовували у найсприят-

лівіший для пошуків час, на початку весни, а саме – у період від танення снігу до появи листя (див. таблицю). Метеорит шукали візуально й за допомогою міношукачів з урахуванням досвіду загальносоюзних і міжнародних метеоритних експедицій.



Рис. 1. Полонина Руна, над якою пролетів болід EN171101.

Загальні відомості про Закарпатські метеоритні експедиції
ІГНС НАН та МНС України

Роки	Період	К-ть учасників	Програма робіт	Оглянута площа, км ²
2002	23.03–31.03	6	1. Опитування очевидців 2. Візуальне шукання зразків метеорита в голові еліпса розсіяння	5
2003–2007	01.04–23.04	13–15	1. Опитування очевидців 2. Візуальне шукання зразків метеорита за еліпсом розсіяння та під траєкторією польоту боліда 3. Шукання дрібних зразків за допомогою міношукачів на відкритих галявинах і полонинах під точкою затримки (другого вибуху) боліда та вздовж траєкторії польоту 4. Відбір 11 проб ґрунту під траєкторією польоту боліда для пошуку метеоритних кульок 5. Проведення лекцій у місцевих школах про природу й характерні ознаки метеоритів	80, у тім числі близько 3 км ² , оглянутих за допомогою міношукачів

На жаль, з огляду на складний економічний стан України, у першу весняну поїздку нам не вдалося провести повноцінні розшукові роботи ще до появи першого листя, що різко знизило ефективність пошуків у наступні експедиції. Тому ми зосередились лише на збиранні свідчень у спостерігачів, а також на огляді найперспек-

тивніших для шукання ділянок. Хоча зразки метеорита не знайшли, проте в першу ж експедицію отримано важливі свідчення очевидців, які дали змогу зробити два висновки: 1) точка загасання боліда відповідає даним астрономів П. Спурного і В. Порубчана [5] і визначена саме над вершиною гори Магурач, що на східній околиці с. Тур'ї Ремети (рис. 2); 2) у точці загасання зафіксовано другий вибух боліда і фрагментацію на велику кількість уламків, що не зареєстровано болідною службою. Отже, свідчення очевидців породили перший сумнів щодо ймовірності знахідки великих уламків метеорита.



Рис. 2. Гора Магурач, розташована на східній околиці с. Тур'ї Ремети. Саме над нею очевидці спостерігали другий вибух і фрагментацію боліда.

Згідно з першим повідомленням П. Спурного і В. Порубчана, еліпс розсіяння зразків метеорита по площі поверхні відповідає за розміром 33×11 км. На жаль, територія пошуку дуже складна в морфологічному, геологічному і ботанічному аспектах. Якщо врахувати, що більша частина еліпса розсіяння має гірський рельєф з типовими крутими схилами, каньйонами та кам'яними осипами, то зрозумілою є складність пошуку метеорита. Серед гірських порід тут зафіксовано теригенні (пісковики, гравеліти, конгломерати, алевроліти, аргіліти, мергелі) та вулканогенні породи (андезити, туфи, ріоліти), частина з яких за зовнішнім виглядом дуже подібна до метеоритних зразків.

За всі роки в еліпсі розсіяння оглянуто близько 85 км^2 найперспективніших для пошуків ділянок. З огляду на складний гірський рельєф, реальні розміри оглянутої території є вдвічі–втричі більшими. Однак близько 15–20 % цієї місцевості залишились поза нашою увагою. Це річки, озера, непролазні хащі ожини й березняку, а також завали. Крім того, близько 3 км^2 відкритої території без дерев і кущів оглянуто за допомогою міношукачів для пошуку дрібних зразків як у районі другого вибуху і точки загасання боліда, так і під траєкторією його польоту. На жаль, усі наші зусилля не привели до бажаного результату. Жодного зразка метеорита не знайдено.

Ми звернулись до завідувача відділу регіональних проблем геофізики Інституту геофізики НАН України В. Омельченка з проханням підтвердити припущення чеських астрономів про падіння на землю великих зразків метеорита. Проте моніторинг записів місцевих геофізичних станцій, які розташовані на відстані близько 20 км від місця ймовірного падіння метеорита, засвідчив, що 17 листопада 2001 р. близько 20 год за київським часом на територію Закарпаття не падали тіла масою понад 20–30 кг.

У польовий сезон 2006 р. під траєкторією польоту боліда на відкритих галявинах було відібрано 11 проб ґрунту розміром 10×20 см і глибиною 5 см для подальшого пошуку в них метеоритних кульок як єдиного поки що матеріального доказу падіння метеорита. Такі кульки є продуктом абляції поверхні метеорита під час польоту в атмосфері. Вони утворюються внаслідок випаровування поверхневої речовини метеорита й повторної її конденсації з наступним осіданням кульок на поверхню Землі. Ранні мінераграфічні дослідження [2] зовнішньої кори плавлення звичайного хондрита *Кунашак* і зібраних у районі його падіння метеоритних кульок засвідчили ідентичність їхнього мінерального складу і будови. Знайдені метеоритні кульки були магнітні, щільні, пористі або пустотілі й склалися з силікатів із включеннями дрібних зерен магнетиту розміром 1–5 мкм.

Сьогодні на поверхні Землі, а саме – у сучасних ґрунтах, глибоководних осадах, льодовиках, а також у давніх породах знайдено численні кульки, утворення яких зумовлене процесами швидкого переплавлення й охолодження речовини. За природою вони різноманітні: космогенні, що постійно осідають з міжпланетного простору на поверхню Землі, метеоритні, вулканогенні й техногенні. Частина кульок утворюється внаслідок пожеж. Незалежно від походження вони мають подібні або навіть ідентичні макроскопічні характеристики (розмір, колір, форму), скульптуру поверхні, внутрішню будову, а в деяких випадках і мінеральний склад. Водночас головною ідентифікаційною прикметою природи кульок є їхній хімічний склад. Наприклад, для метеоритних кульок дуже важливою ознакою є наявність нікелю в металевих мінералах.

Відібрані нами проби ґрунту були висушені й надалі досліджені в лабораторних умовах. Для сепарації магнітної фракції відібрано по половині кожної проби. Загальна маса сепарованих висушених проб становила близько 3,6 кг. Унаслідок макроскопічних досліджень магнітної фракції загальною масою 3 г, що відповідає близько 0,08 % від маси проб, відібрано близько 200 кульок для детальних електронно-мікроскопічних і хімічних досліджень. Більшість з них має ідеальну форму, окремі еліпсоїдні, що свідчить про їхню незначну деформацію ще в пластичному стані, а поодинокі представлені оплавленими півкулями. На поверхні деяких кульок є структури налипання значно менших за розміром кульок або вм'ятини від них, що пов'язано з активною взаємодією цих об'єктів у процесі їхнього формування.

Виконано структурно-мінералогічні дослідження 42 кульок за допомогою сканувальних електронних мікроскопів JSM 6060 LA (Інститут ботаніки НАН України), JSM 6490 LV (ІГНС НАН та МНС України) та JSM 6700 F (ІГМР НАН України), а також хімічний аналіз 29 з них за допомогою енергодисперсійних спектрометрів (EDS), якими обладнані електронні мікроскопи. Розміри досліджених кульок (45–900 мкм) відповідають розмірам космічних кульок [6]. Вони мають чорний або бурий, рідше сірий колір, більшість з масним або металічним блиском. Електронно-мікроскопічні дослідження поверхні кульок засвідчили, що більшість з них має

полікристалічну або дрібнозернисту будову (рис. 3, *а, б*), частина покрита суцільною або фрагментарною тоненькою корою плавлення. В деяких на поверхню виходять окремі грубі зерна. Поверхня поодиноких кульок з частковим оплавленням мінералів.

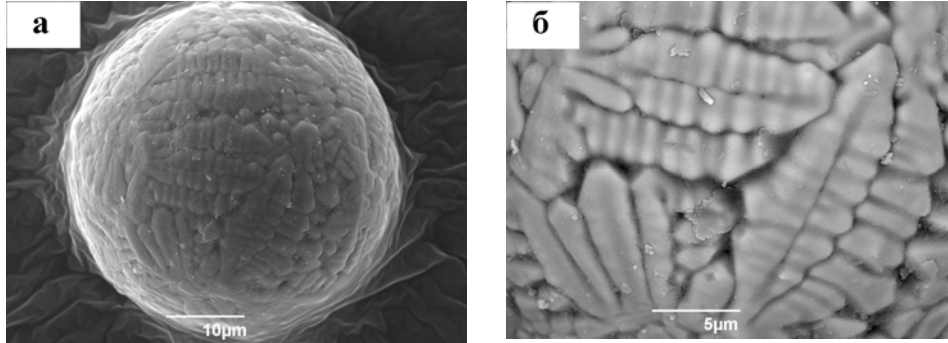


Рис. 3. Електронно-мікроскопічні знімки добре розкристалізованої іоцитової кульки: *а* – загальний вигляд кульки у вторинних електронах; *б* – полікристалічна будова поверхні кульки, складена дендритами. У відбитих електронах.

За хімічним складом, а відповідно, і походженням кульки можна розділити на три групи: ймовірно метеоритні, техногенні та невідомого походження.

До першої групи належать п'ять кульок, які можуть бути продуктом абляції метеорита. За мінералогією вони подібні до кори плавлення хондритів. Перша кулька складена іоцитом (мас. %: 98,5 FeO, 0,81 Cr₂O₃ і 0,68 CoO), тобто типовим метеоритним мінералом, який, згідно з даними [2], утворюється під час ударного метаморфізму або в корі плавлення. Зазначимо, що дендритна будова монокристалів (див. рис. 3, *б*) у полікристалічній кульці є типовою морфологічною ознакою іоциту. Друга кулька складена магнетитом (рис. 4, *а*) і містить до 0,79 мас. % Ni та до 1,82 мас. % S. Третя – силікат-магнетитова. Мікроскопічні дослідження полірованих шліфів другої і третьої кульок довели, що одна з них повністю складена дендритами магнетиту і має ексцентрично-променисту будову (див. рис. 4, *б*), а це є ознакою її швидкого охолодження в процесі утворення. Друга пустотіла і містить дві генерації скелетних кристалів магнетиту (рис. 5, *а*), розміщених у склі зі складом, близьким до плагіоклазу. Перша генерація представлена великими кристалами і дендритами, а друга – дуже дрібними дендритами магнетиту. Це свідчить про поетапне охолодження кульки, повільніше на початку і прискорене наприкінці. Четверта кулька за хімічним складом близька до фаяліту Fe₉₉, тобто типового мінералу хондритів, а п'ята – до фесаїту (див. рис. 5, *б*), рідкісного для метеоритів мінералу, знайденого, зокрема, в Ca,Al-включеннях вуглистих хондритів. П'ята вміщує, мас. %: 51,4 SiO₂, 18,2 Al₂O₃, 15,7 CaO, 4,5 FeO, 3,8 MgO, 2,7 Na₂O і 2,3 K₂O. Наявність невеликої кількості Na₂O і K₂O може бути пов'язана з земним забрудненням. Зазначимо, що знахідка кульки, близької за складом до фесаїту, засвідчує ймовірну належність метеорита до вуглистих хондритів. Вуглисті хондрити дуже крихкі, тому ми вважаємо вірогідним, що невеликі фрагменти, на які розпався болід EN171101, або повністю згоріли в атмосфері, або випали на поверхню у вигляді поодиноких дрібних зразків.

Найчисленнішу групу становлять 22 кульки промислового походження: а) це 13 силікатних кульок (рис. 6, а), збагачених до 40,6 мас. % Al_2O_3 ; 38,0 – CuO , 19,3 – MnO , 10,4 – V_2O_5 , 10,0 – K_2O , 7,7 – TiO_2 та 4,4 – MnO , тобто не типовими для метеоритів компонентами. Окремі з них містять включення звичайного земного мінералу, кварцу; б) 5 силікатних кульок, які збагачені до 41,9 мас. % CaO , 34,5 – Al_2O_3 , 12,9 – K_2O , 7,8 – CuO , 4,8 – MnO , 3,6 – TiO_2 та 1,4 – ZnO і містять включення оксидів заліза, зокрема магнетиту; в) три магнетитові кульки, що вміщують до 2,4 мас. % S і 1,8 – MnO ; г) сульфідна кулька, збагачена Ca , Si , Al , Na і Mg .

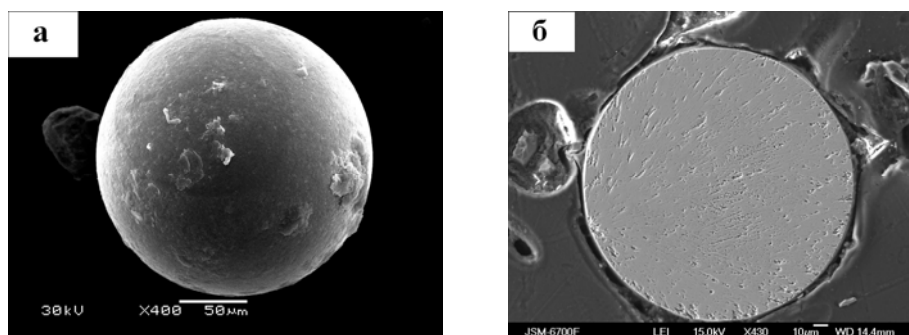


Рис. 4. Електронно-мікроскопічні знімки магнетитової кульки ймовірно метеоритного походження, яка містить до 0,79 мас. % Ni та 1,82 мас. % S :

а – загальний вигляд кульки у вторинних електронах; б – полірований зріз кульки у відбитих електронах. Добре видно її ексцентрично-променисту будову.

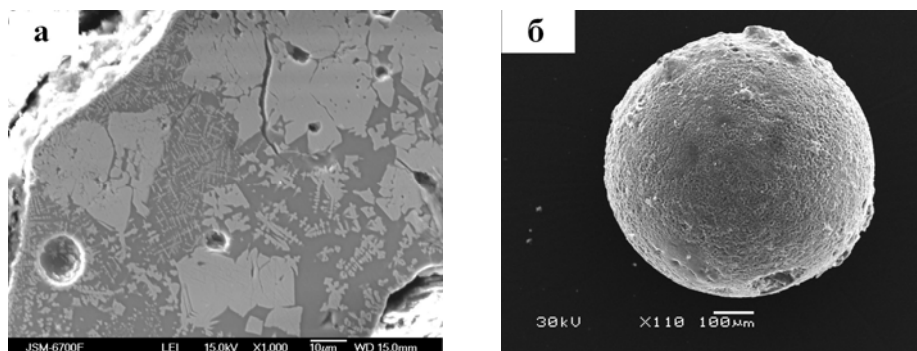


Рис. 5. Електронно-мікроскопічні знімки кульок імовірно метеоритного походження:

а – внутрішня будова силікат-магнетитової кульки у відбитих електронах. Магнетит (ясно-сірий) утворює скелетні кристали двох генерацій; б – силікатна кулька з близьким до фасаїту хімічним складом. У вторинних електронах.

До третьої групи зачислено три кульки, які мають невідоме походження й складені магнетитом (див. рис. 6, б) або вюститом, а також збагачені до 2,3 мас. % S . Вони можуть бути як космічними, так і техногенними.

Отже, отримані нами дані, а саме – свідчення очевидців про два етапи фрагментації боїда, а не один, як зафіксували астрономи, відсутність геофізичних даних про падіння в районі с. Тур'ї Ремети метеоритів масою понад 20–30 кг, безрезультатність наших системних експедиційних робіт і підпільних пошукових груп, а також імовірність вуглистої природи метеорита, що ґрунтується на наших лабора-

торних дослідженнях, дають підстави зробити висновок про незначну масу і кількість метеоритних зразків, які ймовірно випали на землю. Однак ми не відкидаємо можливість їхньої знахідки в майбутньому.

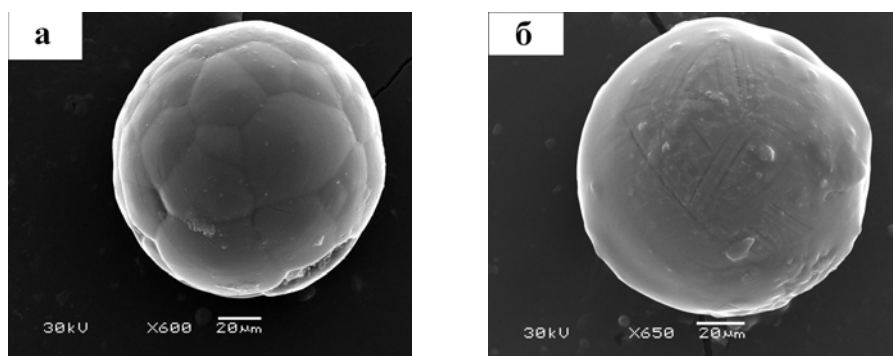


Рис. 6. Електронно-мікроскопічні знімки кульок у вторинних електронах:

a – одна з силікатних кульок промислового походження, яка має розкристалізовану поверхню і збагачена до 19,3 мас. % MnO, 15,6 – Al₂O₃ і 10,4 – V₂O₅; *b* – магнетитова кулька невідомого походження, яка містить 0,1 мас. % Ni. Добре видно, що поверхня частково розкристалізованої кульки оплавлена.

Зазначимо також про численні випадки безрезультатних шукань метеоритів у різних країнах після їхньої реєстрації болідними службами й очевидцями. Зокрема, 9 грудня 1997 р. над Гренландією пролетів суперболід [3], що задокументовано астрономами з великою точністю, а на розшуки метеорита негайно відправлено велику, добре підготовлену експедицію. На жаль, розшукова група не знайшла ні зразків метеорита, ні метеоритних кульок.

Ми вдячні всім, хто допомагав нам в організації та проведенні експедицій, передусім О. Алексєєвій, Д. Дьоменку, В. Сливінському і С. Кушніру за допомогу у відборі, препаруванні та проведенні електронно-мікроскопічних і енергодисперсійних досліджень кульок.

1. Семененко В.П. І чому це не метеорит..? // Світогляд. 2008. № 1. С. 58–63.
2. Юдин И.А., Коломенский В.Д. Минералогия метеоритов. Свердловск: Академия наук, 1987. 200 с.
3. Pedersen H., Spalding R.E., Tagliaferri E. et al. Greenland superbolide event of 1997 December 9 // Meteorit. Planet. Sci. 2001. Vol. 36. P. 549–558.
4. Semenenko V.P. Did the Ukrainian bolide EN171101 survived as a meteorite? // Meteorite. 2009. November. P. 21–25.
5. Spurny P., Porubčan V. The EN171101 bolide – the deepest ever photographed fireball // Proceedings of Asteroids, Comets, Meteors – ACM 2002 / Ed. B. Warnein. ESA SP-500. 2002. P. 269–272.
6. Taylor S., Lever J.H., Harvey R.P. Numbers, types, and compositions of an unbiased collection of cosmic spherules // Meteorit. Planet. Sci. 2000. Vol. 35. P. 651–666.

**MINERALOGY OF METEORITE SPHERULES
OF THE CARPATHIAN BOLIDE EN17110****V. Semenenko, A. Girich, T. Gorovenko**

*Institute of Environmental Geochemistry of NASU and Ministry of Ukraine
of Emergencies and Affairs of Population Protection from the Consequences
of Chernobyl Catastrophe
34a, Acad. Palladin Av., UA – 03680 Kyiv-142, Ukraine
E-mail: cosmin2@i.com.ua*

The results of searches for fragments of the bolide EN171101 that was observed in Transcarpathians region of Ukraine on November 17, 2001, and the data on mineralogical and chemical study of spherules selected from soil under the luminous trajectory of the bolide are given.

Key words: bolide, meteorite, spherules, minerals, chemical composition.

**МИНЕРАЛОГИЯ МЕТЕОРІТНИХ ШАРИКОВ
КАРПАТСКОГО БОЛИДА EN171101****В. Семененко, А. Гирич, Т. Горovenko**

*Институт геохимии окружающей среды НАН Украины
и Министерства по чрезвычайным ситуациям Украины
03680 г. Киев, просп. акад. Палладина, 34,а
E-mail: cosmin2@i.com.ua*

Представлены результаты поисков фрагментов болида EN171101, который упал в Закарпатье 17 ноября 2001 г., а также структурно-минералогических и химических исследований шариков, отобранных в пробах грунта под траекторией полета болида.

Ключевые слова: болид, метеорит, шарики, минералы, химический состав, Закарпатье.

Стаття надійшла до редколегії 22.05.2009

Прийнята до друку 15.09.2009