

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.01.030>

УДК 523.681.8

Е.П. Гуров, <https://orcid.org/0000-0002-3846-0577>

В.В. Пермяков, <https://orcid.org/0000-0002-5339-2269>

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна

E-mail: 0673866227@ukr.net

Акцесорні самородні метали і сплави в ударно-розплавлених породах кратера Ельгигитгин, Чукотка

Акцесорну мінералізацію самородних металів і сплавів було виявлено електронно-мікроскопічним вивченням ударних розплавів гірських порід у південній та південно-східній частинах ударного кратера Ельгигитгин. Ці утворення представлені сплавами срібла, міді, олова, свинцю і рідше самородними металами. Ударно-розплавлені породи мають везикулярну структуру і містять численні фрагменти багатих на вуглець глинистих частинок, що знаходяться в газових бульбашках у склоподібній матриці. Внутрішня поверхня цієї речовини всередині газових бульбашок є основним субстратом для кристалізації самородних металів і сплавів. Їх джерелом ми припускаємо рудне родовище, розташоване в зоні ударного плавлення мішені під час удару астероїда, тоді як донні осади місцевого озера на поверхні мішені були ймовірним джерелом глинистих уламків.

Ключові слова: самородні метали, ударний кратер Ельгигитгин, ударно-розплавлена гірська порода, газові пухирці, астероїд.

Ударний кратер Ельгигитгин віком $3,58 \pm 0,04$ млн років розташований у зовнішній зоні пізньокрейдового Охотсько-Чукотського вулканічного поясу в осьовій частині на південно-східних схилах хребта Академіка Обручева в центральному гірському районі Чукотського півострова ($67^{\circ}30' \text{ N}$, $172^{\circ}34' \text{ E}$) [1—3]. Комплекс вулканічних порід, що складають кратер, містить ріолітові ігнібрити, ріолітові лави і туфи, андезитові туфи й лави, вулканічний попіл складу від ріоліту до дациту та зварений туф і навіть подекуди базальти [2, 4, 5]. Кратер Ельгигитгин є округлою западиною з плоским дном, оточеною піднятим валом діаметром 18 км і заввишки приблизно 180 м над рівнем землі за межами кратера. Найглибша внутрішня частина кратера заповнена майже круглим озером Ельгигитгин діаметром близько

Цит у в а н н я: Гуров Е. П., Пермяков В.В. Акцесорні самородні метали і сплави в ударно-розплавлених породах кратера Ельгигитгин, Чукотка. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2024. № 1. С. 30—39. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2024.01.030>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

12 км і завглибшки до 170 м. Ударно-розплавлені породи кратера мають виражену везикулярну структуру, причому внутрішній об'єм багатьох порожнин у скляній матриці містить глинисті частинки з високим вмістом вуглецю, а також реліктові залишки палеофлори, представлені шматочками клітинної тканини — мікрофосиліями [6]. Раніше сім сферичних немагнітних металевих частинок розміром від 0,1 до 0,6 мм було вилучено з дрібнозернистої фракції скупчень ударних розплавів у терасових відкладах кратера Ельгигитгин. Чотири частинки представлені сплавом свинець-олово, дві частки — самородним цинком [4, 7].

Основним матеріалом дослідження були зразки ударно-розплавлених порід і ударно-метаморфізованих вулканічних порід з південної та південно-східної частин кратера Ельгигитгин. Додатково було досліджено зразки ударно-розплавлених порід з північно-західної та північної частин кратера. Для порівняння ми використали кілька аналізів самородних металів і сплавів з брекчії формації Онапінг, ударна структура Садбері, які для дослідження нам надав В.М. Френч зі Смітсонівського інституту, Вашингтон, США.

П'ятнадцять полірованих пластин ударних розплавів і чотири пластини ударно-метаморфізованих гірських порід було досліджено з використанням растрового електронного мікроскопа “JSM-6490LV” (“Jeol”, Японія) та рентгенівської спектрометричної системи INCA Energy+ (“Oxford Instruments”, Велика Британія), оснащеної енергодисперсійним (ЕДС) спектрометром. Ця аналітична апаратура була апробована під час дослідження ударно-розплавлених порід [8] і добре зарекомендувала себе під час вивчення акцесорних включень у породах імпактних структур [9]. Результати досліджень, отриманих з використанням цієї апаратури, висвітлено в доповідях на міжнародних конференціях — Lunar and Planetary Science Conference [10—12].

Акцесорну мінералізацію самородних металів і сплавів виявлено в породах південної та південно-східної частин структури. Породи ударного розплаву, що містять акцесорну мінералізацію самородних металів і сплавів, складаються зі свіжого або частково девітрифікованого скла з мікролітами альбіт-олігоклазу та ромбічного піроксену. Характерною особливістю цих порід є наявність численних скупчень глинистих частинок, багатих на вуглець, з рясним рослинним детритом. Ці фрагменти розміром від 10—20 до ~ 100 мкм або повністю заповнюють везикули газу в скляній матриці (рис. 1, а), або глиниста речовина у везикулах покриває їхню внутрішню поверхню шаром від 10 до 80 мкм (рис. 1, б). На внутрішній поверхні глинистої речовини навколо порожніх центральних ділянок бульбашок спостерігається грудкувата, неоднорідна структура та численні частинки рослин (див. рис. 1, в). Зовнішні контакти глинистої речовини зі склоподібною матрицею мають чіткий або розмитий характер. На контактах глинистого матеріалу зі склоподібною матрицею іноді трапляються відкриті тріщини завширшки 1—12 мкм. Вміст вуглецю у цих фрагментах коливається в межах від 20 до 50—55 мас. % (табл. 1). Глиниста речовина є основним субстратом для кристалізації самородних металів та сплавів в ударно-розплавлених породах кратера Ельгигитгин (див. рис. 1, г).

Акцесорна мінералізація самородних металів і сплавів представлена мідистим сріблом, олов'яною міддю, нікелевою міддю, олов'яно-свинцевими та рідкісними зернами чистого срібла, міді та свинцю. Крім мінералізації самородних металів у породах ударного розплаву було виявлено поодинокі зерна кіноварі.

Мідисте срібло — найпоширеніший самородний метал в ударно-розплавлених породах кратера Ельгигитгин. Раніше самородне срібло з високим вмістом міді та цинку було

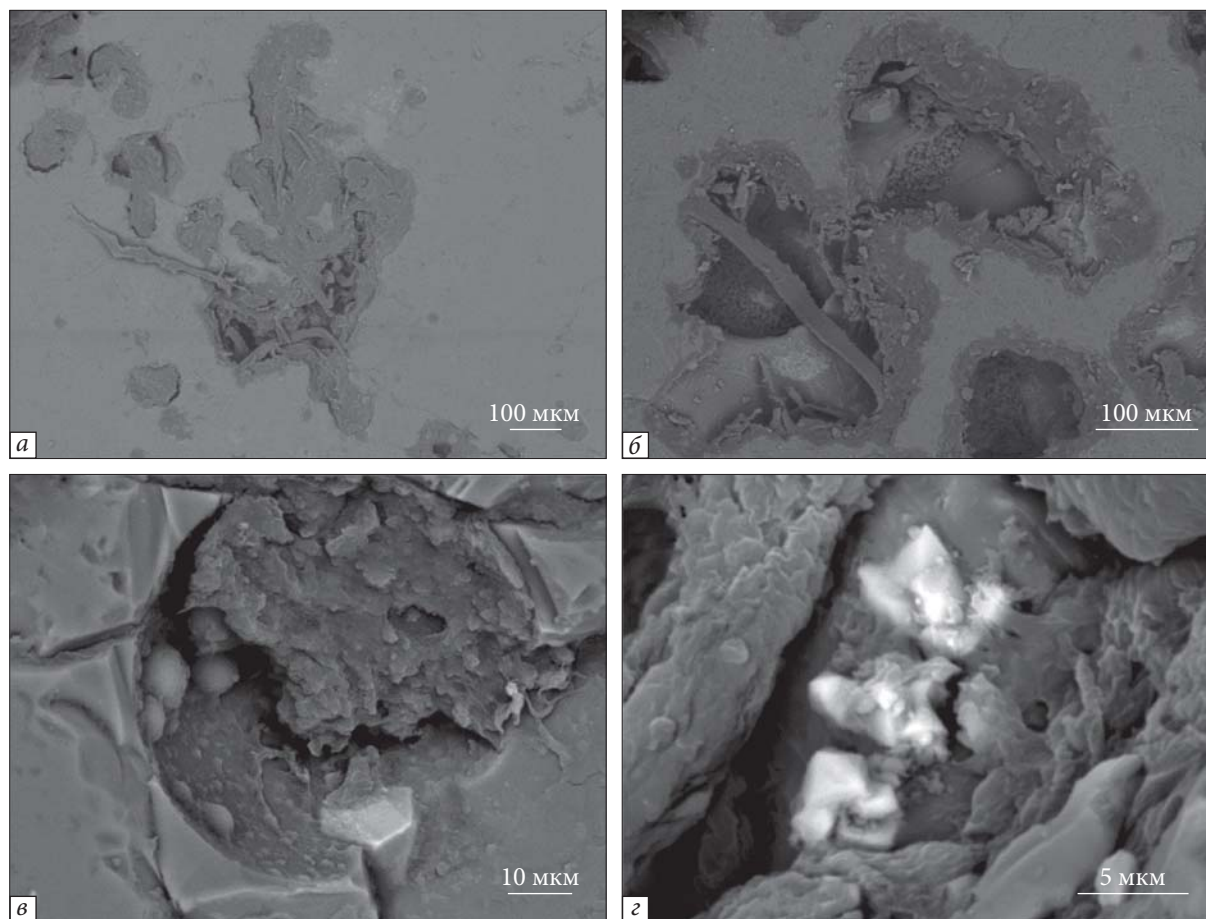


Рис. 1. BSE-зображення глинистих частинок, багатих на вуглець, в ударно-розплавлених породах кратера Ельгигитгин: *а* — розподіл агрегатів глинистих частинок у порах та бульбашках у склі (темно-сірі об'єкти на світлішому фоні) (зр. E-12-1032-1-9); *б* — облямівка глинистої речовини на поверхні порожнин у скляній матриці (темно-сірі об'єкти на світлішому фоні). У пухирцях видно рослинні частинки (зр. E-25-900-6-2); *в* — скупчення агрегатів глинистих частинок у газовій бульбашці (зр. E-1554-1-35); *г* — частинки мідистого срібла (білі в центрі зображення) на поверхні агрегатів лускуватих глинистих частинок (темно-сіра) у газовій бульбашці у скляній матриці (зр. E-25-900-6-9)

описано у складі лужних базальтоїдів [13]. Крім того, одне зерно мідистого срібла було знайдено авторами в ударно-розплавлених породах Болтиської структури [14]. Мідисте срібло представлене зернами неправильної форми розміром від 2—3 до 15—20 мкм, які найчастіше містяться на поверхні глинистих частинок, що вистилають газові бульбашки (рис. 2, *а*). Іноді зерна мідистого срібла трапляються в пухких глинистих агрегатах і на поверхні частинок рослин (див. рис. 2, *б*, *в*). У породах того ж ударного розплаву визначено поодинокі зерна чистого срібла.

Агрегати сульфідованого срібла іноді виявлялися в породах ударних розплавів. Вони розташовані внизу в тріщинах ударно-розплавлених порід і складаються з глобулярних частинок діаметром близько 1—2 мкм кожна, скріплених неструктурованою масою (див. рис. 2, *г*). Вміст сірки коливається від 3,99 до 13,94 мас. %. Наявність сірки у складі деяких зерен срібла, ймовірно, свідчить про початок процесу сульфідизації.

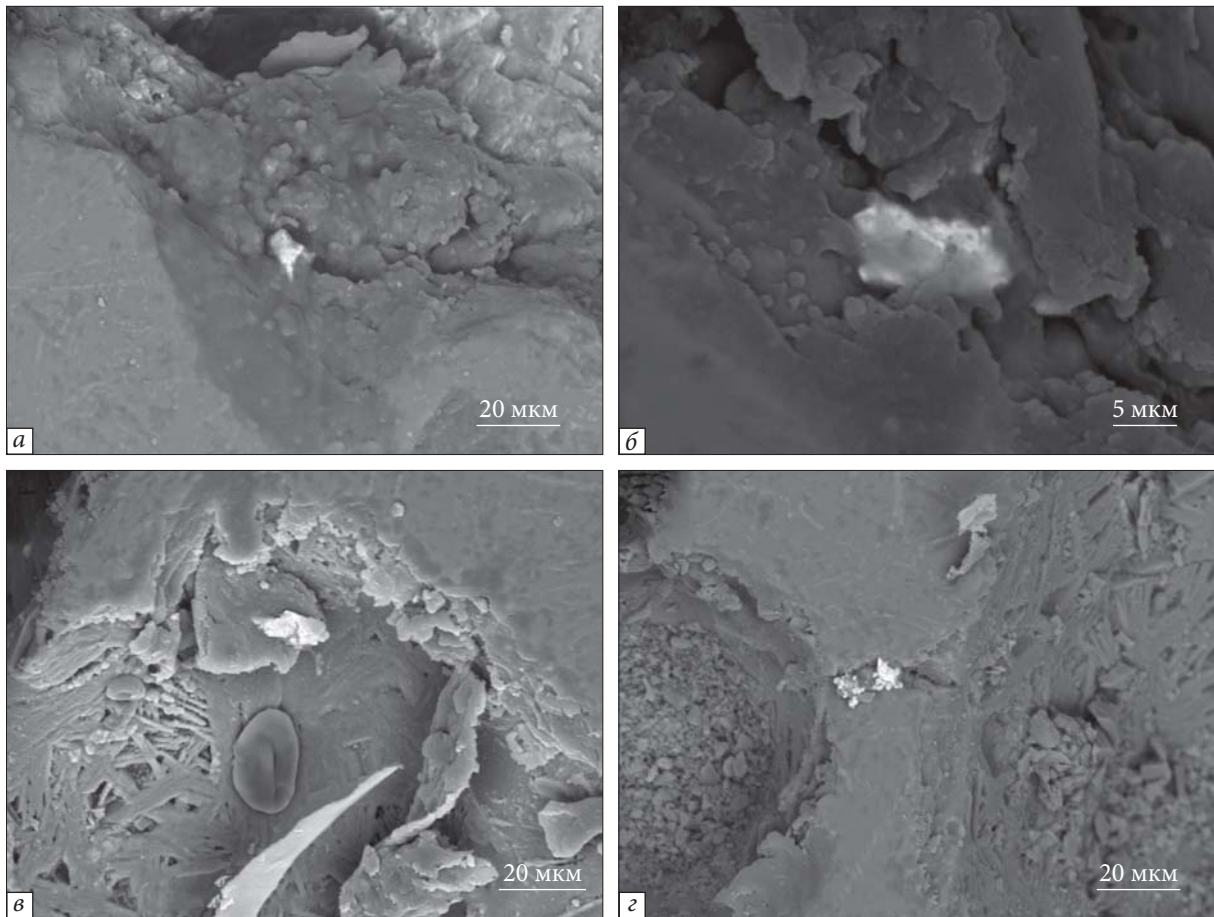


Рис. 2. BSE-зображення мідистого срібла в ударно-розплавлених породах кратера Ельгигитгин: *а* — частинка мідистого срібла на внутрішній поверхні багатої на вуглець глинистої речовини (темно-сірий колір) по краю газової бульбашки у склі (світло-сірий колір) (зр. Е-25-900-6-8); *б* — агрегатне зерно мідистого срібла в пухких масах глинистої речовини (зр. Е-12-1032-1-20); *в* — мідисте срібло (біле зерно над центром зображення) на поверхні рослинної частинки в газовій бульбашці, у центрі зображення спора (зр. Е-25-900-6-2); *г* — агрегація сульфیدованого мідистого срібла в тріщині девітрифікованого скла (зр. Е-25-900-60-9)

Дві частинки срібла було виявлено в ударно-розплавлених породах південно-східної частини кратера. Ці частинки неправильної форми розміром 4×5 та 10×12 мкм містяться на внутрішній поверхні рослинних залишків у газових бульбашках.

Хімічний склад мідистого срібла і срібла наведено в табл. 1. Атомне співвідношення Ag/Cu переважно коливається від 18 : 1 до 23 : 1 (див. табл. 1, аналіз 8).

Олов'яна мідь, нікель-мідь і самородна мідь знаходяться в тих самих породах ударного розплаву, які містять мінералізацію срібла. Крім того, ці мінерали визначено у зразку ударно-метаморфізованого туфу андезитового дациту з терасових відкладень південно-східної частини кратера.

Олов'яна мідь (олов'яна бронза) утворює пористі зерна неправильної форми розміром від 2 до 7 мкм на поверхні частинок рослин усередині газових бульбашок та на контактах глинистої речовини зі склоподібною матрицею (рис. 3, *а*). Хімічний склад зерен мінералу

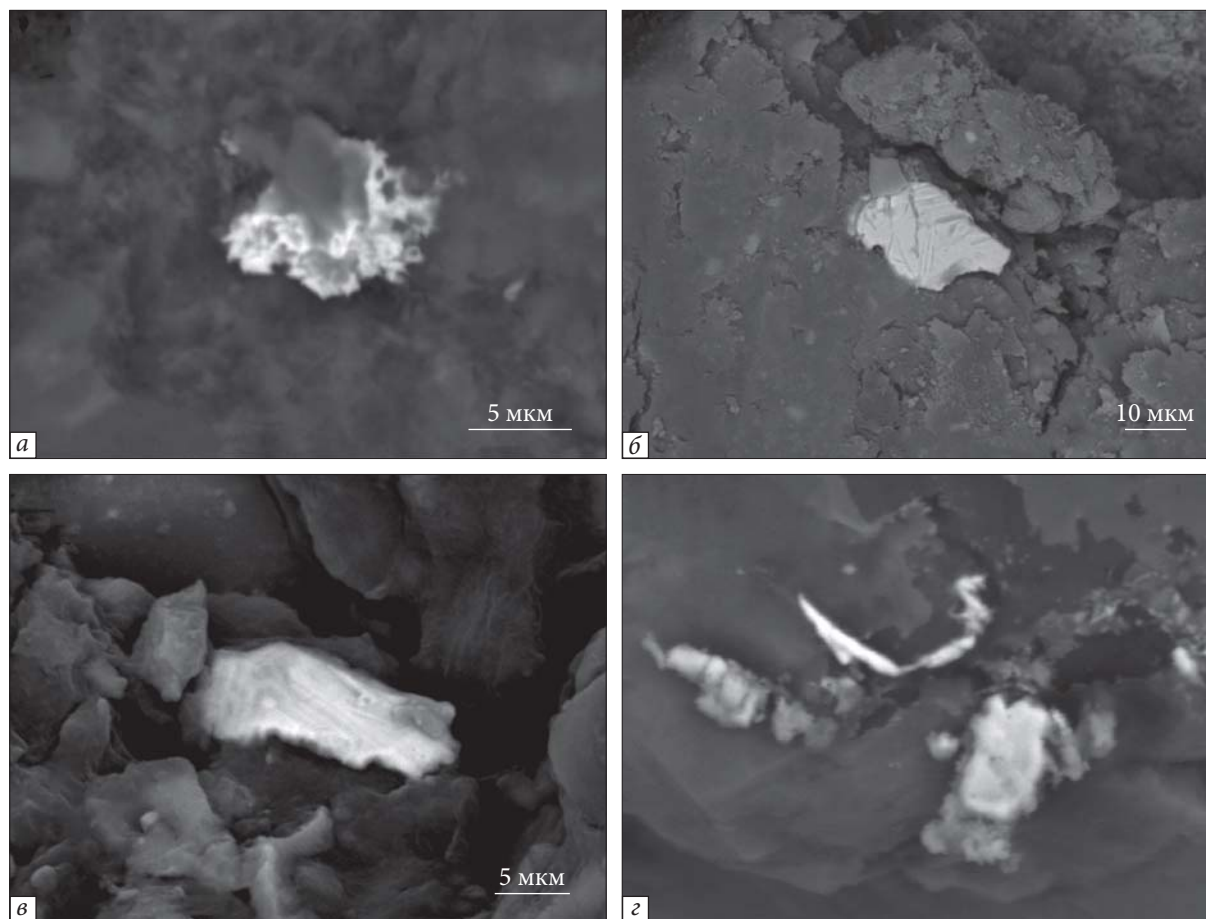


Рис. 3. Морфологія частинок нікелевої та олов'яної міді в ударно-розплавлених породах кратера Ельгігітгін: *a* — пухкі агрегати олов'яної міді в багатій на вуглець глинистій речовині (зр. Е-11-1032-32-20); *б* — зерно нікелю-міді в глинистій речовині (зр. Е-12-1032-32-10); *в* — зони зростання самородної міді (зр. Е-1554-1-34); *г* — зерна самородної міді (білі) і сульфидованої міді (світло-сірі) у глинистій речовині (зр. Е-23-900-31)

Таблиця 1. Хімічний склад (дані ЕДС) мідистого срібла та срібла з кратера Ельгігітгін (аналізи 1—7) і мідистого срібла з ударної структури Садбері (аналіз 8), мас. %

Компонент	Номер аналізу							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	95,74	96,24	97,59	96,91	97,06	88,52	88,62	95,27
Cu	3,91	3,63	2,67	3,14	2,22	3,02	Н. в.	4,15
Fe	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	11,38	Н. в.
S	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	8,46	Н. в.	Н. в.
Сума	99,65	99,87	100,26	100,05	99,28	100,00	100,00	99,42
<i>n</i>	1	7	8	1	1	1	1	1

Примітка. Н. в. — нижче межі виявлення. *n* — кількість аналізів. *Деталі аналізів.* Кратер Ельгігітгін: 1—5 — мідисте срібло (1 — зр. Е-1032-32-1-28, 2 — зр. Е-900-6-20, 3 — зр. Е-900-17-3, 4 — зр. Е-1032-1-22, 5 — зр. Е-900-6-21); 6 — сульфидоване срібло (зр. Е-900-6-17); 7 — чорне срібло (зр. Е-1032-1-16). Ударна структура Садбері: 8 — мідисте срібло (зр. SUD-99-12-B-3-31).

змінний, з переважанням міді (табл. 2, аналізи 1—6). Атомне відношення Cu/Sn варіює в широкому діапазоні — від 21 : 1 до 3 : 1, навіть у складі одного зерна.

Нікель-мідь визначено в ударно-розплавлених породах, що містять мінералізацію срібла та міді. Зерна неправильної форми або пластинчасті розміром до 20 мкм містяться в пухких глинистих масах у газових бульбашках (див. рис. 3, б). Склад нікель-мідного сплаву з ударно-розплавлених порід кратера Ельгигитгин (див. табл. 2, аналізи 7, 8) близький до складу мельхіору — штучного мідно-нікелевого сплаву. В табл. 2 для порівняння наведено склад нікель-міді з брекчії формації Онапінг, ударна структура Садбері (аналіз 9). Відмінною особливістю його є домішка заліза в кількості 2,23 мас. %.

Зерна самородної міді містяться в тріщинах у склоподібній матриці і на поверхні глинистих мас у газових бульбашках в ударно-розплавлених породах. Мінерал представлений переважно зернами неправильної форми, але на поверхні окремих зерен спостерігаються зони зрощення (див. рис. 3, в). Єдине зерно самородної міді має форму вигнутого дроту завдовжки ~ 25 мкм (див. рис. 3, г). За хімічним складом мінерал відповідає чистій міді.

Свинцево-олов'яний сплав утворює рідкісні зерна неправильної форми розміром до 15 мкм у породах ударного розплаву південної частини озера Ельгигитгин. Зерна містяться у щільних глинистих масах або на їх внутрішній поверхні у скляних бульбашках (рис. 4, а). Єдине шарувате зерно олова-свинцю розміром 300 × 350 мкм представлене регулярними зростками паралельно орієнтованих подовжених доменів олова та свинцю завдовжки до 20 мкм (див. рис. 4, б). За переважним вмістом олова (табл. 3, аналізи 1, 2, 6 і 7) або свинцю (табл. 3, аналізи 3—5) розрізняють два різновиди сплавів за хімічним складом.

Під час польових робіт у кратері Ельгигитгин у 1977—1980 роках було відрито чотири проби по 500—700 кг для пошуку можливих залишків метеоритного матеріалу в дрібнозернистій фракції скупчень ударних розплавлених порід на терасах озер. Сім сферичних немагнітних металевих частинок розміром від 0,1 до 0,6 мм та зі щільністю 4,2 г/см³ було виділено з важкої фракції. Згідно з результатами рентгеноструктурного аналізу та аналізу ЕДС цих частинок, чотири з них представлені сплавом свинець-олово, а дві — самородним цинком [4, 7]). Аналізи двох свинцево-олов'яних кульок наведено в табл. 3.

Таблиця 2. Хімічний склад (дані ЕДС) сплавів олово-мідь та нікель-мідь для кратера Ельгигитгин (аналізи 1—8) та заліза нікель-мідь для ударної структури Садбері (аналіз 9), мас. %

Компонент	Номер аналізу								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cu	91,91	80,94	60,77	77,53	76,44	68,11	79,89	80,49	80,07
Sn	8,09	19,06	39,23	22,47	23,56	31,89	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Ni	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	20,11	19,51	17,70
Fe	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	2,23
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Примітка. Н. в. — нижче межі виявлення. *Деталі аналізів.* Кратер Ельгигитгин: 1—6 — олово-мідь (1 — зр. E-900-1-5, 2 — зр. E-900-1-6, 3 — зр. E-900-1-23, 4 — зр. E-1032-32-16, 5 — зр. E-1032-18, 6 — зр. E-1032-32-17); 7, 8 — нікель-мідь (7 — зр. E-900-17-10, 8 — зр. E-1032-32-8). Структура Садбері: нікель-мідь (9 — зр. SUD-99-12-B-3-4).

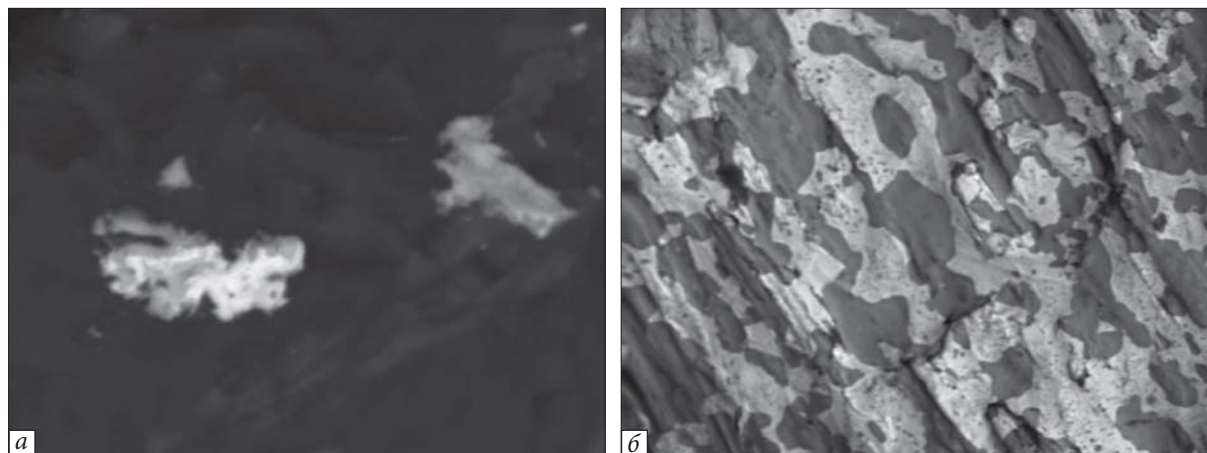


Рис. 4. BSE-зображення свинцево-олов'яних та олово-свинцевих сплавів у ударно-розплавлених породах кратера Ельгігітгін: *a* — зерна олов'яно-свинцевого сплаву лежать на поверхні глинистої речовини, багатій на вуглець (зр. Е-900-1-1); *б* — правильні зрощення паралельно орієнтованих витягнутих доменів олова (темні ділянки) та свинцю (світлі ділянки) у таблитчастому олов'яно-свинцевому зерні (зр. Е-17-900-1-13)

Особливістю порід ударного розплаву з трьох скупчень терасних відкладень південної та південно-східної частин кратера Ельгігітгін є наявність бульбашок, заповнених глинистою речовиною, багатою на вуглець, яка служить субстратом для кристалізації самородних металів і сплавів. Природно, у полі зору опинилися бульбашки, розкриті під час пробопідготування. Вміст вуглецю в глинистій речовині коливається від 20 до 50 мас. %. Багата на вуглець глиниста речовина була визначена як частинки донних відкладів сапропеліту через високий вміст вуглецю, велику кількість рослинного детриту в їх складі та слабку консолідацію. Припускаємо, що їх джерелом були місцеві озера чи болота у південно-східній частині кратера-мішені біля підніжжя хребта Академіка Обручева.

Акцесорна мінералізація самородних металів і сплавів представлена сріблом, міддю, оловом, свинцем та його сплавами, причому мідисте срібло є найпоширенішим мінералом у тому числі в ударно-розплавлених породах кратера Ельгігітгін. Самородні метали і сплави утворюють окремі зерна або агрегати мікрометрового розміру, розташовані в глинистій сапропелітовій речовині або на його поверхні всередині частково заповнених

Таблиця 3. Електронно-зондові аналізи свинцево-олов'яних частинок з ударно-розплавлених порід (зразки 1—5) і терасних відкладень (зразки 6, 7) кратера Ельгігітгін, мас. %

Компонент	Зразок						
	1	2	3	4	5	6	7
Sn	93,55	97,00	11,85	14,71	17,94	63,0	67,0
Pb	6,45	3,00	88,15	85,29	82,06	35,0	30,0
Cu	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	0,3	0,3
Сума	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,3	97,3

Примітка. Н. в. — нижче межі виявлення. Зразки: 1 — Е-17-10.19-900-1-16; 2 — Е-17.10.19.900-17-1; 3 — Е-17.10.18-900-1-1; 4 — Е-17.10.18-900-1-10; 5 — Е-17.10.18.-900-1-3; 6 — Е-78-1; 7 — Е-78-2.

газових бульбашок у гірських ударно-розплавлених породах. Зрідка зерна самородних металів формувалися у відкритих тріщинах ударно-розплавлених порід. Така наявність самородних металів передбачає їх пізнє утворення з газової фази на стадії остигання порід ударного розплаву у відновлювальних умовах у присутності органічної речовини. Виникнення конденсації в ударному шлейфі передбачалося також для сферичних частинок сплаву свинцю з оловом і самородного цинку з відкладів кратера Ельгигитгин через їх сферичну форму, наявність відкритих округлих бульбашок мікрометрового розміру та незвичайного складу [4, 7].

Ми припускаємо, що місцеве родовище руди (срібла та/або поліметалу) у південно-південно-східному секторі зони ударного плавлення було ймовірним джерелом самородних металів і сплавів у породах ударного розплаву та терасових відкладах кратера Ельгигитгин. Важливо відзначити, що золото-срібне орудювання характерне для металогенічної спеціалізації Охотсько-Чукотського вулканічного поясу, де розташовані кілька родовищ і рудопроявів благородних металів [15], у тому числі два великі золото-срібні родовища в 150 і 120 км відповідно на південний захід і захід від кратера Ельгигитгин.

Таким чином, у статті вперше описано акцесорну мінералізацію самородних металів і сплавів срібла, міді, олова, свинцю в ударно-розплавлених породах кратера Ельгигитгин з везикулярною структурою, висвітлено її локалізацію в скляній матриці породи та зв'язок з багатою на вуглець глинистою речовиною, а також визначено ймовірні джерела походження металів.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гуров Е.П., Вальтер А.А., Гурова Е.П., Серебренников А.И. Взрывной метеоритный кратер Эльгыгытгын на Чукотке. *Докл. АН СССР*. 1978. **240**, № 6. С. 1407—1410.
2. Фельдман В.И., Грановский Л.Б., Капусткина И.Г., Каротеева Н.Н., Сазонова Л.В., Дабижа А.И. Метеоритный кратер Эльгыгытгын. *Импактиты*: Маракушев А.А. (ред.). Москва: Изд-во МГУ, 1981. С. 70—92.
3. Layer P.V. Argon-40/Argon-39 age of the El'gygytgin impact event, Chukotka, Russia. *Meteorit. Planet. Sci.* 2000. **35**. P. 591—599. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2000.tb01439.x>
4. Гуров Е.П., Гурова Е.П. Геологическое строение и вещественный состав пород импактных структур. Киев: Наук. думка, 1991. 160 с.
5. Gurov E.P., Koeberl C., Yamnichenko A.Y. El'gygytgin impact crater, Russia: Structure, tectonics and morphology. *Meteorit. Planet. Sci.* 2007. **42**, № 3. P. 307—319. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2007.tb00235.x>
6. Gurov E.P., Permiakov V.V., Koeberl C. Remnants of paleoflora in impact melt rocks of the El'gygytgin crater (Chukotka, Russia). *Meteorit. Planet. Sci.* 2019. **54**, № 10. P. 2532—2540. <https://doi.org/10.1111/maps.13241>
7. Гуров Е.П., Кудинова Л.А. Самородные металлы из метеоритного кратера Эльгыгытгын. *Новые данные о минералах*. 1987. Вып. 34. С. 133—136.
8. Гуров Е.П., Шехунова С.Б., Пермяков В.В. Болтышская импактная структура и ее ударнорасплавленные породы. *Геофиз. журн.* 2011. **33**, № 5. С. 66—89.
9. Gurov E.P., Shekhunova S.B., Permyakov V.V. Accessory and opaque minerals in impact melt rocks of the Boltys structure, Ukraine. *Meteorit. Planet. Sci.* 2015. **50**, № 6. P. 1139—1155. <https://doi.org/10.1111/maps.12457>
10. Gurov E.P., Shekhunova S.B., Permyakov V.V. Accessory minerals from impact melt rocks of the Boltys structure, Ukraine. Native metals and alloys. *Proceeding of the 44th Lunar and Planetary Science Conference* (Woodlands, Texas, USA, 18—22 March 2013). Woodlands, 2013. # 1217.
11. Gurov E.P., Shekhunova S.B., Permyakov V.V. Accessory minerals from impact melt rocks of the Boltys structure, Ukraine. Oxides: the varieties of hematite. *Proceeding of the 44th Lunar and Planetary Science Conference* (Woodlands, Texas, USA, 18—22 March 2013). Woodlands, 2013. # 1219.

12. Gurov E.P., Permyakov V.V. Organic matter in impact melt rocks of the Elgygytyn crater (Chukotka, Russia). *Carbon in the Solar System Workshop* (Denver, Colorado, USA, 25—27 April 2018). Solar System exploration research. Denver, 2018.
13. Новгородова М.И., Юсупов Р.Г., Свешникова Е.В. Самородные металлы и карбиды из трубок взрыва щелочных базальтоидов. *Самородные металлы в изверженных горных породах: Тез. докл. Всесоюз. конф «Самородное элементообразование в эндогенных процессах»*. Якутск: Якут. фил. СО АН СССР, 1985. Ч.1. С. 12—14.
14. Гуров Е.П., Пермяков В.В. Самородные металлы в ударно-расплавленных породах Болтышской импактной структуры. *Минерал. журн.* 2015. 37, № 4. С. 58—67.
15. Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Москва: Науч. мир, 2005. 320 с.

Надійшло до редакції 18.10.2023

REFERENCES

1. Gurov, E. P., Valter, A. A., Gurova, E. P. & Serebrennikov, A. I. (1978). Impact meteorite crater El'gygytyn in Chukotka. *Dokl. AN SSSR*, 240, No. 6, pp. 1407-1410 (in Russian).
2. Feldman, V. I., Granovsky, L. B., Kapustkina, I. G., Karoteeva, N. N., Sazonova, L. V. & Dabizha, A. I. (1981). Meteorite crater El'gygytyn. In Marakhushev, A. A. (Ed.). *Impactites* (pp. 70-92). Moscow: Izd-vo Moskovskogo Universiteta (in Russian).
3. Layer, P. V. (2000). Argon-40/Argon-39 age of the El'gygytyn impact event, Chukotka, Russia. *Meteorit. Planet. Sci.*, 35, pp. 591-599. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2000.tb01439.x>
4. Gurov, E. P. & Gurova, E. P. (1991). Geological structure and material composition of the rocks of impact structures. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
5. Gurov, E. P., Koeberl, C. & Yamnichenko, A. (2007). El'gygytyn impact crater, Russia: Structure, tectonics and morphology. *Meteorit. Planet. Sci.*, 42, No. 3, pp. 307-319. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2007.tb00235.x>
6. Gurov, E. P., Permyakov, V. V. & Koeberl, C. (2019). Remnants of paleoflora in impact melt rocks of the El'gygytyn crater (Chukotka, Russia). *Meteorit. Planet. Sci.*, 54, No. 10, pp. 2532-2540. <https://doi.org/10.1111/maps.13241>
7. Gurov, E. P. & Kudinova, L. A. (1987). Native metals from the El'gygytyn meteorite crater. *Novie dannye o mineralah*, Iss. 34, pp. 133-136 (in Russian).
8. Gurov, E. P., Shekhunova, S. B. & Permyakov, V. V. (2011). Boltys impact structure and impact melt rocks. *Geofiz. J.*, 33, No. 5, pp. 66-89 (in Russian).
9. Gurov, E. P., Shekhunova, S. B. & Permyakov, V. V. (2015). Accessory and opaque minerals in impact melt rocks of the Boltys structure, Ukraine. *Meteorit. Planet. Sci.*, 50, No. 6, pp. 1139-1155 <https://doi.org/10.1111/maps.12457>
10. Gurov, E. P., Shekhunova, S. B. & Permyakov, V. V. (2013, March). Accessory minerals from impact melt rocks of the Boltys structure, Ukraine. Native metals and alloys. *Proceeding of the 44th Lunar and Planetary Science Conference (# 1217)*, Woodlands.
11. Gurov, E. P., Shekhunova, S. B. & Permyakov, V. V. (2013, March). Accessory minerals from impact melt rocks of the Boltys structure, Ukraine. Oxides: the varieties of hematite. *Proceeding of the 44th Lunar and Planetary Science Conference (# 1219)*, Woodlands.
12. Gurov, E. P. & Permyakov, V. V. (2018, April). Organic matter in impact melt rocks of the Elgygytyn crater (Chukotka, Russia). *Carbon in the Solar System Workshop*, Solar System exploration research, Denver.
13. Novgorodova, M. I., Yusupov, R. G. & Sveshnikova, E. V. (1985). Native metals and carbides from explosion tubes of alkaline basaltoids. *Proceedings of the All-Union Conference Native metals in igneous rocks (Pt. 1)* (pp. 12-14). Yakutsk (in Russian).
14. Gurov, E. P. & Permyakov, V. V. (2015). Native metals in impact melt rocks of the Boltys impact structure. *Mineral. Journ.*, 37, No. 4, pp. 58-67 (in Russian).
15. Struzhkov, S. F. & Konstantinov, M. M. (2005). *Metallogeny of gold and silver of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt*. Moscow: Nauch. Mir (in Russian).

Received 18.10.2023

[E. P. Gurov](https://orcid.org/0000-0002-3846-0577), <https://orcid.org/0000-0002-3846-0577>

[V.V. Permiakov](https://orcid.org/0000-0002-5339-2269), <https://orcid.org/0000-0002-5339-2269>

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: 0673866227@ukr.net

ACCESSORY NATIVE METALS AND ALLOYS IN IMPACT MELT ROCKS OF THE EL'GYGYTGYN CRATER, CHUKOTKA

An electron microscopic study of impact melt rocks from the south and southeast regions of the El'gygytgyn impact crater revealed the presence of accessory mineralization composed of native metals and alloys. These minerals include alloys of silver, copper, tin, lead, and occasionally, their respective metals. The host impact melt rocks exhibit a vesicular structure and contain numerous fragments of C-rich clayey matter, which are situated within gas vesicles in a glassy matrix. The inner surface of this clayey matter inside gas vesicles serves as the primary substrate for the crystallization of native metals and alloys. The presumed source of these metals is an ore deposit located in the impact melting area of the target during a meteorite impact, while clayey fragments from the bottom sediments of a local lake at the target surface are considered a probable source.

Keywords: *native metals, impact crater El'gygytgyn, impact melt rock, gas vesicles, accessories.*