

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.03.042>
УДК 549; 552; 549.612

О.Ю. Великанова, канд. геол. наук, наук. співроб.

E-mail: olgavel19@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1136-2854>

С.Г. Кривдік, д-р геол.-мін. наук, проф.

E-mail: kryvdik@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8356-1115>

О.А. Вишневський, канд. геол.-мін. наук, пров. наук. співроб.

E-mail: vyshnevskyy@i.ua; <https://orcid.org/0000-0002-7206-2185>

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, просп. Акад. Палладіна, 34

ДРАВИТ ІЗ ТЕРНІВСЬКОГО МЕТЕОРИТНОГО КРАТЕРА (КРИВОРІЖЖЯ)

У процесі мінералогічних досліджень брекчіє- та вулканоподібних порід Тернівської структури (Веселі Терни, Криворіжжя) так званої Тернівської астроблеми (метеоритного кратера), було виявлено раніше невідомий в її межах мінерал із групи турмаліну — дравіт. Кристали дравіту довжиною від 0,05 до 1,0 мм та більше і шириною до 0,1—0,2 мм асоціюють з кварцом, калієвим польовим шпатом, графітом і апатитом. За допомогою методів оптико-мікроскопічних і мікрозондових досліджень вивчено особливості морфології та хімічний склад дравіту. Виявлено незвичайну для мінералів групи турмаліну окремість уздовж двох систем тріщин, орієнтованих під гострим кутом одна до одної і косо до граней призми. Специфічні деформації дравіту, а також спостережені мінеральні асоціації засвідчують, що утворення досліджених порід відбулось за умов високого тиску і температури ударного метаморфізму. Це підтверджується також наявністю планарних структур у кварці.

Ключові слова: Тернівський метеоритний кратер, турмалін, дравіт, планарні структури.

Вступ. Генезис брекчієподібних порід Тернівської ділянки (Веселі Терни) Криворіжжя в Дніпропетровській області є дискусійним (Eremenko, Yakovlev, 1980). Одні дослідники вважають, що ці породи утворились у процесі ударно-метеоритного явища (метеоритний кратер) (Valter, Ryabenko, Kotlovskaya, 1981; Plotnikov, 1994), інші ж (Gurov, 1982; Velykanov, Velykanova, 2010) розглядають їх як вулканіти (трахіти, калієві базальтоїди). Найвагомішими доказами першої точки зору є знахідки в цих породах ознак ударного метаморфізму (планарні структури), наявність коеситу і стишовіту, також відомо про

діамантоносність імпаکتитів кратера Терни (Valter, Gursky, Eremenko, 1998). У роботі (Kvasnytsya, 2019) опублікована фотографія кристала імпаکتного апографітового діаманта із кратера Терни.

Мета роботи — дослідження мінерального складу зразків, відібраних на Тернівській ділянці. Мінеральний склад і мінеральні асоціації дають можливість визначати особливості умов формування дискусійних порід Тернівської ділянки.

Актуальність дослідження визначена необхідністю уточнення умов формування породних комплексів і структур Криворіжжя у

Цитування: Великанова О.Ю., Кривдік С.Г., Вишневський О.А. Дравіт із Тернівського метеоритного кратера (Криворіжжя). *Мінерал. журн.* 2024. **46**, № 3. С. 42—46. <https://orcid.org/10.15407/mineraljournal.46.03.042>

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

зв'язку із загальною перспективністю району на пошуки й дорозвідку родовищ корисних копалин, якими багатий цей район, а саме заліза, урану, золота, поліметалів та інших елементів.

Методи дослідження. Автори досліджували кілька зразків порід ділянки Терни з колекції Ю.Ф. Великанова, відібраних ним із зони контакту вуглистих сланців з міцно зцементованою брекчієподібною породою.

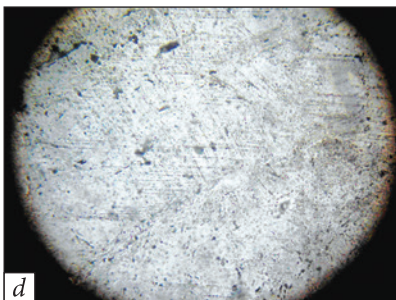
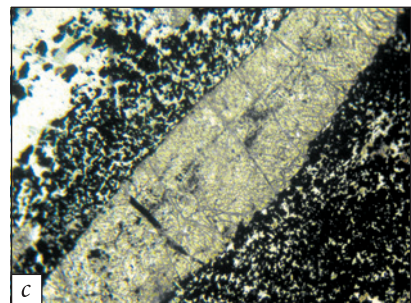
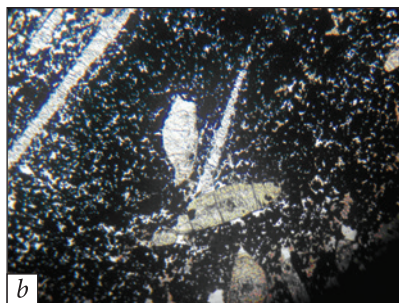
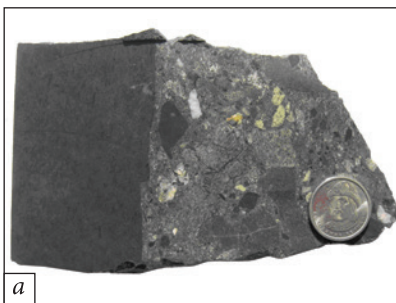
Мікроскопічні дослідження виконано шляхом вивчення прозорих шліфів із допомогою оптичного мікроскопа МІН-8. Хімічний склад мінералів визначено в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України на сканівному електронному мікроскопі *JSM-6700F*, оснащеному енергодисперсійною системою для мікроаналізу *JED-2300 (JEOL, Японія)*. Умови зйомки: прискорювальна напруга — 15 kV, струм зонду — 1,0 nA, діаметр зонду — 1 μ, час набору спектра характеристичного рентгенівського випромінювання у кожній точці складав 60 с. Як стандарти використано: на Na — NaCl, Mg — MgO, Al — Al₂O₃, Si — SiO₂, Ca — CaF₂, Ti і Fe — чисті метали. Внесення поправок у результати вимірів і розрахунок концентрацій елементів здійснено методом ZAF-корекції з використанням оригінального програмного забезпечення фірми *JEOL*. Вміст B₂O₃ та OH розраховано за стехіометрією, вважаючи, що B = 3,000 ф. о., OH =

= 4,000 ф. о. при 31 аніоні, Li₂O — за дефіцитом суми катіонів у позиції Y.

Результати досліджень. Темна (до чорного) дравітвмісна сланцеподібна порода спостерігається як великі (до кількох сантиметрів) фрагменти та дрібні уламки серед світлої суттєво кварцової (кварцитоподібної) породи, що разом утворюють брекчію (рис. а). Уламки дравітвмісної породи переважно гострокутні і мають кварц-графітовий склад.

Вуглиста речовина темної дравітвмісної породи відрізняється від типового графіту меншою здатністю на розтирання і залишає після цього слабо виражений слід на пальцях. Ураховуючи наявність рівних контактів більших фрагментів "темної" графітової породи у світлій суттєво кварцовій, можна припустити, що в початковому стані (до метеоритного бомбардування) це могли бути осадові утворення з прошарками вуглистої речовини, які в процесі регіонального метаморфізму перетворились на кварц-графітовий сланець, а пізніше, за ударного метаморфізму, на своєрідну брекчію.

Кварцитоподібний цемент брекчії має світлий (білуватий) колір і характеризується суттєво кварцовим складом із підпорядкованою кількістю польового шпату. Останній виявився чисто калієвим різновидом і, за даними мікрозондового аналізу, має такий склад, мас. %: K₂O 15,18—15,71; SiO₂ 65,53—65,92; Al₂O₃ 19,21—19,80. Інших польових



Мінеральні співвідношення у досліджених зразках: *a* — контакт графітового сланцю (темний) із брекчією, в якій наявні темні дрібні уламки цього ж сланцю; *b* — індивіди турмаліну в кварц-графітовому сланці (×20); *c, d* — незвичайна окремість у кристалічних індивідах турмаліну (див. текст) (×100); *d* — планарна структура кварцу (×80)

Mineralogical interrelations in the samples studied: *a* — slice of quartz-graphite schist (dark) contacting with breccia which includes dark small fragments of the same schist; *b* — crystals of tourmaline in quartz-graphite schist (×20); *c, d* — unusual parting of tourmaline crystals (read text) (×100); *d* — planar structure of quartz (×80)

шпатів у породі не виявлено. Ймовірно, в процесі ударного метаморфізму наявний у вихідній породі Na міг випаруватись, через що утворився "чистий" калієвий польовий шпат, як це характерно для типових метеоритних кратерів. Інколи в породі фіксуються дрібні кристалики апатиту.

Структура цієї породи неоднорідна, ділянками афанітово-алотріоморфнозерниста, склуватоподібна і нагадує зювіти з таких метеоритних кратерів України як Зелений Гай і Бовтишка; шліфи з яких доводилось спостерігати одному з авторів (С.Г. Кривдіку).

Окрім того, в зернах кварцу цієї ж породи у процесі дослідження топографії їхньої

поверхні за великого збільшення виявлено своєрідні планарні структури (рис. *d*), подібні до спостережених у кварці зі згаданих вище та інших (зокрема Попігайського) метеоритних кратерів. У кварці спостерігаються до 3—4 систем планарності (пласких тріщин) різної інтенсивності, які проходять через все зерно або лише через його частину. Природа планарності зумовлена різними показниками заломлення численних деформаційних ламелей, розмежованих паралельними системами мікротріщин.

У зразку В-3 II/1 Терни під час мікроскопічних досліджень шліфів, у кварц-графітовій породі виявлено мінерал, що за фор-

Хімічний склад дравіту (1—6) Тернівської структури, мас. %

Chemical composition of dravite (1—6) in the Terny structure, wt. %

Component	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	37.54	38.32	37.54	36.76	36.59	36.98	36.36
TiO ₂	0.34	0.78	0.47	0.42	0.66	0.83	0.37
Al ₂ O ₃	32.55	31.80	31.11	31.19	32.75	32.65	36.99
FeO	1.12	1.36	2.78	2.29	2.18	1.45	9.68 (Fe ²⁺ O ³)
MgO	9.77	9.69	9.33	10.30	10.16	9.26	5.02
CaO	1.32	1.36	1.96	1.46	1.26	1.53	0.56
MnO	—	0.03	0.05	—	0.23	0.04	0.08
Na ₂ O	1.81	1.77	1.56	2.03	2.00	1.64	0.43
K ₂ O	0.06	0.14	0.05	0.07	b. d.	0.19	0.17
H ₂ O	3.74	3.78	3.72	3.69	3.74	3.73	2.36
B ₂ O ₃	10.84	10.96	10.78	10.69	10.84	10.81	8.77
Li ₂ O	0.51	0.76	0.64	0.29	0.22	0.55	—
Σ	99.60	100.77	99.99	99.20	100.62	99.65	99.67
<i>Structure formulae calculated per 31 anions (O²⁻, OH⁻, F⁻)</i>							
T : Si	6.017	6.079	6.052	5.976	5.862	5.945	6.03
Al	0.000	0.000	0.000	0.024	0.138	0.055	0.00
Z : Al	6.000	5.945	5.912	5.950	6.000	6.000	6.43
Mg	0.000	0.055	0.088	0.050	0.000	0.000	0.00
Y : Al	0.150	0.000	0.000	0.000	0.047	0.130	0.00
Ti	0.041	0.094	0.057	0.052	0.079	0.100	0.04
Mg	2.334	2.237	2.153	2.446	2.427	2.220	1.24
Mn	—	0.004	0.007	—	0.031	0.005	0.01
Fe ²⁺	0.150	0.181	0.375	0.311	0.292	0.194	1.20 (Fe ³⁺)
Li	0.326	0.485	0.408	0.191	0.124	0.351	—
X : Ca	0.226	0.232	0.338	0.255	0.216	0.263	0.20
Na	0.562	0.545	0.488	0.639	0.622	0.511	0.14
K	0.012	0.029	0.010	0.014	—	0.038	0.01
OH	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	2.55
B	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	2.57

Примітка. Ан. 7 на стор. 210 з праці Lazarenko et al. (1977); b. d. — нижче межі чутливості методу.

Note. Analysis No. 7 on p. 210 from the work of Lazarenko et al. (1977); b. d. — below the detection limits.

мою кристалів та оптичними характеристиками подібний до мінералів групи турмаліну (рис. *b*). Однак у ньому спостерігається не характерна для турмаліну "спайність", дві системи тріщин якої перетинаються під гострим кутом (подібно до спайності в амфіболах) і орієнтованих косо до видовження кристала уздовж осі третього порядку (рис. *c*).

Привертає увагу деяка подібність системи тріщин окремої в дравіті до тріщин у кварці з планарною структурою.

Зауважимо, що на початкових етапах дослідження шліфів цей мінерал визнавали за вірогідний меліліт. Утім, у процесі мікрозондових досліджень визначено, що це мінерал із групи турмаліну, а саме — дравіт.

Дравіт утворює ідіоморфні кристали довжиною від 0,05 до 1,0 мм та більше і шириною до 0,1—0,2 мм. Грані піраміди виражені не чітко (рис. *b*). Як згадувалось вище, в мінералі проявлена незвична для турмаліну "спайність" уздовж двох систем тріщин, орієнтованих під гострим кутом одна до одної і косо до граней призми (див. рис. *c*). Ураховуючи наявність планарних структур у кварці (рис. *d*), можна припустити, що така незвична "спайність" у дравіті може мати ударно-метаморфічну природу.

За результатами мікрозондових досліджень, виявлений мінерал групи турмаліну належить до магнезійного виду — дравіту (таблиця). За даними (Lazarenko et al., 1977), турмаліни Криворізька змінюють склад від шерлу до дравіту. Виявлений дравіт Тернівської структури відрізняється від турмалінів Криворізька за вмістом різних елементів, результати аналізування яких наведено у монографії (Lazarenko et al., 1977). Найподібнішим за складом є дравіт із лінзоподібних

прошарків хлоритизованої породи (ан. № 1 на стор. 210; Lazarenko et al., 1977), але більшість із них більш залізісти (див. таблицю).

Висновки. Завдяки виконаним дослідженням в уламках графіт-кварцових сланців у брекчії Тернівського метеоритного кратера виявлено дравіт в асоціації з кварцом, графітом, калієвим польовим шпатом і апатитом. Мінерал за хімічним складом відповідає дравіту і має нетипову для турмаліну "окремість", подібну до спайності з системою двох напрямів тріщин, які перетинаються під гострим кутом і дещо подібні до таких у планарній структурі кварцу з цієї ж брекчії.

Виявлені планарні структури у кварці дають підставу відносити досліджувані породи до утворень ударно-метеоритного походження, що узгоджується з наведеними вище висновками попередніх дослідників. Походження дравіту та вмісних порід остаточно не з'ясовано. Кварц-турмалінові сланці, жильні утворення з турмаліном, а також турмалін в уламках метаконгломератів криворізької серії описані у праці (Lazarenko et al., 1977). Ці породи та віднайдені в них мінеральні асоціації заслуговують на подальші прецизійні дослідження. Зокрема для графітової породи важливо виконати визначення ізотопного складу вуглецю і рентгеноструктурні дослідження графіту на кристалічність і можливі його модифікації. Це саме стосується й дослідження кристалічних фаз кремнезему. Окрім того, в досліджуваних зразках імовірна наявність ударно-метаморфогенних діамантів, які відомі в породах кратера Терни (Valter, Gursky, Eremenko, 1998). Досліджуваний турмалін міг набути окремої згідно з двома системами тріщин під час метеоритного удару.

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

- Eremenko, G.K. and Yakovlev, V.M. (1980), *Dokl. AN USSR*, Vol. 253, No. 2, Kyiv, pp. 449-450 [in Russian].
 [Еременко, Г.К., Яковлев, В.М. (1980), *Докл. АН СССР* **253**, № 2. С. 449—450.]
 Gurov, E.P. (1982), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 4, No. 2, Kyiv, pp. 75-76 [in Russian].
 [Гуров, Е.П. (1982), *Мінерал. журн.* **4**, № 2. С. 75—76.]
 Kvasnytsya, V.M. (2019), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 41, No. 4, Kyiv, pp. 3-12 [in Ukrainian].
 [Квасниця, В.М. (2019). *Мінерал. журн.* **41**, № 4. С. 3—12.]
 Lazarenko, E.K., Gershoyg, Yu.G., Buchynskaya, N.I., Belevtsev, R.Ya., Voznyak, D.K., Galaburda, Yu.A., Galiy, S.A., Kvasnytsya, V.N., Kulchytskaya, G.O., Melnik, Yu.P., Melnikov, V.S., Pavlyshyn, V.I., Pirogov, B.I. and Turkevich, G.I. (1977), *Mineralogy of the Krivoy Rog Basin*, Nauk. dumka, Kyiv, 543 p. [in Russian].

- [Лазаренко, Е.К., Гершойт, Ю.Г., Бучинская, Н.И., Белевцев, Р.Я., Возняк, Д.К., Галабурда, Ю.А., Галий, С.А., Квасница, В.Н., Кульчицкая, А.А., Мельник, Ю.П., Мельников, В.С., Павлишин, В.И., Пирогов, Б.И., Туркевич, Г.И. (1977), *Минералогия Криворожского бассейна*. Киев: Наук. думка. 543 с.]
- Plotnikov, A.V. (1994), *Geotektonika*, No. 3, pp. 36-43 [in Russian].
- [Плотников, А.В. (1994), *Геотектоника*. № 3. С. 36—43.]
- Velykanov, Yu.F. and Velykanova, O.Yu. (2010), *Geochemistry and Ore formation*, Vol. 28, Kyiv, pp. 103-108 [in Russian].
- [Великанов, Ю.Ф., Великанова, О.Ю. (2010), *Геохімія та рудоутворення*. 28. С. 103—108.]
- Valter, A.A., Gursky, D.S., Eremenko, G.K. (1998), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 20, No. 6, Kyiv, pp. 48-63 [in Russian].
- [Вальтер, А.А., Гурский, Д.С., Еременко, Г.К. (1998), *Минерал. журн.* 20, № 6. С. 48—63.]
- Valter, A.A., Ryabenko, V.A. and Kotlovskaya, F.I. (1981), *Dokl. AN USSR, Ser. B.*, No. 2, Kyiv, pp. 3-7 [in Russian].
- [Вальтер, А.А., Рябенко, В.А., Котловская, Ф.И. (1981), *Докл. АН УССР, Сер. Б.* № 2. С. 3—7.]

Received 23.03.2024

O.Yu. Velykanova, PhD (Geology), Researcher

E-mail: olgavel19@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1136-2854>

S.G. Kryvdik, DrSc (Geology and Mineralogy), Prof.

E-mail: kryvdik@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8356-1115>

O.A. Vyshnevskiy, PhD (Geology and Mineralogy), Senior Research Fellow

E-mail: vyshnevskyy@i.ua; <https://orcid.org/0000-0002-7206-2185>

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

DRAVITE OF TERNY METEORITIC CRATER (KRYVYI RIH DISTRICT)

During mineralogical investigations of breccia and volcanic rocks of the Terny structure (Veseli Terny, Kryvyi Rih), so-called Terny meteoritic crater, the mineral tourmaline, previously unknown here, was found. Tourmaline crystals, with a length from 0.05 to 1.0 mm and more and up to 0.1—0.2 mm wide, are associated with quartz, potassium feldspar, graphite and apatite. The morphology and chemical composition of tourmaline were examined using optical microscope and EPMA in transparent thin sections. The tourmaline crystals are unusually parted along two transverse systems of microcracks oriented obliquely to the prism faces. EPMA reveals that tourmaline is dravite. The specific deformations of dravite and observed mineral associations probably indicate the rock formation under conditions of high pressures and temperatures of impact metamorphism. It is also confirmed by the presence of planar fractures in quartz.

Keywords: Terny meteoritic crater, dravite, planar fractures in quartz.