

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.01.053>

УДК 523.681.8

Е.П. Гуров¹, Н.А. Николаенко², Е.А. Шевчук¹, А.Ю. Ямниченко¹

¹ Інститут геологічних наук НАН України, Київ

² Геологорозвідочна експедиція № 37 КП “Кировгеология”, Кропивницький

E-mail: yevgeniy.gurov@gmail.com

Каменецкая импактная структура на Украинском щите

Представлено академиком НАН Украины П.Ф. Гожиком

Каменецкая импактная структура представляет собой глубоко эродированный простой чашеобразный метеоритный кратер диаметром 1,1–1,2 км и глубиной до 130 м, расположенный в бассейне среднего течения р. Ингул на южном склоне Украинского щита. Установление характерных проявлений ударного метаморфизма в породах структуры позволило доказать ее импактное происхождение и пересмотреть первоначальные представления об ее вулканогенной природе. Глубокий срез кратера дает основания предполагать его древний, вероятно палеозойский возраст. Каменецкий кратер является восьмой структурой ударно-метеоритного происхождения, установленной на Украинском щите.

Ключевые слова: *импактная структура, аллогенная брекчия, ударный метаморфизм, планарные элементы.*

Каменецкая импактная структура расположена в среднем течении реки Ингул, в 95 км к югу от г. Кропивницький (рис. 1). Координаты центра кратера: 47°46' сев. широты, 32°21' вост. долготы. Соответствующая Каменецкой структуре отрицательная гравитационная аномалия интенсивностью –2 мГал была обнаружена в 2004 г. сотрудниками экспедиции № 37 КП “Кировгеология” в пределах Кировоградского блока Украинского щита. В результате бурения структуры по двум субширотным профилям скважин в 2005 г. в ней было установлено широкое распространение брекчиевых пород, определенных как “эпикластические туфопесчаники”, на основании чего она была диагностирована как “Каменецкая вулканогенная структура” (также “Каменецкий палеовулкан”, “Каменецкая эндогенная эксплозивная структура”) [1]. В то же время авторы упомянутой работы подчеркивают ее сходство с Болтышской, Ильинецкой, Оболонской, Западной, Ротмистровской и Зеленогайской импактными структурами Украинского щита, а также Пучеж-Катуньской импактной структурой в России, ударное происхождение которых ими опровергается [1].

В связи с указаниями на сходство Каменецкой структуры с импактными кратерами в Институте геологических наук НАН Украины были проведены исследования пород структуры для возможного пересмотра ее генезиса. Установление проявлений ударного метаморфизма в породах структуры позволило доказать ее импактный генезис. Для сохране-

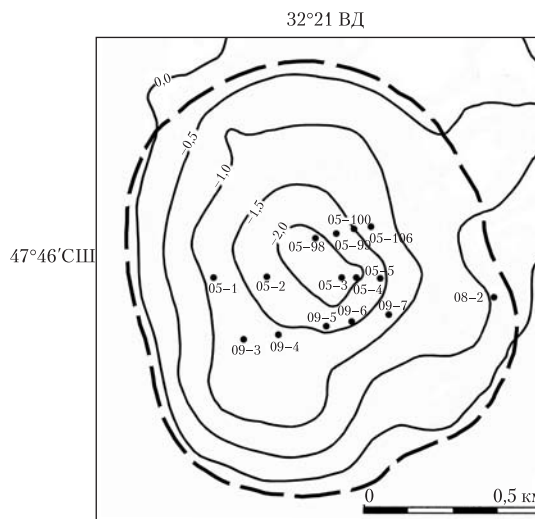
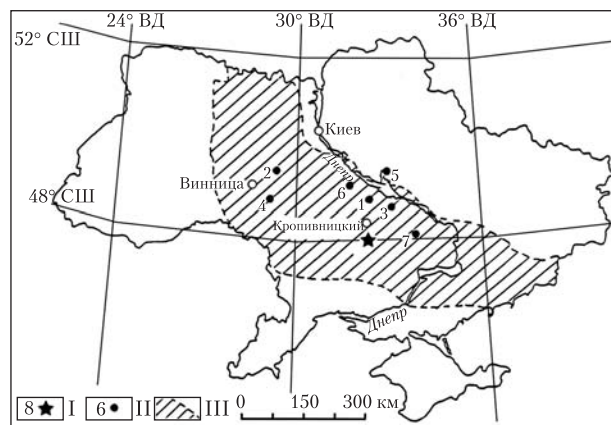


Рис. 1. Положение Каменецкой импактной структуры на Украинском щите. I – Каменецкая структура; II – импактные структуры: 1 – Болтышская; 2 – Западная; 3 – Зеленогайская; 4 – Ильинецкая; 5 – Оболонская; 6 – Ротмистровская; 7 – Терновская; III – Украинский щит

Рис. 2. Отрицательная гравитационная аномалия Каменецкой импактной структуры (сечения через 0,5 мГал). Расположение скважин показано залитыми кружками (по данным [1, 2] с изменениями)

ния приоритета ее первооткрывателей нами предложено название *Каменецкая* импактная структура.

Каменецкая импактная структура представлена изометрической в плане депрессией в поверхности кристаллического основания диаметром 1,0–1,2 км (рис. 2) [1, 2]. На современной поверхности кратер не выражен в рельефе.

Породы кристаллического основания Каменецкой структуры представлены комплексом гнейсов Чечелевской серии протерозоя с возрастом 2,3–2,4 млн лет и гранитами Кировоградского комплекса с возрастом 2,1–2,2 млн лет [3].

Глубина кратера до поверхности истинного дна структуры в ее центральной части колеблется от 100 до 130 м и уменьшается к краям, составляя 37 м у его восточной границы (рис. 3).

Основание структуры образуют брекчированные и катаклазированные гнейсы и граниты, пересеченные сложной системой крутопадающих жил микробрекчий мощностью от миллиметров до нескольких сантиметров. Проявления ударного метаморфизма пород основания представлены хрупкими деформациями. Под микроскопом наблюдается волнистое погасание кварца и изгибание полисинтетических двойников плагиоклаза, в биотите распространены полосы смятия. В единичных зернах кварца развиты системы планарных трещин (ПТ). Вверх от поверхности истинного дна в интервале около 5–10 м наблюдается переход к литической брекчии.

Толща литической брекчии мощностью от 35 до 60 м заполняет наиболее глубокую центральную часть импактной структуры. Брекчии представлены разностями пород от мелкообломочных до крупнообломочных и глыбовых с их неравномерным распределени-

ем по разрезу толщи. Обломочный материал составляют биотитовые граниты, биотитовые, гранат-биотитовые и биотит-пироксеновые гнейсы и минералы этих пород.

Породы и минералы литической брекчии содержат характерные проявления ударного метаморфизма. В кварце наблюдаются системы планарных элементов (ПЭ) (рис. 4). Количество систем ПЭ составляет до 4 на зерно. Установлена преимущественная кристаллографическая ориентировка систем $\{10\bar{1}3\}$ и $\{10\bar{1}4\}$ при низком распространении системы $\{10\bar{1}2\}$. Гистограмма частоты ориентировки систем ПЭ, построенная по 70 замерам в 34 зернах кварца из брекчии, близка к подобным гистограммам ударнометаморфизованного кварца из аллогенных брекчий многих импактных структур [4, 5]. Кроме ПЭ, в кварце наблюдается развитие ПТ и микрозоаицизма.

Полевые шпаты в литической брекчии содержат множественные системы ПЭ, часто образующие “лестничные” (“ladder” [5]) системы. В биотите распространены ПЭ и полосы смятия. Проявления ударного метаморфизма минералов в литической брекчии Каменецкой

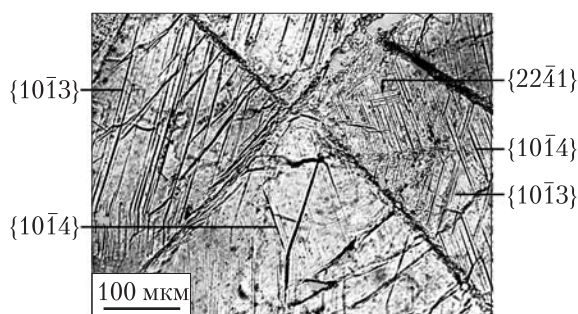
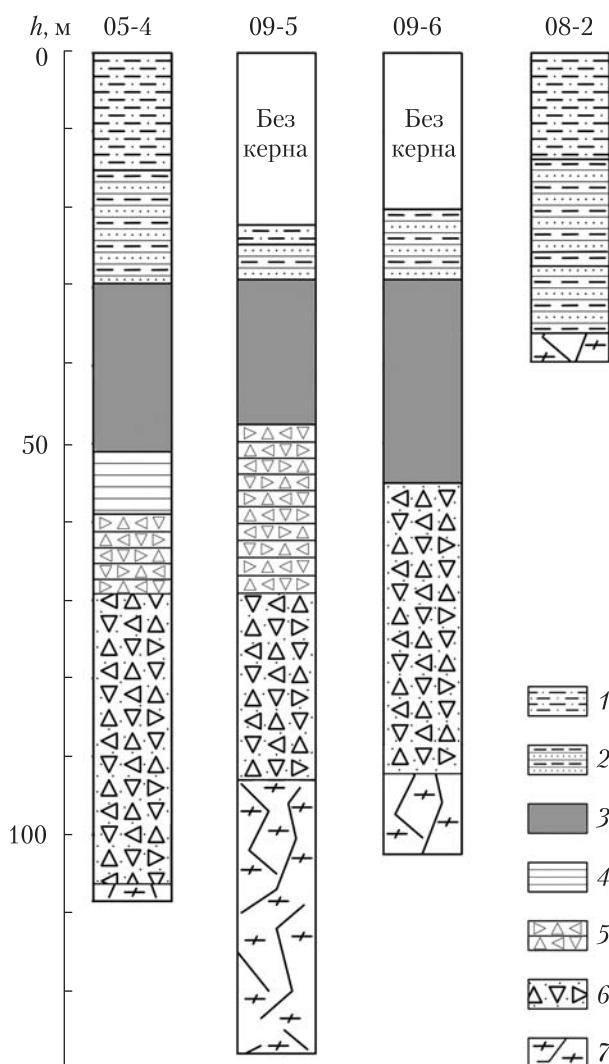


Рис. 4. Микрофотография систем ПЭ в кварце из литической брекчии Каменецкой структуры (скважина 05-4, глубина 74 м, без анализатора). Индексы систем ПЭ вынесены на поля микрофотографии

Рис. 3. Схематические разрезы скважин 05-4, 09-5 и 09-6 в центральной части Каменецкой импактной структуры и скважины 08-2 в ее краевой восточной части. 1 – четвертичные отложения: лессы, лессовидные суглинки; 2 – миоценовые морские и прибрежно-морские отложения: глины, мергели, пески; 3 – бурые угли; 4 – глинистые и углисто-глинистые сланцы, алевролиты; 5 – осадочная брекчия; 6 – литическая брекчия; 7 – брекчированные породы кристаллического основания

структуры относятся к I ступени (stage I) по классификации, предложенной в работе [6]. Диаплектовые стекла, мономинеральные и полиминеральные стекла плавления и ударно-расплавленные породы в Каменецкой структуре не сохранились.

На эродированной поверхности толщи литической брекчии с размывом залегает толща осадочной брекчии, в основании которой вскрыт слой гравелитовых песков и гальки мощностью до 5 м. Мощность осадочной брекчии колеблется в широких пределах от первых метров — 10 м в центральной и восточной частях структуры до 40—45 м в ее юго-западной части. В толще брекчии заключены невыдержанные прослои песка и гравия мощностью от 0,5 до 5 м. Осадочная брекчия состоит из обломков гранитов и гнейсов кристаллического основания и слагающих их минералов. Размер обломков колеблется от миллиметров до 5—10 см. В южной части структуры в скважинах 09-5 и 09-6 распространены крупноглыбовые брекчии кристаллических пород, сцементированные мелкообломочным материалом. В брекчии наблюдаются редкие окатанные и полуокатанные зерна кварца и полевых шпатов. В породах и минералах осадочной брекчии проявления ударного метаморфизма не установлены.

В центральной части структуры на поверхности осадочной брекчии залегает буроугольная толща мощностью 18—26 м. Уголь имеет массивную или слабо сланцеватую текстуру, цвет от темно-бурого до темно-серого. В толще угля наблюдаются мелкие обломки обугленной древесины и редкие отпечатки растений, в том числе отпечаток листа *Fagus orientalis* L., что свидетельствует о неогеновом возрасте толщи.

Выполненный О.А. Шевчук палинологический анализ четырех образцов пород буроугольной толщи позволил установить в них преобладающее распространение пыльцы покрытосеменных, составляющее 40—47 % их состава, что свидетельствует о неогеновом, вероятно, миоценовом возрасте отложений. Буроугольная толща представляет наиболее ранние осадочные отложения, позволяющие определить верхнюю возрастную границу образования Каменецкой структуры как неоген.

На поверхности буроугольной толщи в Каменецкой структуре залегают мелководные морские и прибрежно-морские отложения мощностью 11—19 м. В составе морских отложений изучена фауна моллюсков, характеризующая позднемиоценовый возраст толщи [3]. На поверхности этих осадков залегает толща лессовидных суглинков четвертичного возраста, мощность которой в пределах Каменецкой структуры составляет от 8 до 15 м.

Установление проявлений ударного метаморфизма в породах кольцевых структур является важнейшим доказательством их импактного происхождения [4—7]. К настоящему времени диагностика подавляющего большинства достоверных импактных структур на поверхности Земли выполнена в результате установления в составе слагающих их пород проявлений ударного метаморфизма кварца [5, 7, 8—10]. Проявления ударного метаморфизма кварца в брекчиях Каменецкой структуры являются достаточным доказательством ее ударно-метеоритного происхождения.

Диаметр Каменецкой структуры на современном уровне среза составляет 1,0—1,2 км, максимальная глубина достигает 130 м. Исходный диаметр структуры неизвестен, однако чашеобразная форма кратера свидетельствует о том, что ее диаметр до эрозии не превышал 4 км — порогового значения для перехода к кратерам с центральным поднятием в кристаллических породах [8, 11]. Расчетная глубина полностью сохранившейся простой импактной структуры диаметром 1,1 км по зависимости, приведенной в работе [11], составляет около

350 м. Эти данные свидетельствуют о срезе Каменецкой структуры и окружающей поверхности щита на глубину более 220 м, с учетом уменьшения диаметра кратера при эрозии. Такой глубокий срез кратера и мишени привел к срезу не только коренного вала структуры и толщи посткратерных осадков, но и большей части толщи пород импактного комплекса.

Максимальная мощность сохранившейся части литической брекчии в Каменецкой структуре составляет 60 м. В то же время мощность комплексов импактных пород в полностью сохранившихся ударных структурах близкого диаметра составляет около 180 м [12, 13]. По этим данным, глубина среза комплекса импактных пород в Каменецкой структуре составляет более 100 м. Отсутствие в кратере пород со следами высоких ударных давлений подтверждает глубокий эрозионный срез верхней части толщи пород импактного комплекса.

Установление возраста Каменецкой импактной структуры вызывает большие трудности в связи тем, что в ней не сохранились ударно-расплавленные породы и стекла для определения изотопного возраста.

Каменецкая структура образована в породах кристаллического основания Украинского щита, наиболее поздними из которых являются протерозойские граниты Кировоградского комплекса с абсолютным возрастом 2000–2100 млн лет [3]. Этот возраст определяет нижнюю возрастную границу образования кратера.

Верхняя возрастная граница образования структуры определяется на основании возраста перекрывающих ее осадочных отложений: буроугольной толщи неогена и позднемиоценовых морских отложений. Таким образом, время образования Каменецкой импактной структуры определяется широким интервалом от докембрия (2000–2100 млн лет) до позднего миоцена (11,63 млн лет) [14].

Каменецкая импактная структура является восьмым ударно-метеоритным кратером, установленным на Украинском щите. Пять импактных структур – Болтышская, Западная, Зеленогайская, Оболонская и Ротмистровская – имеют мезозойский или пограничный мел-палеогеновый возраст и представлены хорошо сохранившимися кратерами. По степени сохранности Каменецкая импактная структура близка к глубоко эродированным Терновской и Ильинецкой структурам палеозойского возраста [10, 15], что позволяет предполагать ее образование в палеозое.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Романюк П.М., Василенко Є.С., Корнієнко А.І., Ніколаєнко М.А. Кам'янецька структура – нова палеовулканічна споруда на Українському щиті: результати попереднього вивчення та порівняльна характеристика. *Зб. наук. пр. Укр. держ. геологорозв. ін-ту*. 2006. № 2. С. 32–45.
2. Ніколаєнко Н.А. Пошуки родовищ урану гідротермально-штокверкового типу масштабу 1 : 25000 в межах Розанівської площі (45 км²). Фонди КП “Кіровгеологія”. 2009. 266 с.
3. Панкратов И.Н., Николенко К.И., Воробей А.Н. Глубинное геологическое картирование масштаба 1 : 200000 территории листов М–36–XXXIII, L–36–III. Державне науково-виробниче підприємство “Геоінформ України”. 1995. 388 с.
4. Stöffler D., Langenhorst F. Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observation and theory. *Meteorit. Planet. Sci.* 1994. **29**. P. 155–181.
5. French B. N. Traces of catastrophe: a handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures LPI Contributions No. 954. 1998. Houston, Texas: Lunar and Planetary Institute. 120 p.
6. Stöffler D. Progressive metamorphism and classification of shocked and brecciated crystalline rocks at impact craters. *J. Geophys. Res.* 1971. **76**, № 23. P. 5541–5551.

7. French B.N., Koeberl C. The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why. *Earth-Sci. Rev.* 2010. **98**. P. 123–170.
8. Масайтис В.Л., Данилин А.Н., Машак М.С., Райхлин А.И., Селивановская Т.В., Шаденков Е.М. Геология астроблем. Ленинград: Недра, 1980. 231 с.
9. Grieve R.A.F. Terrestrial impact structures. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 1987. **15**. P. 245–270.
10. Earth Impact Database. 2017. URL: <https://www.passc.net>
11. Grieve R.A.F., Robertson P.B. The terrestrial cratering record. I. Current status of observations. *Icarus*. 1979. **38**. P. 212–229.
12. Kring D.A. Guidebook to the geology of Barringer Meteorite Crater, Arizona (a.k.a. Meteor Crater). LPI Contribution No. 1355. Houston, Texas: Lunar and Planetary Institute. 2007. 150 p.
13. Chen M., Xiao W., Xie X., Tan D., Cao Y. Xiuyan crater, China: Impact origin confirmed. *Chin. Sci. Bull.* 2010. **55**, Iss. 17. P.1777–1781.
14. International chronostratigraphic chart. International Commission on Stratigraphy. 2016. URL: <https://www.stratigraphy.org/index.php.ics-chart-timescale>
15. Гуров Е.П., Гурова Е.П. Геологическое строение и вещественный состав пород импактных структур. Киев: Наук. думка, 1991. 160 с.

Поступило в редакцию 09.08.2017

REFERENCES

1. Romaniuk, P. A., Vasilenko, E. C., Kornienko, A. I. & Nikolaienko, N. A. (2006). Kamenetskaya structure – a new paleovolcanic edifice on the Ukrainian Shield: results of the preliminary study and comparative characteristic. *Zb. nauk. prats UkrDGRI*, No. 2, pp. 32-45 (in Ukrainian).
2. Nikolaenko, N. A. (2009). Prospecting of uranium deposits of hydrothermal-stockwork type of scale 1:25000 within the Rozanivskaya area (45 km²). Archives of the Municipal Company “Kirovgeologiya” (in Ukrainian).
3. Pankratov, I. N., Nikolenko, K. I. & Vorobey, A. N. (1995). Deep geological mapping of scale 1:200000 of the area of the map sheets M-36-XXXIII, L-36-III. State Scientific-Manufacturing Company “Geoinform Ukrainy” (in Russian).
4. Stöffler, D. & Langenhorst F. (1994). Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observation and theory. *Meteorit. Planet. Sci.*, 29, pp. 155-181.
5. French, B. N. (1998). Traces of catastrophe: a handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures. LPI Contributions No. 954, Houston, Texas: Lunar and Planetary Institute.
6. Stöffler, D. (1971). Progressive metamorphism and classification of shocked and brecciated crystalline rocks at impact craters. *J. Geophys. Res.*, 76, No. 23, pp. 5541-5551.
7. French, B. N. & Koeberl, C. (2010). The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why. *Earth-Sci. Rev.*, 98, pp. 123-170.
8. Masaitis, V. L., Danilin, A. N., Maschak, M. S., Raykhlin, A. I., Selivanovskaya, T. V. & Shadenkov, E. M. (1980). Geology of astroblemes. Leningrad: Nedra (in Russian).
9. Grieve, R. A. F. (1987). Terrestrial impact structures. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 15, pp. 245-270.
10. Earth Impact Database (2017). Retrieved from <http://www.passc.net>
11. Grieve, R. A. F. & Robertson, P. B. (1979). The terrestrial cratering record. I. Current status of observations. *Icarus*, 38, pp. 212-229.
12. Kring, D. A. (2007). Guidebook to the geology of Barringer Meteorite Crater, Arizona (a.k.a. Meteor Crater). LPI Contribution No. 1355. Houston, Texas: Lunar and Planetary Institute.
13. Chen, M., Xiao, W., Xie, X., Tan, D. & Cao, Y. (2010). Xiuyan crater, China: Impact origin confirmed. *Chin. Sci. Bull.*, 55, Iss. 17, pp. 1777-1781.
14. International chronostratigraphic chart. 2016. International Commission on Stratigraphy. Retrieved from <http://www.stratigraphy.org/index.php.ics-chart-timescale>
15. Gurov, E. P. & Gurova, E. P. (1991). Geological structure and material composition of the rocks of impact structures. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).

Received 09.08.2017

Є.П. Гуров¹, М.А. Николаєнко², О.А. Шевчук¹, А.Ю. Ямниченко¹

¹ Інститут геологічних наук НАН України, Київ

² Геологорозвідувальна експедиція № 37 КП “Кіровгеологія”, Кропивницький

E-mail: yevgeniy.gurov@gmail.com

КАМ'ЯНЕЦЬКА ІМПАКТНА СТРУКТУРА НА УКРАЇНСЬКОМУ ЩИТІ

Кам'янецька імпактна структура являє собою глибоко еродований простий чашеподібний кратер діаметром 1,1–1,2 км і глибиною до 130 м, розташований на південному схилі Українського щита в басейні середньої течії р. Інгул. Встановлення характерних проявів ударного метаморфізму в породах структури дало можливість довести її імпактне походження та спростувати більш ранні уявлення про її вулканогенну природу. Глибокий зріз кратера дає підстави припускати його древній, ймовірно палеозойський, вік. Кам'янецький кратер є восьмою структурою ударно-метеоритного походження, діагностованою на Українському щиті.

Ключові слова: імпактна структура, алогенна брекчія, ударний метаморфізм, планарні елементи.

E.P. Gurov¹, N.A. Nikolaenko², H.A. Shevchuk¹, A.Yu. Yamnichenko¹

¹ Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kiev

² Expedition No. 37 of MC “Kirovgeologiya”, Kropyvnyts'kyi

E-mail: yevgeniy.gurov@gmail.com

KAMENETSK IMPACT STRUCTURE ON THE UKRAINIAN SHIELD

The Kamenetsk impact structure is a deeply eroded simple bowl-shaped crater 1.1-1.2 km in diameter, located in the basin of the Ingul river on the southern slope of the Ukrainian Shield. Determination of characteristic features of the shock metamorphism in the rocks of the Kamenetsk structure proves its impact origin and refutes the idea of its endogenous nature. Deep erosion of the crater allows us to assume its ancient, probably, Paleozoic age. The Kamenetsk crater is the eighth impact structure discovered in the Ukrainian Shield.

Keywords: impact structure, lithic breccia, shock metamorphism, planar deformation features.