DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.08>

УДК 552.43:550.42:550.93(477):549

Артеменко Г.В., Шумлянський Л.В., Швайка І.А., Бутирін В.К.

Артеменко Г.В., доктор геологічних наук, зав. відділом, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, ORCID 0000-0002-4528-6853, regulgeo@gmail.com

Шумлянський Л.В., доктор геологічних наук, Curtin University, School of Earth and planetary sciences, Perth, Australia, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
ORCID 0000-0002-6775-4419, leonid.shumlyanskyu@curtin.edu.au

Швайка І.А., кандидат геологічних наук, науковий співробітник, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, ORCID 0000-0001-9585-4380, ishvaika@gmail.com

Бутирін В.К., провідний інженер, Казенне підприємство «Південукргеологія»,
ORCID 0000-0002-5597-5177, bvaler83@gmail.com

ГЕОХІМІЯ ГАННІВСЬКИХ ГРАНІТІВ (СХІДНО-ГАННІВСЬКА МОНОКЛІНАЛЬ, СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКИЙ МЕГАБЛОК УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)

Анотація. Середньопридніпровський мегаблок, що є фрагментом кратона, відрізняється від інших кратонів Землі великою різноманітністю архейських гранітоїдів (токівський, мокромосковський та демуринський комплекси), які утворились пізніше за мезоархейські ТТГ. У зв'язку з цим, Середньопридніпровський мегаблок є важливим районом для дослідження генезису та геодинамічних умов утворення пізньоархейських гранітоїдів. До слабо вивчених пізньоархейських гранітоїдів на Середньопридніпровському блоці належать ганнівські граніти в Східно-Ганнівській монокліналі Криворізько-Кременчуцької структури, про вік і стратиграфічне положення яких тривала довга дискусія. Мета роботи – визначити геохімічні особливості, генезис та U-Pb вік ганнівських гранітів і зіставити їх з іншими архейськими гранітоїдними комплексами Середньопридніпровського фрагменту мезоархейського кратона. Методом LA-ICP-MS, визначено уран-свинцевий вік за цирконом ганнівських гранітів, який становить 2827 ± 16 млн років. Вони близькі за часом утворення з гранітоїдами токівського і мокромосковського комплексів та утворились значно пізніше за гранітоїди демуринського комплексу. Ганнівські граніти могли формуватись у коровому магматичному джерелі в результаті плавлення давнішої кори. Вони відрізняються від інших архейських гранітоїдів Середньопридніпровського мегаблока підвищеними вмістом U (56,4 ppm) та присутністю Mo (4,3 ppm). Серед невирішених проблем, що потребують подальшого вивчення, – визначення зв'язку ганнівських гранітів з інтрузіями гранітоїдів мокромосковського та токівського комплексів за межами Східно-Ганнівської структури і природи рудної мінералізації на уран та молібден.

Ключові слова: ганнівські граніти, Середньопридніпровський мегаблок, Східно-Ганнівська монокліналь, кратон, U-Pb вік, метод LA-ICP-MS.

Вступ. Наприкінці архейського еону (3,0–2,5 млрд років тому) на архейських кратонах відбулася різка зміна характеру магматизму – почали формуватись багаті калієм біотитові та двослюдні граніти, інтрузії санукітоїдів та гібридних гранітів [6]. Середньопридніпровський мегаблок, що є кратоном, відрізняється від інших кратонів Землі великою різноманітністю архейських гранітоїдів (токівський, мокромосковський та демуринський комплекси), які утворились пізніше за мезоархейські ТТГ [4]. У зв'язку з цим, Середньопридніпровський мегаблок є важливим районом для дослідження генезису та геодинамічних умов утворення пізньоархейських гранітоїдів. До слабо вивчених пізньоархейських гранітоїдів на Середньопридніпровському блоці відносяться ганнівські граніти в Східно-Ганнівській монокліналі Криворізько-Кременчуцької структури, про вік і стратиграфічне положення яких тривала довга дискусія.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ганнівські граніти та пов'язані з ними прояви вольфраму і молібдену, були виявлені під час профільного буріння Східно-Ганнівської структури у 1950-х рр. геолого-розвідувальними партіями Східного ГОКу. Пізніше їх досить детально вивчали у ході виконання проекту ГВП-2 у зв'язку з вибором місця закладання Криворізької надглибокої свердловини [3]. Вони мають тектонічний контакт із породами криворізької серії, а з породами конської серії – інтрузивний. Одні автори виділяли їх як ганнівські граніти [4], інші відносили до демуринського комплексу [3]. У роботі [2] зроблено висновок, що ганнівські граніти знаходяться у зоні субмеридіонального Східно-Ганнівського розлому, який виник у результаті латерального розтягу. У цій самій роботі [2] визначено, що за петрологічними даними ганнівські граніти характеризуються дуже неоднорідним складом. У них широкий діапазон значень

вмісту кремнію (70–89 %), калію (0,5–10 %) та високий сумарний вміст магнію і заліза. Ганнівські граніти не мають аналогів за складом за межами Східно-Ганнівської структури. У праці [5] за мультизерновими наважками циркону з цих гранітів було визначено їхній U-Pb вік - 2620 ± 80 млн років. У цирконі цих гранітів виявлено включення (ядра) давнішого циркону і, з цієї причини, це датування не є реперним. Для визначення історії формування цього циркону було виконано нове геохронологічне дослідження локальним методом *LA-ICP-MS*.

Мета досліджень. Визначити геохімічні особливості, генезис та U-Pb вік методом *LA-ICP-MS* ганнівських гранітів. Зіставити їх із іншими архейськими гранітоїдними комплексами Середньопридніпровського граніт-зеленокам'яного блоку.

Методи досліджень. Циркон виділено з порід за стандартною методикою у лабораторії збагачення Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененко НАН України. Внутрішню будову циркону було вивчено методом катодолюмінесценції. Уран-свинцевий ізотопний вік визначено за допомогою методу лазерної абляції цирконів з ізотопними вимірюваннями на мас-спектрометрі з індуктивно-зв'язаною плазмою (*LA-ICP-MS*) у центрі *John de Laeter* в *Curtin University* (Перт, Австралія). Абляцію здійснено за допомогою системи *Resonetics RESolution M-50A-LR*, яка включає лазер *COMPex 102-193 nm*. Ізотопний склад урану та свинцю визначено за допомогою квадрупольного інструменту *Agilent 7700 s* у плазмі високоочищеного аргону. Вміст рідкісних і розсіяних елементів визначено методом індукційно-пов'язаної плазми з мас-спектрометричним закінченням аналізу (*ICP-MS*). Помилки визначення концентрацій становили від 3 до 5 мас. % для більшості елементів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найбільше смугоподібне тіло ганнівських гранітів було розбите багатьма свердловинами в середній частині Східно-Ганнівської структури. Це переважно мікроклінові та плагіоклаз-мікроклінові граніти. Максимальний інтервал гранітів розкритий у свердловині 20873, де у них пройдено близько 150 метрів. В інтервалі 184,7–467,4 м розкрито амфіболіти, прорвані тілами ганнівських гранітів різної потужності. Останні на деяких інтервалах катаклазовані та змінені метасоматозом. Проба для геохімічних і геохронологічних досліджень відібрана в інтервалі 337,8–338 м (пр. 88-212).

Петрологічна характеристика ганнівських гранітів. Ганнівські граніти рожево-сірі, масивні, частіше порфіровидні. За хімічним складом ганнівські граніти дуже неоднорідні. Серед них виділяються гранодіорити та граніти вапнисто-лужної та висококалієвої вапнисто-лужної серій. У ганнівських гранітах рубідій переважає над стронцієм: Rb (218,1 ppm), Sr (167,7 ppm), відношення Rb/Sr (1,30) (табл. 1). У них підвищений вміст U (56,4 ppm). Характерною особливістю є присутність

Mo (4,3 ppm). Рідкісноземельні елементи сильно диференційовані – $La/Yb_N = 21,75$ з негативною європейською аномалією $Eu/Eu^* = 0,76$.

Мінералогічна характеристика циркону. В ганнівських гранітах Східно-Ганнівської моноклінали визначено два різновиди циркону. Перший (60 %) – циркон коричнево-сірий, напівпрозорий, тріщинуватий. Внутрішня будова неоднорідна. Виділяється слабка зональність. Центральна частина кристалів коричнева, слабопрозора, тріщинувата, а зовнішня прозора, тонкозональна. Другий різновид (40 %) циркону – світло-коричневий та коричневий, напівпрозорий із матовим блиском. Внутрішня будова неоднорідна. Виділяються блоки з метаміктною будовою. У поодиноких зернах спостерігаються ядра (включення) більш давнього циркону.

Результати геохронологічних досліджень. Методом *LA-ICP-MS* було продатовано 20 кристалів циркону з ганнівських гранітів (пр. 88-212). Результати цих аналізів наведено в табл. 2. Два з продатованих кристалів (аналізи 17 і 19) мають порівняно молодий протерозойський вік, який, ймовірно, вказує на вплив накладених процесів, що призвели до часткової втрати радіогенного свинцю. Інші точки розташовані зі значним розкидом уздовж лінії регресії (дискордії), яка, будучи "прив'язаною" до нижнього перетину з віком 0 млн років, має верхній перетин у точці з віком 2827 ± 16 млн років (рис. 1). Це датування визначає вік ганнівських гранітів.

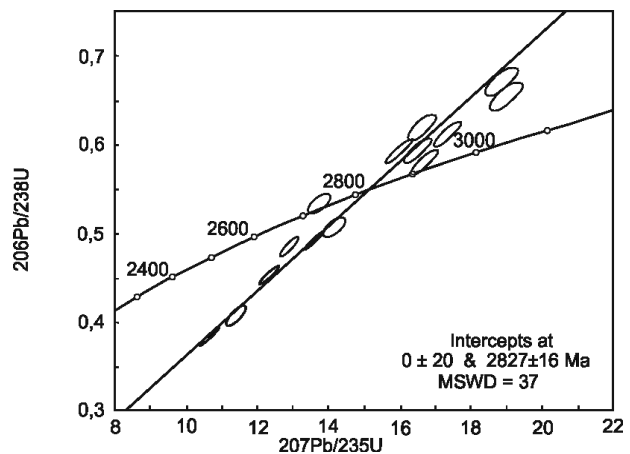


Fig. 1. U-Pb diagram with concordia for zircon from Hannivka granites from East-Hannivka monocline, borehole 20873, depth 337.8–338 m (sample 88-212)

Висновки та перспективи подальших досліджень. Методом *LA-ICP-MS* визначено уран-свинцевий вік за цирконом ганнівських гранітів, який становить 2827 ± 16 млн років. Вони могли утворитись у коровому магматичному джерелі в результаті плавлення давнішої кори. Ганнівські граніти близькі за віком до гранітоїдів токівського та мокромосковського комплексів і утворились значно пізніше від гранітоїдів демуринського комплексу. Вони відрізняються від інших архейських гранітоїдів Середньопридніпровського

Table 1. Element concentrations in Hannivka granites, ppm

Element	Ppm	Element	Ppm	Element	Ppm	Element	Ppm	Element	Ppm
Li	–	Ni	2.6	Hf	2.7	Eu	0.55	Lu	0.17
Be	<1	Cu	13.1	U	56.4	Gd	1.92	Mo	4.3
Rb	218.1	Zn	8.0	Th	22.8	Tb	0.28	Sn	<1
Sr	167.7	Ga	14.1	La	27.9	Dy	1.50	Cs	3.6
Ba	596	Y	8.8	Ce	52.1	Ho	0.32	W	<0.5
V	20	Nb	9.1	Pr	4.94	Er	0.98	Pb	23.0
Cr	–	Ta	1.0	Nd	18.3	Tm	0.16	La / Yb _N	21.75
Co	2.4	Zr	99.4	Sm	2.56	Yb	0.92	Eu / Eu*	0.76

Table 2. The results of U-Pb dating of zircon from Hannivka granites (sample 88-212)

No.	Concentrations, ppm Bмiсr, ppm			Isotope ratios						Isotope ages, Ma						
	U	Pb	Th	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ
1.d	604	880	278	16.6358	0.322	0.6199	0.011	0.70	0.1946	0.0004	3108	44	2914	17	2782	3
2.d	520	929	300	18.8622	0.360	0.6715	0.012	0.77	0.2025	0.0003	3310	46	3033	18	2845	2
3.d	2182	7001	3743	12.2859	0.238	0.4540	0.008	0.97	0.1962	0.0003	2420	34	2626	17	2793	2
4.d	1171	1111	303	13.2042	0.273	0.5055	0.010	0.04	0.1839	0.0004	2615	41	2650	21	2681	4
5.d	571	1038	322	16.0104	0.319	0.5945	0.011	0.95	0.1932	0.0007	3001	43	2861	19	2754	6
6.d	1533	1830	777	13.7047	0.276	0.4940	0.009	0.99	0.1998	0.0003	2571	39	2705	18	2823	2
7.d	974	1508	476	12.3689	0.246	0.4538	0.009	0.97	0.1953	0.0003	2415	36	2612	19	2788	2
8.d	348	1819	565	18.9913	0.366	0.6554	0.012	0.78	0.2080	0.0003	3248	45	3042	19	2890	3
9.d	470	978	335	17.3376	0.337	0.6117	0.011	0.92	0.2030	0.0004	3083	43	2957	17	2848	3
10.d	1672	1128	411	12.9369	0.250	0.4868	0.009	0.93	0.1929	0.0003	2551	38	2673	18	2766	2
11.d	823	2429	797	16.5832	0.320	0.5842	0.011	0.89	0.2047	0.0003	2964	43	2911	17	2862	2
12.d	858	1489	425	16.6385	0.320	0.5802	0.011	0.87	0.2056	0.0003	2948	42	2911	18	2869	2
13.d	666	1660	527	16.6513	0.321	0.5951	0.011	0.53	0.2027	0.0003	3009	43	2913	18	2845	3
14.d	2788	6185	2417	14.1636	0.273	0.5081	0.009	0.58	0.2025	0.0004	2643	39	2756	18	2848	3
15.d	655	1388	371	16.4946	0.318	0.5940	0.011	0.85	0.2030	0.0004	3004	43	2900	19	2851	3
16.d	1217	1464	464	13.7578	0.268	0.5330	0.010	0.68	0.1823	0.0005	2759	38	2723	18	2670	5
17.d	6731	20297	12179	8.08490	0.155	0.4025	0.007	0.56	0.1443	0.0005	2177	33	2244	17	2263	6
18.d	4090	6287	2083	11.4127	0.218	0.4081	0.007	0.83	0.1982	0.0003	2210	31	2555	17	2814	2
19.d	44333	37135	37368	3.81671	0.085	0.2535	0.005	0.96	0.1004	0.0004	1441	26	1528	19	1630	8
20.d	3348	4289	2781	10.6670	0.219	0.3839	0.007	0.99	0.1964	0.0003	2095	34	2470	18	2794	2

мегаблока підвищеними вмістом U (56,4 ppm) та присутністю Mo (4,3 ppm). Серед невирішених проблем, що потребують подальшого вивчення, – визначення зв'язку ганнівських гранітів з інтрузіями гранітоїдів мокромосковського та токівського комплексів за межами Східно-Ганнівської структури та природа рудної мінералізації на уран та молібден.

References

- Artemenko, G.V. (2021), Geochemical features of granitoids of the Krivoy Rog-Kremenchug structure. *Proceedings of the international scientific and practical conference "Development of industry and prosperity"* Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, May, pp. 4-13 [in Russian].
- Velikanov, Yu.F., Velikanova, O.Yu., Gorlitsky, B.A., Zankevich, B.A., Koval, V.B. (2005), Granitoids framing Krivbass.

Geological and structural position of the granites of the East Annovka strip. *Geological and Mineralogical Bulletin*, No 2. pp. 48-57 [in Russian].

- Zmievsky, G.E., Paranko, I.S., Zolotareva, L.I. (1990), *Comprehensive geological study of the drilling area of the Krivoy Rog super-deep well (second stage, GIP 2)*. Search and filming team of the Krivoy Rog GRE, Krivoy Rog [in Russian].

4. Orsa, V.I. (1988), *Granite formation in the Precambrian of the Middle Dnieper granite-greenstone region*. Kyiv: Naukova Dumka, 204 p. [In Russian].

5. Shcherbak, N.P., Artemenko, G. V., Bartnitsky, E.N., Zmievskii, G.E., and Tatarinova, E.A. (1989), Age of sedimentary-volcanogenic formations of the East-Annovka zone, *Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, V.B., No 2, pp. 30-35 [in Russian].

6. Laurent, O., Martin, H., Moyen, J.F., Doucelance, R. (2014), The diversity and evolution of late-Archean granitoids: Evidence for the onset of "modern-style" plate tectonics between 3.0 and 2.5 Ga. *Lithos*, 205. pp. 1-28.

GEOCHEMISTRY OF HANNIVKA GRANITES (EAST HANNIVKA MONOCLINE, MIDDLE-DNIEPER MEGABLOCK OF THE UKRAINIAN SHIELD)

G. Artemenko, L. Shumlyansky, I. Shvaika, V. Butyrin

G.V. Artemenko, D. Sc. (Geol.), Prof., Head of Department, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, 34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142 E-mail: regulgeo@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4528-6853>

L.V. Shumlyansky, D. Sc. (Geol.), Curtin University, School of Earth and planetary sciences, Perth, Australia, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine E-mail: leonid.shumlyansky@curtin.edu.au; <https://orcid.org/0000-0001-5591-5169>

I.A. Shvaika, PhD (Geol.), Research Fellow, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine 34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142 E-mail: ishvaika@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9585-4380>
V.K. Butyrin, Leading Engineer, State enterprise "Pivdenukrgeologiya" 11, Chernyshevsky Str., Dnipro, Ukraine, 49000, E-mail: butyrin@gmail.com

Abstract. *The Middle - Dnieper megablock, which is a fragment of archean craton, differs from other cratons on Earth by a large variety of Archean granitoids (Tok, Mokro-Moscowka, and Demurino complexes) which were formed later than the Mesoarchean TTG of sora complex. In this regard, the Middle - Dnieper megablock is an important area for studying the genesis and geodynamic conditions of Late Archean granitoid formation. The poorly studied Late Archean granitoids in the Middle - Dnieper block include the Hannivka granites in the East Hannivka monocline of the Kryvyi Rig - Kremenchuk structure, the age and stratigraphic position of which have been the subject of a long debate. The aim of the work is to determine geochemical peculiarities, genesis and U-Pb age of Hannivka granites and to compare them with other archean granitoid complexes of the Middle-Dnieper fragment of the Mesoarchean craton. The LA-ICP-MS method determined the U-Pb age of zircon from Hannivka granite 2827 ± 16 Ma. They are close in time to the granitoids of the Tok and Mokro-Moscowka complexes and were formed much later than the granitoids of the Demurino complex. The Hannivka granites could have been formed in a crustal magmatic source as a result of melting of an older crust. They differ from other Archean granitoids of the Middle-Dnieper megablock by the increased content of U (56.4 ppm) and the presence of Mo (4.3 ppm). Unsolved problems that require further study include determination of the connection of Hannivka granites with granitoid intrusions of the Mokra-Moscowka and Tok complexes outside the Eastern Hannivka structure and the origin of ore mineralization for uranium and molybdenum.*

Key words: *Hannivka granites, Middle-Dnieper megablock, East Hanniv monocline, craton, U-Pb age, LA-ICP-MS method.*