

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.084>
УДК 550.93

Л.М. Степанюк, д-р геол. наук, чл.-кор. НАН України, проф., заст. дир.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua; <https://orcid.org/0000-0001-5591-5169>

Л.В. Шумлянський, д-р геол. наук, пров. наук. співроб. Інститут геохімії,
мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: lshumlyanskyu@yahoo.com; <http://orcid.org/0000-0002-6775-4419>

С.А. Вайлд, проф. Університет Кьортіна, Школа наук про Землю та планети
GPO Box U1987, м. Перт, WA 6845 Австралія
E-mail: s.wilde@curtin.edu.au; <http://orcid.org/0000-0002-4546-8278>

А.А. Немчін, проф. Університет Кьортіна, Школа наук про Землю та планети
GPO Box U1987, м. Перт, WA 6845, Австралія
E-mail: A.Nemchin@curtin.edu.au; <http://orcid.org/0000-0002-3955-3409>

О.В. Білан, зав. лаб. Київський національний університет ім. Тараса Шевченка
Навчально-науковий інститут "Інститут геології"
03022, м. Київ, Україна, вул. Васильківська, 90
E-mail: olenka.bilan@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0964-6003>

U-Pb ГЕОХРОНОЛОГІЯ (LA-ICP-MS) ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРАНУЛІТАХ СЕРЕДЬНОГО ПОБУЖЖЯ.

Стаття 2. Породна асоціація Чаусівської групи кар'єрів

Методом LA-ICP-MS вивчено U-Pb та Lu-Hf ізотопні системи кристалів циркону із чарнокітоїдів, розкритих кар'єрами поблизу с. Чаусово Первомайського району. Кар'єрами розкрита асоціація ендербіто-гнейсів, мафітових і ультрамафітових (піроксеніти) гранулітів, прорваних жильними тілами рожевих біотитових гранітів. Ендербітоїди досить неоднорідні, їх склад варіює від лейкократових кварцитоподібних відмін до ендербіт-діоритів. Молдовський кар'єр, розташований південніше, практично повністю знаходиться в масиві чарнокітів. Отримані дані дають підстави стверджувати, що асоціація ендербітів і чарнокітів кристалізувалася 2850–2760 млн рр. тому з мантіїної речовини (ізотопний склад гафнію в кристалах циркону із ендербіт-діориту становить $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,280915 \pm 12$, $\varepsilon_{\text{Hf}}^{2850} = +2$, з лейкочарнокіту $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,280875 \pm 12$, $\varepsilon_{\text{Hf}}^{2760} = -1$, та з чарнокіту $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,280875 \pm 12$, $\varepsilon_{\text{Hf}}^{2760} = -1$). Вона являла собою новоутворену мезо-неоархейську кору, а не продукт переплавлення давнішої континентальної кори. Ця асоціація зазнала значних перетворень у палеопротерозої. Останній етап перетворень супроводжувався кристалізацією нової генерації цирконів у чарнокітоїдах, а також кристалізацією монациту 2,04–2,06 млрд рр. тому.

Ключові слова: Середнє Побужжя, гранулітова асоціація, чарнокіт, уран-свинцевий ізотопний вік, PT умови формування.

Цитування: Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Вайлд С.А., Немчін А.А., Білан О.В. U-Pb геохронологія (LA-ICP-MS) геологічних процесів у гранулітах Середнього Побужжя. Стаття 2. Породна асоціація Чаусівської групи кар'єрів. *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 4. С. 84–103. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.084>

Вступ. На лівому березі р. Південний Буг на схід від с. Чаусово знаходяться три кар'єри. Два з них розташовані безпосередньо біля села (так звані Чаусівські кар'єри), та один, досить великий, знаходиться ближче до м. Первомайськ (так званий Молдовський кар'єр) (рис. 1). Двома першими кар'єрами розкрита асоціація ендербітогнейсів, мафітових і ультрамафітових (піроксеніти) гранулітів, прорваних жильними тілами рожевих біотитових гранітів. Ендербітоїди досить неоднорідні, їх склад варіює від лейкократових кварцитоподібних відмін до ендербітдіоритів. За текстурою переважають масивні, рідше трапляються огнейсовані відміни. Подекуди масивні ендербіти мають січні контакти як зі смугастими ендербіто-гнейсами, так і з кристалосланцями. Молдовський кар'єр практично повністю знаходиться в масиві чарнокітів, серед яких зрідка трапляються жилородні виокремлення крупнозернистих чарнокітів.

Методи та об'єкти дослідження. Методом LA-ICP-MS (в Curtin University, м. Перт, Австралія), проаналізовано U-Pb та Lu-Hf ізотопні системи кристалів циркону із ендербітдіориту (пр. СП-2) та чарнокіту (пр. СП-2-6). Проба СП-2 була відібрана у південній частині, а пр. СП-2-6 — в центральній частині південно-західного борту ближнього кар'єру (рис. 1). Чарнокіт (пр. СП-3) був відібраний в північно-західному борту дальнього Чаусівського кар'єру, що працював у 1991 р., під час відбору проб.

Результати дослідження та їх обговорення. *Ендербіт-діорит (пр. СП-2)* — зеленувато-сіра порода з масивною текстурою.

Структура породи дрібнозерниста до дрібно-середньозернистої, гранобластова, ділянками лепідогранобластова. Розмір зерен варіює від 0,1 до 2 мм, переважають кристали розміром 0,3—0,7 мм.



Рис. 1. Космоснімок долини р. Південний Буг між с. Чаусове та м. Первомайськ: 1 — ближній (закинтий) Чаусівський кар'єр; 2 — дальній Чаусівський кар'єр, що працював у 1991 р.; 3 — Молдовський кар'єр

Fig. 1. Space image of the Southern Bouh river valley between Chausove village and town of Pervomaiksk: 1 — abandoned Chausove open pit; 2 — the Chausove open pit that was in operation in 1991; 3 — Moldova open pit

Таблиця 1. Результати U-Pb датування цирконів з ендербіт-діориту (пр. СП-2)
Table 1. Results of U-Pb dating of zircons from enderbitic diorite (smp. СП-2)

Spot #	Crystal #	Isotope ratios									
		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	Error Corr	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	Error Corr
1	1c	16.670	0.45	0.5799	0.0045	0.40	1.72444	0.0134	0.2050	0.0056	0.34
2	2c	12.539	0.34	0.5013	0.0038	0.30	1.99481	0.0151	0.1786	0.0049	0.31
3	3c	15.596	0.41	0.5524	0.0042	0.34	1.81028	0.0138	0.2013	0.0055	0.37
4	3m	16.000	0.43	0.5600	0.0043	0.49	1.78571	0.0137	0.2045	0.0056	0.34
5	4c	15.957	0.42	0.5632	0.0040	0.36	1.77557	0.0126	0.2027	0.0055	0.33
6	5c	15.720	0.42	0.5657	0.0043	0.35	1.76772	0.0134	0.1987	0.0054	0.29
7	6c	13.654	0.37	0.5159	0.0042	0.50	1.93836	0.0158	0.1889	0.0052	0.21
8	6m	9.160	0.27	0.4327	0.0048	0.35	2.31107	0.0256	0.1505	0.0044	0.31
9	7c	15.313	0.41	0.5561	0.0046	0.38	1.79824	0.0149	0.1970	0.0054	0.46
10	8c	16.660	0.45	0.5802	0.0047	0.34	1.72354	0.0140	0.2065	0.0056	0.40
11	8m	8.113	0.22	0.4122	0.0031	0.47	2.42601	0.0182	0.1411	0.0039	0.22
12	9c	15.790	0.43	0.5588	0.0044	0.31	1.78955	0.0141	0.2026	0.0055	0.36
13	10c	15.861	0.42	0.5611	0.0041	0.29	1.78221	0.0130	0.2033	0.0055	0.34
14	11c	15.898	0.42	0.5638	0.0041	0.44	1.77368	0.0129	0.2028	0.0055	0.40
15	11m	11.840	0.33	0.4818	0.0044	0.14	2.07555	0.0190	0.1766	0.0051	0.42
16	12c	13.770	0.40	0.5174	0.0046	0.22	1.93274	0.0172	0.1904	0.0057	0.32
17	12m	14.410	0.39	0.5348	0.0046	0.59	1.86986	0.0161	0.1925	0.0053	0.01
18	13c	14.500	0.39	0.5353	0.0043	0.17	1.86811	0.0150	0.1952	0.0054	0.37
19	14c	16.399	0.44	0.5672	0.0040	0.33	1.76305	0.0124	0.2079	0.0056	0.38
20	15c	16.640	0.45	0.5753	0.0047	0.46	1.73822	0.0142	0.2090	0.0057	0.14
21	16c	15.653	0.42	0.5553	0.0044	0.27	1.80083	0.0143	0.2034	0.0056	0.41
22	17c	15.389	0.41	0.5547	0.0043	0.48	1.80278	0.0140	0.2005	0.0054	0.25
23	18c	15.170	0.42	0.5481	0.0044	0.61	1.82449	0.0146	0.2008	0.0055	0.12
24	18m	16.688	0.45	0.5820	0.0043	0.26	1.71821	0.0127	0.2072	0.0056	0.46
25	19c	14.650	0.43	0.5394	0.0048	0.31	1.85391	0.0165	0.1968	0.0058	0.20
26	20c	15.970	0.43	0.5674	0.0048	0.47	1.76243	0.0149	0.2032	0.0056	0.19
27	21c	14.154	0.38	0.5334	0.0041	0.33	1.87477	0.0144	0.1923	0.0052	0.41
28	22c	14.290	0.39	0.5292	0.0039	0.36	1.88965	0.0139	0.1959	0.0054	0.23
29	23c	15.395	0.41	0.5517	0.0042	0.40	1.81258	0.0138	0.2021	0.0055	0.31
30	24c	14.474	0.39	0.5348	0.0040	0.40	1.86986	0.0140	0.1967	0.0053	0.34
31	25c	13.710	0.37	0.5203	0.0040	0.26	1.92197	0.0148	0.1922	0.0053	0.34
32	26c	15.052	0.40	0.5540	0.0046	0.45	1.80505	0.0150	0.1975	0.0054	0.37
33	27c	14.458	0.39	0.5376	0.0043	0.63	1.86012	0.0149	0.1962	0.0053	0.16
34	28c	13.035	0.35	0.5044	0.0040	0.50	1.98255	0.0157	0.1879	0.0051	0.13
35	29c	16.012	0.43	0.5638	0.0042	0.34	1.77368	0.0132	0.2065	0.0056	0.41
36	30c	14.471	0.39	0.5384	0.0041	0.43	1.85736	0.0141	0.1960	0.0053	0.39
37	31c	14.534	0.39	0.5337	0.0040	0.37	1.87371	0.0140	0.1978	0.0054	0.43
38	31m	16.220	0.46	0.5671	0.0054	0.69	1.76336	0.0168	0.2084	0.0058	0.01
39	32c	16.836	0.45	0.5785	0.0046	0.50	1.72861	0.0137	0.2113	0.0057	0.37
40	33c	15.750	0.44	0.5572	0.0045	0.23	1.79469	0.0145	0.2062	0.0058	0.32
41	34c	16.395	0.44	0.5725	0.0043	0.37	1.74673	0.0131	0.2085	0.0057	0.38
42	35c	14.822	0.40	0.5376	0.0044	0.20	1.86012	0.0152	0.2011	0.0055	0.49
43	35m	15.870	0.45	0.5647	0.0050	0.31	1.77085	0.0157	0.2051	0.0059	0.29
44	36c	16.380	0.44	0.5687	0.0043	0.29	1.75840	0.0133	0.2103	0.0057	0.37
45	36m	15.534	0.41	0.5532	0.0041	0.32	1.80766	0.0134	0.2057	0.0056	0.35
46	37m	17.600	1.30	0.6010	0.0360	0.91	1.66389	0.0997	0.2034	0.0068	0.13
47	38m	17.083	0.46	0.5830	0.0043	0.35	1.71527	0.0127	0.2143	0.0058	0.34
48	39c	16.658	0.44	0.5798	0.0042	0.43	1.72473	0.0125	0.2107	0.0057	0.33
49	40c	15.438	0.41	0.5529	0.0043	0.38	1.80865	0.0141	0.2050	0.0056	0.34
50	41c	15.370	0.42	0.5517	0.0045	0.42	1.81258	0.0148	0.2043	0.0056	0.28

Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
$^{207}\text{U}/^{235}\text{Pb}$	2 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ	U	Th	Pb	
2916.2	6.7	2948	11	2866	11	218.5	84.1	125.1	2.6
2646.1	5.8	2620.7	9.2	2638	10	356.0	272.9	356.1	1.3
2851.9	4.8	2834.7	9.8	2835.3	8.3	602.1	328.8	462.9	1.8
2876.7	5.1	2866	11	2860.8	8.3	335.4	248.0	350.3	1.4
2874.1	4.9	2879.5	8.5	2847.3	7.8	685.0	612.0	879.5	1.1
2860.2	6.5	2890	11	2814	10	361.0	268.0	379.0	1.4
2726.9	5.7	2682	12	2732.6	9.2	326.4	191.8	255.6	1.7
2355	12	2317	18	2350	21	79.0	11.8	17.4	6.7
2835.4	5.7	2850	13	2799.5	9.3	234.2	158.0	228.7	1.5
2915.7	5.9	2949	12	2877	10	291.5	228.3	333.3	1.3
2243.6	5.9	2225.7	8.1	2242	10	436.9	25.0	36.1	17.8
2863.8	6.5	2861	11	2847	10	170.5	99.3	139.7	1.7
2868.9	5.7	2871.1	8.8	2852.9	8.3	437.9	378.7	539.7	1.2
2870.3	4.6	2882.1	8.6	2849.6	6.5	788.0	807.0	1159.0	1.0
2590.4	9.9	2534	14	2621	19	70.2	21.4	29.0	3.3
2734	12	2687	14	2746	22	47.8	13.4	17.7	3.6
2775.7	7.7	2762	14	2761	11	273.2	173.1	243.7	1.6
2782.2	6.9	2764	11	2784	12	154.1	98.7	133.2	1.6
2899.9	5.1	2896.3	8.2	2889.4	7.9	507.3	476.5	689.3	1.1
2914	7.8	2929	12	2898	11	155.6	107.6	157.9	1.5
2855.8	5.9	2847	11	2851	11	165.8	82.2	115.3	2.0
2839	5.8	2845	11	2830.1	7.9	514.7	279.5	404.9	1.8
2825.2	8.6	2817	12	2830.9	9.9	386.6	76.2	113.1	5.1
2916.5	5.6	2956.5	9.7	2881.7	8.8	457.9	331.1	491.1	1.4
2790	12	2781	15	2795	21	59.8	15.6	21.7	3.8
2874.2	7.4	2897	13	2852	11	167.9	54.5	79.1	3.1
2759.6	5.3	2755	10	2760.7	9	432.1	317.5	443.7	1.4
2770.6	6.9	2737.7	9.2	2791	10	250.3	179.5	246.5	1.4
2839.4	5.8	2832	10	2843.7	9.6	235.3	171.9	239.1	1.4
2780.7	5.5	2761.2	9.5	2797.1	8.7	362.1	159.4	220.0	2.3
2729.4	7.1	2700	10	2758	13	176.9	82.6	112.2	2.2
2818.4	5.8	2841	12	2804.9	9	306.7	121.3	176.3	2.5
2780.1	6.3	2774	12	2793.6	7.6	406.0	96.7	133.7	4.2
2681.9	6.9	2633	11	2723	10	222.3	101.6	136.1	2.2
2876.9	5.4	2882	9.8	2876.6	9.5	265.0	127.0	181.8	2.1
2781	5.7	2778	10	2791.7	8.9	405.8	324.1	452.1	1.3
2785.2	5.2	2756.8	9.7	2807.6	8.2	589.0	256.5	349.8	2.3
2888	11	2897	17	2892	13	121.1	50.1	72.5	2.4
2925	5.4	2942	12	2914	8.9	325.4	271.9	398.8	1.2
2860.8	8.8	2854	12	2876	14	98.1	43.9	61.4	2.2
2900	5.2	2918	10	2894	8.3	461.8	404.1	589.0	1.1
2803.2	6	2773	12	2840	12	206.8	155.9	217.5	1.3
2870	10	2885	15	2865	17	52.8	9.4	13.2	5.6
2898.4	5.9	2902	10	2908.1	9.7	358.9	288.5	415.3	1.2
2848.5	5.4	2838.1	9.1	2869.9	8.5	367.4	306.5	433.7	1.2
2902	40	2892	68	2856	28	207.0	92.0	131.0	2.2
2939	5.5	2962	10	2937.1	8.6	396.2	349.8	511.9	1.1
2914.9	4.7	2947.8	8.9	2909.2	7	736.0	741.0	1083.0	1.0
2842	5.8	2838	11	2865.6	9.5	283.7	231.0	321.1	1.2
2837.9	6.9	2832	12	2862	11	143.9	76.2	106.1	1.9

Spot #	Crystal #	Isotope ratios									
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ	Error Corr	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	2 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ	Error Corr
51	42c	16.970	0.45	0.5824	0.0043	0.37	1.71703	0.0127	0.2133	0.0058	0.32
52	43c	14.080	0.39	0.5254	0.0045	0.76	1.90331	0.0163	0.1961	0.0053	0.11
53	44c	13.997	0.38	0.5303	0.0043	0.48	1.88573	0.0153	0.1941	0.0053	0.20
54	45c	14.323	0.39	0.5337	0.0042	0.32	1.87371	0.0147	0.1970	0.0054	0.43
55	46c	16.120	0.44	0.5658	0.0046	0.26	1.76741	0.0144	0.2095	0.0058	0.42
56	47c	16.370	0.44	0.5704	0.0045	0.33	1.75316	0.0138	0.2103	0.0058	0.34
57	47m	14.850	0.42	0.5372	0.0051	0.30	1.86150	0.0177	0.2028	0.0059	0.34
58	48c	16.083	0.43	0.5773	0.0050	0.56	1.73220	0.0150	0.2047	0.0055	0.26
59	49c	15.416	0.41	0.5508	0.0043	0.28	1.81554	0.0142	0.2054	0.0056	0.41
60	50c	16.313	0.44	0.5667	0.0043	0.33	1.76460	0.0134	0.2117	0.0058	0.40
61	51c	15.168	0.41	0.5481	0.0044	0.33	1.82449	0.0146	0.2034	0.0056	0.34
62	52c	16.427	0.44	0.5726	0.0044	0.36	1.74642	0.0134	0.2114	0.0058	0.36
63	53c	17.126	0.46	0.5835	0.0044	0.49	1.71380	0.0129	0.2160	0.0058	0.34
64	54c	16.360	0.44	0.5688	0.0043	0.33	1.75809	0.0133	0.2123	0.0058	0.37
65	54m	13.520	0.38	0.5132	0.0044	0.26	1.94856	0.0167	0.1936	0.0056	0.25
66	55c	17.470	0.47	0.6036	0.0050	0.49	1.65673	0.0137	0.2134	0.0058	0.23
67	56c	12.855	0.34	0.5080	0.0038	0.47	1.96850	0.0147	0.1855	0.0050	0.19
68	57c	17.200	0.47	0.6005	0.0056	0.64	1.66528	0.0155	0.2110	0.0058	0.20
69	58c	15.640	0.42	0.5600	0.0044	0.29	1.78571	0.0140	0.2061	0.0056	0.37
70	59c	16.232	0.43	0.5698	0.0044	0.54	1.75500	0.0136	0.2103	0.0057	0.41
71	60c	16.170	0.44	0.5676	0.0046	0.41	1.76180	0.0143	0.2102	0.0057	0.39
72	61c	16.465	0.44	0.5737	0.0045	0.42	1.74307	0.0137	0.2112	0.0057	0.34
73	62c	15.258	0.41	0.5533	0.0042	0.34	1.80734	0.0137	0.2035	0.0055	0.37
74	63c	16.500	0.45	0.5689	0.0046	0.09	1.75778	0.0142	0.2128	0.0059	0.53
75	64c	15.730	0.43	0.5562	0.0045	0.40	1.79791	0.0145	0.2077	0.0057	0.24
76	65c	15.860	0.43	0.5671	0.0044	0.41	1.76336	0.0137	0.2062	0.0056	0.22
77	66c	16.780	0.45	0.5774	0.0044	0.31	1.73190	0.0132	0.2146	0.0059	0.45
78	67c	16.045	0.43	0.5730	0.0045	0.43	1.74520	0.0137	0.2066	0.0056	0.27
79	68c	16.503	0.44	0.5742	0.0045	0.52	1.74155	0.0136	0.2117	0.0057	0.30
80	68m	17.410	0.53	0.5903	0.0062	0.26	1.69405	0.0178	0.2166	0.0066	0.30
81	69c	17.176	0.46	0.5906	0.0047	0.39	1.69319	0.0135	0.2138	0.0058	0.40

Примітка. Літера біля номеру датованого кристала означає: *c* — центральна частина кристала, *m* — крайова.

Note. A letter next to the number of dated zircon grain indicates the location of the analysed spot within the grain: *c* —

Мінеральний склад, %: плагіоклаз — 55–60, піроксени (гіперстен — різко переважає, моноклінний піроксен) — 25–30, біотит — 10; калішпат — 5; акцесорні мінерали — апатит, циркон, рогова обманка, рудний мінерал; вторинні — серицит, карбонат, хлорит.

Плагіоклаз утворює зерна переважно ізометричної форми, розміром від 0,1 до 3 мм. Характерні тонкі полісинтетичні двійники за альбітовим та периклиновим законами. Антипертитова будова особливо помітна у більших за розміром кристалах. Вторинні зміни незначні та проявлені у заміщенні плагіоклазу серицитом та зрідка карбонатом.

Калішпат нерівномірно розподілений в основній масі породи, трапляються як збагачені на калішпат ділянки, так і такі, де він присутній лише як антипертитові включення в плагіоклазі. Форма зерен переважно ксеноморфна, розмір 0,1–0,6 мм.

Біотит бурого кольору по *Ng* та майже безбарвний по *Np*, зрідка присутній зелений біотит, який разом із хлоритом розвивається по піроксену. Луски мають розміри 0,1–2 мм. На деяких ділянках відмічається пластична деформація кристалів.

Піроксен — в основному представлений гіперстеном, у незначній кількості трапляється

Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
²⁰⁷ U/ ²³⁵ Pb	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	U	Th	Pb	
2933.2	5.7	2958.3	9.7	2929.9	8.6	322.7	272.6	400.0	1.2
2754.2	9	2721	13	2793	8.9	773.0	718.0	987.0	1.1
2750.4	6.4	2743	12	2774.9	9.6	279.2	187.9	259.0	1.5
2771.2	6.2	2756	11	2802	11	271.4	154.0	217.3	1.8
2883.9	7	2890	12	2901	12	135.6	84.5	121.6	1.6
2897.9	6.8	2909	12	2907	11	166.8	84.5	121.6	2.0
2808	11	2771	16	2845	19	44.9	13.4	18.5	3.4
2881.6	5.7	2937	14	2863.5	8	520.4	285.3	425.9	1.8
2840.6	6.1	2828	11	2869	10	262.0	203.7	286.1	1.3
2895.2	5.8	2894	10	2917.9	9.9	250.6	197.9	282.8	1.3
2826.2	6.2	2817	11	2852.7	9.7	237.5	185.7	259.3	1.3
2902.5	5.3	2918	11	2914.3	9	260.0	203.3	292.2	1.3
2941.4	5.3	2963	10	2950.9	7.3	415.3	378.4	558.6	1.1
2897.9	6.2	2903	10	2922	10	213.9	159.0	227.8	1.4
2718	10	2670	13	2775	19	65.9	25.5	33.5	2.6
2961	6.3	3044	13	2932.1	9	267.4	225.3	343.0	1.2
2668.5	5.5	2648	8.9	2701.9	7.6	560.2	325.0	433.6	1.7
2946.3	7.5	3031	17	2912	10	211.6	147.3	230.4	1.4
2854.4	6.3	2866	11	2876	10	226.4	116.9	162.8	1.9
2890.1	4.8	2908	11	2907	7	578.4	528.8	758.2	1.1
2887.6	6.4	2900	12	2906.3	9.6	284.5	235.9	333.0	1.2
2903.6	5.7	2924	11	2913.7	8	280.1	223.1	323.7	1.3
2830.9	5.4	2838	10	2852.4	9.3	319.1	253.9	358.5	1.3
2904.9	7.7	2903	12	2925	14	106.5	49.1	70.8	2.2
2861.2	7.1	2850	12	2888	12	158.9	70.0	97.0	2.3
2868.7	7.4	2895	11	2875	10	286.9	210.0	301.5	1.4
2922.8	5.9	2938	11	2939	11	203.1	157.0	225.6	1.3
2879.9	5.7	2920	11	2878.8	8.6	315.0	268.2	392.3	1.2
2905.9	5	2926	12	2917.1	8.3	472.9	417.6	608.6	1.1
2960	15	2989	20	2960	24	26.4	6.3	9.1	4.2
2945.1	5	2991	12	2935.5	9	355.7	319.8	477.9	1.1

central part, *m* — marginal part.

діюсид. Форма зерен ізометрична, призматична, розмір — від 0,1 до 2 мм. Заміщується біотитом, хлоритом.

Циркон утворює напівпрозорі світло-рожеві, коричневаті-рожеві до коричневих видовжено-призматичні, призматичні, коротко-призматичні до майже ізометричних, надзвичайно сильно тріщинуваті кристали з заокругленими контурами. Зазвичай кристали мають складну будову — утворені світло-рожевим ядром і дещо густіше забарвленою оболонкою (рис. 2, *a, b, f*). У світло-рожевих кристалах оболонка або взагалі відсутня, або покриває не весь кристал (рис. 2, *d, e*).

Відмітимо, що коричневе забарвлення є неоднорідним, густіше з поверхні кристалів, уздовж тріщинок, окремими блоками. Складається враження, що коричневе забарвлення обумовлене пізнішими накладеними процесами, вірогідно чарнокітзації. В усякому разі чарнокіти, розкриті Молдовським кар'єром, містять виключно коричневі циркони [3]. Надзвичайно висока тріщинуватість кристалів циркону (рис. 2), на наш погляд, обумовлена тектонічними деформаціями, що відбувалися після кристалізації циркону оболонки в розташовані поряд Первомайській зоні глибинних розломів.

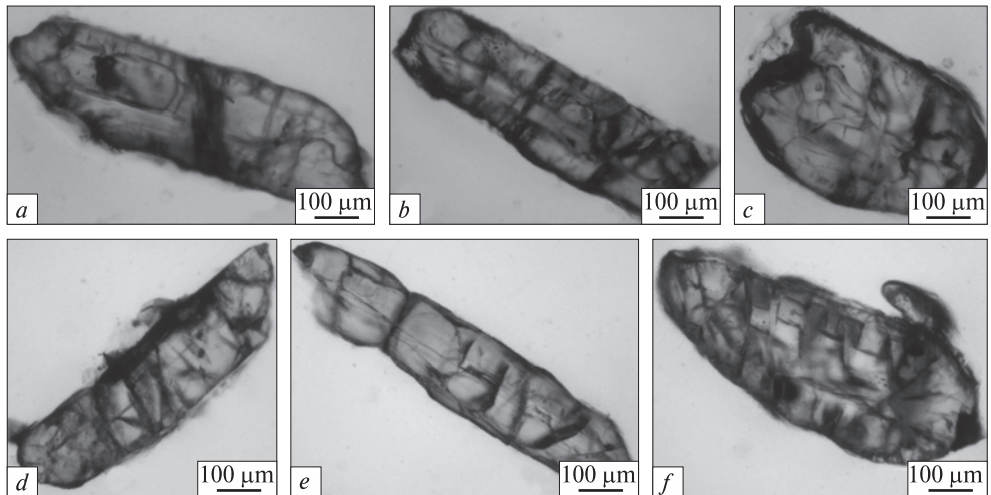


Рис. 2. Мікрофотографії зрізів кристалів циркону із ендербіт-діориту (пр. СП-2), оптичний мікроскоп, при одному ніколі: *a–f* — пояснення в тексті

Fig. 2. Photomicrographs of zircon crystals from enderbite-diorite (smp. СП-2), optical microscope, plane-polarized light: *a–f* — explanation in the text

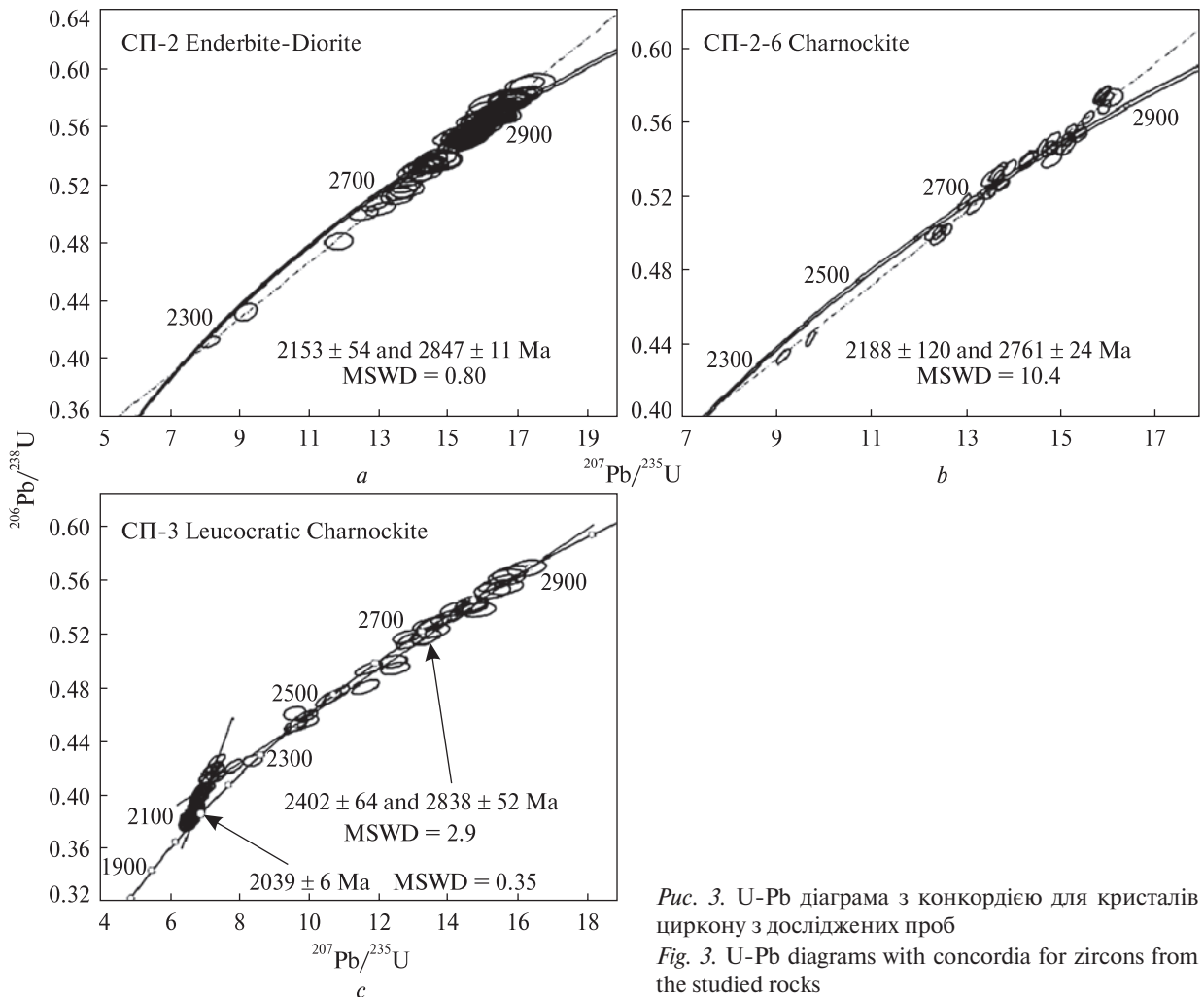


Рис. 3. U-Pb діаграма з конкордією для кристалів циркону з досліджених проб

Fig. 3. U-Pb diagrams with concordia for zircons from the studied rocks

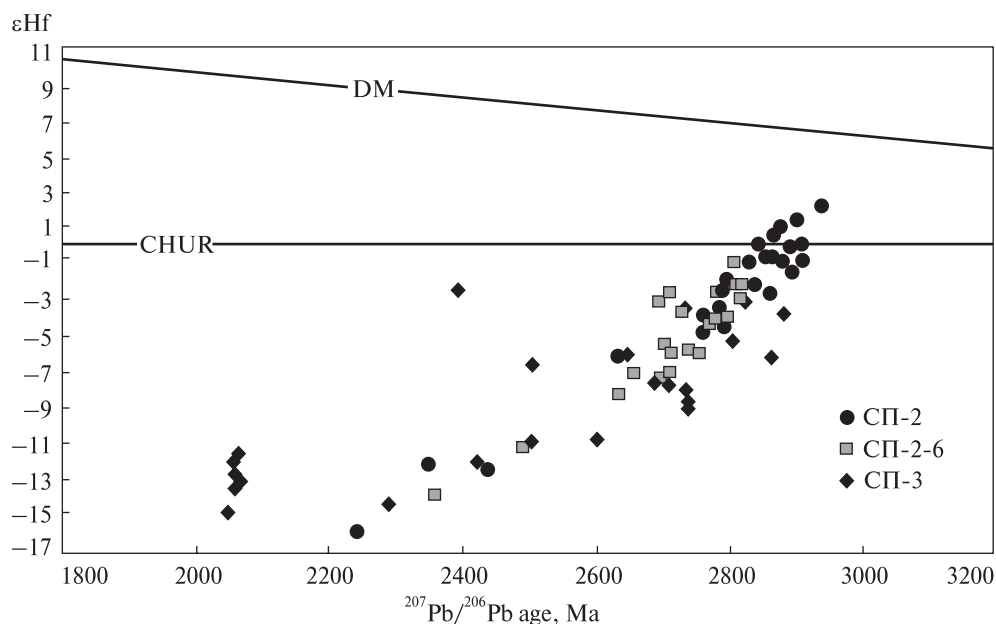


Рис. 4. Ізотопний склад гафнію в кристалах циркону з досліджених проб

Fig. 4. Hf isotope composition in zircons from the studied rocks

Таблиця 2. Результати визначення ізотопного складу гафнію в цирконах з ендербіт-діориту (пр. СП-2)

Table 2. Results of Hf isotope analysis in zircons from enderbitic diorite (smp. СП-2)

Spot #	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age, Ma	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 1\sigma$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_T$	εHf_T	$\pm 2\sigma$
2	2638	0.280938	0.000035	0.000450	0.0104	0.2809	-6.2	2.5
3	2835	0.280965	0.000032	0.001202	0.0296	0.2809	-2.1	2.3
4	2861	0.280918	0.000034	0.000927	0.0219	0.2809	-2.7	2.4
8	2350	0.280951	0.000047	0.000300	0.0077	0.2809	-12.1	3.3
11	2242	0.280916	0.000033	0.000429	0.0100	0.2809	-16.0	2.3
12	2847	0.281000	0.000033	0.000908	0.0218	0.2810	0.0	2.3
17	2761	0.280922	0.000033	0.000940	0.0234	0.2809	-4.8	2.3
18	2784	0.280922	0.000036	0.000519	0.0128	0.2809	-3.5	2.5
19	2889	0.281039	0.000036	0.002254	0.0589	0.2809	-0.3	2.6
21	2851	0.280962	0.000033	0.000660	0.0154	0.2809	-0.8	2.3
23	2831	0.280969	0.000030	0.000579	0.0144	0.2809	-0.8	2.1
25	2795	0.280946	0.000035	0.000312	0.0082	0.2809	-2.0	2.5
27	2761	0.280961	0.000037	0.001200	0.0295	0.2809	-3.9	2.6
29	2844	0.280997	0.000039	0.000878	0.0221	0.2809	-0.1	2.8
33	2794	0.280977	0.000037	0.001174	0.0296	0.2809	-2.6	2.6
35	2877	0.280989	0.000033	0.000534	0.0120	0.2810	1.0	2.3
36	2792	0.280908	0.000042	0.000920	0.0225	0.2809	-4.6	3.0
38	2892	0.280910	0.000031	0.000577	0.0131	0.2809	-1.5	2.2
40	2876	0.280919	0.000034	0.000301	0.0071	0.2809	-1.0	2.4
43	2865	0.280970	0.000034	0.000275	0.0071	0.2810	0.6	2.4
44	2908	0.280986	0.000038	0.001428	0.0363	0.2809	-0.1	2.7
47	2937	0.281068	0.000038	0.002058	0.0523	0.2810	2.2	2.7
49	2866	0.280965	0.000034	0.000871	0.0223	0.2809	-0.8	2.4
55	2901	0.281000	0.000036	0.000839	0.0216	0.2810	1.4	2.5
56	2907	0.280933	0.000037	0.000885	0.0203	0.2809	-1.0	2.6

Примітка. Номер аналітичної точки збігається з номером аналізу з табл. 1.

Note. The number of the analytical spot corresponds to the number of the analysis in Table 1.

Таблиця 3. Результати U-Pb датування цирконів з чарнокіту (пр. СП-2-6)

Table 3. Results of U-Pb dating of zircons from charnockite (smp. СП-2-6)

Spot #	Crystal #	Isotope ratios									
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ	Error Corr	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	2 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ	Error Corr
1	1c	13.720	0.12	0.5257	0.0026	0.54	1.90223	0.0094	0.1863	0.0013	0.09
2	2c	14.360	0.35	0.5499	0.0075	0.91	1.81851	0.0248	0.1862	0.0022	0.67
3	3c	13.502	0.09	0.5211	0.0025	0.53	1.91902	0.0092	0.1865	0.0012	0.13
4	3m	14.740	0.12	0.5451	0.0031	0.54	1.83453	0.0104	0.1950	0.0012	0.31
5	4c	12.594	0.08	0.5014	0.0027	0.35	1.99442	0.0107	0.1809	0.0013	0.40
6	5c	15.860	0.15	0.5738	0.0039	0.73	1.74277	0.0118	0.1996	0.0011	0.17
7	6c	15.380	0.12	0.5524	0.0031	0.45	1.81028	0.0102	0.2003	0.0015	0.36
8	7c	13.200	0.15	0.5144	0.0034	0.77	1.94401	0.0128	0.1847	0.0012	0.10
9	8c	14.610	0.09	0.5456	0.0032	0.54	1.83285	0.0107	0.1927	0.0012	0.47
10	9c	14.790	0.17	0.5388	0.0033	0.56	1.85598	0.0114	0.1977	0.0017	0.12
11	10c	15.220	0.08	0.5552	0.0023	0.50	1.80115	0.0075	0.1973	0.0010	0.27
12	11c	14.280	0.12	0.5395	0.0034	0.60	1.85357	0.0117	0.1899	0.0013	0.28
13	12c	13.750	0.12	0.5253	0.0029	0.61	1.90367	0.0105	0.1886	0.0013	0.13
14	12m	9.726	0.09	0.4429	0.0034	0.79	2.25785	0.0173	0.1571	0.0008	0.31
15	13c	13.660	0.15	0.5323	0.0043	0.82	1.87864	0.0152	0.1843	0.0010	0.10
16	14c	15.140	0.11	0.5501	0.0030	0.52	1.81785	0.0099	0.1981	0.0012	0.20
17	15c	14.310	0.16	0.5388	0.0040	0.69	1.85598	0.0138	0.1915	0.0014	0.12
18	16c	14.809	0.09	0.5445	0.0023	0.62	1.83655	0.0078	0.1948	0.0009	0.28
19	17c	15.928	0.10	0.5676	0.0028	0.43	1.76180	0.0087	0.2016	0.0011	0.39
20	18c	12.390	0.12	0.4969	0.0026	0.56	2.01248	0.0105	0.1796	0.0013	0.07
21	19c	15.930	0.14	0.5717	0.0030	0.56	1.74917	0.0092	0.2007	0.0016	0.00
22	20c	15.160	0.12	0.5466	0.0037	0.69	1.82949	0.0124	0.1988	0.0011	0.38
23	21c	13.920	0.11	0.5349	0.0035	0.61	1.86951	0.0122	0.1868	0.0011	0.37
24	22c	13.560	0.20	0.5301	0.0045	0.77	1.88644	0.0160	0.1835	0.0014	0.15
25	23c	16.060	0.19	0.5724	0.0039	0.26	1.74703	0.0119	0.2024	0.0026	0.32
26	24c	12.430	0.11	0.5003	0.0030	0.67	1.99880	0.0120	0.1784	0.0013	0.15
27	25c	15.230	0.14	0.5650	0.0041	0.72	1.76991	0.0128	0.1935	0.0011	0.18
28	26c	13.552	0.08	0.5225	0.0022	0.34	1.91388	0.0081	0.1858	0.0011	0.44
29	27c	15.870	0.12	0.5740	0.0036	0.84	1.74216	0.0109	0.1984	0.0008	0.20
30	27m	13.660	0.11	0.5294	0.0035	0.69	1.88893	0.0125	0.1849	0.0010	0.25
31	28c	12.310	0.13	0.5003	0.0031	0.69	1.99880	0.0124	0.1760	0.0015	0.24
32	28m	10.121	0.05	0.4409	0.0021	0.49	2.26809	0.0108	0.1639	0.0009	0.47
33	29c	9.150	0.11	0.4331	0.0032	0.81	2.30894	0.0171	0.1514	0.0010	0.19
34	29m	15.570	0.10	0.5620	0.0030	0.63	1.77936	0.0095	0.1992	0.0010	0.23
35	30c	15.398	0.10	0.5543	0.0029	0.36	1.80408	0.0094	0.1992	0.0013	0.48
36	31c	16.410	0.13	0.5935	0.0043	0.72	1.68492	0.0122	0.1991	0.0009	0.31
37	32c	15.070	0.15	0.5469	0.0040	0.83	1.82849	0.0134	0.1976	0.0010	0.02
38	33c	12.970	0.11	0.5164	0.0032	0.77	1.93648	0.0120	0.1803	0.0009	0.18
39	34c	14.820	0.12	0.5498	0.0034	0.68	1.81884	0.0112	0.1943	0.0011	0.14
40	34m	10.892	0.06	0.4577	0.0019	0.55	2.18484	0.0091	0.1713	0.0008	0.39

П р и м і т к а. Літера біля номеру датованого кристала означає: *c* — центральна частина кристала, *m* — крайова.

Note. A letter next to the number of dated zircon grain indicates the location of the analysed spot within the grain: *c* — central

Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
$^{207}\text{U}/^{235}\text{Pb}$	2 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ	U	Th	Pb	
2729.2	8.3	2723	11	2711	12	367.5	77.4	105.1	4.9
2764	24	2822	32	2704	20	493.0	185.8	286.7	2.5
2715.8	6.5	2704	11	2711	11	349.2	281.0	365.0	1.3
2798.5	7.5	2804	13	2783	10	373.1	345.4	484.0	1.1
2649.6	6.2	2619	11	2659	12	366.1	289.1	363.1	1.3
2869.8	8.8	2923	16	2821.8	9.4	395.0	385.0	542.0	1.1
2839.5	7.5	2835	13	2826	12	146.1	113.0	156.0	1.3
2696	10	2675	14	2696	11	358.5	279.1	356.6	1.3
2789.6	5.8	2806	13	2767	10	339.4	281.9	378.6	1.2
2804	11	2778	14	2807	14	142.6	81.5	109.5	1.8
2828.6	5.2	2846.6	9.6	2802.2	8.5	559.2	484.0	663.0	1.2
2768	7.9	2781	14	2739	11	356.2	313.0	431.1	1.2
2732.7	8.6	2721	12	2730	11	226.9	234.4	306.8	1.0
2407.8	8.4	2363	15	2422.9	8.8	1263.0	65.6	83.9	19.8
2725	10	2750	18	2690.1	8.8	529.0	326.1	424.9	1.7
2823.8	6.7	2826	12	2811	9.7	370.9	320.1	436.6	1.2
2769	10	2777	17	2753	12	252.3	181.3	241.8	1.4
2802.5	5.6	2801.9	9.7	2782.5	7.3	809.0	1050.1	1446.6	0.8
2872.4	5.9	2897	12	2838.8	9.2	438.1	502.0	699.0	0.9
2634.5	9	2600	11	2648	12	276.0	126.3	157.3	2.2
2873.7	8.4	2914	12	2831	13	192.4	111.0	160.2	1.8
2824.4	7.3	2810	15	2814.6	8.7	987.0	851.0	1199.0	1.2
2743.9	7.3	2761	15	2711.8	9.5	357.9	280.8	389.0	1.3
2717	14	2744	19	2684	13	364.6	309.4	419.8	1.2
2879	11	2917	16	2841	21	69.1	38.8	54.7	1.8
2636.8	8.3	2615	13	2636	12	684.0	382.0	518.0	1.9
2828.3	8.8	2888	17	2771.3	9.5	470.8	405.0	579.0	1.2
2718.4	5.2	2709.7	9.5	2704.3	9.9	347.9	267.6	361.9	1.3
2868	7.5	2924	15	2812.4	6.8	922.0	1486.0	2025.0	0.6
2725.6	8	2740	15	2696.3	9	490.0	501.7	687.8	1.0
2628	10	2615	13	2617	14	467.0	1420.0	2560.0	0.6
2445.5	4.9	2354.4	9.4	2495.9	9.5	1230.0	267.4	330.4	4.6
2352	11	2319	15	2360	11	920.0	220.5	298.5	4.1
2851.2	5.9	2875	12	2819	8.1	780.0	659.9	956.0	1.2
2840.1	5.9	2843	12	2817	11	278.2	213.5	295.9	1.3
2900.4	7.4	3003	17	2817.1	7.7	736.0	684.0	1062.0	1.1
2818.7	9.5	2813	17	2807.3	7.8	1053.0	349.6	499.4	3.0
2678.3	8.1	2685	14	2654.7	8.1	652.0	27.0	35.0	23.7
2802.8	8	2824	14	2778	9.3	349.0	263.0	371.0	1.3
2513.4	5	2429	8.6	2569.1	7.6	1232.0	164.0	211.6	7.4

part, *m* — marginal part.

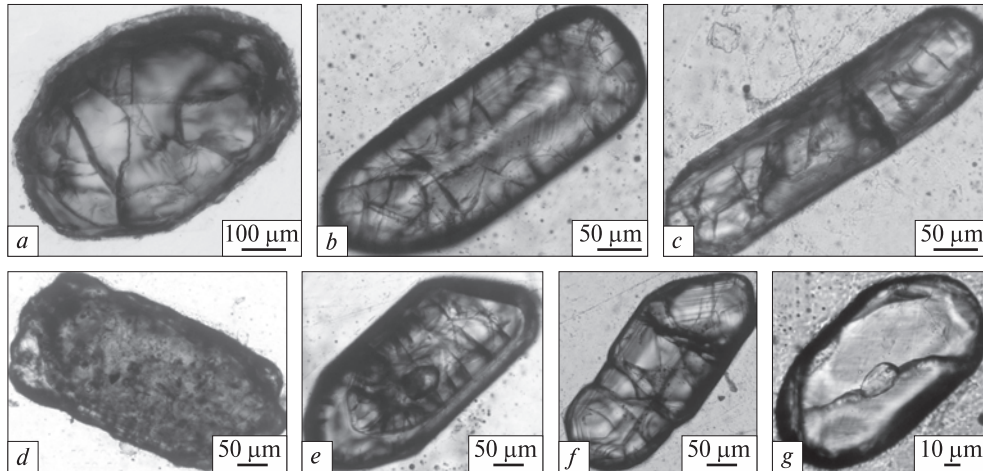


Рис. 5. Мікрофотографії зрізів кристалів циркону із чарнокіту (пр. СП-2-6), оптичний мікроскоп, при одному ніколі: а–г — пояснення в тексті

Fig. 5. Photomicrographs of zircon crystals from charnockite (smp. СП-2-6), optical microscope, plane-polarized light: а–g — explanation is in the text

Таблиця 4. Результати визначення ізотопного складу гафнію в цирконах з чарнокіту (пр. СП-2-6)

Table 4. Results of Hf isotope analysis in zircons from charnockite (smp. СП-2-6)

Spot #	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age, Ma	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 1\sigma$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_T$	εHf_T	$\pm 2\sigma$
1	2711	0.280985	0.000025	0.000445	0.0109	0.2810	-2.8	1.8
3	2711	0.280959	0.000023	0.001680	0.0444	0.2809	-6.0	1.7
4	2783	0.281000	0.000027	0.001572	0.0417	0.2809	-2.7	1.9
5	2659	0.280965	0.000029	0.001834	0.0501	0.2809	-7.2	2.0
7	2826	0.280971	0.000024	0.001280	0.0334	0.2809	-2.2	1.7
8	2696	0.281018	0.000027	0.001134	0.0302	0.2810	-3.2	1.9
9	2767	0.280925	0.000026	0.000893	0.0236	0.2809	-4.5	1.9
10	2807	0.281001	0.000040	0.000916	0.0257	0.2810	-0.9	2.8
11	2802	0.280953	0.000028	0.001626	0.0444	0.2809	-4.1	2.0
12	2739	0.280948	0.000023	0.001702	0.0450	0.2809	-5.8	1.6
13	2730	0.280966	0.000031	0.000837	0.0224	0.2809	-3.8	2.2
16	2811	0.281007	0.000026	0.001733	0.0458	0.2809	-2.2	1.9
17	2753	0.280900	0.000020	0.001073	0.0281	0.2808	-6.0	1.4
18	2783	0.281020	0.000031	0.002678	0.0732	0.2809	-4.1	2.2
22	2815	0.281028	0.000027	0.002676	0.0726	0.2809	-3.2	1.9
23	2712	0.280900	0.000020	0.001144	0.0301	0.2808	-7.1	1.4
26	2636	0.280986	0.000025	0.002531	0.0689	0.2809	-8.2	1.8
28	2704	0.280974	0.000023	0.001613	0.0431	0.2809	-5.5	1.6
30	2696	0.280970	0.000020	0.002519	0.0683	0.2808	-7.5	1.4
32	2496	0.280908	0.000024	0.000870	0.0220	0.2809	-11.2	1.7
33	2360	0.280958	0.000025	0.001777	0.0491	0.2809	-14.0	1.7
34	2819	0.281008	0.000020	0.002260	0.0611	0.2809	-3.0	1.4

Примітка. Номер аналітичної точки збігається з номером аналізу з табл. 3.

Note. The number of the analytical spot corresponds to the number of the analysis in Table 3.

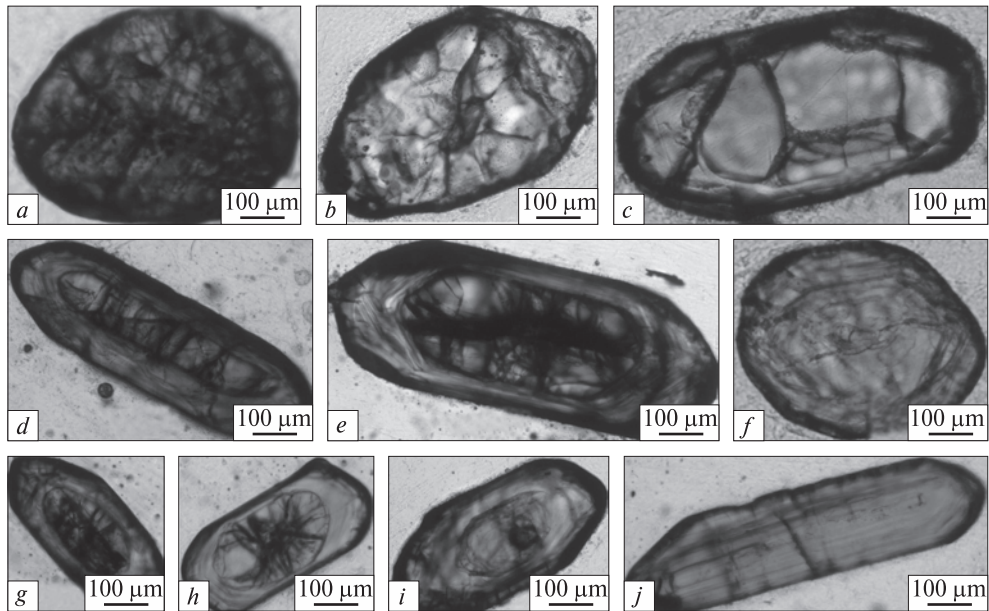


Рис. 6. Мікрофотографії зрізів кристалів циркону із лейкократового чарнокіту (пр. СП-3), оптичний мікроскоп: *a–j* — пояснення в тексті

Fig. 6. Photomicrographs of zircon crystals from leucocratic charnockite (smp. СП-3), optical microscope, plane-polarized light: *a–j* — explanation is in the text

Результати аналізування уран-свинцевої ізотопної системи кристалів методом *LA-ICP-MS* наведені в табл. 1 і на рис. 3, *a*, з яких видно, що усі аналітичні точки лежать на прямій, яка перетинає конкордію у двох точках: $2847 \pm \pm 11$ млн рр. (верхній перетин) та 2153 ± 54 млн рр. (нижній). Це дає підстави припустити, що всі ці циркони являють собою одну популяцію, яка кристалізувалася 2847 ± 11 млн рр. тому і зазнала впливу метаморфічної події біля 2150 млн рр., унаслідок якої більшість цирконів частково (і в різній мірі) втратили радіогенний свинець. Це припущення підтверджується даними про ізотопний склад гафнію в цих же кристалах: всі вони мають ідентичний ізотопний склад гафнію, незалежно від віку ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,280915 \pm 0,000012$) (табл. 2), що відповідає $\varepsilon_{\text{Hf}}^{2850} = +2$ (рис. 4). Такий ізотопний склад гафнію свідчить про мантийне джерело вихідного розплаву.

Чарнокіт (пр. СП-2-6) — світло-сіра з зеленкуватим відтінком порода має масивну текстуру. Структура породи середньо-дрібнозерниста гранобластова, ділянками катакластична, тектонобластова, лентикулярна. Розмір зерен 0,1–4 мм, переважають кристали розміром 0,3–0,5 мм. Катакластична структура проявлена в крихкій деформації польових шпатів

та кварцу, пластичній деформації лусок біотиту, нерівномірному згасанню мінералів, особливо кварцу.

Мінеральний склад, %: плагіоклаз — 50–55, кварц — 25–30, калішпат — 10–15, гіперстен — близько 3, біотит — 1–2; акцесорні — апатит, циркон, монацит, рудний мінерал; вторинні — біотит, хлорит, серицит, бовлінгіт.

Плагіоклаз ізометричної, призматичної форми, розмір кристалів переважно 0,1–3 мм. Характерне тонке полісинтетичне двійниковання за альбітовим, інколи периклиновим законами. Часто має антипертитову будову. Вторинні зміни проявлені у заміщенні серицитом та карбонатом.

Кварц часто утворює ізометричні або лінзоподібні, неправильні за формою подовжені зерна, що однаково орієнтовані в породі. Краї кристалів нерівні хвилясті, затокоподібні, розмір 0,1–4 мм. Згасання нерівномірне блокове, хвилясте.

Калішпат неправильної, таблитчастої форми з нерівними краями, розмір зерен 0,1–0,7 мм. Для деяких кристалів характерна мікроклінова ґратка.

Гіперстен має вигляд призматичних, інколи округлих кристалів розміром 0,3–1 мм. Насичений включеннями плагіоклазу та кварцу.

Таблиця 5. Результати U-Pb датування цирконів з лейкочарнокіту (пр. СП-3)
 Table 5. Results of U-Pb dating of zircons from leucocratic charnockite (smp. СП-3)

Spot #	Crystal #	Isotope ratios									
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2 σ	Error Corr	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	2 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2 σ	Error Corr
1	1c	7.060	0.22	0.3980	0.0063	0.97	2.51256	0.0398	0.1312	0.0036	0.56
2	2c	14.703	0.39	0.5410	0.0040	0.38	1.84843	0.0137	0.2004	0.0055	0.33
3	3c	6.903	0.18	0.3974	0.0029	0.41	2.51636	0.0184	0.1279	0.0035	0.30
4	4c	15.670	0.43	0.5535	0.0046	0.36	1.80669	0.0150	0.2080	0.0058	0.27
5	4m	6.661	0.18	0.3847	0.0032	0.46	2.59943	0.0216	0.1269	0.0035	0.21
6	5c	6.688	0.18	0.3829	0.0030	0.38	2.61165	0.0205	0.1278	0.0035	0.39
7	6c	15.740	0.44	0.5608	0.0049	0.26	1.78317	0.0156	0.2066	0.0059	0.35
8	6m	6.619	0.18	0.3823	0.0030	0.32	2.61575	0.0205	0.1270	0.0035	0.38
9	7c	9.642	0.26	0.4503	0.0034	0.55	2.22074	0.0168	0.1571	0.0042	0.20
10	7m	6.659	0.18	0.3838	0.0031	0.51	2.60552	0.0210	0.1275	0.0035	0.34
11	8m	6.583	0.18	0.3814	0.0030	0.36	2.62192	0.0206	0.1273	0.0035	0.39
12	9c	12.438	0.33	0.5249	0.0040	0.45	1.90513	0.0145	0.1737	0.0047	0.37
13	10c	11.755	0.32	0.4929	0.0041	0.71	2.02881	0.0169	0.1745	0.0047	0.09
14	11c	12.467	0.33	0.4984	0.0038	0.34	2.00642	0.0153	0.1840	0.0050	0.33
15	11m	6.716	0.18	0.3874	0.0030	0.30	2.58131	0.0200	0.1272	0.0034	0.37
16	12c	12.550	0.35	0.4902	0.0043	0.13	2.03998	0.0179	0.1871	0.0053	0.43
17	12m	6.521	0.18	0.3775	0.0029	0.45	2.64901	0.0203	0.1267	0.0035	0.21
18	13c	7.873	0.21	0.4205	0.0038	0.64	2.37812	0.0215	0.1373	0.0037	0.36
19	13m	7.371	0.20	0.4241	0.0040	0.68	2.35793	0.0222	0.1274	0.0035	0.30
20	14c	6.750	0.18	0.3921	0.0030	0.51	2.55037	0.0195	0.1266	0.0034	0.30
21	15c	10.600	0.31	0.4711	0.0053	0.81	2.12269	0.0239	0.1647	0.0046	0.26
22	16c	6.901	0.18	0.3991	0.0031	0.52	2.50564	0.0195	0.1270	0.0034	0.30
23	17m	7.173	0.19	0.4109	0.0037	0.51	2.43368	0.0219	0.1281	0.0035	0.34
24	18m	9.297	0.25	0.4735	0.0048	0.59	2.11193	0.0214	0.1447	0.0040	0.04
25	19c	14.280	0.39	0.5376	0.0046	0.49	1.86012	0.0159	0.1946	0.0053	0.44
26	19m	6.507	0.18	0.3778	0.0030	0.32	2.64690	0.0210	0.1261	0.0035	0.27
27	20c	8.414	0.23	0.4245	0.0033	0.23	2.35571	0.0183	0.1452	0.0040	0.43
28	21m	6.973	0.19	0.4031	0.0035	0.41	2.48077	0.0215	0.1267	0.0035	0.31
29	22c	6.795	0.18	0.3896	0.0029	0.42	2.56674	0.0191	0.1271	0.0034	0.47
30	23c	16.320	0.46	0.5678	0.0050	0.33	1.76118	0.0155	0.2104	0.0059	0.28
31	23m	14.680	0.40	0.5383	0.0043	0.47	1.85770	0.0148	0.1988	0.0055	0.23
32	24c	14.910	0.41	0.5370	0.0045	0.23	1.86220	0.0156	0.2023	0.0057	0.39
33	25m	6.641	0.18	0.3798	0.0030	0.34	2.63297	0.0208	0.1272	0.0035	0.43
34	26c	6.885	0.18	0.4006	0.0030	0.38	2.49626	0.0187	0.1251	0.0034	0.42
35	27c	13.390	0.36	0.5164	0.0044	0.39	1.93648	0.0165	0.1891	0.0052	0.38
36	28c	9.960	0.27	0.4576	0.0037	0.68	2.18532	0.0177	0.1586	0.0043	0.06
37	29c	7.390	0.20	0.4126	0.0033	0.68	2.42366	0.0194	0.1305	0.0035	0.01
38	29m	6.525	0.17	0.3760	0.0027	0.31	2.65957	0.0191	0.1259	0.0034	0.38
39	30c	13.680	0.37	0.5274	0.0042	0.71	1.89609	0.0151	0.1890	0.0051	0.11
40	30m	6.605	0.18	0.3804	0.0028	0.41	2.62881	0.0193	0.1264	0.0035	0.25
41	31c	15.840	0.43	0.5640	0.0045	0.47	1.77305	0.0141	0.2045	0.0056	0.22
42	31m	12.512	0.34	0.4928	0.0037	0.43	2.02922	0.0152	0.1839	0.0050	0.34
43	32c	6.525	0.18	0.3792	0.0029	0.27	2.63713	0.0202	0.1249	0.0034	0.30
44	33c	6.778	0.18	0.3866	0.0030	0.34	2.58665	0.0201	0.1268	0.0035	0.31
45	34c	9.618	0.26	0.4596	0.0041	0.21	2.17581	0.0194	0.1521	0.0042	0.54
46	35c	6.957	0.19	0.4022	0.0045	0.92	2.48633	0.0278	0.1261	0.0034	0.07
47	36c	15.450	0.42	0.5564	0.0051	0.73	1.79727	0.0165	0.2006	0.0054	0.15
48	37c	6.869	0.19	0.3970	0.0031	0.61	2.51889	0.0197	0.1261	0.0034	0.14
49	38c	14.710	0.40	0.5395	0.0043	0.59	1.85357	0.0148	0.1972	0.0053	0.22
50	39c	13.580	0.38	0.5259	0.0052	0.74	1.90150	0.0188	0.1864	0.0051	0.01

Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
²⁰⁷ U/ ²³⁵ Pb	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	U	Th	Pb	
2117	15	2158	26	2113.2	9.8	3700.0	162.0	258.0	23.0
2796.6	5.3	2788.1	9.4	2827.6	9.4	379.2	217.5	301.0	1.8
2098.6	5.1	2156.9	7.2	2068.1	8.9	1449.0	142.1	142.8	10.3
2856.3	7.7	2839	13	2888	13	124.0	169.3	237.8	0.7
2066.6	6.6	2098	10	2054	11	466.8	60.1	61.2	7.8
2071.5	5.2	2090.4	8.6	2068	11	692.0	81.3	82.4	8.6
2862	9.6	2869	14	2879	17	66.3	65.6	96.3	1.0
2061.7	5.9	2086.7	8.5	2059	11	569.4	62.8	63.9	9.1
2401	6	2396.3	8.6	2424.1	7.8	964.0	110.4	124.5	8.8
2066.6	5.7	2094.7	9	2064	10	583.1	89.7	91.7	6.5
2057	5.6	2083.2	8.9	2059	11	737.5	60.0	61.0	12.4
2637.6	4.8	2720	10	2592.9	7.2	1245.0	110.0	142.2	11.4
2584.3	6.5	2585	12	2600.2	7.5	1221.0	227.0	294.5	5.4
2640	5.9	2606.6	9.4	2688.3	9.2	371.5	175.5	233.8	2.1
2074.3	4.9	2111.4	8	2058.3	9.6	724.0	87.6	91.6	8.3
2644.7	8.9	2574	13	2716	16	94.3	80.2	104.9	1.2
2049.6	6.3	2065.3	8.4	2051	10	583.7	70.2	70.4	8.3
2216.5	5.5	2265	13	2192.9	8.9	1070.0	187.0	202.0	6.0
2157.2	6.2	2278	14	2062.8	8.5	1134.0	94.4	108.2	12.2
2079.6	5.8	2132.4	8	2050.6	9.7	868.0	151.0	154.1	5.8
2488	11	2489	19	2505	13	597.0	112.3	153.3	5.2
2098.8	5	2164.8	8.4	2055.3	8.6	911.0	60.5	65.3	15.2
2133	5.6	2220	12	2072.1	9.3	1469.0	76.5	86.8	19.6
2366.8	7.1	2498	17	2281	13	923.0	80.7	138.6	11.5
2768.2	6.8	2773	13	2781.5	9.1	463.0	227.0	312.0	2.2
2046.5	7.1	2065.7	8.7	2043	13	318.9	56.5	57.4	5.7
2276.1	5.8	2280.7	9.3	2290	11	708.0	106.0	120.7	6.7
2107.7	6.4	2183	11	2051	12	556.0	57.3	63.8	9.6
2084.7	4.7	2120.9	7.8	2057.8	7.5	1814.0	706.0	699.0	2.6
2894	10	2898	15	2905	15	90.9	126.1	186.2	0.7
2794.3	7	2776	11	2814	11	198.6	145.6	201.2	1.4
2808.9	9.1	2770	13	2841	15	103.6	98.3	133.8	1.1
2065.2	5.1	2074.9	8.6	2062	10	628.7	79.1	82.9	8.0
2096.3	4.6	2171.7	7.6	2029.1	8	1387.0	124.7	128.6	11.1
2708	6.3	2683	13	2732	11	272.7	200.2	267.9	1.4
2430.3	6.5	2429	11	2439.4	8	808.0	88.7	147.1	9.1
2159	6.1	2226.6	9.9	2104.6	8.6	1610.0	106.0	112.7	14.9
2049.2	5	2057.3	6.8	2040	9.6	668.9	81.2	80.1	8.3
2727.6	7.5	2730	11	2735.9	7.9	959.0	637.3	836.8	1.5
2060.3	6.3	2078.1	7	2047	12	463.2	50.0	50.4	9.3
2866.9	6.8	2883	12	2862	11	167.9	292.5	418.4	0.6
2643.5	5.8	2583.3	9.5	2686.8	8.4	393.2	165.8	221.0	2.4
2049.1	6.1	2072.5	7.6	2026	12	483.0	53.7	53.9	9.0
2082.3	5.7	2106.7	8.1	2053	10	596.0	198.7	206.4	3.0
2398.2	6.2	2437	13	2367	13	630.0	115.3	183.0	5.8
2103.3	8.1	2178	17	2042.1	8.3	2787.0	105.2	111.2	26.5
2842.8	7	2852	15	2829.9	7.4	685.8	434.2	633.6	1.6
2093.9	6.3	2154.8	8.8	2043	11	1074.0	343.5	356.0	3.1
2796.4	6.9	2781	12	2801.8	7.9	498.2	75.5	109.8	6.7
2719.9	8.5	2723	17	2708.8	9.7	791.0	220.9	348.0	3.6

Spot #	Crystal #	Isotope ratios									
		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	Error Corr	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	Error Corr
51	39m	6.756	0.18	0.3879	0.0031	0.38	2.57798	0.0206	0.1263	0.0035	0.30
52	40c	11.668	0.32	0.4791	0.0040	0.64	2.08725	0.0174	0.1753	0.0048	0.03
53	40m	6.546	0.18	0.3823	0.0030	0.25	2.61575	0.0205	0.1236	0.0034	0.39
54	41m	6.829	0.20	0.4002	0.0057	0.83	2.49875	0.0356	0.1241	0.0034	0.14
55	42c	12.841	0.34	0.5164	0.0040	0.49	1.93648	0.0150	0.1794	0.0049	0.30
56	43c	7.198	0.19	0.4181	0.0037	0.72	2.39177	0.0212	0.1244	0.0034	0.15
57	44c	6.724	0.18	0.3886	0.0030	0.54	2.57334	0.0199	0.1255	0.0034	0.29
58	45c	6.784	0.18	0.3886	0.0029	0.50	2.57334	0.0192	0.1257	0.0034	0.27
59	46c	6.768	0.18	0.3910	0.0030	0.55	2.55755	0.0196	0.1250	0.0034	0.22
60	47c	13.633	0.37	0.5205	0.0042	0.47	1.92123	0.0155	0.1895	0.0052	0.28
61	47m	7.291	0.19	0.4190	0.0037	0.72	2.38664	0.0211	0.1253	0.0034	0.29
62	48c	7.326	0.20	0.4162	0.0042	0.75	2.40269	0.0242	0.1269	0.0034	0.12
63	49c	10.820	0.32	0.4739	0.0052	0.82	2.11015	0.0232	0.1651	0.0046	0.32
64	50c	7.004	0.19	0.4045	0.0032	0.36	2.47219	0.0196	0.1250	0.0034	0.35
65	51c	7.090	0.19	0.4034	0.0035	0.66	2.47893	0.0215	0.1262	0.0034	0.20
66	52c	6.941	0.18	0.4025	0.0033	0.50	2.48447	0.0204	0.1244	0.0034	0.44
67	53c	9.969	0.27	0.4534	0.0037	0.41	2.20556	0.0180	0.1582	0.0043	0.38
68	53m	6.958	0.19	0.4015	0.0034	0.46	2.49066	0.0211	0.1251	0.0034	0.22
69	54c	15.310	0.43	0.5509	0.0048	0.23	1.81521	0.0158	0.1994	0.0057	0.34
70	54m	6.691	0.18	0.3844	0.0030	0.43	2.60146	0.0203	0.1255	0.0034	0.36
71	55c	7.098	0.19	0.4124	0.0036	0.57	2.42483	0.0212	0.1242	0.0034	0.23
72	55m	6.750	0.18	0.3857	0.0031	0.43	2.59269	0.0208	0.1258	0.0034	0.38
73	56c	9.660	0.28	0.4503	0.0044	0.85	2.22074	0.0217	0.1544	0.0043	0.50
74	57c	12.970	0.35	0.5142	0.0051	0.68	1.94477	0.0193	0.1818	0.0050	0.20
75	58c	13.708	0.37	0.5043	0.0038	0.56	1.98295	0.0149	0.1954	0.0053	0.18
76	59c	14.030	0.38	0.5314	0.0042	0.64	1.88182	0.0149	0.1894	0.0051	0.18
77	60c	15.580	0.42	0.5399	0.0042	0.56	1.85220	0.0144	0.2074	0.0056	0.18
78	51c	6.857	0.18	0.3960	0.0032	0.57	2.52525	0.0204	0.1249	0.0034	0.39
79	62c	13.459	0.36	0.5257	0.0041	0.57	1.90223	0.0148	0.1837	0.0050	0.24
80	62m	6.610	0.18	0.3819	0.0030	0.35	2.61849	0.0206	0.1246	0.0034	0.39

П р и м і т к а. Літера біля номеру датованого кристала означає: *c* — центральна частина кристала, *m* — крайова.

Note. A letter next to the number of dated zircon grain indicates the location of the analysed spot within the grain: *c* — central

Активно заміщується бурим та зеленим біотитом, боулінгітом (?).

Біотит бурого кольору, зрідка трапляється зелена відміна. Луски мають розміри 0,1—0,7 мм.

Серед кристалів циркону переважають забарвлені в коричневий колір, від світло-коричневих напівпрозорих до темно-коричневих непрозорих, зрідка відмічаються світло-рожеві прозорі індивіди. За формою кристали видовжено-призматичні, призматичні, зрідка відмічаються коротко-призматичні з сильно заокругленими контурами та гладенькою блискучою поверхнею. Кристали мають складну будову: усередині більшості з них присутні ядра, зовні в багатьох випадках наявна добре ін-

дивідуалізована оболонка, яка зазвичай покриває весь кристал, інколи розвивається переважно на головках кристала (рис. 5). Ядра в більшості випадків світліші за циркон оболонки, хоча в поодиноких кристалах ядра мали коричневе забарвлення (рис. 5, *d*). Форма ядер видовжено-призматична, призматична, коротко-призматична до ізометричної (дві останні переважають), яка успадковується формою кристалів.

Результати аналізу кристалів циркону, отримані методом *LA-ICP-MS*, наведені в табл. 3 і на рис. 2, *b*. Усі аналітичні точки свинцевих уранових ізотопних співвідношень, хоча і мають дещо більші варіації, порівняно з цирко-

Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
²⁰⁷ U/ ²³⁵ Pb	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	U	Th	Pb	
2079.3	6.2	2112.9	9.2	2047	12	530.4	60.6	76.3	8.8
2577.8	7	2523	12	2607	10	568.0	248.6	308.8	2.3
2052.6	6.6	2088.2	8.5	2006	13	255.8	79.2	78.7	3.2
2089	11	2168	24	2015	12	569.0	47.2	51.2	12.2
2667.6	5.1	2684	10	2645.7	8.2	916.0	197.8	262.7	4.7
2135.6	5.7	2251	12	2019.8	8.4	1395.0	83.6	90.8	17.0
2077.2	6.2	2116.3	8.4	2037.1	9.3	953.9	148.7	151.0	6.4
2083.2	5.2	2116.1	7.7	2037.9	9.1	999.0	162.8	164.9	6.1
2082.5	5.8	2128.7	7.8	2026.2	9.1	987.0	567.0	570.0	1.8
2723.9	5.9	2702	12	2737.1	9.5	368.8	272.2	362.6	1.4
2147.3	4.8	2256	12	2033.4	7	2173.0	88.4	96.3	24.6
2151.2	6.7	2244	15	2053.6	8.8	1037.0	96.8	111.1	10.5
2504	14	2500	19	2506	12	1055.0	425.0	572.0	2.6
2111.5	4.9	2189.5	9.5	2027.2	9.4	983.0	303.4	320.7	3.3
2123.2	5.8	2185	11	2045	7.6	1770.0	105.9	112.5	16.7
2103.5	4.7	2180.3	9.7	2018.7	7.8	1899.0	115.6	119.4	16.4
2431.9	4.9	2411	11	2435.2	9.1	614.0	209.4	259.0	3.1
2106.4	6.5	2177	11	2027	12	589.0	64.8	70.0	9.1
2833	11	2830	14	2821	18	59.5	26.9	36.9	2.2
2071.4	5	2097.4	8.6	2033.4	9.5	774.0	101.1	102.9	7.6
2123	6	2225	12	2015.8	9.7	773.0	38.6	45.1	20.0
2079.1	5.7	2102.6	9.4	2038	11	523.0	86.3	91.6	6.1
2400	11	2396	15	2393	14	1060.0	82.5	106.5	12.7
2677.2	7.2	2674	17	2670.1	9.3	533.5	253.1	367.1	2.1
2729.6	5.3	2631.9	9.4	2786.3	7.8	700.0	111.3	147.1	6.3
2751.1	5.9	2747	11	2735.4	6.7	868.0	676.0	911.0	1.3
2852.4	6.6	2783	11	2883.4	9	809.8	66.9	100.0	12.1
2093.2	4.2	2150.5	9.5	2026.3	7.2	3014.0	113.4	117.0	26.5
2712.1	6.4	2723	11	2684.6	8.3	1104.0	89.0	113.5	12.3
2060.1	5.4	2085	8.3	2022	11	613.0	73.5	75.0	8.3

part, *m* — marginal part.

нами ендербіту (пр. СП-2), лежать на прямій, яка перетинає конкордію у двох точках, що відповідають віку 2761 ± 24 та 2188 ± 120 млн рр. Отримані дані свідчать, що чарнокіти, хоч і близькі за віком до ендербіт-діоритів, є дещо молодшими за них.

Як і в ендербіт-діориті, всі досліджені кристали циркону чарнокіту мають близький ізотопний склад гафнію ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,280875 \pm 0,000012$) (табл. 4), а $\epsilon\text{Hf}_{2760} = -1$ (рис. 4).

Лейкочарнокіт (пр. СП-3) — зеленкуватосіра з нерівномірним червонуватим відтінком масивна порода. Структура середньо-крупнозерниста, нерівномірнотзерниста, гранобластова з реліктовою гіпідіоморфнотзернистою,

тектонобластова. Розмір зерен становить 1—7 мм. В міжзерновому просторі знаходиться тонко-дрібнотзерниста кварц-польовошпатована рекристалізаційна маса. Також відмічено міллонітові шви завтовшки 1—1,5 мм. Катакласична структура проявляється в крихкій деформації польових шпатів та їх двійників, кварцу, пластичній деформації лусок біотиту, нерівномірному згасанні мінералів, особливо кварцу.

Мінеральний склад, %: калішпат-пертит — 40—45, кварц — 30—35, плагіоклаз — 20—25, гіперстен — 2—4; акцесорні мінерали — циркон, монацит, рудний мінерал; вторинні — біотит, хлорит, серицит, ідингсит.

Таблиця 6. Результати визначення ізотопного складу гафнію в цирконах з лейкохарнокіту (пр. СП-3)
 Table 6. Results of Hf isotope analysis in zircons from leucocratic charnockite (smp. СП-3)

Spot #	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age, Ma	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 1\sigma$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_T$	εHf_T	$\pm 2\sigma$
2	2828	0.280937	0.000028	0.001082	0.0289	0.2809	-3.0	2.0
4	2888	0.280912	0.000026	0.000573	0.0167	0.2809	-1.5	1.8
6	2068	0.281121	0.000031	0.000611	0.0164	0.2811	-13.0	2.2
7	2879	0.280862	0.000019	0.000704	0.0183	0.2808	-3.8	1.3
8	2059	0.281127	0.000023	0.000459	0.0122	0.2811	-12.8	1.6
9	2424	0.280932	0.000020	0.000891	0.0204	0.2809	-12.0	1.4
10	2064	0.281159	0.000022	0.000547	0.0144	0.2811	-11.6	1.5
11	2059	0.281146	0.000035	0.000482	0.0133	0.2811	-12.1	2.5
13	2600	0.280869	0.000040	0.001182	0.0319	0.2808	-10.8	2.8
17	2051	0.281074	0.000019	0.000444	0.0124	0.2811	-14.8	1.3
21	2505	0.281014	0.000032	0.000542	0.0131	0.2810	-6.7	2.3
25	2782	0.281031	0.000031	0.002108	0.0583	0.2809	-2.7	2.2
27	2290	0.280941	0.000029	0.000650	0.0160	0.2809	-14.4	2.1
30	2905	0.280916	0.000024	0.000675	0.0201	0.2809	-1.2	1.7
31	2814	0.280989	0.000024	0.000457	0.0132	0.2810	-0.3	1.7
33	2062	0.281106	0.000023	0.000384	0.0103	0.2811	-13.3	1.6
35	2732	0.280953	0.000018	0.000442	0.0125	0.2809	-3.4	1.2
39	2736	0.280835	0.000024	0.001059	0.0288	0.2808	-8.7	1.7
41	2862	0.280807	0.000030	0.000731	0.0221	0.2808	-6.2	2.1
47	2830	0.280998	0.000024	0.001236	0.0328	0.2809	-1.1	1.7
49	2802	0.280873	0.000025	0.000744	0.0184	0.2808	-5.3	1.8
50	2709	0.280856	0.000016	0.000652	0.0145	0.2808	-7.8	1.1
55	2646	0.280965	0.000023	0.001040	0.0235	0.2809	-6.1	1.6
60	2737	0.280793	0.000028	0.000396	0.0100	0.2808	-8.9	2.0
63	2506	0.280929	0.000033	0.001213	0.0324	0.2809	-10.8	2.4
67	2435	0.280891	0.000025	0.000349	0.0086	0.2809	-12.4	1.7
69	2821	0.280943	0.000025	0.000723	0.0179	0.2809	-2.3	1.8
73	2393	0.281195	0.000030	0.000362	0.0098	0.2812	-2.5	2.1
76	2735	0.280897	0.000026	0.001908	0.0535	0.2808	-8.1	1.9
79	2685	0.280889	0.000025	0.000927	0.0218	0.2808	-7.7	1.8

Примітка. Номер аналітичної точки збігається з номером аналізу з табл. 5.

Note. The number of the analytical spot corresponds to the number of the analysis in Table 5.

Калішпат-пертит має неправильну, таблитчасту форму зерен з нерівними краями, розміром 1–7 мм. Кристали насичені пертитовими включеннями тонкострічкової, мікролінзоподібної або прямокутної форм. Для деяких кристалів характерна мікроклінова ґратка. У включеннях часто присутні кварц, біотит, рудні мінерали, циркон.

Плагіоклаз (олігоклаз) утворює кристали ізометричної або призматичної форми розміром 1–4 мм. Часто відмічаються мірмекітові зони проростання в крупних кристалах плагіоклазу з боку контакту з КПШ, ширина яких варіює

від 0,1 до 1,5 мм. Характерне тонке полісинтетичне двійникування за альбітовим, інколи периклиновим законами. Деякі кристали мають антипертитову будову. Незначно проявлена серицитизація.

Кварц має неправильну, ізометричну форму зерен, краї кристалів нерівні зубчасті, дрібнохвилясті, затокоподібні. Згасання нерівномірне блокове, хвилясте. Інколи в мономінеральних кварцових ділянках присутні залишки кристалів польових шпатів.

Гіперстен має вигляд призматичних, інколи округлих кристалів розміром від 0,3 до 5 мм.

Містить включення зерен плагіоклазу та кварцу. Активно заміщується бурим та зеленим біотитом, ідингситом.

Кристали циркону характеризуються переважно коричневим забарвленням, мають видовжено-призматичний та призматичний габітус, заокруглені контури, рівну блискучу поверхню, на якій часто є ямки та нарости. Кристали мають складну будову, зумовлену наявністю світліших ядер та добре проявлених, часто досить потужних коричневих оболонок; деякі кристали представлені виключно коричневим цирконом оболонок (рис. 6).

Ядра кристалів циркону зазвичай розбиті тріщинами, які не проникають в оболонки (рис. 6, *c, d, e, g, h*). Відмічаються декілька морфологічних типів ядер — від ізометричних до видовжено-призматичних, але усім їм притаманні заокруглені контури. За кольором переважають світло-рожеві ядра (рис. 6, *b–h*), менше поширені коричневі (рис. 6, *a*). Іноді від ядер лишаються тільки невиразні релікти (рис. 6, *i, j*).

У пробі СП-3 присутні дві популяції цирконів (табл. 5; рис. 3). Результати ізотопних аналізів кристалів давнішої популяції розташовуються вздовж лінії регресії, яка проходить під невеликим кутом до конкордії, і перетинає її в точках 2838 ± 52 та 2402 ± 64 млн рр. Друга популяція представлена багатьма кристалами, що мають зворотну дискордантність і розташовуються вздовж лінії, яка перетинає конкордію в точці 2039 ± 6 млн рр. Циркони другої популяції або (частіше) утворюють потужні облямівки навколо давніших ядер, або (рідше) формують самостійні кристали. Деяку варіативність ізотопних характеристик першої популяції цирконів можна пояснити тим, що в кратер лазерної абляції потрапив як матеріал ядерних (давніших) ділянок кристалів, так і молодші облямівки.

Дані про ізотопний склад гафнію (табл. 6) підтверджують наявність двох популяцій циркону у цій породі. Циркони першої популяції кристалізувалися близько 2840 млн рр. тому та мали $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,280868 \pm 0,000025$ (ϵHf_{2840} близько 0) (рис. 4). Циркони другої популяції різко відрізняються за ізотопним складом гафнію ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,281098 \pm 0,000034$, $\epsilon\text{Hf}_{2040} = -11...-15$) (рис. 4). Це свідчить, що вони являють собою не просто результат втрати радіогенного свинцю (ресетінгу) цирконів першої генерації, а нову популяцію цирконів.

Наведені вище дані дають підстави стверджувати, що асоціація ендербітів і чарнокітів, розкрита кар'єрами поблизу с. Чаусове, кристалізувалася 2850—2760 млн рр. тому з мантийної речовини, і являла собою новоутворену мезо-неоархейську кору, а не продукт переплавлення давнішої континентальної кори. За віком формування породна асоціація району с. Чаусове близька до віку ендербіто-гнейсів Кошаро-Олександрівського кар'єру (близько 2850 млн рр. [6]), що свідчить про значну поширеність магматичних порід цього віку у Середньому Побужжі. Очевидно, що тектоно-термальна подія, яка призвела до утворення магматичних порід, також супроводжувалася метаморфізмом високого ступеня, який призвів до значного метаморфічного перетворення еоархейської асоціації порід Побужжя [3, 7, 10—12].

Асоціація порід, розкритих Чаусівськими кар'єрами, зазнала значних перетворень у палеопротерозої. Останній етап перетворень супроводжувався кристалізацією нової генерації цирконів, а також кристалізацією монациту: вік $2039,7 \pm 0,5$ млн рр. отримано для монацитів із жильного тіла крупнозернистого граніту [5], та 2058 ± 1 млн рр. — для чарнокіту Молдовського кар'єру [3].

Цікаво зазначити, що метаморфічні циркони палеопротерозойського віку з подібним ізотопним складом гафнію характерні й для інших гранулітових порід Середнього Побужжя [6, 13]. Важливо зазначити, що ця палеопротерозойська подія охопила практично весь Український щит [1, 2, 8, 9], але лише у південно-західній його частині призвела до гранулітового метаморфізму, який до того ж тривав тут значно довше, ніж в інших районах щита, як видно із датувань циркону, вилученого з мафітових дайок [4].

Висновки. 1. Асоціація порід, розкрита кар'єрами поблизу с. Чаусове, наразі представлених ендербітами і чарнокітами, кристалізувалася 2850—2760 млн рр. тому з мантийної речовини і являла собою новоутворену мезо-неоархейську кору, а не продукт переплавлення давнішої континентальної кори.

2. Ця асоціація, зазнала значних ендегенних перетворень у палеопротерозої. Останній етап перетворень супроводжувався кристалізацією нової генерації циркону, а також кристалізацією монациту 2,04—2,06 млрд рр. тому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Артеменко Г.В., Самборская И.А., Швайка И.А., Гоголев К.И., Довбуш Т.И. Этапы раннепротерозойского коллизионного гранитоидного магматизма и метаморфизма на Приазовском и Среднеприднепровском мегаблоках Украинского щита. *Мінерал. журн.* 2018. **40**, № 2. С. 45–62. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.045>
2. Пономаренко А.Н., Степанюк Л.М., Шумлянский Л.В. Геохронология и геодинамика палеопротерозоя Украинского щита. *Мінерал. журн.* 2014. **36**, № 2. С. 48–60.
3. Степанюк Л.М., Андриенко О.М., Довбуш Т.И. Изотопный возраст чарнокитов Среднего Побужья. *Зб. наук. пр. УкрДГРІ.* 2002. № 1–2. С. 111–115.
4. Степанюк Л.М., Гащенко В.А., Лобач-Жученко С.Б., Балаганский В.В., Балтыбаев Ш.К., Довбуш Т.И., Юрченко А.В. Калиевые мафитовые дайки. *Мінерал. журн.* 2013. **35**, № 3. С. 73–84.
5. Степанюк Л.М., Довбуш Т.И., Курило С.И., Лісна І.М. Фінальний етап гранітоїдного магматизму в Дністровсько-Бузькому мегаблосі Українського щита. *Геохімія та рудоутвор.* 2016. **36**. С. 72–81. <https://doi.org/10.15407/gof.2016.36.072>
6. Степанюк Л.М., Шумлянский Л.В., Гащенко В.О., Лісна І.М., Довбуш Т.И., Вайлд С.А., Немчин А.А., Багинські Б., Білан О.В. U–Pb геохронологія (LA-ICP-MS) геологічних процесів у гранулітах Середнього Побужья. Стаття 1. Породна асоціація Кошаро-Олександрівського кар'єру. *Мінерал. журн.* 2020. **42**, № 3. С. 50–68. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.050>
7. Шумлянский Л.В. Геохімія піроксенових плагіогнейсів (ендербітів) Побужья та ізотопний склад гафнію в цирконах. *Мінерал. журн.* 2012. **34**, № 2. С. 64–79.
8. Шумлянский Л.В., Степанюк Л.М., Клаессон С., Руденко К.В., Беккер А.Ю. Уран-свинцева за цирконом та монацитом геохронологія гранітоїдів житомирського та шереметівського комплексів, Північно-Західний район Українського щита. *Мінерал. журн.* 2018. **40**, № 2. С. 63–85. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.063>
9. Шербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянский Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. *Наук. думка*, 2008. 240 с.
10. Claesson S., Bibikova E.V., Shumlyansky L., Whitehouse M.J., Billström K. Can oxygen isotopes in magmatic zircon be modified by metamorphism? A case study from the Eoarchean Dniester-Bug Series, Ukrainian Shield. *Precam. Res.* 2016. **273**. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.11.002>
11. Lobach-Zhuchenko S.B., Kaulina T.V., Baltybaev S.K., Balagansky V.V., Egorova Yu.S., Lokhov K.I., Skublov S.G., Sukach V.V., Bogomolov E.S., Stepanyuk L.M., Galankina O.L., Berezhnaya N.G., Kapitonov I.N., Antonov A.V., Sergeev S.A. The long (3.7–2.1 Ga) and multistage evolution of the Bug granulite-gneiss complex, Ukrainian Shield, based on the SIMS U–Pb ages and geochemistry of zircons from a single sample. *Geol. Soc., London, Spec. Publ.* 2017. **449**(1). P. 175–206. <https://doi.org/10.1144/SP449.3>
12. Lobach-Zhuchenko S.B., Kaulina T.V., Lokhov K.I., Yegorova Yu.S., Skublov S.G., Galankina O.L., Antonov A.V. Isotopic-geochemical features of zircon and its significance for reconstructing the geological history of Paleoproterozoic granulites in the Ukrainian Shield. *Geol. Ore Deposits.* 2017. **59**. P. 663–676. <https://doi.org/10.1134/S1075701517080062>
13. Shumlyansky L., Wilde S.A., Nemchin A.A., Claesson S., Billström K., Bagiński B. Eoarchean rock association in the Dniester-Bouh Domain of the Ukrainian Shield: A suite of LILE-depleted enderbites and mafic granulites. *Precam. Res.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.106001>

Надійшла 20.07.2020

REFERENCES

1. Artemenko, G.V., Samborskaya, I.A., Shvaika, I.A., Gogolev, K.I. and Dovbush, T.I. (2018), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 40, No. 2, Kyiv, UA, pp. 45–62 [in Russian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.045>
2. Ponomarenko, A.N., Stepanyuk, L.M. and Shumlyansky, L.V. (2014), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 36, No. 2, Kyiv, UA, pp. 48–60 [in Russian].
3. Stepanyuk, L.M., Andrienko, O.M. and Dovbush, T.I. (2002), *Scientific proc. UkrDGRI*, No. 1–2, Kyiv, UA, pp. 111–115 [in Ukrainian].
4. Stepanyuk, L.M., Gatsenko, V.A., Lobach-Zhuchenko, S.B., Balagansky, V.V., Baltybaev, Sh.K., Dovbush, T.I. and Yurchenko, A.V. (2013), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 35, No. 3, Kyiv, UA, pp. 73–84 [in Russian].
5. Stepanyuk, L.M., Dovbush, T.I., Kurylo, S.I. and Lisna, I.M. (2016), *Geochem. and Ore Form.*, Vol. 36, Kyiv, UA, pp. 72–81 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/gof.2016.36.072>
6. Stepanyuk, L.M., Shumlyansky, L.V., Gatsenko, V.O., Lisna, I.M., Dovbush, T.I., Wilde, S.A., Nemchin, A.A., Bagiński, B. and Bilan, O.V. (2020), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 42, No. 3, Kyiv, UA, pp. 50–68 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.050>
7. Shumlyansky, L.V. (2012), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 34, No. 2, Kyiv, UA, pp. 64–79 [in Ukrainian].
8. Shumlyansky, L.V., Stepanyuk, L.M., Claesson, S., Rudenko, K.V. and Bekker, A.Yu. (2018), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 40, No. 2, Kyiv, UA, pp. 63–85 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.063>

9. Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko, A.N. and Shumlyansky, L.V. (2008), *Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 240 p. [in Russian].
10. Claesson, S., Bibikova, E.V., Shumlyansky, L., Whitehouse, M.J. and Billström, K. (2016), *Precam. Res.*, Vol. 273, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.11.002>
11. Lobach-Zhuchenko, S.B., Kaulina, T.V., Baltybaev, S.K., Balagansky, V.V., Egorova, Yu.S., Lokhov, K.I., Skublov, S.G., Sukach, V.V., Bogomolov, E.S., Stepanyuk, L.M., Galankina, O.L., Berezhnaya, N.G., Kapitonov, I.N., Antonov, A.V. and Sergeev, S.A. (2017), *Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, Vol. 449(1), pp. 175-206. <https://doi.org/10.1144/SP449.3>
12. Lobach-Zhuchenko, S.B., Kaulina, T.V., Lokhov, K.I., Yegorova, Yu.S., Skublov, S.G., Galankina, O.L. and Antonov, A.V. (2017), *Geol. Ore Deposits*, Vol. 59, pp. 663-676. <https://doi.org/10.1134/S1075701517080062>
13. Shumlyansky, L., Wilde, S.A., Nemchin, A.A., Claesson, S., Billström, K. and Bagiński, B. (2020), *Precam. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.106001>

Received 20.07.2020

L.M. Stepanyuk, DrSc (Geology), Corresponding member of NAS of Ukraine, Prof., Deputy director, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua; <https://orcid.org/0000-0001-5591-5169>

L.V. Shumlyansky, DrSc (Geology), Senior Research Fellow, Leading Researcher. M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

E-mail: lshumlyansky@yahoo.com; <http://orcid.org/0000-0002-6775-4419>

S.A. Wilde, Prof. Curtin University, School of Earth and Planetary Sciences
GPO Box U1987, Perth WA 6845 Australia

E-mail: s.wilde@curtin.edu.au; <http://orcid.org/0000-0002-4546-8278>

A.A. Nemchin, Prof. Curtin University, School of Earth and Planetary Sciences
GPO Box U1987, Perth WA 6845 Australia

E-mail: A.Nemchin@curtin.edu.au; <http://orcid.org/0000-0002-3955-3409>

O.V. Bilan, Head of the Oil and Gas Geology Training Laboratory

Kyiv Taras Shevchenko National University
Educational-scientific institute "Institute of Geology"

90, Vasylykivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022

E-mail: olenka.bilan@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0964-6003>

THE U-Pb ZIRCON GEOCHRONOLOGY (LA-ICP-MS) OF GEOLOGICAL PROCESSES IN GRANULITES OF MIDDLE BOUH AREA.

Article 2. Rock association in the Chausove open pits

The LA-ICP-MS method was applied to investigate U-Pb and Lu-Hf isotope systematics of zircon crystals from charnockitoids that crop out in the open pits near Chausove village, Pervomaisk district. The association of enderbite gneisses, mafic and ultramafic (pyroxenite) granulites and vein bodies of pink biotite granites occur in the open pits. Enderbites are rather heterogeneous, and their composition varies from leucocratic quartzite-like rocks to enderbite-diorite. The Pervomaisk open pit is located within charnockite massif. Our data indicates that the association of enderbites and charnockites crystallised at 2850-2760 Ma from juvenile material (Hf isotope composition in zircons from enderbite-diorite is $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.280915 \pm 12$, $\varepsilon\text{Hf}_{2850} = +2$; from leucocratic charnockite $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.280875 \pm 12$, $\varepsilon\text{Hf}_{2760} = -1$; and from charnockite $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.280875 \pm 12$, $\varepsilon\text{Hf}_{2760} = -1$). These rocks represented the newly formed Meso-Neoproterozoic crust, in contrast to the reworked older continental crust. This association has experienced a significant transformation in Paleoproterozoic. The last stage of transformation was accompanied by crystallisation of a new generation of zircon and formation of monazite at 2.04-2.06 Ga.

Keywords: Middle Bouh area, granulite association, charnockite, U-Pb isotope age, Lu-Hf isotope systematic.