МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.050
УДК 550.93

Л.М. Степанюк, д-р геол. наук, чл.-кор. НАН України, проф., заст. дир.
E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua; https://orcid.org/0000-0001-5591-5169
Л.В. Шумлянський, д-р геол. наук, пров. наук. співроб.
E-mail: lshumlyanskyy@yahoo.com; http://orcid.org/0000-0002-6775-4419
В.О. Гаценко, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.
E-mail: vera.gatsenko@ukr.net; https://orcid.org/0000-0002-3229-3907
І.М. Лісна, канд. геол.-мін. наук, старш. наук. співроб.
E-mail: Lesirmich@ukr.net; https://orcid.org/0000-0001-7545-1752
Т.І. Довбуш, наук. співроб.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: tetyana.dovbush1@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-3512-3313
С.А. Вайлд, проф.
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
Б. Багінскі, проф., дир. Інститут геохімії,
мінералогії та петрології, Варшавський університет
02-089, м. Варшава, Польща, вул. Звірки і Вігури, 93
E-mail: b.baginski1@uw.edu.pl; http://orcid.org/0000-0002-5809-3452
О.В. Білан, зав. лаб.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Навчально-науковий інститут "Інститут геології"
03022, 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 СЕРЕДНЬОГО ПОБУЖЖЯ.
Стаття 1. Породна асоціація Кошаро-Олександрівського кар'єру

За допомогою методу LA-ICP-MS вивчено U-Pb та Lu-Hf ізотопні системи кристалів циркону із ендербіто-гнейсу, який є основною складовою частиною породної асоціації, розкритої Кошаро-Олександрівським кар'єром, і мета-ультрамафіту, що утворює невизначеної форми тіло серед ендербіто-гнейсів. Класичним уран-свинцевим ізотопним методом за мультизерновими наважками монациту визначено вік чарнокіту, що у вигляді жильного тіла та апофіз січе ендербіто-гнейси. У ендербіто-гнейсі визначено щонайменше три популяції цирконів. До найдавнішої (палеоархей

Цитування: Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Гаценко В.О., Лісна І.М., Довбуш Т.І., Вайлд С.А., Немчін А.А., Багінскі Б., Білан О.В. U-Pb геохронологія (*LA-ICP-MS*) геологічних процесів у гранулітах Середнього Побужжя. 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

ської) популяції належить відносно невелика група цирконів віком 3325 ± 42 млн рр. Найпоширеніша (мезоархейська) популяція, розташовується на U-Pb діаграмі вздовж дискордії, яка має верхній перетин з конкордією в точці 2850 ± ± 18 млн рр., і нижній — 2092 ± 45 млн рр. Біля нижнього перетину цієї ізохрони розташовується палеопротерозойська популяція кристалів циркону, яка кристалізувалася близько 2100 млн рр. тому. Достовірні відомості щодо ізотопного складу гафнію в цирконах палеоархейської популяції відсутні. Циркони мезоархейської популяції виявляють значні варіації ізотопного складу гафнію — величина εHf в них варіює від 1,9 до –7,7, з одним аномально низьким значенням –16,4. Циркони палеопротерозойського віку мають величини εHf від –18,4 до –7,7. У метаультрамафіті виділяються дві основні популяції циркону. Перша, мезоархейська, має вік 2840 ± 31 млн рр. Ізотопний склад гафнію в цих кристалах (εHf — 7,7 до –9,9) вказує на суміш у їхньому складі деплетованого мантійного матеріалу та давньої корової речовини. Друга популяція цирконів нечисленна, має палеопротерозойський вік (2078 ± 24 млн рр.), та також змішане мантійно-корове джерело (εHf — 5,2 до –7,9). Вік жильного тіла чарнокіту за монацитом 2015,3 ± 7,2 млн рр. За результатами мікрозондового аналізування породоутворювальних мінералів, породна асоціація сформувалася в умовах гранулітової фації, за температури 720—825 °С і тиску 6,2—7,5 кбар.

Ключові слова: *Середнє Побужжя, гранулітова асоціація, ендербіто-гнейс, метаультрамафіт, циркон, монацит, уран-свинцевий ізотопний вік, Lu-Hf ізотопна система, PT умови формування.*

Вступ. Кошаро-Олександрівським кар'єром (рис. 1), який розташований на північно-східному крилі Луполівської антикліналі, розкриті ендербіто-гнейси в асоціації з амфіболітами, двопіроксен-амфібол-польовошпатовими кристалічними сланцями, метапіроксенітами та серпентинізованими метаультрабазитами (тиврівська товща дністрово-бузької серії, за [2]). Вік ендербіто-гнейсів визначено класичним U-Pb ізотопним методом за мультизерновими наважками циркону — 2838 ± 130 млн рр. [3].

У східній частині кар'єру простежуються жили рожевих біотитових гнейсів (метасоматитів). Їхній вік (пр. СП-8-18), визначений U-Pb ізотопним методом за мультизерновими наважками монациту, становить 2026,5 ± ± 2,6 млн рр. [4].

Далі на схід, за межами кар'єру, в розрізнених природних відслоненнях простежуються рожеві біотитові гнейси (пр. СП-8-19, вік за цирконом 2324 ± 180 млн рр. [6]) з малопотужними прошарками гранат-біотитових гнейсів (зеленолевадівська товща дністрово-бузької серії, за [2]), та "лінзами" (будинами) ендербіто-гнейсів. Ще східніше у берегових скельних виходах спостерігаються кварцити кошаро-олександрівської світи бузької серії. Вік кластогенних ядер у кристалах циркону із цих кварцитів, визначений локальним U-Pb ізотопним методом, становить 2670—3450 млн рр. [7]. Це дало змогу визначити нижню вікову межу формування кошаро-олександрівської світи у 2670 млн рр. Датування цирконів із кварцитів кошаро-олександрівської світи, поширених у районі смт Завалля, показало, що їх максимальний вік не перевищує 2500 млн рр. [9, 17]. За результатами датування мультизернових наважок монациту із цих кварцитів класичним U-Pb ізотопним методом отримано вік 2062,4 ± 4,4 млн рр. [7]. Отже, вік цих порід може бути визначений як палеопротерозойський, між 2500 та 2060 млн рр.

Співвідношення між породами тиврівської товщі дністрово-бузької серії та кошаро-олександрівської світи бузької серії в районі с. Кошаро-Олександрівка істотно ускладнені тектонічними деформаціями та процесами бластокатаклазу. Значна площа закрита четвертинними відкладами, через що простежити перехід від ендербіто-гнейсів до кварцитів неможливо. Водночас із характеру зміни порід та окремих фрагментів і співвідношень між ними можна зробити висновок про тектонічну природу контакту між породами тиврівської товщі і кошаро-олександрівської світи, і значний розвиток метасоматичних процесів, що призвів до утворення біотитових гнейсів [4, 5].

Об'єкти та методи дослідження. Методом *LA-ICP-MS* в *Curtin University* (м. Перт, Австралія), вивчено U-Pb та Lu-Hf ізотопні системи кристалів циркону із ендербіто-гнейсу (пр. СП-8), відібраного в західній частині південного борту кар'єру та метаультрамафіту (пр. СП-8-2), відслоненого в 10 м на південь від західної частини північного борту Кошаро-Олександрівського кар'єру (рис. 1). Класичним уран-свинцевим ізотопним методом за мультизерновими наважками монациту визначено вік чарнокіту (пр. 147/80а), що у вигляді жильного тіла та апофіз січе ендербіто-гнейси.

Методом електронного мікрозондового аналізу в лабораторії Інституту геохімії, мінералогії та петрології Варшавського університету (Польща) за допомогою приладу *Cameca SX*-100, доповненого чотирма хвилеДисперсійними спектрометрами, було визначено склад мінера-

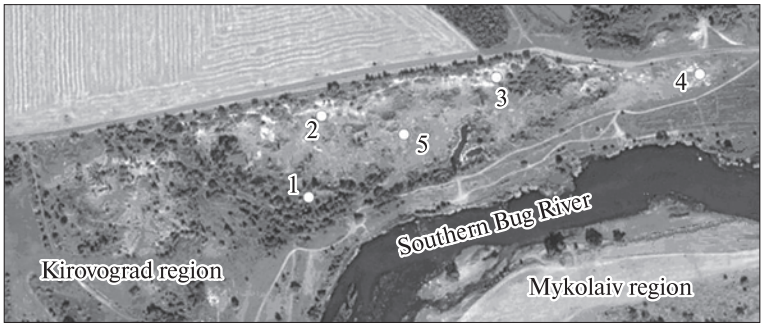


Рис. 1. Космознімок Кошаро-Олександрівського кар'єру: *1—5* — номери геохронологічних проб: *1* — ендербітогнейс, пр. СП-8; *2* — метаультрамафіт, пр. СП-8-2; *3* — біотитовий гнейс (метасоматит), пр. СП-8-18; *4* — біотитовий гнейс (метасоматит), пр. СП-8-19; *5* — чарнокіт, пр. 147/80

Fig. 1. Space image of the Kosharo-Oleksandrivka open pit: *1—5* — geochronology sampling sites: *1* — enderbitic gneiss, smp. СП-8; *2* — metamorphosed ultramafite, smp. СП-8-2; *3* — biotite gneiss (metasomatite), smp. СП-8-18; *4* — biotite gneiss (metasomatite), smp. СП-8-19; *5* — charnockite, smp. 147/80

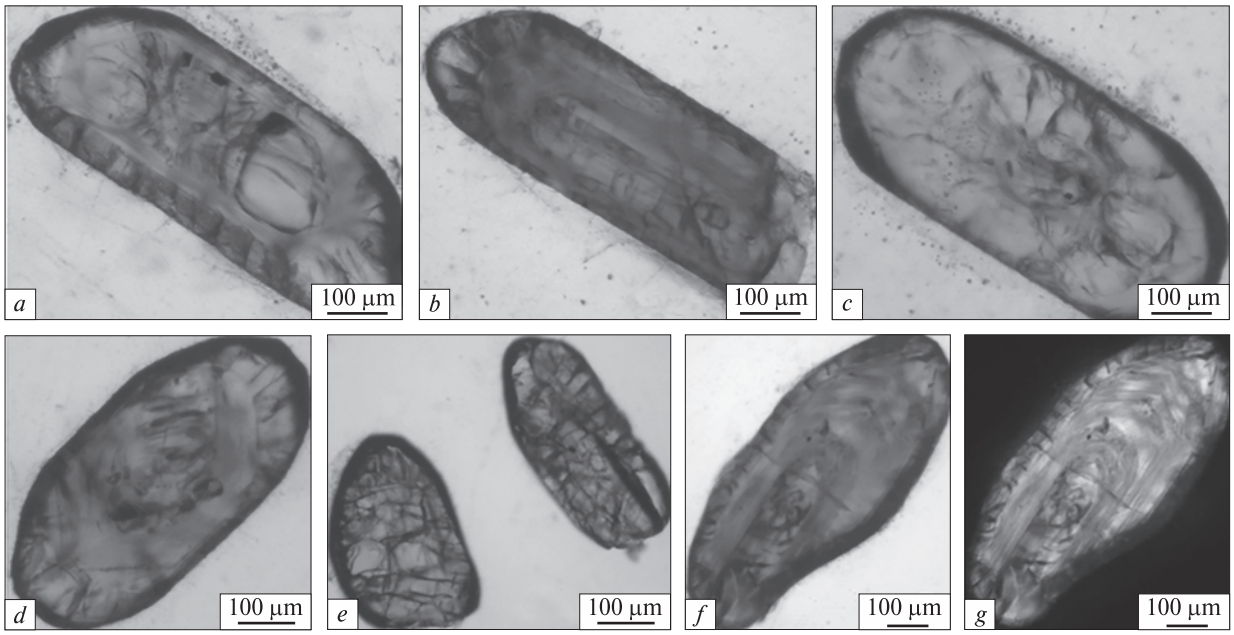


Рис. 2. Мікрофотографії кристалів циркону із ендербіто-гнейсу, пр. СП-8, оптичний мікроскоп: *a—f* — при одному ніколі, *g* — кристал *f*, ніколі +

Fig. 2. Photomicrographs of zircon crystals from enderbitic gneiss, smp. СП-8, optical microscope: *a—f* — in plane-polarized light, *g* — crystal *f*, in cross-polarized light

лів ендербіто-гнейсів, поширених у центральній частині Кошаро-Олександрівського кар'єру (пр. 12С-24), які є головним членом породної асоціації та гіперстен-амфіболового грануліту (пр. 12С-22), що у вигляді "ксеноліту" залягає серед ендербіто-гнейсів у його західній частині.

Результати та їх обговорення. **Ізотопна геологія.** *Ендербіто-гнейс (пр. СП-8)* — світло-сіра з зеленкуватим відтінком порода, складена (об. %): плагіоклазом, — 55—60, кварцом — 35—30, гіперстеном — 5—8 та біотитом — близько 3. Акцесорні мінерали представлені апатитом, цирконом, рудними; вторинні мінерали — хлорит, серицит. Структура гранобластова, середньозерниста.

Плагіоклаз (олігоклаз) утворює кристали ізометричної неправильної або призматичної форми. Розмір зерен становить переважно 0,5—1,0, іноді до 2,0 мм. Кристали нерівномірно серицитизовані.

Кварц знаходиться у вигляді мономінеральних гніздоподібних скупчень та поодиноких зерен. Форма неправильна, часто сплощена дископодібна. У мономінеральних виділеннях зрідка присутні реліктові зерна плагіоклазу. Розмір кристалів може сягати 2,0 мм. Краї нерівні зубчасті, згасання хвилясте, блокове. Подекуди кристали кварцу насичені голкоподібними виділеннями рутилу та містять включення плагіоклазу, зрідка біотиту.

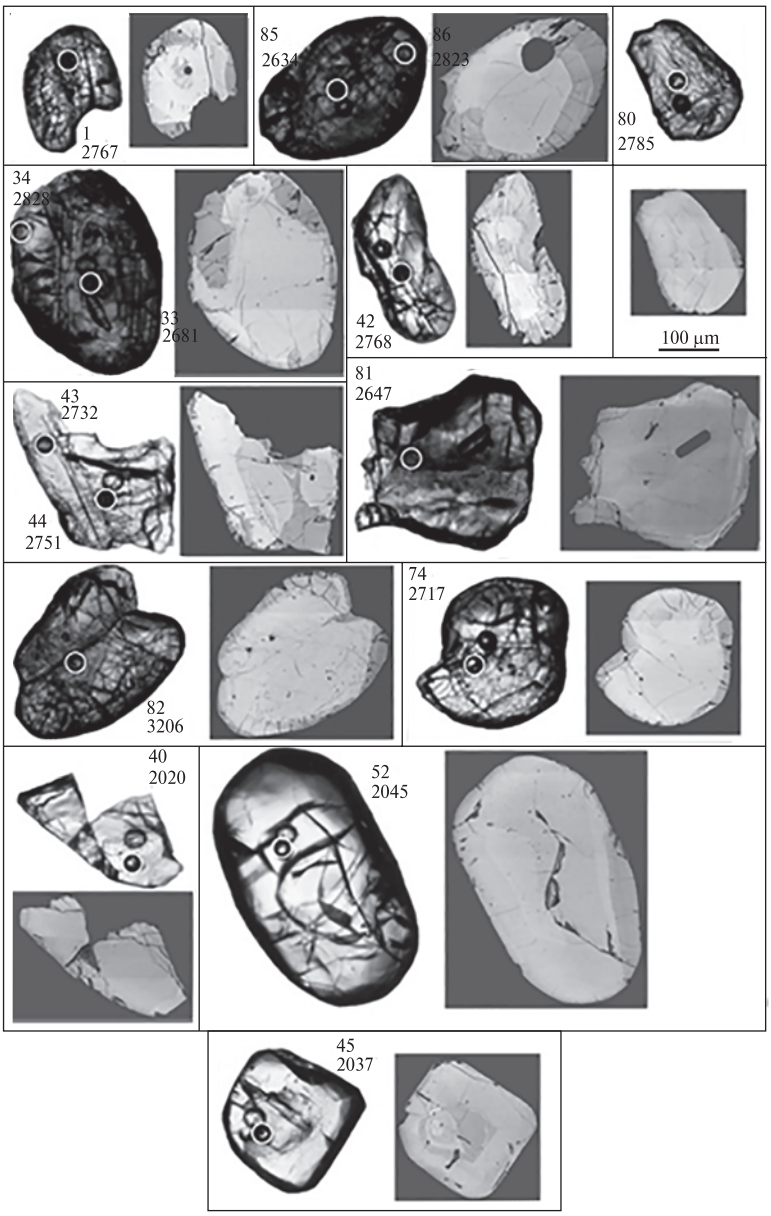


Рис. 3. Мікрофотографії кристалів циркону із ендербіто-гнейсу (пр. СП-8), в яких визначено вік та ізотопний склад гафнію, оптичний мікроскоп, та ті ж кристали у відбитих електронах. Номери кристалів (1—85) відповідають номерам ділянок визначення віку, а цифри (2767) — вік за співвідношенням $^{207}Pb/^{206}Pb$ (табл. 1)

Fig. 3. Photomicrographs of zircon crystals from enderbitic gneiss (smp. СП-8) in which U-Pb age and Hf isotope composition have been determined. Optical and BSE images. Zircons numbers as in Table 1 as well as $^{207}Pb/^{206}Pb$ ages are indicated

Гіперстен зазвичай заокругленої форми, трапляється у поодиноких зернах, подекуди у незначних скупченнях. Має червонувате забарвлення з помітним дихроїзмом: *Ng* — блідо-червоний, червоний; *Np* — блідо-зелений. Деякі кристали по тріщинках заміщуються хлоритом.

Біотит утворює поодинокі деформовані луски, які подекуди заміщуються хлоритом. Забарвлений по *Ng* в бурий, червонувато-бурий колір, по *Np* — світло-жовтий.

Серед кристалів циркону з ендербіто-гнейсу спостерігаються майже всі відміни, характерні для ендербіто-гнейсів гайворонського комплексу [3]. Кристали прозорі, мають заокруглені ребра та гладеньку блискучу поверхню, рожевий, сірувато-рожевий, рожево-коричневий, інколи коричневий колір. За видовженням варіюють від видовженопризматичних ($K_{вид}$ > 2,5) до короткопризматичних і навіть ізометричних. Кристали складні, утворені цирконами декількох генерацій. На рис. 2, 3 добре розрізняються ядра та дві оболонки. Із ядер, присутніх усередині кристалів, найпоширенішими є світло-рожеві з невеликим видовженням (до ізометричних) з заокругленими контурами (рис. 2, *c*, *d*). Рідше трапляються ядра коричневого забарвлення, як правило, призматичного габітусу (рис. 2, *a*, *b*, *f*, *g*). Варто зазначити, що на відміну від кристалів циркону із ендербіто-гнейсів, поширених в районі с. Завалля, в кристалах циркону із досліджених ендербіто-гнейсів Кошаро-Олександрівського кар'єру ми

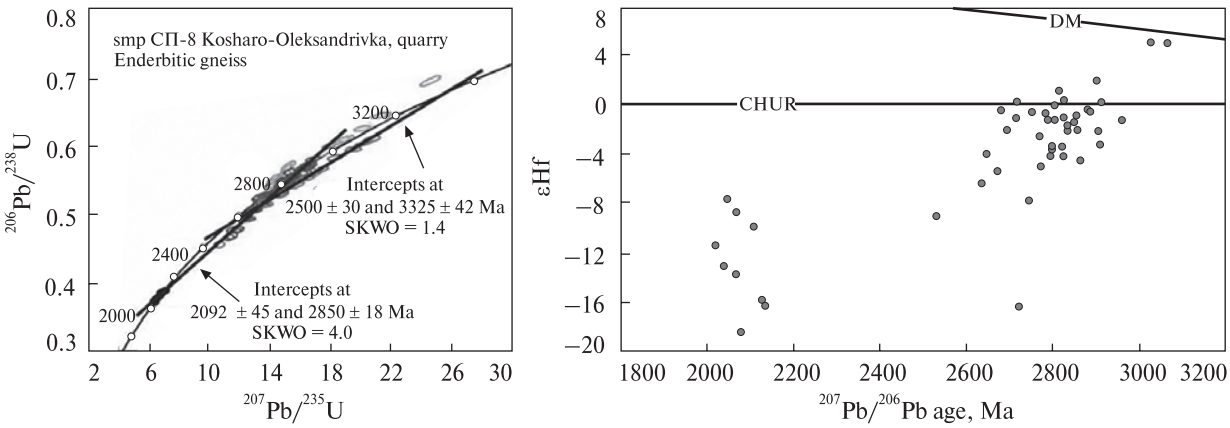


Рис. 4. Результати U-Pb та Lu-Hf ізотопних досліджень цирконів із ендербіто-гнейсів (пр. СП-8), розкритих кар'єром у с. Кошаро-Олександрівка

Fig. 4. Results of U-Pb and Lu-Hf isotope studies of zircons from enderbitic gneiss (smp. СП-8), the Kosharo-Oleksandrivka open pit

не виявили тонкозональних ядер. Зрідка трапляються тонкозональні оболонки (оболонка 1) (рис. 2, *b*, *d*, *f*, *g*). Ядра зазвичай являють собою уламки переважно однорідних (світло-рожеві) або покритих сіткою тріщин (коричневі) кристалів, без правильних кристаломорфологічних контурів (рис. 2, 3). Оболонки 2 зазвичай однорідні, світло-рожеві, зрідка світло-коричневі (рис. 2). Зробити однозначний висновок стосовно генезису циркону ядер на основі лише мікроскопічних досліджень не є можливим. Можна лише зазначити, що присутні декілька типів ядер, що характерно для осадових і вулканогенно-осадових порід. У кристалах виявлено тонкозональну (магматичну) генерацію циркону (оболонка 1), що може бути підставою висновку про те, що досліджувана порода в минулому зазнавала плавлення. Можна також стверджувати, що вихідні породи (протоліт ендербіто-гнейсу) зазнали значних структурно-метаморфічних перетворень, що спричинили зокрема деформацію (розламування, часткове розчинення) кристалів циркону, свідченням чого є анатомія давніх ядер ±оболонка 1 (див. рис. 2, 3).

За результатами датування та вивчення ізотопного складу гафнію в ендербіто-гнейсі були визначені щонайменше три популяції цирконів. До найдавнішої (палеоархейської) популяції належить відносно невелика група цирконів, що розташовуються на дискордії з верхнім перетином 3325 ± 42 млн рр. Найпоширеніша (мезоархейська) популяція розташована на U-Pb діаграмі вздовж лінії регресії (дискордії), яка має верхній перетин в точці 2850 ± 18 млн рр., і нижній — у точці 2092 ± 45 млн рр. (рис. 4). Біля нижнього перетину цієї ізохрони — палеопротерозойська популяція кристалів циркону, яка кристалізувалася близько 2100 млн рр. тому. Значна група кристалів розташовується вище конкордії та має порушену U-Pb ізотопну систему, що не дає змоги однозначно інтерпретувати їхній вік (табл. 1).

У ході вивчення співвідношень між різними генераціями циркону ми виявили кристали, ядра яких належали до палеоархейської популяції, а облямівки мали вік близько 2800 млн рр., і також кристали з мезоархейськими ядрами та палеопротерозойськими облямівками.

Достовірні відомості щодо ізотопного складу гафнію в цирконах палеоархейської популяції відсутні. Циркони мезоархейської популяції проявляють значні варіації ізотопного складу гафнію — величина εHf в них варіює від 1,9 до –7,7, з одним аномально низьким значенням –16,4 (табл. 2). Такі варіації вказують на значну контамінацію первинного мантійного розплаву більш давньою коровою речовиною. На значну роль давньої корової речовини в складі дослідженого ендербіто-гнейсу вказують результати самарій-неодимових досліджень валової проби — $\varepsilon Nd_{2840} = -4{,}7$ [1].

Циркон із аномально низьким значенням εHf може походити з еоархейських ендербітоїдів гайворонського комплексу [10]. Циркони палеопротерозойського віку мають величини εHf від –18,4 до –7,7 (табл. 2) і являють собою результат ресетінгу (втрати радіогенного свинцю) давніших цирконів, з відносно незначною домішкою молодого ювенільного матеріалу.

Таблиця 1. **Результати U-Pb датування цирконів з ендербіто-гнейсів (пр. СП-8)**
Table 1. **Results of U-Pb dating of zircons from enderbitic gneiss (smp. СП-8)**

No.	Crystal No.	Isotope ratios										Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
		$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2 σ	Error Corr	$^{238}U/^{206}Pb$	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	2 σ	Error Corr	$^{207}U/^{235}Pb$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	2 σ	U	Th	Pb	
1	1*c*	14.960	0.39	0.5621	0.0075	0.93	1.77904	0.0237	0.1931	0.0010	0.26	2808	15	2872	31	2767	8.7	1043	75.9	115.7	13.7
2	2*c*	20.700	0.44	0.6090	0.0033	0.54	1.64204	0.0089	0.2463	0.0012	0.42	3124.7	5.5	3065	13	3160.7	7.9	769	465	741	1.7
3	3*c*	17.380	0.37	0.5644	0.0028	0.52	1.77179	0.0088	0.2232	0.0013	0.30	2956.6	6.3	2884	11	3003.6	9.6	1073	166	251.6	6.5
4	3*m*	14.040	0.31	0.5409	0.0037	0.74	1.84877	0.0126	0.1890	0.0010	0.23	2753.5	7.3	2787	15	2732.9	8.4	845	105.2	144.6	7.8
5	4*c*	16.260	0.36	0.5671	0.0033	0.38	1.76336	0.0103	0.2077	0.0018	0.28	2891.4	8.4	2896	14	2887	14	158.7	110	157	1.4
6	5*c*	15.047	0.32	0.5517	0.0023	0.60	1.81258	0.0076	0.1976	0.0008	0.32	2818.2	4.6	2832	9.5	2805.5	6.8	1527	399.9	556.4	3.9
7	5*c*	15.630	0.34	0.5566	0.0024	0.32	1.79662	0.0077	0.2036	0.0014	0.32	2855.8	6.4	2852	10	2856	10	216.1	44.72	61.83	4.8
8	6*c*	16.450	0.38	0.5528	0.0035	0.25	1.80897	0.0115	0.2146	0.0023	0.35	2903.9	9.8	2836	15	2937	18	103.6	59.6	84.46	1.8
9	7*c*	13.630	0.31	0.5178	0.0031	0.45	1.93125	0.0116	0.1913	0.0019	0.16	2724	10	2689	13	2756	16	145.7	62.82	83.12	2.3
10	8*c*	19.020	0.43	0.6089	0.0036	0.76	1.64231	0.0097	0.2269	0.0014	0.25	3044.8	9.1	3067	14	3031	10	859	551	984	1.6
11	9*c*	16.560	0.39	0.5705	0.0041	0.32	1.75285	0.0126	0.2113	0.0023	0.30	2910	11	2909	17	2912	18	67.99	119.5	172.2	0.6
12	10*c*	9.085	0.21	0.4301	0.0027	0.48	2.32504	0.0146	0.1530	0.0014	0.17	2345.8	9.1	2307	12	2378	15	243.1	121.1	135.6	2.0
13	11*c*	20.110	0.43	0.6022	0.0030	0.70	1.66058	0.0083	0.2413	0.0010	0.29	3097.2	5.3	3038	12	3128.1	6.6	2337	1497	2315	1.6
14	12*c*	16.885	0.36	0.5573	0.0025	0.61	1.79437	0.0080	0.2193	0.0010	0.30	2927.8	5.3	2855	10	2973.8	7.3	1319	702	1008	1.9
15	13*c*	14.920	0.32	0.5423	0.0030	0.40	1.84400	0.0102	0.1991	0.0013	0.34	2809.5	6.9	2796	12	2818	11	236.1	167.9	231.1	1.4
16	14*c*	14.710	0.38	0.5303	0.0041	0.18	1.88573	0.0146	0.2009	0.0033	0.29	2795	15	2742	17	2830	27	42.8	59.08	78.82	0.7
17	15*c*	12.280	0.26	0.4947	0.0029	0.65	2.02143	0.0118	0.1794	0.0009	0.48	2625.6	4.8	2591	13	2646.2	7.8	1658	95.6	125.4	17.5
18	16*c*	14.380	0.31	0.5521	0.0037	0.72	1.81127	0.0121	0.1889	0.0010	0.31	2774.9	6.5	2837	15	2733.2	8.5	730	250.5	356.8	3.0
19	17*c*	13.192	0.29	0.5245	0.0037	0.81	1.90658	0.0134	0.1821	0.0007	0.33	2693.2	6.6	2717	16	2672.1	6.8	1397	99.2	134.3	14.2
20	17*m*	11.470	0.3	0.4684	0.0041	0.15	2.13493	0.0187	0.1788	0.0032	0.39	2566	15	2476	18	2641	29	41.27	15.97	19.59	2.7
21	18*c*	16.220	0.39	0.5595	0.0041	0.17	1.78731	0.0131	0.2095	0.0027	0.37	2891	12	2864	17	2901	21	49.98	25.34	35.77	2.0
22	19*c*	24.550	0.55	0.6929	0.0058	0.85	1.44321	0.0121	0.2571	0.0012	0.21	3288.7	9.2	3395	22	3227.7	7.3	741	514	879	1.5
23	20*c*	14.643	0.31	0.5409	0.0024	0.57	1.84877	0.0082	0.1956	0.0010	0.23	2791.6	5.9	2787	10	2789.9	8.3	755	214.7	294	3.6
24	21*c*	14.020	0.33	0.5303	0.0044	0.87	1.88573	0.0156	0.1908	0.0010	0.21	2752	10	2742	19	2748.4	9.1	1268	267.1	385	4.7
25	21*m*	15.190	0.37	0.5689	0.0062	0.73	1.75778	0.0192	0.1921	0.0016	0.05	2825	13	2901	26	2759	13	225.2	34.3	52.66	6.7
26	22*c*	10.340	0.25	0.4865	0.0056	0.80	2.05550	0.0237	0.1540	0.0012	0.03	2465	12	2556	24	2389	13	236	69.69	85.3	3.5
27	23*c*	11.270	0.27	0.4648	0.0028	0.32	2.15146	0.0130	0.1754	0.0022	0.20	2547	12	2460	12	2607	21	95.1	53.18	62.12	1.8
28	24*c*	17.560	0.38	0.5891	0.0043	0.67	1.69751	0.0124	0.2173	0.0012	0.29	2968.6	7.2	2985	17	2959.5	8.9	360.6	176.8	264.5	2.1
29	25*c*	20.070	0.44	0.6234	0.0031	0.54	1.60411	0.0080	0.2330	0.0014	0.24	3094.7	6.7	3123	12	3071	9.6	316.6	253.1	391.4	1.3
30	25*m*	14.940	0.34	0.5563	0.0043	0.67	1.79759	0.0139	0.1950	0.0015	0.07	2811.2	9.6	2850	18	2784	13	196.8	25.2	36.99	8.0
31	26*c*	19.460	0.42	0.5936	0.0031	0.39	1.68464	0.0088	0.2375	0.0016	0.32	3063.7	7.2	3005	12	3101	11	252.4	77.3	124.8	3.3
32	26*m*	12.699	0.27	0.4915	0.0024	0.61	2.03459	0.0099	0.1870	0.0009	0.21	2657	5.6	2577	11	2714.5	8.2	1536	64.3	82	24.7
33	27*c*	12.817	0.27	0.5076	0.0022	0.35	1.97006	0.0085	0.1833	0.0010	0.47	2665.8	5	2646.3	9.3	2680.6	9.3	685	201.9	256.2	3.5
34	27*m*	13.910	0.39	0.4996	0.0045	0.26	2.00160	0.0180	0.2019	0.0037	0.16	2737	18	2611	19	2828	30	46.46	12.93	28.5	3.7
35	28*c*	13.786	0.29	0.5132	0.0026	0.47	1.94856	0.0099	0.1949	0.0011	0.49	2734.7	4.7	2670	11	2783.2	8.9	1189	224.5	296	5.3
36	28*i*	10.640	0.27	0.4546	0.0038	0.21	2.19974	0.0184	0.1690	0.0027	0.31	2491	14	2415	17	2544	26	61.94	28.62	32.29	2.2
37	28*m*	7.002	0.16	0.3889	0.0026	0.54	2.57136	0.0172	0.1306	0.0010	0.18	2110.5	7.9	2117	12	2104	14	365.2	25.37	33.2	14.8
38	29*c*	11.440	0.25	0.4779	0.0029	0.80	2.09249	0.0127	0.1735	0.0008	0.03	2558.7	7.1	2517	13	2590	7.2	2372	322.7	397	7.6
39	29*m*	6.520	0.18	0.3769	0.0031	0.18	2.65322	0.0218	0.1264	0.0025	0.26	2048	16	2061	14	2038	35	47.94	6.26	6.07	7.9
40	30*c*	6.410	0.19	0.3715	0.0039	0.13	2.69179	0.0283	0.1242	0.0027	0.33	2036	19	2037	18	2020	39	37.79	3.968	3.92	9.8
41	31*c*	12.511	0.27	0.4991	0.0025	0.46	2.00361	0.0100	0.1826	0.0011	0.36	2643.9	5.7	2609	11	2676.4	9.5	548	599	757	0.9
42	32*c*	14.160	0.35	0.5303	0.0051	0.83	1.88573	0.0181	0.1933	0.0014	0.20	2760	13	2747	21	2768	12	798	82.8	114	9.6
43	33*m*	13.430	0.28	0.5145	0.0026	0.58	1.94364	0.0098	0.1890	0.0008	0.45	2710.8	4.7	2675	11	2732	7.1	1831	478	615	4.0
44	33*c*	13.851	0.3	0.5266	0.0027	0.37	1.89898	0.0097	0.1912	0.0013	0.32	2740	6.5	2730	11	2751	11	365.2	36.19	47	10.5
45	34*c*	7.110	0.16	0.3864	0.002	0.29	2.58799	0.0134	0.1330	0.0012	0.27	2124.7	8.3	2105.6	9.3	2137	16	239.4	20.3	20.47	12.2
46	35*c*	13.455	0.29	0.5112	0.0028	0.54	1.95618	0.0107	0.1900	0.0011	0.27	2711.4	6.4	2663	12	2742	10	379.1	297.8	377.4	1.3
47	36*c*	13.086	0.28	0.5046	0.0024	0.51	1.98177	0.0094	0.1888	0.0010	0.40	2685.9	5	2633	10	2730.7	8.3	1134	182.7	233.6	6.5
48	37*c*	15.312	0.33	0.5486	0.003	0.55	1.82282	0.0100	0.2025	0.0011	0.41	2834.3	5.4	2819	12	2845.7	8.6	788	177.9	246.6	4.6
49	38*c*	19.880	0.43	0.5910	0.0027	0.69	1.69205	0.0077	0.2430	0.0013	0.10	3085	7.1	2993	11	3139.5	8.3	757	512.5	832.2	1.5
50	38*m*	7.104	0.17	0.3877	0.0021	0.25	2.57931	0.0140	0.1326	0.0016	0.20	2124	10	2112	10	2127	21	137.9	36.7	39.3	3.9
51	39*c*	13.069	0.28	0.5063	0.0024	0.52	1.97511	0.0094	0.1866	0.0010	0.35	2684.6	5.5	2640	10	2712.5	8.7	530.3	464.3	589.2	1.2
52	40*c*	6.553	0.15	0.3767	0.0022	0.34	2.65463	0.0155	0.1263	0.0013	0.22	2052.3	9.2	2060	10	2045	19	185.7	81	77.3	2.4
53	41*c*	16.410	0.37	0.5702	0.0032	0.47	1.75377	0.0098	0.2078	0.0017	0.19	2899.6	8.9	2909	13	2889	13	127.54	56.46	74.42	2.3
54	42*c*	7.264	0.16	0.4153	0.0030	0.56	2.40790	0.0174	0.1267	0.0009	0.26	2143.9	7.8	2239	14	2052	13	424	40.4	43.6	11.3
55	42*m*	6.750	0.17	0.3792	0.0030	0.19	2.63713	0.0209	0.1283	0.0020	0.26	2080	14	2074	14	2067	28	86.8	24.29	24.46	3.7

No.	Crystal No.	Isotope ratios										Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
		$^{207}Pb/^{235}U$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2 σ	Error Corr	$^{238}U/^{206}Pb$	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	2 σ	Error Corr	$^{207}U/^{235}Pb$	2 σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2 σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	2 σ	U	Th	Pb	
57	44*c*	15.222	0.32	0.5486	0.0024	0.51	1.82282	0.0080	0.2009	0.0009	0.48	2828.9	4.2	2818.9	9.9	2832.5	7.1	2556	177.8	241	15.2
58	44*m*	15.290	0.33	0.5518	0.0034	0.65	1.81225	0.0112	0.1998	0.0010	0.28	2834.6	6.4	2832	14	2822.8	8.3	475.5	173.4	241	2.9
59	45*c*	12.780	0.29	0.5045	0.0040	0.81	1.98216	0.0157	0.1832	0.0009	0.09	2663.6	8.6	2634	17	2682.1	8.5	1506	118.6	153.9	13.1
60	46*c*	13.258	0.29	0.5189	0.0030	0.61	1.92715	0.0111	0.1848	0.0010	0.25	2699.2	6.8	2694	13	2695	9.3	522.2	184	244.2	3.0
61	47*c*	15.060	0.37	0.5428	0.0039	0.31	1.84230	0.0132	0.2009	0.0025	0.25	2820	12	2794	16	2827	21	62.53	39.52	52.36	1.6
62	48*c*	11.290	0.26	0.4873	0.0047	0.88	2.05212	0.0198	0.1674	0.0007	0.13	2546.2	9.8	2559	20	2531.1	7.5	1465	75.8	96.4	20.5
63	48*m*	12.534	0.26	0.4936	0.0021	0.46	2.02593	0.0086	0.1827	0.0009	0.40	2645.7	4.8	2586.1	9.2	2675.8	8.3	1334	238.4	292.6	5.9
64	49*c*	12.460	0.28	0.4978	0.0041	0.86	2.00884	0.0165	0.1801	0.0008	0.04	2639.3	8.6	2604	18	2652.1	7.7	1422	72.6	96.3	20.3
65	49*m*	13.072	0.28	0.5060	0.0023	0.46	1.97629	0.0090	0.1869	0.0009	0.47	2684.4	4.5	2639.2	9.8	2714.7	8.1	896	313	396.3	3.0
66	50*c*	14.530	0.34	0.5341	0.0034	0.36	1.87231	0.0119	0.1968	0.0021	0.29	2783	10	2758	14	2801	17	90.7	56.89	74.93	1.7
67	51*c*	14.890	0.33	0.5418	0.0034	0.66	1.84570	0.0116	0.1972	0.0012	0.08	2807.2	7.4	2790	14	2803.3	9.8	602	110.9	151.4	5.8
68	51*m*	13.562	0.29	0.5250	0.0032	0.60	1.90476	0.0116	0.1874	0.0011	0.34	2719.9	6.4	2720	13	2717.1	9.5	646	158.3	213.5	4.3
69	52*c*	14.030	0.31	0.5396	0.0035	0.84	1.85323	0.0120	0.1877	0.0008	0.10	2751.4	7.8	2781	15	2722.1	7.4	1529	312	424	5.1
70	53*c*	14.930	0.35	0.5452	0.0036	0.25	1.83419	0.0121	0.1981	0.0022	0.33	2812	10	2805	15	2814	18	77.79	56.2	74.2	1.5
71	54*c*	14.830	0.32	0.5476	0.0027	0.54	1.82615	0.0090	0.1964	0.0011	0.30	2804.3	5.7	2815	11	2795.2	9	472	162.1	216.9	3.1
72	55*c*	16.020	0.37	0.5574	0.0034	0.39	1.79404	0.0109	0.2067	0.0020	0.21	2877	10	2855	14	2881	16	93.6	76.33	102.8	1.3
73	56*c*	18.670	0.44	0.6062	0.0049	0.78	1.64962	0.0133	0.2218	0.0017	0.37	3023	11	3054	20	2991	12	438	319.9	491.5	1.4
74	57*c*	13.713	0.29	0.5283	0.0031	0.55	1.89286	0.0111	0.1870	0.0010	0.34	2730.5	5.9	2735	13	2717.3	8.9	584	97.1	126.4	6.3
75	58*c*	15.996	0.34	0.5648	0.0027	0.61	1.77054	0.0085	0.2039	0.0008	0.43	2876.6	4.3	2886	11	2856.2	6.6	3255	431.6	582	8.0
76	59*c*	21.110	0.46	0.6455	0.0052	0.77	1.54919	0.0125	0.2364	0.0013	0.36	3144.3	7.7	3209	20	3093.9	8.4	746	221.7	410.7	3.5
77	59*m*	13.580	0.31	0.5125	0.0029	0.51	1.95122	0.0110	0.1917	0.0017	0.11	2720.4	8.7	2668	12	2754	15	173.7	160.2	201.3	1.1
78	60*c*	14.977	0.32	0.5464	0.0027	0.48	1.83016	0.0090	0.1977	0.0011	0.37	2813.6	5.8	2810	11	2805.3	9.4	460.3	227.1	308.5	2.1
79	61*c*	18.237	0.39	0.5813	0.0033	0.46	1.72028	0.0098	0.2271	0.0013	0.46	3002.3	5.1	2953	13	3030.7	8.8	813	272.7	426.9	3.1
80	62*c*	14.779	0.32	0.5464	0.0032	0.61	1.83016	0.0107	0.1952	0.0011	0.28	2800.9	6.3	2811	13	2784.8	8.9	480	182.9	244.6	2.8
81	63*c*	11.880	0.29	0.4769	0.0033	0.22	2.09688	0.0145	0.1799	0.0023	0.31	2592	12	2513	14	2647	22	81.1	79.99	94.7	1.1
82	64*c*	21.170	0.46	0.6015	0.0032	0.68	1.66251	0.0088	0.2536	0.0013	0.18	3146.2	6.7	3037	13	3205.9	8	860	257.4	374	3.5
83	65*c*	17.890	0.39	0.5989	0.0038	0.74	1.66973	0.0106	0.2150	0.0010	0.18	2983.5	6.9	3025	15	2944.4	8	670	124.4	220.8	5.5
84	66*c*	15.800	0.34	0.5416	0.0041	0.76	1.84638	0.0140	0.2095	0.0010	0.46	2864.8	6.6	2789	17	2902.5	8.2	2730	103.9	144.4	27.1
85	67*c*	12.224	0.26	0.4962	0.0028	0.47	2.01532	0.0114	0.1778	0.0011	0.38	2622.8	5.8	2597	12	2634	10	411.3	217.6	269.2	2.0
86	67*m*	15.110	0.35	0.5468	0.0037	0.22	1.82882	0.0124	0.1996	0.0022	0.40	2826	10	2813	16	2823	18	79.07	13.91	18.56	6.0
87	68*c*	12.251	0.26	0.4899	0.0021	0.40	2.04123	0.0087	0.1802	0.0011	0.28	2623.1	6.1	2571.6	9	2653	10	610.3	246	302.3	2.6
88	69*c*	16.786	0.36	0.5788	0.0030	0.53	1.72771	0.0090	0.2102	0.0011	0.35	2923.2	5.6	2944	12	2905	8.5	542	357.1	511.2	1.6
89	70*c*	14.117	0.3	0.5254	0.0024	0.45	1.90331	0.0087	0.1951	0.0010	0.35	2758.6	5.3	2722	10	2784.5	8.2	614	112.6	143.9	5.7
90	71*c*	15.580	0.34	0.5530	0.0033	0.31	1.80832	0.0108	0.2049	0.0018	0.38	2851.2	7.6	2838	13	2863	14	154.3	86.9	117.3	1.9
91	72*c*	15.580	0.35	0.5497	0.0033	0.21	1.81917	0.0109	0.2061	0.0019	0.43	2850.8	8	2823	14	2876	15	123.9	66	88.3	2.0
92	73*c*	6.820	0.19	0.3844	0.0033	0.01	2.60146	0.0223	0.1291	0.0027	0.43	2087	16	2096	15	2079	37	51.96	6.516	6.35	8.4
93	74*c*	14.317	0.31	0.5478	0.0036	0.67	1.82548	0.0120	0.1894	0.0009	0.31	2770.8	6.5	2815	15	2737.2	8.5	867	180.7	247.2	5.0
94	75*c*	6.837	0.15	0.3877	0.0020	0.48	2.57931	0.0133	0.1275	0.0008	0.28	2089.9	5.9	2112.8	9.3	2064	10	838	95.9	93.4	9.1
95	75*m*	6.320	0.18	0.3725	0.0028	0.17	2.68456	0.0202	0.1225	0.0023	0.24	2022	17	2041	13	1987	33	67.33	11.59	11.13	6.1
96	76*c*	13.194	0.28	0.5094	0.0028	0.65	1.96309	0.0108	0.1872	0.0009	0.30	2693.5	6	2654	12	2716.8	7.9	1200	352	449.4	3.6
97	77*c*	14.470	0.32	0.5308	0.0030	0.43	1.88395	0.0106	0.1971	0.0015	0.23	2781	7.8	2744	13	2801	12	203.3	174.6	227.9	1.2
98	78*c*	14.749	0.31	0.5267	0.0026	0.64	1.89861	0.0094	0.2035	0.0010	0.06	2799.2	5.5	2727	11	2852.9	7.8	2086	196.9	311	11.0
99	79*c*	21.390	0.47	0.6430	0.0039	0.65	1.55521	0.0094	0.2418	0.0014	0.21	3155.7	7	3200	15	3131.5	9	425	265	408.4	1.7
100	80*c*	13.411	0.29	0.5183	0.0033	0.72	1.92939	0.0123	0.1881	0.0009	0.23	2708.2	6.4	2692	14	2723.8	8.2	1083	76.4	97.6	14.9
101	80*m*	11.807	0.25	0.4750	0.0024	0.41	2.10526	0.0106	0.1797	0.0011	0.34	2589.1	6.2	2505	11	2648	10	565.4	84.19	104.2	7.0
102	81*c*	12.730	0.29	0.5035	0.0036	0.80	1.98610	0.0142	0.1834	0.0010	0.04	2658.2	8.9	2629	15	2682.4	9.2	1225	314.2	410.9	4.0
103	82*c*	14.158	0.3	0.5317	0.0022	0.58	1.88076	0.0078	0.1935	0.0008	0.48	2760.3	4.3	2749.4	9.5	2771.2	6.7	2284	108.3	143	22.0
104	83*c*	15.320	0.34	0.5607	0.0035	0.47	1.78349	0.0111	0.1984	0.0018	0.23	2835.7	9.1	2869	15	2813	15	148.6	34.2	49.7	4.5
105	83*m*	14.850	0.32	0.5481	0.0027	0.28	1.82449	0.0090	0.1968	0.0014	0.40	2806.7	6.9	2817	11	2800	12	263	65.1	87.8	4.2
106	84*c*	15.320	0.33	0.5541	0.0032	0.54	1.80473	0.0104	0.2001	0.0013	0.19	2836.1	7	2842	13	2825	10	338.4	322.2	443.9	1.1
107	85*c*	16.466	0.35	0.5661	0.0027	0.54	1.76647	0.0084	0.2109	0.0010	0.48	2904.6	4.8	2892	11	2910.8	7.9	1049	50.56	70.12	21.4

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

N o t e. A letter next to the number of dated zircon grain indicates the location of the analysed spot within the grain: *c* — central part, *i* — intermediate part, *m* — marginal part.

Метаультрамафіт (пр. СП-8-2), відібраний 1991 року із невеликого (перші метри) скельного виходу в донній частині кар'єру, засипаного щебенем. Метаультрамафіт займав більше 90 % виходу, через перехідну зону контактував з ендербіто-гнейсом.

Метаультрамафіт складений, %: роговою обманкою — до 90, реліктами піроксену (можливо епідот?) — близько 5, плагіоклазом — до 5, рудним мінералом — 2; вторинні мінерали — карбонат, кварц, біотит, брусит? (гетит?). В акцесорних кількостях присутні апатит і циркон.

Структура гранонематобластова, ділянками гранобластова, середньозерниста. Розмір зерен 0,2—6 мм, переважають 1—2 мм.

Рогова обманка переважно ізометричної, призматичної, неправильних форм, основний розмір зерен близько 2 мм, інколи до 4—6 мм. Плеохроює від зеленого по *Ng* до світло-коричневого кольору по *Np*.

Таблиця 2. **Результати визначення ізотопного складу гафнію в цирконах з ендербіто-гнейсів (пр. СП-8)**
Table 2. **Results of Hf isotope analysis in zircons from enderbitic gneiss (smp. СП-8)**

No. an. point	$^{207}Pb/^{206}Pb$ age, Ma	$^{176}Hf/^{177}Hf$	± 1σ	$^{176}Lu/^{177}Hf$	$^{176}Yb/^{177}Hf$	$^{176}Hf/^{177}Hf_T$	εHf_T
5	2887	0.280926	0.000026	0.000532	0.0140	0.280910	–0.5
6	2806	0.280968	0.000028	0.000742	0.0190	0.280942	–1.3
7	2856	0.280930	0.000026	0.000530	0.0134	0.280915	–1.1
11	2912	0.280951	0.000019	0.000969	0.0266	0.280911	0.1
19	2672	0.280924	0.000046	0.000413	0.0113	0.280917	–5.3
21	2901	0.280991	0.000025	0.000678	0.0176	0.280967	1.9
23	2790	0.280980	0.000028	0.000714	0.0182	0.280956	–1.2
24	2748	0.280847	0.000016	0.001181	0.0260	0.280799	–7.7
33	2681	0.281108	0.000023	0.001503	0.0392	0.281045	–0.6
42	2768	0.280939	0.000026	0.000504	0.0136	0.280926	–2.7
44	2751	0.280997	0.000026	0.000294	0.0071	0.280995	–0.7
48	2846	0.280930	0.000030	0.000704	0.0166	0.280906	–1.6
53	2889	0.280927	0.000024	0.000682	0.0181	0.280903	–0.7
56	2836	0.280906	0.000024	0.000407	0.0104	0.280898	–2.1
57	2833	0.280986	0.000016	0.001678	0.0406	0.280909	–1.8
58	2823	0.280948	0.000028	0.000514	0.0132	0.280934	–1.2
60	2695	0.281013	0.000022	0.000722	0.0186	0.280990	–2.2
61	2827	0.281000	0.000033	0.000764	0.0197	0.280973	0.3
64	2652	0.281011	0.000023	0.001176	0.0274	0.280965	–4.1
66	2801	0.280903	0.000038	0.000693	0.0183	0.280880	–3.6
67	2803	0.280961	0.000019	0.000517	0.0129	0.280947	–1.2
68	2717	0.281026	0.000022	0.000685	0.0177	0.281004	–1.1
70	2814	0.281041	0.000025	0.000953	0.0258	0.281004	1.1
71	2795	0.280918	0.000021	0.001156	0.0300	0.280870	–4.1
72	2881	0.280947	0.000029	0.000829	0.0222	0.280915	–0.5
74	2717	0.281078	0.000022	0.000921	0.0244	0.281044	0.3
75	2856	0.280925	0.000024	0.000969	0.0242	0.280886	–2.1
78	2805	0.281001	0.000026	0.000778	0.0215	0.280973	–0.2
80	2785	0.280983	0.000026	0.000476	0.0121	0.280972	–0.7
86	2823	0.280907	0.000026	0.000980	0.0254	0.280868	–3.5
88	2905	0.280900	0.000029	0.001208	0.0333	0.280847	–2.3
90	2863	0.280812	0.000023	0.000297	0.0075	0.280810	–4.6
100	2724	0.280600	0.000020	0.000819	0.0189	0.280571	–16.4
103	2771	0.280912	0.000022	0.001258	0.0292	0.280859	–5.0
105	2800	0.280909	0.000023	0.000672	0.0163	0.280887	–3.4
106	2825	0.280879	0.000026	0.000821	0.0218	0.280848	–4.2
107	2911	0.280894	0.000034	0.001710	0.0454	0.280812	–3.4

П р и м і т к а. Номер аналітичної точки збігається з номером аналізу з табл. 1.
N o t e. The number of the analytical spot corresponds to the number of the analysis in Table 1.

Таблиця 3. **Результати U-Pb датування цирконів з метаультрамафіту (пр. СП-8-2)**
Table 3. **Results of U-Pb dating of zircons from metamorphosed ultramafite (smp. СП-8-2)**

No.	Crystal No.	Isotope ratios									
		$^{207}Pb/^{235}U$	2σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2σ	Error Corr	$^{238}U/^{206}Pb$	2σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	2 σ	Error Corr
1	1*c*	13.700	0.11	0.5181	0.0031	0.29	1.93013	0.0031	0.1921	0.0017	0.44
2	2*c*	21.980	0.21	0.6463	0.0056	0.86	1.54727	0.0056	0.2454	0.0012	0.05
3	2*m*	14.350	0.10	0.5231	0.0025	0.38	1.91168	0.0025	0.1989	0.0014	0.32
4	3*c*	16.010	0.12	0.5572	0.0033	0.46	1.79469	0.0033	0.2075	0.0015	0.34
5	3*m*	15.087	0.10	0.5496	0.0026	0.48	1.81951	0.0026	0.1996	0.0012	0.32
6	4*c*	14.506	0.08	0.5351	0.0026	0.52	1.86881	0.0026	0.1967	0.0010	0.43
7	5*c*	9.920	0.07	0.4509	0.0023	0.47	2.21779	0.0023	0.1597	0.0010	0.33
9	6*c*	15.330	0.11	0.5501	0.0029	0.50	1.81785	0.0029	0.2022	0.0012	0.26
10	7*c*	10.800	0.12	0.4684	0.0043	0.77	2.13493	0.0043	0.1670	0.0011	0.02
11	7*m*	11.654	0.08	0.4893	0.0029	0.55	2.04374	0.0029	0.1729	0.0010	0.31
12	8*c*	15.250	0.11	0.5457	0.0032	0.43	1.83251	0.0032	0.2028	0.0014	0.32
13	9*c*	8.777	0.09	0.4192	0.0025	0.43	2.38550	0.0025	0.1527	0.0014	0.18
14	10*c*	13.859	0.09	0.5323	0.0024	0.44	1.87864	0.0024	0.1893	0.0011	0.24
15	11*c*	13.560	0.09	0.5181	0.0027	0.65	1.93013	0.0027	0.1899	0.0009	0.15
16	12*c*	13.770	0.11	0.5051	0.0029	0.52	1.97981	0.0029	0.1975	0.0015	0.24
17	13*c*	11.240	0.12	0.4635	0.0028	0.46	2.15750	0.0028	0.1759	0.0017	0.12
18	14*c*	15.601	0.09	0.5563	0.0025	0.48	1.79759	0.0025	0.2033	0.0010	0.33
20	16*c*	16.440	0.12	0.5726	0.0032	0.47	1.74642	0.0032	0.2084	0.0015	0.28
21	17*c*	13.409	0.10	0.5215	0.0026	0.33	1.91755	0.0026	0.1868	0.0013	0.36
22	18*c*	12.815	0.09	0.5018	0.0025	0.47	1.99283	0.0025	0.1850	0.0013	0.28
23	19*c*	15.958	0.09	0.5615	0.0027	0.34	1.78094	0.0027	0.2065	0.0011	0.47
24	20*c*	16.000	0.12	0.5530	0.0033	0.62	1.80832	0.0033	0.2094	0.0013	0.23
26	22*c*	15.620	0.12	0.5542	0.0029	0.38	1.80440	0.0029	0.2052	0.0015	0.32
27	23*c*	16.233	0.08	0.5502	0.0025	0.55	1.81752	0.0025	0.2137	0.0008	0.47
28	23*m*	8.972	0.07	0.4180	0.0023	0.52	2.39234	0.0023	0.1561	0.0010	0.29
29	24*c*	13.850	0.12	0.5236	0.0034	0.47	1.90986	0.0034	0.1913	0.0015	0.29
31	26*c*	15.590	0.13	0.5403	0.0031	0.40	1.85082	0.0031	0.2095	0.0016	0.32
32	27*c*	14.540	0.10	0.5378	0.0029	0.53	1.85943	0.0029	0.1962	0.0013	0.20
33	28*c*	12.990	0.11	0.5161	0.0039	0.67	1.93761	0.0039	0.1824	0.0011	0.25
34	29*c*	15.370	0.10	0.5404	0.0028	0.59	1.85048	0.0028	0.2071	0.0011	0.21
35	29*m*	13.452	0.08	0.5212	0.0029	0.49	1.91865	0.0029	0.1876	0.0011	0.38
36	30*c*	14.799	0.09	0.5442	0.0030	0.53	1.83756	0.0030	0.1971	0.0011	0.31
37	31*c*	13.400	0.17	0.5119	0.0036	0.63	1.95351	0.0036	0.1898	0.0020	0.08
38	32*c*	22.250	0.16	0.6736	0.0051	0.77	1.48456	0.0051	0.2397	0.0012	0.34
39	32*m*	14.071	0.10	0.5309	0.0024	0.39	1.88359	0.0024	0.1930	0.0013	0.35
40	33*c*	12.629	0.07	0.5128	0.0025	0.52	1.95008	0.0025	0.1790	0.0009	0.30
41	34c	16.900	0.10	0.5812	0.0029	0.50	1.72058	0.0029	0.2112	0.0012	0.37
42	35c	16.565	0.09	0.5821	0.0029	0.54	1.71792	0.0029	0.2076	0.0011	0.31
43	36c	11.930	0.16	0.4882	0.0044	0.78	2.04834	0.0044	0.1772	0.0016	0.18
44	37c	15.960	0.10	0.5641	0.0033	0.45	1.77274	0.0033	0.2052	0.0013	0.41
46	39c	11.141	0.08	0.4654	0.0026	0.74	2.14869	0.0026	0.1733	0.0008	0.08
47	40c	13.580	0.12	0.5361	0.0043	0.48	1.86532	0.0043	0.1845	0.0016	0.40
48	40*m*	11.317	0.10	0.4707	0.0025	0.48	2.12450	0.0025	0.1748	0.0012	0.16
49	41c	16.771	0.09	0.5693	0.0031	0.64	1.75654	0.0031	0.2142	0.0010	0.38
50	41*m*	11.830	0.11	0.4912	0.0031	0.74	2.03583	0.0031	0.1747	0.0011	0.06
51	42c	13.238	0.06	0.5340	0.0027	0.50	1.87266	0.0027	0.1800	0.0009	0.54
52	43c	12.590	0.16	0.4884	0.0037	0.34	2.04750	0.0037	0.1862	0.0023	0.21
53	44c	12.510	0.10	0.4985	0.0030	0.17	2.00602	0.0030	0.1823	0.0017	0.47
54	45c	17.850	0.12	0.6016	0.0037	0.72	1.66223	0.0037	0.2161	0.0010	0.30
55	45*m*	13.447	0.08	0.5195	0.0025	0.32	1.92493	0.0025	0.1877	0.0013	0.39
56	46c	13.120	0.12	0.5065	0.0030	0.39	1.97433	0.0030	0.1880	0.0017	0.24

Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
$^{207}U/^{235}Pb$	2σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	2σ	U	Th	Pb	
2728.8	7.7	2692	13	2762	14	296.3	180.2	228.8	1.7
3181.8	9.5	3218	22	3154.3	7.5	492.3	89.5	145.1	6.9
2774.3	6.7	2713	11	2814	11	371.2	171.4	221.6	2.2
2876.9	7.3	2854	14	2888	12	272	157.2	219	1.8
2820	6	2823	11	2822.5	9.7	399.7	65.5	88	6.3
2782.8	5.3	2762	11	2798.1	7.9	1067	503	674	2.2
2426.7	6.1	2399	10	2453	10	673	216.6	244.8	3.2
2836.3	6.8	2826	12	2843.3	9.8	313	334.3	458.5	1.0
2506	10	2477	19	2527	11	570	95.4	107.7	6.5
2576.2	6.4	2568	12	2585.2	9.6	606	101.9	129.1	6.2
2831.4	6.9	2807	13	2848	11	260.1	271.2	370.8	1.0
2315.2	9	2256	11	2377	15	258.3	63.3	65	4.2
2741.7	6	2751	10	2734.3	9.8	489.5	114.4	152.8	4.4
2719.2	6.4	2691	11	2739.2	8.1	664.3	596.2	779.8	1.1
2732.5	7.9	2635	12	2804	12	315.1	154.7	209.5	2.1
2542	10	2455	12	2614	16	207.9	67.4	79.4	3.2
2852.2	5.3	2851	11	2851.5	8.2	534	194.8	264.8	2.8
2902.6	7.1	2919	13	2891	12	220.5	192.2	275.9	1.2
2709.2	7	2705	11	2713	12	350	227	312	1.7
2667.2	6.6	2622	10	2696	11	406.3	66.71	83.5	6.2
2873.7	5.5	2873	11	2878	9	394.6	437	621	0.9
2875.6	7.4	2837	14	2900.7	9.9	893	84.33	124.8	10.7
2853.1	7.6	2842	12	2867	12	212.8	198	274.2	1.1
2891.1	4.5	2825	11	2933.7	6.4	1715	119.3	169.7	14.6
2334.3	6.8	2251	10	2414	11	495.4	75.3	81.4	6.7
2738.5	8.4	2715	15	2752	13	219.1	40.46	52.63	5.5
2850.5	7.9	2784	13	2900	12	228.2	59.45	84.54	3.9
2785.5	6.7	2774	12	2793	11	306.7	243.4	339.3	1.3
2678.8	7.6	2682	17	2673	10	311.6	116.6	156.7	2.7
2838.8	6.3	2785	12	2881.5	8.9	509	126.3	172.3	4.0
2711.7	5.8	2705	12	2719.2	9.8	396.4	64.2	86.4	6.2
2801.7	5.9	2802	12	2802.2	9.6	516	704	974	0.7
2707	12	2665	16	2739	17	135.7	91.02	116.7	1.5
3193.8	6.9	3318	20	3116.6	7.9	670	383	639	1.8
2756	6.5	2745	10	2768	10	375	52.71	71.7	7.2
2652.4	5.2	2668	11	2642.8	8.5	702	94.7	125.2	7.4
2928.4	5.7	2953	12	2913.7	9	414.6	380.6	561.7	1.1
2910	5.3	2958	12	2885.7	8.7	772	372	558	2.1
2601	12	2562	19	2624	14	276.4	152.1	196.1	1.8
2873.7	6.3	2883	13	2866	10	323.3	347.6	504	0.9
2534.7	6.7	2464	12	2588.1	7.7	1857	156.8	208.5	12.0
2723.6	8.6	2769	18	2692	14	206.5	115.1	161.5	1.8
2549.1	7.8	2486	11	2603	12	443	82.8	101.2	5.3
2922.2	5.4	2905	13	2937.7	7.3	1197	412.1	613.9	2.8
2590.8	8.4	2575	13	2601	10	614	251.5	330.5	2.4
2697.3	4.5	2758	11	2651.4	8.4	3071	506.7	703.7	5.9
2648	12	2566	16	2710	20	63	66.59	84.8	0.9
2643.4	7.8	2607	13	2671	16	174.8	109.8	146.7	1.6
2982.2	6.3	3036	15	2950.5	7.8	829	536	856	1.5
2711	5.6	2697	10	2721	11	397.4	63.4	88.2	6.1
2686.8	8.5	2641	13	2723	15	151.27	64.87	86.9	2.3

No.	Crystal No.	Isotope ratios									
		$^{207}Pb/^{235}U$	2σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2σ	Error Corr	$^{238}U/^{206}Pb$	2σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	2 σ	Error Corr
58	48*c*	15.200	0.11	0.5484	0.0033	0.41	1.82349	0.0033	0.2019	0.0015	0.40
59	49*c*	10.671	0.10	0.4598	0.0026	0.41	2.17486	0.0026	0.1689	0.0015	0.20
60	50*c*	12.980	0.11	0.5078	0.0032	0.36	1.96928	0.0032	0.1863	0.0015	0.36
61	50*m*	11.275	0.07	0.4671	0.0024	0.63	2.14087	0.0024	0.1755	0.0010	0.33
62	51*c*	19.350	0.14	0.5943	0.0033	0.67	1.68265	0.0033	0.2363	0.0013	0.15
63	52*c*	14.270	0.10	0.5390	0.0036	0.72	1.85529	0.0036	0.1919	0.0010	0.30
64	52*m*	13.264	0.09	0.5064	0.0022	0.40	1.97472	0.0022	0.1902	0.0012	0.30
65	53*c*	12.770	0.08	0.5107	0.0030	0.64	1.95810	0.0030	0.1821	0.0009	0.27
66	54*c*	12.890	0.13	0.5030	0.0030	0.32	1.98807	0.0030	0.1866	0.0018	0.27
67	55*c*	13.050	0.24	0.5286	0.0077	0.93	1.89179	0.0077	0.1791	0.0013	0.41
68	56*c*	16.110	0.11	0.5713	0.0037	0.59	1.75039	0.0037	0.2046	0.0012	0.39
69	57*c*	13.600	0.10	0.5185	0.0031	0.44	1.92864	0.0031	0.1906	0.0013	0.33
70	58*c*	16.390	0.14	0.5931	0.0046	0.80	1.68606	0.0046	0.2007	0.0010	0.17
71	58*m*	13.542	0.09	0.5182	0.0025	0.39	1.92976	0.0025	0.1890	0.0012	0.36
72	59*c*	20.950	0.14	0.6219	0.0036	0.68	1.60798	0.0036	0.2445	0.0012	0.17
73	60*c*	15.565	0.08	0.5448	0.0025	0.52	1.83554	0.0025	0.2073	0.0010	0.40
74	61*c*	11.320	0.14	0.4715	0.0033	0.55	2.12089	0.0033	0.1740	0.0017	0.02
75	61*m*	9.711	0.09	0.4396	0.0023	0.46	2.27480	0.0023	0.1603	0.0013	0.09
76	62*c*	18.950	0.11	0.5859	0.0030	0.75	1.70678	0.0030	0.2347	0.0010	0.17
77	62*m*	12.870	0.10	0.5068	0.0028	0.62	1.97317	0.0028	0.1847	0.0011	0.09
78	63*c*	10.570	0.17	0.4538	0.0039	0.09	2.20361	0.0039	0.1700	0.0032	0.41
79	63*c*	14.627	0.09	0.5374	0.0026	0.33	1.86081	0.0026	0.1974	0.0013	0.41
80	63*m*	12.100	0.08	0.4886	0.0024	0.44	2.04666	0.0024	0.1800	0.0012	0.30

П р и м і т к а. Літера біля номера датованого кристала означає: *c* — центральна частина, *m* — крайова.
N o t e. The letter next to the number of the dated crystal means: *c* — central part, *m* — marginal part.

Піроксен (релікти) трапляється у вигляді округлих, ізометричних, неправильних за формою зерен, інколи призматичних, розмірами до 0,03—1,5 мм. У тонкодрібнозернистій рекристалізаційній масі утворює симплектитові зростання з плагіоклазом.

Плагіоклаз (*олігоклаз*?) утворює неправильні, ізометричні кристали 0,03—1 мм. Згасання нерівномірне хвилясте, блокове. Вторинні зміни в деяких кристалах доволі інтенсивні у вигляді карбонатизації.

Рудний мінерал рівномірно розподілений у породі в міжзерновому просторі, а також у вигляді включень у роговій обманці у тріщинках спайності. Формує тонкі пластинки, зерна неправильної форми розміром 0,01— 1 мм.

Зрідка зафіксовано дрібні луски бурого біотиту, що розвивається по роговій обманці, та червонувато-бурого кольору кристали, можливо, брукіту чи гетиту (мінерал з дуже високими інтерференційними кольорами), що асоціюють з рудним мінералом.

У ендоконтактовій зоні порода значно тектонізована, наявні тектонобластова, бластокатакластична, мілонітова, симплектитова, рекристалізаційна структури. Ділянками в середньозернистому міжзерновому просторі рогової обманки, епідоту та плагіоклазу присутня тонко-дрібнозерниста гранобластова маса, що складається з новоутворених кристалів плагіоклазу і епідоту, часто в симплектитових зростках, рогової обманки та карбонату. Зерна рогової обманки подеколи розтріскані та роздрібнені. Тектонічні шви, присутні в породі, характеризуються бластокатакластичною, мілонітовою структурами та мінеральним парагенезисом, що відповідає за складом амфіболіту, їхня потужність 0,3—1 мм. Їх перетинають

Закінчення табл. 3
The end of Table 3

Age, Ma						Concentrations, ppm			U/Th
$^{207}U/^{235}Pb$	2σ	$^{206}Pb/^{238}U$	2σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	2σ	U	Th	Pb	
2827.3	7	2818	14	2841	12	247	184.4	272.7	1.3
2495.2	8.4	2439	12	2545	15	268.5	181.3	230.6	1.4
2678	7.8	2647	14	2710	14	271.8	107.8	143.7	2.4
2546.5	6.1	2472	11	2608.8	9.1	635.1	89.9	114.5	6.9
3058.3	6.8	3006	13	3094.3	8.7	424.5	179	276.8	2.3
2767.7	6.6	2781	15	2756.9	8.2	703	98.3	146.1	6.9
2697.9	6.2	2641	9.4	2744	11	602	359.1	489.6	1.6
2662.1	6.1	2659	13	2671	8.6	681	277.9	382	2.4
2670.7	9.3	2628	13	2715	15	158.3	138.6	190.6	1.1
2683	17	2732	32	2643	12	1091	100.79	144	10.5
2882.4	6.2	2914	15	2863.1	9.1	482	227.2	349.4	2.0
2722.7	7	2692	13	2745	12	432.7	69.4	97	6.0
2900.3	7.9	3001	18	2831.9	7.9	964	316	512	2.9
2718	6.2	2692	11	2731	10	511.9	72.76	101.1	6.7
3135.9	6.5	3117	14	3149	7.6	735	393.4	655	1.8
2850.5	4.7	2803	10	2884	7.9	785.2	435.6	639.5	1.7
2549	11	2489	15	2594	16	148.7	286.5	384.5	0.5
2407.2	8.5	2349	10	2459	14	379.1	56.58	69	6.4
3038.7	5.8	2972	12	3083.8	6.7	1736	748.6	1232	2.2
2669.2	7.4	2642	12	2695	10	503.6	67.8	93.9	7.0
2485	15	2413	17	2555	30	46.73	28.69	35.62	1.5
2790.6	6	2772	11	2804	11	333.8	43.2	62.42	7.3
2611.5	6.1	2564	10	2651	11	375.4	47.88	64.97	7.4

карбонатні прожилки, які інколи субпаралельні їм чи наслідують систему тріщин мілонітових швів, іноді трапляються калієвий польовий шпат і кварц.

Кристали циркону метаультрамафіту (пр. СП-8-2) під бінокуляром подібні до циркону з ендербіто-гнейсу, але в цілому дещо дрібніші, серед них майже відсутні видовженопризматичні. Стосовно генезису циркону в породах основного складу, а тим паче в ультрамафітах, немає однозначної думки. Найчастіше вони є ксенокристами, захопленими магматичним розплавом під час підйому чи (та) із порід рами, або новоутвореннями, пов'язаними з метаморфізмом чи, як з формою його прояву, з біметасоматозом. Не дають однозначної відповіді на питання про генезис популяцій циркону в досліджуваному метаультрамафіті і результати мінералогічного вивчення його кристалів (рис. 5).

За результатами вивчення уран-свинцевої ізотопної системи цирконів з метаультрамафіту (табл. 3), у цій породі виділяються дві основні популяції циркону. Перша, мезоархейська, має вік 2840 ± 31 млн рр. (за верхнім перетином дискордії) (рис. 6). Ізотопний склад гафнію в цих кристалах (εHf = 7,7 до –9,9 (табл. 4)) вказує на суміш у їхньому складі деплетованого мантійного матеріалу та давньої корової речовини. Це припущення підтверджується присутністю незначної кількості давніших цирконів віком до 3000 млн рр. Друга популяція цирконів нечисленна, має палеопротерозойський вік (2078 ± 24 млн рр.), і також змішане мантійно-корове джерело (εHf = = 5,2 до –7,9 (табл. 4)). Вік цієї популяції близький до віку монацитів із жильного тіла чарнокіту (пр. 147/80), його визначено класичним уран-свинцевим ізотопним методом

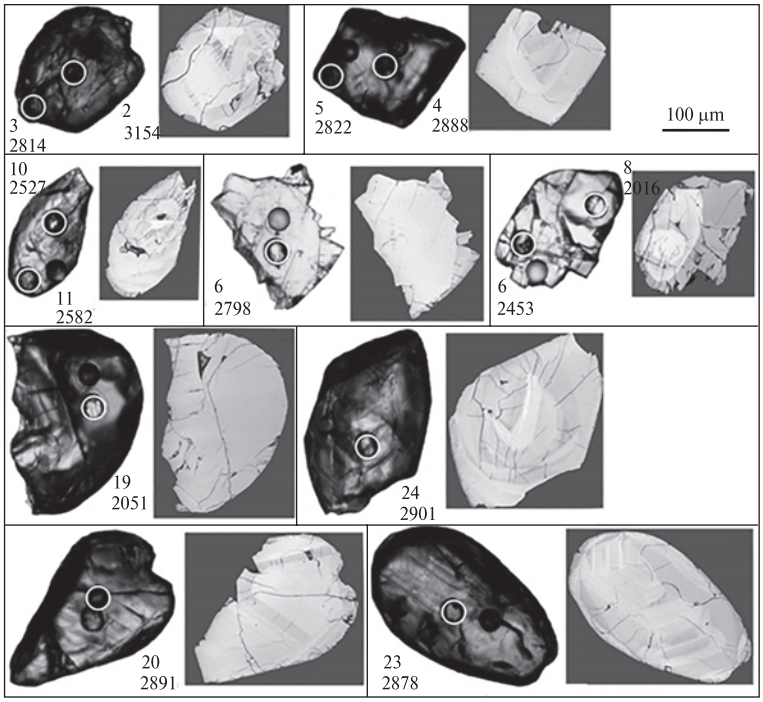


Рис. 5. Мікрофотографії кристалів циркону із метаультрамафіту (пр. СП-8-2), в яких визначено вік та ізотопний склад гафнію, оптичний мікроскоп; та ті ж кристали у відбитих електронах. Номери кристалів відповідають номерам ділянок визначення віку, цифри — вік за співвідношенням $^{207}Pb/^{206}Pb$ (табл. 3)

Fig. 5. Photomicrographs of zircon crystals from metamorphosed ultramafite (smp. СП-8-2) in which U-Pb age and Hf isotope composition has been determined. Optical and BSE images. Zircons numbers as in Table 3 as well as $^{207}Pb/^{206}Pb$ ages are indicated

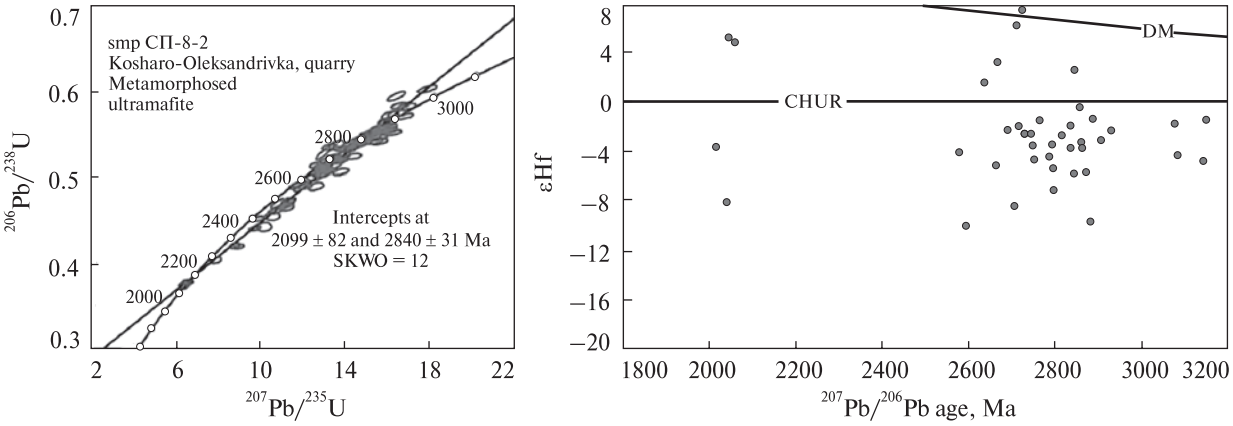


Рис. 6. Результати U-Pb і Lu-Hf ізотопних досліджень цирконів із метаультрамафіту (пр. СП-8-2), розкритого кар'єром в с. Кошаро-Олександрівка

Fig. 6. Results of U-Pb and Lu-Hf isotope studies of zircons from metamorphosed ultramafite (smp. СП-8-2), the Kosharo-Oleksandrivka open pit

за мультизерновими наважками мінералу — 2015,3 ± 7,2 млн рр. (середнє зважене за $^{207}Pb/^{206}Pb$, див. табл. 5).

Чарнокіт, пр. 147/80а, відібраний 1980 року із донної частини середини кар'єру, де спостерігався у вигляді жили та апофіз серед ендербіто-гнейсів. Структура крупно-, нерівномірнозерниста. Текстура масивна. Мінеральний склад, об. %: плагіоклаз — 45, кварц — 40, піроксен — близько 10, КПШ — 5—10. В акцесорних кількостях присутні ільменіт, апатит, циркон, монацит, титаніт. Вторинні мінерали біотит і хлорит.

Піроксен (переважно ортопіроксен) заміщений сірувато-землистими скупченнями хлориту, біотиту, магнетиту, епідоту, можливо, титаніту.

Плагіоклаз представлений олігоклазом, присутній у вигляді таблиць неправильної форми з антипертитовими вростками КПШ різної форми — від крапельок до прожилків. Плагіоклаз серицитизований уздовж полісинтетичних двійників.

КПШ спостерігається у вигляді антипертитових вростків у плагіоклазі, зрідка утворює окремі зерна між зернами плагіоклазу. Має свіжий вигляд.

Кварц трапляється у вигляді видовжених (дископодібних) зерен або виповнює дрібнозернисті прожилки разом із плагіоклазом і калієвим польовим шпатом.

Монацити представлені жовтувато-коричневими, коричневими, зрідка — ясно-жовтими, досить крупними (є крупніші за 0,2 мм) кристалами пампушкоподібної до ізометричної форми з сильно заокругленими контурами та гладенькою блискучою поверхнею. Коричневі кристали містять численні дуже дрібні темні (непрозорі) включення, вірогідно рудних мі-

Таблиця 4. **Результати визначення ізотопного складу гафнію в цирконах з метаультрамафіту (пр. СП-8-2)**
Table 4. **Results of Hf isotope analysis in zircons from metamorphosed ultramafite (smp. СП-8-2)**

Spot No.	$^{207}Pb/^{206}Pb$ age, Ma	$^{176}Hf/^{177}Hf$	±1σ	$^{176}Lu/^{177}Hf$	$^{176}Yb/^{177}Hf$	$^{176}Hf/^{177}Hf_T$	εHf_T	±2σ
2	3154	0.280771	0.000029	0.000953	0.0249	0.280713	–1.2	2.1
4	2888	0.280712	0.000029	0.001044	0.0287	0.280654	–9.6	2.1
5	2823	0.280924	0.000021	0.000473	0.0129	0.280898	–2.4	1.5
6	2798	0.280974	0.000050	0.001447	0.0389	0.280896	–3.1	3.6
8	2016	0.281414	0.000065	0.000278	0.0071	0.281403	–3.3	4.6
9	2843	0.281034	0.000031	0.002344	0.0650	0.280906	–1.7	2.2
11	2585	0.281031	0.000030	0.000224	0.0053	0.281020	–3.7	2.1
12	2848	0.280862	0.000027	0.001270	0.0349	0.280793	–5.6	1.9
14	2734	0.280981	0.000024	0.000405	0.0098	0.280960	–2.3	1.7
18	2852	0.281083	0.000034	0.001015	0.0251	0.281027	2.8	2.4
19	2051	0.281642	0.000025	0.000368	0.0093	0.281628	5.5	1.7
20	2891	0.280948	0.000020	0.001101	0.0297	0.280887	–1.2	1.4
21	2713	0.280893	0.000022	0.001630	0.0448	0.280808	–8.2	1.6
23	2878	0.280847	0.000024	0.001215	0.0334	0.280780	–5.4	1.7
25	2061	0.281640	0.000030	0.000652	0.0172	0.281614	5.2	2.1
26	2867	0.280906	0.000029	0.000912	0.0246	0.280856	–2.9	2.0
29	2752	0.280943	0.000023	0.000350	0.0085	0.280924	–3.2	1.6
32	2793	0.280933	0.000026	0.001140	0.0322	0.280872	–4.1	1.8
33	2673	0.281181	0.000027	0.000363	0.0088	0.281162	3.4	1.9
35	2719	0.281229	0.000043	0.000218	0.0051	0.281218	6.5	3.1
36	2802	0.280951	0.000029	0.003073	0.0860	0.280786	–6.9	2.1
39	2768	0.280984	0.000041	0.000357	0.0085	0.280965	–1.4	2.9
40	2643	0.281163	0.000026	0.000513	0.0117	0.281137	1.8	1.8
41	2914	0.280926	0.000025	0.001744	0.0474	0.280828	–2.8	1.8
44	2866	0.280920	0.000030	0.001325	0.0361	0.280847	–3.2	2.1
45	2045	0.281272	0.000028	0.000435	0.0106	0.281255	–7.9	2.0
49	2938	0.280944	0.000028	0.001924	0.0515	0.280835	–2.0	2.0
50	2601	0.280865	0.000031	0.000583	0.0161	0.280836	–9.9	2.2
55	2721	0.281007	0.000025	0.000431	0.0107	0.280984	–1.8	1.8
58	2841	0.280918	0.000021	0.001069	0.0285	0.280860	–3.4	1.5
62	3094	0.280729	0.000026	0.000929	0.0242	0.280674	–4.0	1.8
63	2757	0.280937	0.000035	0.000977	0.0247	0.280885	–4.4	2.5
65	2671	0.280957	0.000018	0.000540	0.0129	0.280929	–4.9	1.2
68	2863	0.281063	0.000024	0.002332	0.0647	0.280935	–0.2	1.7
69	2745	0.280966	0.000034	0.000283	0.0068	0.280951	–2.4	2.4
71	2731	0.281256	0.000048	0.000259	0.0064	0.281242	7.7	3.4
72	3149	0.280680	0.000025	0.000997	0.0275	0.280620	–4.7	1.7
76	3084	0.280812	0.000030	0.001005	0.0254	0.280752	–1.5	2.1
77	2695	0.281008	0.000025	0.000286	0.0068	0.280993	–2.1	1.8
79	2804	0.280852	0.000019	0.000274	0.0064	0.280837	–5.1	1.4

П р и м і т к а. Номер аналітичної точки збігається з номером аналізу в табл. 3.
N o t e. The number of the analytical spot corresponds to the number of the analysis in Table 3.

нералів. Після промивання в слабкому розчині соляної кислоти світло-жовті кристали залишилися без змін. У коричневих кристалах лише проявилася система тріщин, яка набула білого кольору, завдяки чому її добре видно на коричневому тлі кристалів.

Результати уран-свинцевого ізотопного датування мультизернових наважок монациту наведені в табл. 5 і на рис. 7. На підставі нових та отриманих раніше даних [4, 5] можна припустити, що в ранньому протерозої 2030—2000 млн рр. тому породна асоціація, розкрита Кошаро-Олександрівським кар'єром, зазнала потужної структурно-метаморфічної переробки, супроводженої кремній-калієвим метасоматозом і селективним плавленням.

Узагальнення цих геохронологічних та ізотопно-геохімічних даних дає змогу стверджувати, що протоліти ендербіто-гнейсів Кошаро-Олександрівського кар'єру утворювалися близько 2850 млн рр. тому, можливо, одночасно з протолітом метаультрамафіту, завдяки кристалі-

Таблиця 5. **Результати визначення вмісту урану, свинцю та ізотопного складу свинцю в монацитах із чарнокіту, пр. 147/80а, Кошаро-Олександрівський кар'єр**

Table 5. **Results of the measurements of U and Pb concentrations and Pb isotope composition in monazite from charnockite, smp. 147/80a, the Kosharo-Oleksandrivka open pit**

Fraction mineral	Contents, ppm		Isotopic ratios					Age, million years			Discordance, %
	U	Pb	$^{206}Pb/^{204}Pb$	%	$^{206}Pb/^{208}Pb$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	
1	298.7	5354	351.5	6.1854	0.020250	0.39058	6.6798	2126	2070	2015 ± 15	–5.5
2*a*	280.4	5733	1075	7.3681	0.016756	0.38135	6.4931	2083	2045	2007 ± 16	–3.8
2*b*	250.5	5324	1740	7.5654	0.016616	0.39540	6.7973	2148	2085	2024 ± 14	–6.1
2*c*	282.2	5731	2095	7.6876	0.016813	0.38284	6.5384	2090	2051	2013 ± 14	–3.8

П р и м і т к а. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом (1975) на вік 2010 млн рр.: 1 — світло-жовті кристали; 2*a*—2*c* — розмірні фракції жовтувато- та світло-коричневих кристалів, отримані скочуванням похилою площиною.

N o t e. The common lead was corrected according to Stacey and Kramers (1975) for the age of 2010 Ma. 1 — light-yellow crystals; 2*a*—2*c* — size fractions of yellowish-brown and light-brown crystals.

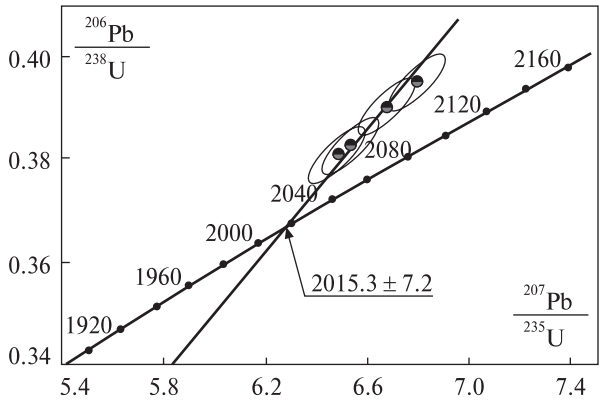
Таблиця 6. **Результати визначення складу вибіркових амфіболів методом ЕЗМА та розрахунків *PT* умов**

Table 6. **Results of determining the composition of selected amphiboles by EPMA and calculations of *PT* conditions**

Breed	Enderbitic gneiss					Hypersten-amphibole granulitic				
Oxide	Pargasite			Magnesiohastingsite		Pargasite			Magnesiohastingsite	
SiO_2	42.13	41.70	42.67	42.39	42.58	43.01	43.05	43.06	42.19	41.17
TiO_2	1.91	1.94	1.61	1.39	1.36	2.12	1.67	1.91	2.07	2.17
Al_2O_3	11.72	11.94	12.00	12.19	12.25	11.12	11.41	11.15	11.87	12.48
FeO	17.62	17.51	16.94	16.96	17.10	15.35	15.12	16.01	16.67	17.41
MnO	0.13	0.20	0.19	0.17	0.28	0.17	0.19	0.10	0.10	0.18
MgO	9.25	9.03	9.75	9.74	9.70	10.84	11.12	10.58	10.23	9.64
CaO	11.56	11.55	11.53	11.31	11.36	11.94	11.68	11.82	11.65	11.68
Na_2O	1.25	1.18	1.12	1.20	1.20	1.38	1.32	1.41	1.63	1.56
K_2O	1.56	1.60	1.48	1.41	1.31	1.33	1.29	1.24	1.28	1.48
Cr_2O_3	0.00	0.02	0.03	0.04	0.01	0.07	0.13	0.09	0.05	0.09
Σ	97.13	96.67	97.33	96.80	97.14	97.33	96.98	97.38	97.75	97.86
Geobarometer	*Pressure*, kbar									
[12]	6.6	6.8	6.7	6.9	6.9	5.9	6.2	6.0	6.6	7.2
[14]	7.0	7.3	7.2	7.4	7.4	6.3	6.5	6.3	7.0	7.7
[16]	6.9	7.2	7.1	7.2	7.3	6.3	6.5	6.3	6.9	7.5
Geothermometer	*T*, °C									
[11]	777.41	779.54	771.94	774.29	773.70	794.20	794.79	718.49	813.89	823.65

Рис. 7. U-Pb діаграма з конкордією для монацитів із чарнокіту, пр. 147/80а, Кошаро-Олександрівський кар'єр

Fig. 7. U-Pb plot with concordia for monazite from charnockite, smp. 147/80a, the Kosharo-Oleksandrivka open pit



зації мантійних магматичних розплавів, які вкорінювалися в давніший субстрат, вік якого не більше 3,5 млрд рр. (3,49 млрд рр. — Sm-Nd модельний вік за деплетованою мантією та 3,32 млрд рр. — за *CHUR* [1]). Вік найдавнішої популяції циркону ендербіто-гнейсу — 3325 ± ± 42 млн рр. Ця асоціація порід зазнала значних структурно-метаморфічних перетворень близько 2100 млн рр. тому, одним із проявів яких була кристалізація нової популяції циркону з ознаками привносу мантійного матеріалу. Не виключено, що протоліт метаультрамафіту укорінився в палеопротерозої, захопивши кристали циркону із вмісних порід. Палеопротерозойська популяція циркону утворилась у результаті накладених структурно-метаморфічних перетворень після кристалізації породи з розплаву, що спричинили твердофазну перекристалізацію та утворення метаультрамафіту.

Петрологія. *Ендербіто-гнейс (зр. 12С-24)* з центральної частини кар'єру має середньо-, рівномірно-, гіпідіоморфнозернисту до алотріоморфнозернистої, структуру, та масивну до слабко гнейсуватої текстуру. Складений, %: плагіоклазом (до 45), кварцом (до 30), ортопіроксеном (15), рудними мінералами — до 5, КПШ — менше 5, апатитом, та незначною кількістю амфіболу, що розвивається по піроксену.

Ортопіроксен репрезентований фероґіперстеном $En_{47,2-48,9}Fs_{49,9-51,8}Wo_{0,9-1,4}$, з магнезіальністю #mg [$Mg/(Mg + Fe^{2+})\cdot 100$] — 48,4—50,2. Піроксену притаманний низький вміст TiO_2 (нижчий за 0,1 %), та підвищений MnO (0,77—1,01 %).

Польові шпати представлені плагіоклазом і калішпатом. Плагіоклаз є андезином $An_{35,2-41,4}$. Калієвий польовий шпат: $Or_{89,2-90,8}Ab_{2,2-3,7} \times \times An_{0-0,5}$, містить до 3,9 % BaO.

Амфібол в ендербіто-гнейсі є другорядним та вторинним мінералом. Згідно з [15], він належить до групи кальцієвих амфіболів ($C_A >$ $> 1,5$, $(Na + K)_A \geq 0,5$, $Ti < 0,5$), представлений в основному паргаситом ($Al^{VI} > Fe^{3+}$), зрідка магнезіогастінгситом ($Al^{VI} < Fe^{3+}$) з магнезіальністю від 0,52 до 0,58 [18]. Амфіболам властивий підвищений вміст MnO та K_2O (до 0,28 та 1,6 % відповідно) та суттєво знижений Na_2O (до 1,25 %).

Умови метаморфізму можна оцінити таким чином: за амфібол-плагіоклазовим геотермометром [11] середні значення температури становлять 772—780 °С, тиск за геобарометрами: [12] — 6,6—6,9; [14] — 7,0—7,4; [16] — 6,9—7,3 кбар (табл. 6).

Апатит є фторвмісною відміною з вмістом F — 1,81—2,44 мас. %, та Cl — 0,26—0,48 мас. %. Домішки, %: Y_2O_3 — до 0,62, Ce_2O_3 — до 0,22, Nd_2O_3 — до 0,21, FeO — до 0,32.

Слюда представлена сидерофілітом, який має підвищений вміст TiO_2 (до 5,7 %) та BaO (до 1 %), магнезіальність становить 0,56. За

Таблиця 7. **Результати визначення складу сидерофіліту із ендербіто-гнейсу методом ЕЗМА та розрахунків температури мінералоутворення за допомогою геотермометра [13]**

Table 7. **Results of determining the composition of siderophyllite from enderbitic gneisses by EPMA method and calculations of mineral formation temperatures using a geothermometer [13]**

Oxide	Siderophyllite		Oxide	Siderophyllite		Oxide	Siderophyllite	
SiO_2	36.60	36.60	MnO	0.06	0.03	BaO	0.97	1.01
TiO_2	5.52	5.70	MgO	11.98	11.96	H_2O	4.02	4.02
Al_2O_3	15.44	15.35	CaO	0.02	0.03	Σ	100.97	101.15
Cr_2O_3	0.02	0.00	Na_2O	0.05	0.08	*T*, °C	790.7	794.4
FeO	16.94	16.92	K_2O	9.34	9.47			

геотермометром [13] (Ti в біотиті), температура утворення слюди — 791—795 °С (табл. 7).

Рудні мінерали репрезентовані магнетитом, ільменітом та сульфідами. Магнетит має невисокий вміст домішок: TiO_2 — до 0,3 %, Cr_2O_3 — 0,14 %, V_2O_3 — 0,4 %, MgO та MnO — менше 0,1 % кожен. Ільменіту притаманний дещо підвищений вміст MgO та MnO (максимально 0,7 і 1,0 % відповідно). Сульфіди представлені піритом, піротином та халькопіритом. У всіх сульфідах фіксуються незначні домішки арсену, селену та срібла, які не перевищують 0,1 %, в деяких зернах халькопіриту наявна домішка цинку до 0,18 %.

Гіперстен-амфіболовий грануліт (зр. 12С-22), що утворює "ксеноліт" в західній частині кар'єру, складений кальцієвим амфіболом (паргаситом та магнезіогастінгситом) — до 40 %, гіперстеном — до 20 %, кварцом — до 25 %, плагіоклазом — 10—15 % та апатитом. Структура породи середньо-, рівномірнозерниста, гранонематобластова, текстура гнейсувата до масивної.

Гіперстен має мінальний склад $En_{51,6—53,2}Fs_{44,9—46,4}Wo_{0,6—1,0}$, він близький до цього мінералу з кристалосланців Одеського кар'єру [8]. Магнезіальність #mg — 53,0—54,2. Піроксену притаманний низький вміст TiO_2 (нижчий за 0,1 %), дещо підвищений вміст MnO (0,64—0,78 %).

Плагіоклаз — андезин $An_{42,1—46,4}$. Зафіксовано домішки FeO до 0,98 %, K_2O до 0,25 %, BaO до 0,12 %.

Породоутворювальний амфібол представлений рівною мірою паргаситом і магнезіогастінгситом. Магнезіальність амфіболів — 0,55—0,66.

За амфібол-плагіоклазовим геотермометром [11], температура утворення цієї пари мінералів знаходиться в межах 719—824 °С, тоді як тиск, визначений за амфіболом за геобарометрами, становить: [12] — 6,2—7,2; [14] — 6,3—7,7; [16] — 6,3—7,5 кбар.

Апатит репрезентований фторвмісною відміною (F — 2,04—3,24 мас. %). Домішки, %: Y_2O_3 — до 0,09, Ce_2O_3 — до 0,48, Nd_2O_3 — до 0,30, FeO — до 0,42.

Рудні мінерали — магнетит та ільменіт. Магнетит містить домішки хрому та ванадію (Cr_2O_3 до 2,78 %, V_2O_3 до 1,09 %), домішки титану не перевищують 0,67 %, MgO та MnO — менше за 0,1 % кожен. Ільменіт майже стехіометричний, зафіксовано незначні домішки MnO — 0,14—0,59 %, V_2O_5 — до 0,21 %, Cr_2O_3 — до 0,11 %, вміст MgO не перевищує 0,15 %.

Таким чином, породна асоціація (ендербітогнейси та мафітові (ультрамафітові) грануліти) сформувалася в умовах гранулітової фації, за температури 720—825 °С та тиску 6,2—7,5 кбар, що вочевидь відображають пік палеопротерозойського (2,1—2,0 млрд рр. тому) етапу структурно-метаморфічних перетворень.

Висновки. 1. Породна асоціація, розкрита Кошаро-Олександрівським кар'єром, сформувалася впродовж тривалого часу: початок — не раніше 3,5 млрд рр., завершення — близько 2,0 млрд рр. тому, у результаті декількох етапів тектоно-магматичної активності та структурно-метаморфічних перетворень порід із додаванням нових порцій мантійної речовини у вигляді магматичних розплавів і флюїдів.

2. Останній (палеопротерозойський) етап структурно-метаморфічних перетворень, зафіксований за складом породоутворювальних мінералів, відбувався в умовах гранулітової фації за температури 720—825 °С та тиску 6,2—7,5 кбар.

ЛІТЕРАТУРА

1. Довбуш Т.И., Скобелев В.М., Степанюк Л.М. Результаты изучения докембрийских пород западной части Украинского щита Sm-Nd изотопным методом. *Минерал. журн.* 2000. **22**, № 2/3. С. 132—142.
2. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (схема та поясн. зап.). К.Ю. Єсипчук, О.Б. Бобров, Л.М. Степанюк, М.П. Щербак, Є.Б. Глеваський, В.М. Скобелєв, А.С. Дранник, М.В. Гейченко. Київ: УкрДГРІ; НСК України, 2004. 30 с.
3. Лесная И.М., Плоткина Т.Э., Степанюк Л.М., Бартницкий Е.Н. Возрастные этапы формирования мафит-эндербитовой ассоциации Побужья. *Геохимия и рудообразование*. 1995. № 21. С. 56—69.
4. Пономаренко А.Н., Гинтов О.Б., Степанюк Л.М. О так называемой "лейкогранулитовой формации" и "зеленолевадовской свите" раннего докембрия Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2018. **40**, № 5. С. 47—70. https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147474
5. Степанюк Л.М. Метасоматична природа біотитових та біотит-гранатових гнейсів Середнього Побужжя. *Допов. НАН України*. 1997. № 1. С. 133—136.
6. Степанюк Л.М. Хронология проявления эндогенных процессов в гранулитовых комплексах Днестровско-Бугского мегаблока Украинского щита (конец архея — ранний протерозой). *Минерал. журн*. 1998. **20**, № 2. С. 68—73.

7. Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Пономаренко О.М., Довбуш Т.І. До питання про вікові межі формування кошаро-олександрівської світи бузької серії Побужжя. *Геохімія та рудоутворення*. 2010. № 28. С. 4—10.
8. Степанюк Л.М., Гаценко В.А., Лобач-Жученко С.Б., Балаганский В.В., Балтыбаев Ш.К., Довбуш Т.И., Юрченко А.В. Калиевые мафитовые дайки Побужского гранулитового комплекса: геологическое положение, вещественный состав, петрогенезис, возраст. *Мінерал. журн*. 2013. **35**, № 3. С. 73—84.
9. Шумлянський Л.В. Вік та ізотопний склад гафнію цирконів з кварцитів Середнього Побужжя Українського щита. *Геохімія та рудоутворення*. 2012. № 31—32. С. 136—143.
10. Шумлянський Л.В. Геохімія піроксенових плагіогнейсів (ендербітів) Побужжя та ізотопний склад гафнію в цирконах. *Мінерал. журн*. 2012. **34**, № 2. С. 64—79.
11. Blundy J.D., Holland T.J.B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contribs Mineral. and Petrol.* 1990. **104**. P. 208—224.
12. Hammarstrom J.M., Zen E.-A. Aluminium in hornblende: An empirical igneous geobarometer. *Amer. Mineral.* 1986. **71**. P. 1297—1313.
13. Henry D.J., Guidotti C.V. Titanium in biotite from metapelitic rocks: Temperature effects, crystal-chemical controls. and petrologic applications. *Amer. Mineral*. 2002. **87**. P. 375—382.
14. Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *Amer. Mineral.* 1987. **72**. P. 231—239.
15. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *Canad. Mineral.* 1997. **35**. P. 219—246.
16. Schmidt M.W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contribs Mineral. and Petrol.* 1992. **110**. P. 304—310.
17. Shumlyanskyy L., Hawkesworth C., Dhuime B., Billström K., Claesson S., Storey C. $^{207}Pb/^{206}Pb$ ages and Hf isotope composition of zircons from sedimentary rocks of the Ukrainian shield: crustal growth of the south-western part of East European craton from Archaean to Neoproterozoic. *Precam. Res.* 2015. **260**. P. 39—54.
18. Shumlyanskyy L., Wilde S.A., Nemchin A.A., Claesson S., Billström K., Bagiński B. Eoarchean rock association in the Dniester-Bug Domain of the Ukrainian shield: a suite of LILE-depleted enderbites and mafic granulites. *Precam. Res.* 2020.

Надійшла 27.06.2020

REFERENCES

1. Dovbush, T.I., Skobelev, V.M. and Stepanyuk, L.M. (2000), *Mineral. Journ. (Ukraine),* Vol. 22, No. 2-3, Kyiv, UA, pp. 132-142 [in Russian].
2. Yesypchuk, K.Yu., Bobrov, O.B., Stepanyuk, L.M., Shcherbak, M.P., Glevaskiy, E.B., Skobelev, V.M., Drannik, V.S. and Geichenko, M.V. (2004), *Correlated chronostratigraphic scheme of Early Precambrian of the Ukrainian Shield (scheme and explanatory note)*, NSC Ukraine, UkrSGRI, Kyiv, UA, 30 p. [in Ukrainian].
3. Lesnaya, I.M., Plotkina, T.E., Stepanyuk, L.M. and Bartnitskiy, E.N. (1995), *Geochem. and Ore Formation*, Vol. 21, Kyiv, UA, pp. 56-69 [in Russian].
4. Ponomarenko, A.N., Hintov, O.B. and Stepanyuk, L.M. (2018), *Geophys. Journ.,* Vol. 40, No. 5, Kyiv, UA, pp. 47-70 [in Russian]. https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147474
5. Stepanyuk, L.M. (1997), *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.,* No. 1, Kyiv, UA, pp. 133-136 [in Ukrainian].
6. Stepanyuk, L.M. (1998), *Mineral. Journ. (Ukraine),* Vol. 20, No. 2, Kyiv, UA, pp. 68-73 [in Ukrainian].
7. Stepanyuk, L.M., Shumlyanskyy, L.V., Ponomarenko, O.M. and Dovbush, T.I. (2010), *Geochem. and Ore Formation*, No. 28, Kyiv, UA, pp. 4-10 [in Ukrainian].
8. Stepanyuk, L.M., Gatsenko, V.A., Lobach-Zhuchenko, S.B., Balagansky, V.V., Baltybayev, Sh.K., Dovbush, T.I. and Yurchenko, A.V. (2013), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 35, No. 3, Kyiv, UA, pp. 73-84 [in Russian].
9. Shumlyanskyy, L.V. (2012)*, Geochem. and Ore Formation*, No. 31-32, Kyiv, UA, pp. 136-143 [in Ukrainian].
10. Shumlyanskyy, L.V. (2012)*, Mineral. Journ. (Ukraine),* Vol. 34, No. 2, Kyiv, UA, pp. 64-79 [in Ukrainian].
11. Blundy, J.D. and Holland, T.J.B. (1990), *Contribs Mineral. and Petrol.,* Vol. 104, pp. 208-224.
12. Hammarstrom, J.M. and Zen, E.-A. (1986), *Amer. Mineral.*, Vol. 71, pp. 1297-1313.
13. Henry, D.J. and Guidotti, C.V. (2002), *Amer. Mineral.*, Vol. 87, pp. 375-382.
14. Hollister, L.S., Grissom, G.C., Peters, E.K., Stowell, H.H. and Sisson, V.B. (1987), *Amer. Mineral.,* Vol. 72, pp. 231-239.
15. Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C, Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. and Youzhi, G. (1997), *Canad. Mineral.*, Vol. 35, pp. 219-246.
16. Schmidt, M.W. (1992), *Contribs Mineral. and Petrol.,* Vol. 110, pp. 304-310.
17. Shumlyanskyy, L., Hawkesworth, C., Dhuime, B., Billström, K., Claesson, S. and Storey, C. (2015), *Precam. Res.*, Vol. 260, pp. 39-54.
18. Shumlyanskyy, L., Wilde, S.A., Nemchin, A.A., Claesson, S., Billström, K. and Bagiński, B. (2020), *Precam. Res.*

Received 27.06.2020

L.M. Stepanyuk, DrSc (Geology), corresponding member of NAS of Ukraine, Prof., Deputy director
E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua; https://orcid.org/0000-0001-5591-5169
L.V. Shumlyanskyy, DrSc (Geology), Senior Research
Fellow, Leading Researcher
E-mail: lshumlyanskyy@yahoo.com; http://orcid.org/0000-0002-6775-4419
V.O. Gatsenko, PhD (Geology), Senior Research Fellow
E-mail: vera.gatsenko@ukr.net; https://orcid.org/0000-0002-3229-3907
I.M. Lisna, PhD (Geology & Mineralogy), Senior Research Fellow
E-mail: Lesirmich@ukr.net; https://orcid.org/0000-0001-7545-1752
T.I. Dovbush, Researcher 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: tetyana.dovbush1@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-3512-3313
S.A. Wilde, Professor
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
B. Bagiński, Dr hab. Prof., Director. Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Petrology of University of Warsaw
93, al. Żwirki i Wigury, Warszawa 02-089, Polska
E-mail: b.baginski1@uw.edu.pl; http://orcid.org/0000-0002-5809-3452
O.V. Bilan, Head of the Oil and Gas
Geology Training Laboratory
Kyiv Taras Shevchenko National University
Educational-scientific institute "Institute of Geology"
90, Vasylkivska 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.

A r t i c l e 1. Rock association in the Kosharo-Oleksandrivka open pit

The LA-ICP-MS method has been applied to the investigation of U-Pb and Lu-Hf isotope systematics in zircons from enderbitic gneiss that represents the main rock type in the Kosharo-Oleksandrivka open pit, and from amphibolite (metamorphosed ultramafite) that occurs as a body of non-defined shape hosted by enderbitic gneiss. The multigrain TIMS U-Pb dating method was applied to monazite from a charnockite vein that cuts through enderbitic gneiss. At least three zircon populations can be defined in enderbitic gneiss. The oldest (Paleoarchean) population is rather small and includes zircons that yielded an upper intercept age of 3325 ± 42 Ma. The biggest (Mesoarchean) population embraces zircon grains that plot along the regression line with the upper intercept age of 2850 ± 18 Ma, and lower intercept at 2092 ± 45 Ma. The Paleoproterozoic population plots near the lower intercept of the above mentioned regression line, its age has been defined as ca. 2100 Ma. The εHf value in zircons of the Mesoarchean population varies from 1.9 to –7.7, with a single value as low as –16.4. Paleoproterozoic zircons have εHf in a range –7.7 to –18.4. Amphibolite hosts two zircon populations. The first one has an upper intercept age of 2840 ± 31 Ma and variable Hf isotope composition (εHf — 7.7 to –9.9) that indicate mixing of juvenile mantle-derived and ancient crustal materials. The second population comprises a few zircons of the Paleoproterozoic (2078 ± 24 Ma) age that also had a mixed mantle-crustal source (εHf — 5.2 to –7.9). The late vein of charnockite yielded the U-Pb monazite age of 2015.3 ± 7.2 Ma. According to geothermobarometry, based on mineral composition determined by electron microprobe data, the studied rock association experienced granulite facies metamorphism at a temperature of 720—825 °C and pressure of 6.2—7.5 kbar.

Keywords: Middle Bouh area, granulite association, enderbitic gneiss, metamorphosed ultramafite, zircon, monazite, U-Pb isotope age, Lu-Hf isotope systematics.