

<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: lshumlyanskyu@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. Багінські, 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 метаяльтрамафіту, що утворює невизначеної форми тіло серед ендербіто-гнейсів. Класичним уран-свинцевим ізотопним методом за мультизерновими наважками монациту визначено вік чарнокіту, що у вигляді жилкового тіла та апофізі 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., Багінські 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 ізохроні 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 ϵ_{Hf} в них варіює від 1,9 до -7,7, з одним аномально низьким значенням -16,4. Циркони палеопротерозойського віку мають величини ϵ_{Hf} 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 ($\epsilon_{\text{Hf}} = 7,7$ 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 ($\epsilon_{\text{Hf}} = 5,2$ до -7,9). Вік жильного тіла чарнокіту за монацитом $2015,3 \pm 7,2$ млн рр. За результатами мікрозондового аналізування породоутворювальних мінералів, породна асоціація сформувалася в умовах гранулітової фації, за температури 720–825 °C 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-польовошпатівими 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 $2026,5 \pm 2,6$ млн рр. [4].

Далі на схід, за межами кар'єру, в розрізних 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 кла-

сичним U-Pb ізотопним методом отримано вік $2062,4 \pm 4,4$ 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. 147/80a), 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-

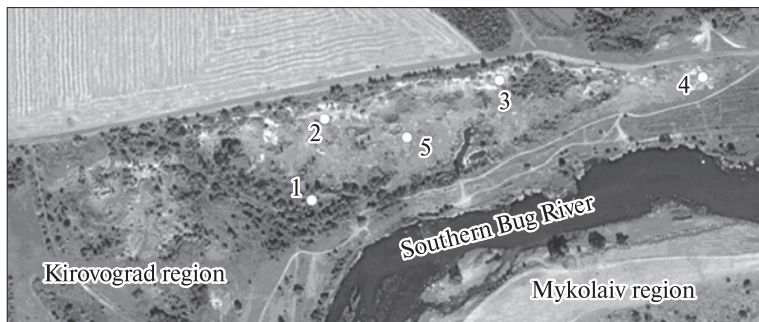


Рис. 1. Космознімок Кошаро-Олександрівського кар'єру: 1–5 — номери геохронологічних проб: 1 — ендербіто-гнейс, пр. СП-8; 2 — метаяльтрамафіт, пр. СП-8-2; 3 — біотитовий гнейс (метасоматит), пр. СП-8-18; 4 — біотитовий гнейс (метасоматит), пр. СП-8-19; 5 — чарнокіт, пр. 147/80

Fig. 1. Space image of the Kosharo-Oleksandrivka open pit: 1–5 — geochronology sampling sites: 1 — enderbite 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

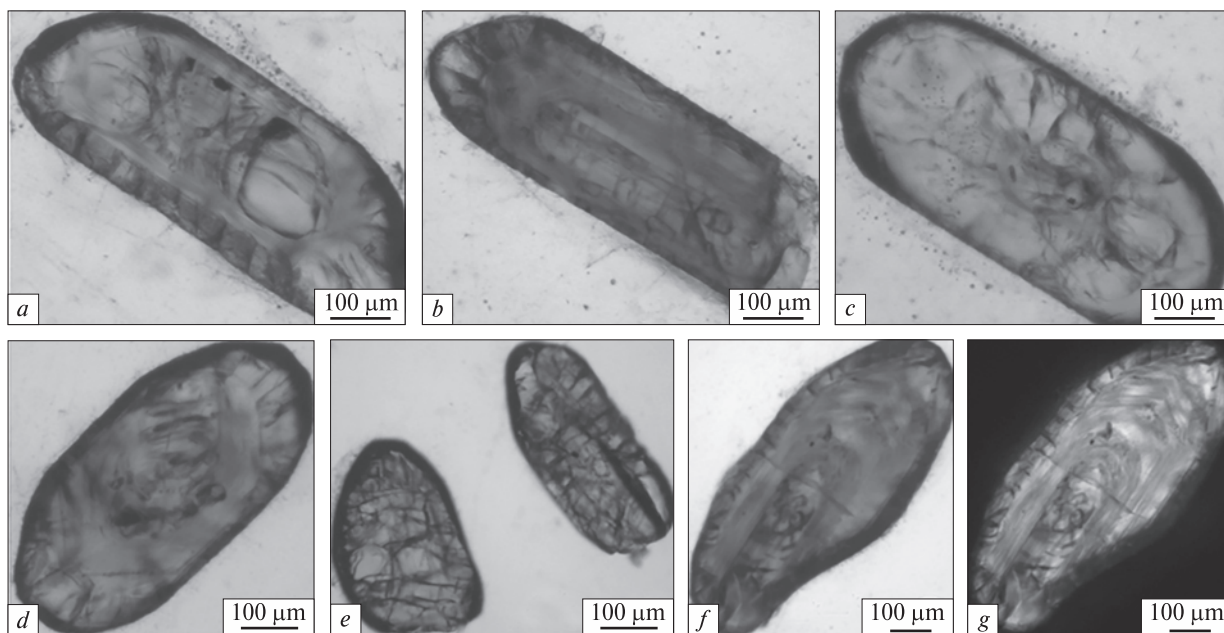


Рис. 2. Мікрофотографії кристалів циркону із ендербіто-гнейсу, пр. СП-8, оптичний мікроскоп: а–f — при одному ніколі, g — кристал f, ніколі +

Fig. 2. Photomicrographs of zircon crystals from enderbite 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 сплюснена 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.

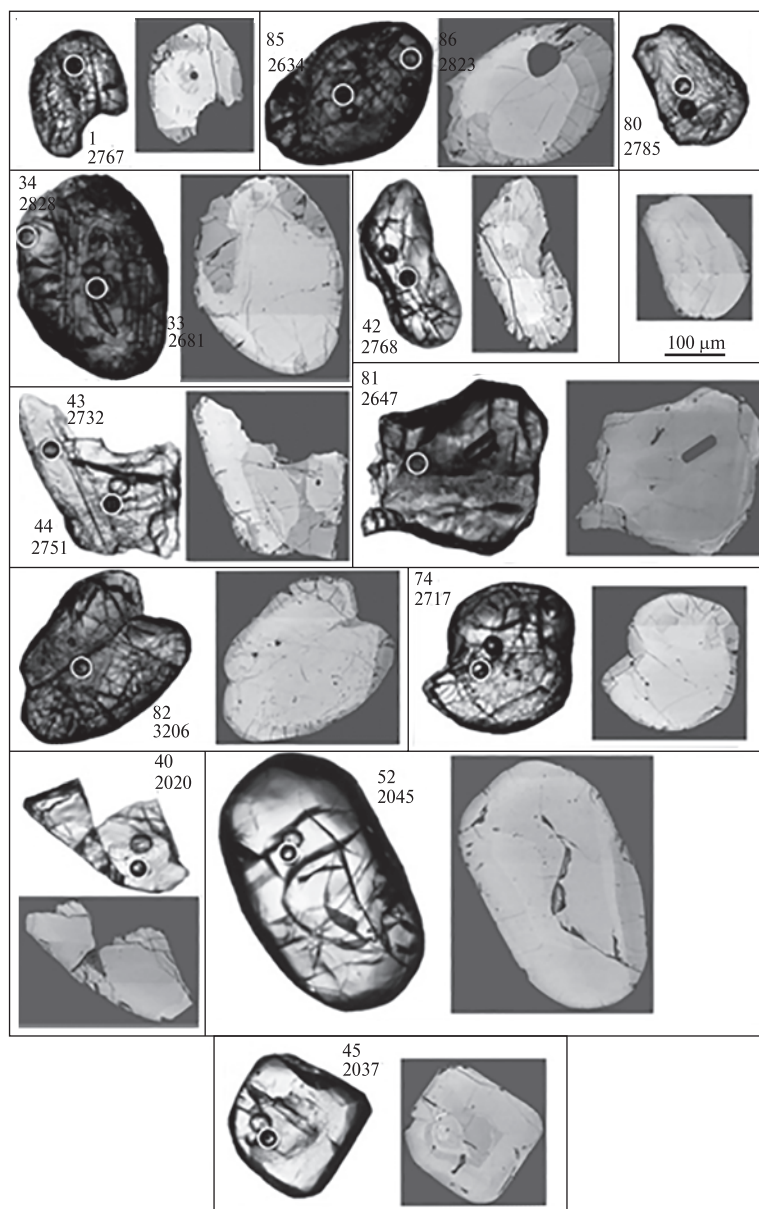


Рис. 3. Мікрофотографії кристалів циркону із ендербіто-гнейсу (пр. СП-8), в яких визначено вік та ізотопний склад гафнію, оптичний мікроскоп, та ті ж кристали у відбитих електронах. Номери кристалів (1–85) відповідають номерам ділянок визначення віку, а цифри (2767) — вік за співвідношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$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

Fig. 3. Photomicrographs of zircon crystals from enderbite 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 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 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-корич-

невий, інколи коричневий колір. За видовженням варіюють від видовженопризматичних ($K_{\text{вид}} > 2,5$) 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

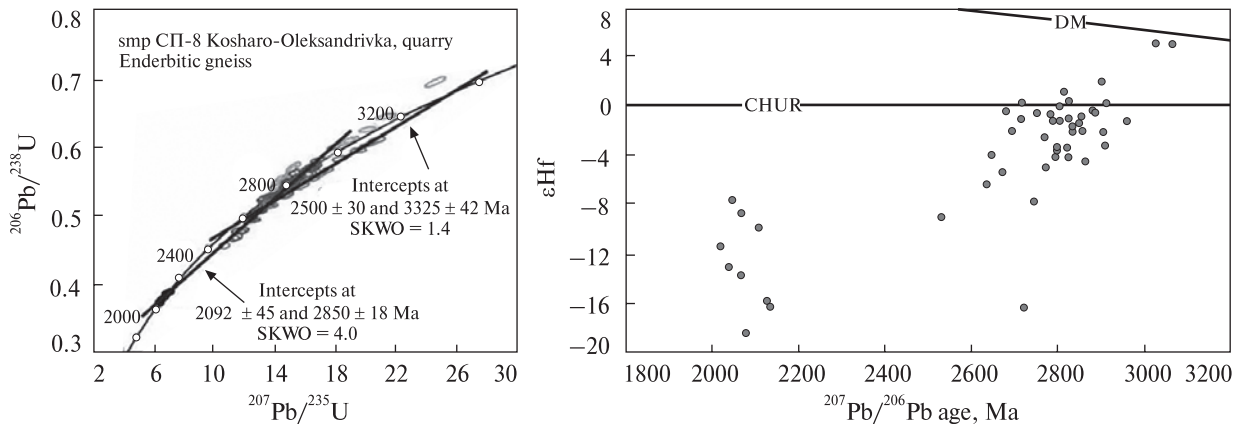


Рис. 4. Результати U-Pb та Lu-Hf ізотопних досліджень цирконів із ендербіто-гнейсів (пр. СП-8), розкритих кар'єром у с. Кошаро-Олександрівка

Fig. 4. Results of U-Pb and Lu-Hf isotope studies of zircons from enderbite 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 мантийного розплаву більш давньою коровою речовиною. На значну роль давньої корової речовини в складі дослідженого ендербіто-гнейсу вказують результати самарій-неодимових досліджень валової проби — $\epsilon\text{Nd}_{2840} = -4,7$ [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 | |
|-----|-------------|--|------------|--|------------|------------|--|------------|---|------------|------------|--|------------|--|------------|---|---------------------|--------|-------|-------|------|
| | | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | 2 σ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | 2 σ | Error Corr | $\frac{^{238}\text{U}}{^{206}\text{Pb}}$ | 2 σ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | 2 σ | Error Corr | $\frac{^{207}\text{U}}{^{235}\text{Pb}}$ | 2 σ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | 2 σ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | 2 σ | U | Th | | Pb |
| 1 | 1c | 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 | 2c | 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 | 3c | 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 | 3m | 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 | 4c | 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 | 5c | 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 | 5c | 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 | 6c | 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 | 7c | 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 | 8c | 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 | 9c | 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 | 10c | 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 | 11c | 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 | 12c | 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 | 13c | 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 | 14c | 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 | 15c | 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 | 16c | 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 | 17c | 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 | 17m | 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 | 18c | 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 | 19c | 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 | 20c | 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 | 21c | 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 | 21m | 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 | 22c | 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 | 23c | 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 | 24c | 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 | 25c | 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 | 25m | 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 | 75.2 | 36.99 | 8.0 |
| 31 | 26c | 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 | 27.3 | 124.8 | 3.3 |
| 32 | 26m | 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 | 27c | 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 | 27m | 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 | 28c | 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 | 28i | 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 | 28m | 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 | 29c | 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 | 29m | 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 | 30c | 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 | 31c | 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 | 32c | 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 | 33m | 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 | 33c | 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 | 34c | 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 | 35c | 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 | 36c | 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 | 37c | 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 | 38c | 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 | 38m | 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 | 39c | 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 | 40c | 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 | 41c | 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 | 42c | 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 | 42m | 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 | 44c | 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 | 44m | 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 | 45c | 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 | 46c | 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 | 47c | 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 | 48c | 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 | 48m | 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 | 49c | 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 | 49m | 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 | 50c | 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 | 51c | 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 | 51m | 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 | 52c | 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 | 53c | 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 | 54c | 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 | 55c | 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 | 56c | 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 | 57c | 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 | 58c | 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 | 59c | 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 | 59m | 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 | 60c | 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 | 61c | 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 | 172.7 | 426.9 | 3.1 |
| 80 | 62c | 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 | 63c | 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 | 64c | 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 | 65c | 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 | 66c | 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 | 67c | 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 | 67m | 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 | 68c | 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 | 69c | 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 | 70c | 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 | 71c | 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 | 72c | 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 | 73c | 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 | 74c | 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 | 75c | 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 | 75m | 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 | 76c | 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 | 77c | 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 | 78c | 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 | 79c | 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 | 80c | 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 | 80m | 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 | 81c | 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 | 82c | 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 | 83c | 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 | 83m | 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 | 84c | 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 | 85c | 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 |

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

Notes. 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 enderbite 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 |

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 метаморфозованого ультрамафіту (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 | | | | | | | | | |
|-----|-------------|--|------------|--|------------|------------|--|------------|---|------------|------------|
| | | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | 2 σ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | 2 σ | Error Corr | $\frac{^{238}\text{U}}{^{206}\text{Pb}}$ | 2 σ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | 2 σ | Error Corr |
| 1 | 1c | 13.700 | 0.11 | 0.5181 | 0.0031 | 0.29 | 1.93013 | 0.0031 | 0.1921 | 0.0017 | 0.44 |
| 2 | 2c | 21.980 | 0.21 | 0.6463 | 0.0056 | 0.86 | 1.54727 | 0.0056 | 0.2454 | 0.0012 | 0.05 |
| 3 | 2m | 14.350 | 0.10 | 0.5231 | 0.0025 | 0.38 | 1.91168 | 0.0025 | 0.1989 | 0.0014 | 0.32 |
| 4 | 3c | 16.010 | 0.12 | 0.5572 | 0.0033 | 0.46 | 1.79469 | 0.0033 | 0.2075 | 0.0015 | 0.34 |
| 5 | 3m | 15.087 | 0.10 | 0.5496 | 0.0026 | 0.48 | 1.81951 | 0.0026 | 0.1996 | 0.0012 | 0.32 |
| 6 | 4c | 14.506 | 0.08 | 0.5351 | 0.0026 | 0.52 | 1.86881 | 0.0026 | 0.1967 | 0.0010 | 0.43 |
| 7 | 5c | 9.920 | 0.07 | 0.4509 | 0.0023 | 0.47 | 2.21779 | 0.0023 | 0.1597 | 0.0010 | 0.33 |
| 9 | 6c | 15.330 | 0.11 | 0.5501 | 0.0029 | 0.50 | 1.81785 | 0.0029 | 0.2022 | 0.0012 | 0.26 |
| 10 | 7c | 10.800 | 0.12 | 0.4684 | 0.0043 | 0.77 | 2.13493 | 0.0043 | 0.1670 | 0.0011 | 0.02 |
| 11 | 7m | 11.654 | 0.08 | 0.4893 | 0.0029 | 0.55 | 2.04374 | 0.0029 | 0.1729 | 0.0010 | 0.31 |
| 12 | 8c | 15.250 | 0.11 | 0.5457 | 0.0032 | 0.43 | 1.83251 | 0.0032 | 0.2028 | 0.0014 | 0.32 |
| 13 | 9c | 8.777 | 0.09 | 0.4192 | 0.0025 | 0.43 | 2.38550 | 0.0025 | 0.1527 | 0.0014 | 0.18 |
| 14 | 10c | 13.859 | 0.09 | 0.5323 | 0.0024 | 0.44 | 1.87864 | 0.0024 | 0.1893 | 0.0011 | 0.24 |
| 15 | 11c | 13.560 | 0.09 | 0.5181 | 0.0027 | 0.65 | 1.93013 | 0.0027 | 0.1899 | 0.0009 | 0.15 |
| 16 | 12c | 13.770 | 0.11 | 0.5051 | 0.0029 | 0.52 | 1.97981 | 0.0029 | 0.1975 | 0.0015 | 0.24 |
| 17 | 13c | 11.240 | 0.12 | 0.4635 | 0.0028 | 0.46 | 2.15750 | 0.0028 | 0.1759 | 0.0017 | 0.12 |
| 18 | 14c | 15.601 | 0.09 | 0.5563 | 0.0025 | 0.48 | 1.79759 | 0.0025 | 0.2033 | 0.0010 | 0.33 |
| 20 | 16c | 16.440 | 0.12 | 0.5726 | 0.0032 | 0.47 | 1.74642 | 0.0032 | 0.2084 | 0.0015 | 0.28 |
| 21 | 17c | 13.409 | 0.10 | 0.5215 | 0.0026 | 0.33 | 1.91755 | 0.0026 | 0.1868 | 0.0013 | 0.36 |
| 22 | 18c | 12.815 | 0.09 | 0.5018 | 0.0025 | 0.47 | 1.99283 | 0.0025 | 0.1850 | 0.0013 | 0.28 |
| 23 | 19c | 15.958 | 0.09 | 0.5615 | 0.0027 | 0.34 | 1.78094 | 0.0027 | 0.2065 | 0.0011 | 0.47 |
| 24 | 20c | 16.000 | 0.12 | 0.5530 | 0.0033 | 0.62 | 1.80832 | 0.0033 | 0.2094 | 0.0013 | 0.23 |
| 26 | 22c | 15.620 | 0.12 | 0.5542 | 0.0029 | 0.38 | 1.80440 | 0.0029 | 0.2052 | 0.0015 | 0.32 |
| 27 | 23c | 16.233 | 0.08 | 0.5502 | 0.0025 | 0.55 | 1.81752 | 0.0025 | 0.2137 | 0.0008 | 0.47 |
| 28 | 23m | 8.972 | 0.07 | 0.4180 | 0.0023 | 0.52 | 2.39234 | 0.0023 | 0.1561 | 0.0010 | 0.29 |
| 29 | 24c | 13.850 | 0.12 | 0.5236 | 0.0034 | 0.47 | 1.90986 | 0.0034 | 0.1913 | 0.0015 | 0.29 |
| 31 | 26c | 15.590 | 0.13 | 0.5403 | 0.0031 | 0.40 | 1.85082 | 0.0031 | 0.2095 | 0.0016 | 0.32 |
| 32 | 27c | 14.540 | 0.10 | 0.5378 | 0.0029 | 0.53 | 1.85943 | 0.0029 | 0.1962 | 0.0013 | 0.20 |
| 33 | 28c | 12.990 | 0.11 | 0.5161 | 0.0039 | 0.67 | 1.93761 | 0.0039 | 0.1824 | 0.0011 | 0.25 |
| 34 | 29c | 15.370 | 0.10 | 0.5404 | 0.0028 | 0.59 | 1.85048 | 0.0028 | 0.2071 | 0.0011 | 0.21 |
| 35 | 29m | 13.452 | 0.08 | 0.5212 | 0.0029 | 0.49 | 1.91865 | 0.0029 | 0.1876 | 0.0011 | 0.38 |
| 36 | 30c | 14.799 | 0.09 | 0.5442 | 0.0030 | 0.53 | 1.83756 | 0.0030 | 0.1971 | 0.0011 | 0.31 |
| 37 | 31c | 13.400 | 0.17 | 0.5119 | 0.0036 | 0.63 | 1.95351 | 0.0036 | 0.1898 | 0.0020 | 0.08 |
| 38 | 32c | 22.250 | 0.16 | 0.6736 | 0.0051 | 0.77 | 1.48456 | 0.0051 | 0.2397 | 0.0012 | 0.34 |
| 39 | 32m | 14.071 | 0.10 | 0.5309 | 0.0024 | 0.39 | 1.88359 | 0.0024 | 0.1930 | 0.0013 | 0.35 |
| 40 | 33c | 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 | 40m | 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 | 41m | 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 | 45m | 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 | 2 σ | ^{206}Pb ^{238}U | 2 σ | ^{207}Pb ^{206}Pb | 2 σ | 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 | | | | | | | | | |
|-----|-------------|--|------------|--|------------|------------|--|------------|---|------------|------------|
| | | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | 2 σ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | 2 σ | Error Corr | $\frac{^{238}\text{U}}{^{206}\text{Pb}}$ | 2 σ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | 2 σ | Error Corr |
| 58 | 48c | 15.200 | 0.11 | 0.5484 | 0.0033 | 0.41 | 1.82349 | 0.0033 | 0.2019 | 0.0015 | 0.40 |
| 59 | 49c | 10.671 | 0.10 | 0.4598 | 0.0026 | 0.41 | 2.17486 | 0.0026 | 0.1689 | 0.0015 | 0.20 |
| 60 | 50c | 12.980 | 0.11 | 0.5078 | 0.0032 | 0.36 | 1.96928 | 0.0032 | 0.1863 | 0.0015 | 0.36 |
| 61 | 50m | 11.275 | 0.07 | 0.4671 | 0.0024 | 0.63 | 2.14087 | 0.0024 | 0.1755 | 0.0010 | 0.33 |
| 62 | 51c | 19.350 | 0.14 | 0.5943 | 0.0033 | 0.67 | 1.68265 | 0.0033 | 0.2363 | 0.0013 | 0.15 |
| 63 | 52c | 14.270 | 0.10 | 0.5390 | 0.0036 | 0.72 | 1.85529 | 0.0036 | 0.1919 | 0.0010 | 0.30 |
| 64 | 52m | 13.264 | 0.09 | 0.5064 | 0.0022 | 0.40 | 1.97472 | 0.0022 | 0.1902 | 0.0012 | 0.30 |
| 65 | 53c | 12.770 | 0.08 | 0.5107 | 0.0030 | 0.64 | 1.95810 | 0.0030 | 0.1821 | 0.0009 | 0.27 |
| 66 | 54c | 12.890 | 0.13 | 0.5030 | 0.0030 | 0.32 | 1.98807 | 0.0030 | 0.1866 | 0.0018 | 0.27 |
| 67 | 55c | 13.050 | 0.24 | 0.5286 | 0.0077 | 0.93 | 1.89179 | 0.0077 | 0.1791 | 0.0013 | 0.41 |
| 68 | 56c | 16.110 | 0.11 | 0.5713 | 0.0037 | 0.59 | 1.75039 | 0.0037 | 0.2046 | 0.0012 | 0.39 |
| 69 | 57c | 13.600 | 0.10 | 0.5185 | 0.0031 | 0.44 | 1.92864 | 0.0031 | 0.1906 | 0.0013 | 0.33 |
| 70 | 58c | 16.390 | 0.14 | 0.5931 | 0.0046 | 0.80 | 1.68606 | 0.0046 | 0.2007 | 0.0010 | 0.17 |
| 71 | 58m | 13.542 | 0.09 | 0.5182 | 0.0025 | 0.39 | 1.92976 | 0.0025 | 0.1890 | 0.0012 | 0.36 |
| 72 | 59c | 20.950 | 0.14 | 0.6219 | 0.0036 | 0.68 | 1.60798 | 0.0036 | 0.2445 | 0.0012 | 0.17 |
| 73 | 60c | 15.565 | 0.08 | 0.5448 | 0.0025 | 0.52 | 1.83554 | 0.0025 | 0.2073 | 0.0010 | 0.40 |
| 74 | 61c | 11.320 | 0.14 | 0.4715 | 0.0033 | 0.55 | 2.12089 | 0.0033 | 0.1740 | 0.0017 | 0.02 |
| 75 | 61m | 9.711 | 0.09 | 0.4396 | 0.0023 | 0.46 | 2.27480 | 0.0023 | 0.1603 | 0.0013 | 0.09 |
| 76 | 62c | 18.950 | 0.11 | 0.5859 | 0.0030 | 0.75 | 1.70678 | 0.0030 | 0.2347 | 0.0010 | 0.17 |
| 77 | 62m | 12.870 | 0.10 | 0.5068 | 0.0028 | 0.62 | 1.97317 | 0.0028 | 0.1847 | 0.0011 | 0.09 |
| 78 | 63c | 10.570 | 0.17 | 0.4538 | 0.0039 | 0.09 | 2.20361 | 0.0039 | 0.1700 | 0.0032 | 0.41 |
| 79 | 63c | 14.627 | 0.09 | 0.5374 | 0.0026 | 0.33 | 1.86081 | 0.0026 | 0.1974 | 0.0013 | 0.41 |
| 80 | 63m | 12.100 | 0.08 | 0.4886 | 0.0024 | 0.44 | 2.04666 | 0.0024 | 0.1800 | 0.0012 | 0.30 |

Примітка. Літера біля номера датованого кристала означає: *c* — центральна частина, *m* — крайова.
 Note. 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, мож-

ливо, брукіту чи гетиту (мінерал з дуже високими інтерференційними кольорами), що асоціюють з рудним мінералом.

У ендоконтактовій зоні порода значно тектонізована, наявні тектонобластова, бластокатакlastична, 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 бластокатакlastичною, 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 | 2 σ | ^{206}Pb ^{238}U | 2 σ | ^{207}Pb ^{206}Pb | 2 σ | 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 бінокулярним 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 ($\epsilon\text{Hf} = 7,7$ до $-9,9$) (табл. 4) вказує на суміш у їхньому складі деплетованого мантієного 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 мантієно-корове джерело ($\epsilon\text{Hf} = 5,2$ 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

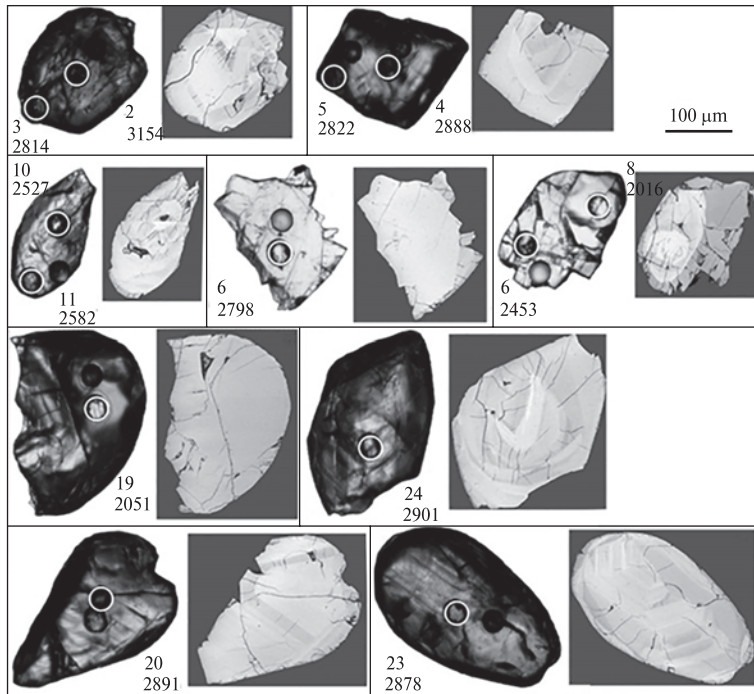


Рис. 5. Мікрофотографії кристалів циркону із метаяльтрамафіту (пр. СП-8-2), в яких визначено вік та ізотопний склад гафнію, оптичний мікроскоп; та ті ж кристали у відбитих електронах. Номери кристалів відповідають номерам ділянок визначення віку, цифри — вік за співвідношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$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

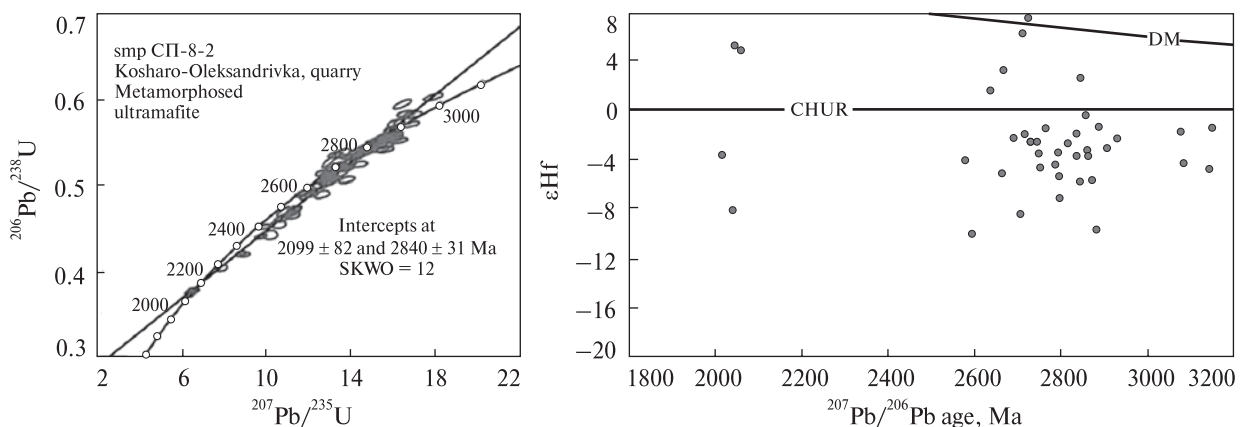


Рис. 6. Результати U-Pb і Lu-Hf ізотопних досліджень цирконів із метаяльтрамафіту (пр. СП-8-2), розкритого кар'єром в с. Кошаро-Олександрівка

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 — $2015,3 \pm 7,2$ млн рр. (середнє зважене за $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, 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-, нерівномірностерниста. 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, біогіту, магнетиту, епідоту, можливо, титаніту.

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

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

Кварц трапляється у вигляді видовжених (дископодібних) зерен або виповнює дрібно-зернисті 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 метаяльтрамафіту (пр. СП-8-2)

Table 4. Results of Hf isotope analysis in zircons from metamorphosed ultramafite (smp. СП-8-2)

| Spot No. | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age, Ma | $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ | $\pm 1\sigma$ | $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ | $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$ | $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_T$ | $\varepsilon_{\text{Hf}_T}$ | $\pm 2\sigma$ |
|----------|--|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|
| 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 |

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

Note. 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 | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ | % | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | |
| 1 | 298.7 | 5354 | 351.5 | 6.1854 | 0.020250 | 0.39058 | 6.6798 | 2126 | 2070 | 2015 ± 15 | -5.5 |
| 2a | 280.4 | 5733 | 1075 | 7.3681 | 0.016756 | 0.38135 | 6.4931 | 2083 | 2045 | 2007 ± 16 | -3.8 |
| 2b | 250.5 | 5324 | 1740 | 7.5654 | 0.016616 | 0.39540 | 6.7973 | 2148 | 2085 | 2024 ± 14 | -6.1 |
| 2c | 282.2 | 5731 | 2095 | 7.6876 | 0.016813 | 0.38284 | 6.5384 | 2090 | 2051 | 2013 ± 14 | -3.8 |

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом (1975) на вік 2010 млн рр.: 1 — світло-жовті кристали; 2a–2c — розмірні фракції жовтувато- та світло-коричневих кристалів, отримані скоюванням похилою площиною.

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

Таблиця 6. Результати визначення складу вибірових 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 | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------------------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| | 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 ₂ O 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 ₂ O | 1.25 | 1.18 | 1.12 | 1.20 | 1.20 | 1.38 | 1.32 | 1.41 | 1.63 | 1.56 |
| K ₂ O | 1.56 | 1.60 | 1.48 | 1.41 | 1.31 | 1.33 | 1.29 | 1.24 | 1.28 | 1.48 |
| Cr ₂ O 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 | <i>Pressure, kbar</i> | | | | | | | | | |
| [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 | <i>T, °C</i> | | | | | | | | | |
| [11] | 777.41 | 779.54 | 771.94 | 774.29 | 773.70 | 794.20 | 794.79 | 718.49 | 813.89 | 823.65 |

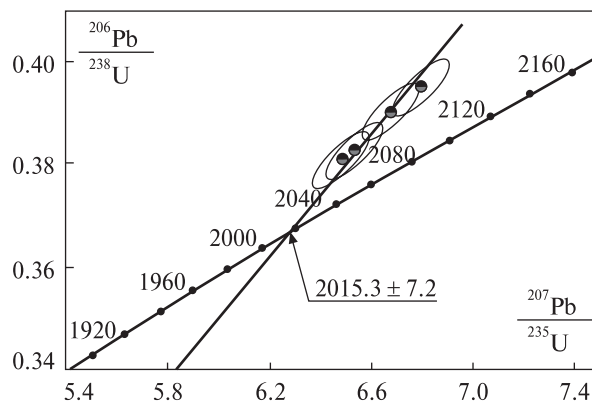
Рис. 7. U-Pb діаграма з конкордією для монацитів із чарнокіту, пр. 147/80а, Кошаро-Олександрівський кар'єр

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

зації мантієвих 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 привнесу мантієвого 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 пере-кристалізацію 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 ферогіперстеном $\text{En}_{47,2-48,9}\text{Fs}_{49,9-51,8}\text{Wo}_{0,9-1,4}$, з магнєзальністю $\#mg$ $[\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) \cdot 100]$ — 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 $\text{An}_{35,2-41,4}$. Калієвий польовий шпат: $\text{Or}_{89,2-90,8}\text{Ab}_{2,2-3,7} \times \text{An}_{0-0,5}$, містить до 3,9 % BaO .

Амфібол в ендербіто-гнейсі є другорядним та вторинним мінералом. Згідно з [15], він належить до групи кальцієвих амфіболів ($C_A > 1,5$, $(\text{Na} + \text{K})_A \geq 0,5$, $\text{Ti} < 0,5$), представлений в основному паргаситом ($\text{Al}^{\text{VI}} > \text{Fe}^{3+}$), зрідка магнєзіогастінгситом ($\text{Al}^{\text{VI}} < \text{Fe}^{3+}$) з магнєзальністю 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 %), магнєзальність 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 enderbite 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 | $T, ^\circ\text{C}$ | 790.7 | 794.4 |
| FeO | 16.94 | 16.92 | K_2O | 9.34 | 9.47 | | | |

геотермометром [13] (Ті 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 магнезіогастінгітом) — до 40 %, гіперстеном — до 20 %, кварцом — до 25 %, плагіоклазом — 10—15 % та апатитом. Структура породи середньо-, рівномірнотзерниста, 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 магнезіогастінгітом. Магнезіальність амфіболів — 0,55—0,66.

За амфібол-плагіоклазовим геотермометром [11], температура утворення цієї пари мінера-

лів 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 мантіїної 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. Скобелев, 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-ендербитовой 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., Гащенко В.А., Лобач-Жученко С.Б., Балаганський В.В., Балтыбаев Ш.К., Довбуш Т.І., 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. Shumlyansky L., Hawkesworth C., Dhuime B., Billström K., Claesson S., Storey C. ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 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. Shumlyansky 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., Shumlyansky, 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. Shumlyansky, L.V. (2012), *Geochem. and Ore Formation*, No. 31-32, Kyiv, UA, pp. 136-143 [in Ukrainian].
10. Shumlyansky, 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. Shumlyansky, L., Hawkesworth, C., Dhuime, B., Billström, K., Claesson, S. and Storey, C. (2015), *Precam. Res.*, Vol. 260, pp. 39-54.
18. Shumlyansky, 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. Shumlyanskyi, DrSc (Geology), Senior Research Fellow, Leading Researcher
E-mail: lshumlyanskyi@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. Baginski, 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.

Article 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 ϵ_{Hf} 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 ϵ_{Hf} 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 ($\epsilon_{\text{Hf}} - 7.7$ 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 ($\epsilon_{\text{Hf}} - 5.2$ 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.