

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.321001>

УДК 550.93

Молоді пізньопалеопротерозойські (1800–1700 млн років) віки монацитів та цирконів у породах Дністровсько-Бузького району Українського щита

E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua,
<https://orcid.org/0000-0001-5591-5169>;
lshumlyansky@yahoo.com,
<https://orcid.org/0000-0002-6775-4419>;
tetyana.dovbush1@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-3512-3313>;
vyssotsky@nas.gov.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-3542-4685>;
ndbudzyn@cyf-kr.edu,
<https://orcid.org/0000-0002-1186-0888>;
slama@gli.cas.cz,
<https://orcid.org/0000-0002-1386-4196>

***Corresponding author /
Автор для кореспонденції:**
L.M. Stepanyuk, stepaniuk@nas.gov.ua

Received / Надійшла до редакції:
17.01.2025

**Received in revised form /
Надійшла у ревізованій формі:**
20.02.2025

Accepted / Прийнята:
10.03.2025

Keywords: U-Pb age, monazite,
enderbite, Dniester-Bouh region.

Ключові слова: U-Pb вік, монацит,
ендербіт, Дністровсько-Бузький район.

Л.М. Степанюк^{1*}, Л.В. Шумлянський¹⁻³, Бартош Будзін², Їржі Слама⁴, Т.І. Довбуш¹, О.Б. Висоцький¹

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна;

² Інститут геологічних наук Польської академії наук, Краків, Польща; ³ Університет Кьортіна, Перт, Австралія; ⁴ Інститут геології Чеської академії наук, Прага, Чехія

The Young Late Palaeoproterozoic (1800–1700 MA) ages of monazite and zircon in rocks of the Dniester-Bouh region of the Ukrainian Shield

L.M. Stepanyuk^{1*}, L.V. Shumlyansky¹⁻³, Bartosz Budzyń², Jiří Sláma⁴, T.I. Dovbush¹, O.B. Vysotsky¹

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine; ² Institute of Geological Sciences, the Polish Academy of Sciences, Research Centre in Krakow, Krakow, Poland; ³ Curtin University, Perth, Australia; ⁴ Institute of Geology, the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic

The results of U-Pb isotope dating (TIMS and LA-ICP MS-method) of monazite from pyroxene-bearing granitoids of the Dniester-Bouh region of the Ukrainian Shield are discussed in the paper. The results of the TIMS dating of the multigrain fractions do not correspond to the Wetherill model. The dating of the individual grains by applying the LA-ICP-MS method yielded both ancient (over 2.0 Ga) and young (1.7–1.8 Ga) ages. The young dates may be caused by either the gradual cooling of rocks after high-grade metamorphism, or, more likely, by the reheating caused by the formation of a large igneous province at 1.80–1.75 Ga, represented by numerous mafic dyke swarms, two gabbro-anorthosite-rapakivi granite massifs in the Volyn and Inhul regions of the Ukrainian Shield (Korosten and Korsun-Novomyrhorod, respectively) and ultramafic, alkaline and felsic rocks in the Azov region. Tectono-magmatic activation, in addition to reheating, was accompanied by the penetration of fluids in zones of tectonic deformations. This could have caused the rejuvenation of the age of monazite and zircon crystals. The irregularity of the fluid penetration can explain the presence of both old and young monazite and zircon crystals in a single sample, and the absence of young crystals of these minerals in rocks collected in other parts of the Ukrainian Shield. It is possible that both factors had a combined effect.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Ц и т у в а н н я : Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Будзін Бартош, Слама Їржі, Довбуш Т.І., Висоцький О.Б. Молоді пізньопалеопротерозойські (1800–1700 млн років) віки монацитів та цирконів у породах Дністровсько-Бузького району Українського щита. *Геологічний журнал*. 2025. № 1 (390). С. 12–24. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.321001>

C i t a t i o n : Stepanyuk L.M., Shumlyansky L.V., Budzyń Bartosz, Sláma Jiří, Dovbush T.I., Vysotsky O.B. 2025. The Young Late Paleoproterozoic (1800–1700 MA) ages of monazite and zircon in rocks of the Dniester-Bouh region of the Ukrainian Shield. *Geologičnij žurnal*, 1 (390): 12–24. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2025.1.321001>

Вступ

Монацит разом із цирконом належить до мінералів-геохронометрів, які несуть інформацію про найбільш високотемпературні етапи розвитку магматичних і метаморфічних порід. Згідно із даними (Cherniak et al., 2004), температура закриття U-Pb ізотопної системи в монацитах перебільшує 900 °С, що вище температури магматичної кристалізації гранітоїдів або ж температури метаморфізму, яка може досягатися в звичайних корових умовах. Отже, вік монациту має відображати найбільш високотемпературний етап еволюції кислих магматичних та метаморфічних порід і має наближатися до віку циркону. Монацит також значною мірою, ніж циркон, може зазнавати змін під час флюїдного впливу (Broska, Siman, 1998; Seydoux-Guillaume et al., 2012), що робить його чутливим індикатором метасоматичних процесів.

Деякі з дослідників (Spear, Pyle, 2002; Williams et al. 2007; Taylor et al., 2016; Grand'Homme et al., 2016) вказують на те, що за тривалого перебування гірської породи в умовах гранулітової фації метаморфізму можлива кристалізація декількох генерацій монациту та/або перекристалізація за механізмом розчинення-перевідкладення, які будуть відображати різні події. Також не виключеною є часткова (або й повна) втрата радіогенного свинцю, як це нерідко спостерігається в цирконі, незважаючи на високу температуру закриття ізотопної системи. Зокрема, циркони із високометаморфизованих породних асоціацій Середнього Побужжя характеризуються значним діапазоном віків кристалізації, який може опускатися до близько 1800 млн років. Окрім того, в результаті датування мультисервових наважок монациту із ендербіту, розкритого кар'єром Козачий Яр, отримано числові значення віку за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, які варіюють від 1894 до 1794 млн років (Степанюк, 2024).

Нами було досліджено монацити з гранітоїдів Побужжя з метою визначення часу їх формування. В ході дослідження було виявлено, що монацити з цих порід характеризуються широкими варіаціями позірних віків кристалізації. Обговоренню причин цих варіацій і присвячена дана стаття.

Об'єкти і методи дослідження

З метою визначення часу формування гранітоїдів Побужжя уран-свинцевим ізотопним методом (TIMS) були датовані мультисервові наважки кристалів монациту із ендербіту (проба ВП-10-1), розкритого Сабарівським кар'єром, та із біотит-гранатового гнейсу (віннициту, за (Касьяненко, 2016)) (проба Л-6), поширеного у південному борту Літинського кар'єру. В зв'язку з тим, що отримані результати уран-свинцевого ізотопного датування не піддавалися інтерпретації в рамках моделі Аренса-Везеріла, кристали монациту із зазначених вище проб додатково датували методом LA-ICP-MS. Цим же методом були датовані кристали монациту із антипертитового ендербіту (проба ВП-1), розкритого Тиврівським кар'єром (рис. 1).



Рис. 1. Супутникова карта району м. Вінниця (Верхнє Побужжя) з місцями відбору радіогеохронологічних проб

Fig. 1. Satellite map of the district of Vinnytsia (Upper Pobuzhzhia) with locations of radiogeochronological sampling

Методом TIMS мультисервові наважки монацитів датували у відділі радіогеохронології Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) ім. М.П. Семененка НАН України. Для ізотопного датування вручну під бінокляром були відібрані мультисервові наважки кристалів монациту, які після того скочуванням по нахиленій площині були розділені за розміром. Методика хімічної підготовки, за якою готувалися зразки монацитів для мас-спектрометричного аналізу, описана в роботах (Геохронологическая..., 1989; Krough, 1973). Для визначення вмісту урану і свинцю використали змішаний $^{235}\text{U}+^{206}\text{Pb}$ трасер.

Ізотопні дослідження свинцю та урану виконані на 8-колекторному мас-спектрометрі MI-1201 AT у мультиколекторному статичному режимі; математична обробка експериментальних даних – за програмами PbDat і ISOPLOT (Ludwig, 1989, 1990).

Похибки визначення віку наведені при 2 σ . Для контролю метрологічних характеристик методу використали стандарт циркону ІГМР-1 (Бартицкий и др., 1995).

Для датування методом LA-ICP-MS зерна монациту були вмонтовані в епоксидну смолу. Поліровані зерна були попередньо досліджені за допомогою електронного мікрозонда SuperProbe JXA-8230, оснащеного п'ятьма спектрометрами дисперсії довжин хвиль у Лабораторії критичних елементів AGH-KGHM Краківського університету AGH (Краків, Польща). Вимірювання ізотопів U-Th-Pb у монациті проводили за допомогою інструмента ICP-MS Thermo Scientific Element 2, поєднаного з ексимерним лазером ArF 193 нм (лазер Teledyne Cetac Analyte Excite) в Інституті геології Чеської академії наук. Аналітична процедура відповідає процедурі, описаній у роботі (Budzyń et al., 2022). Лазер працював з частотою 5 Гц, інтенсивністю потоку світла 1,7 Дж/см² і розміром аналітичної плями 13 мкм.

Геологічна ситуація

Дністровсько-Бузький район (мегаблок, за (Щербак и др., 2005, 2008; Щербаков, 2005)) є складовою частиною Українського щита (УЩ). Він належить до типових грануліто-гнейсових областей і складений переважно архейськими породами (Гранулитовая..., 1985; Метаморфизм..., 1982; Курепин, 1991; Кривдік та ін., 2011). Основним породним фоном є чарнокітоїди (ендербіти, чарнокіти), бердичівські і побузькі граніти та мігматити палеопротерозойського (переважно 2,1 млрд років) віку (Щербак и др., 2008), серед яких у вигляді залишків трапляються метаморфізовані в умовах гранулітової фації гнейси і кристалічні сланці основного складу з підпорядкованими прошарками кальцифірів, залізистих і безрудних кварцитів, виокремлені в дністровсько-бузьку та бузьку серії (Стратиграфические..., 1985). На Верхньому Побужжі, який є районом поширення ендербітів і результати дослідження яких є предметом даної роботи, ендербіти складають ряд куполоподібних структур (Рябенко, 1970).

Результати та їхнє обговорення

Ендербіт (проба ВП-10-1) складає в Сабарівському кар'єрі пластоподібне тіло потужністю близько 2 м, що з одного краю контактує з карбонатними породами (пачка, близько 10 м, представлена

мармурями і кальцифірами), з іншого – з так званими вінницитами (гіперстен-гранатовими лейкогранітами). Детальний опис ендербіту наведено в роботі (Степанюк, 2024), тому обмежимося скороченою характеристикою цієї породи.

Ендербіт – зеленкувато-сіра порода. Мікροструктура рівномірно-, дрібно-середньозерниста, з середнім розміром зерен 0,8–2,0 мм, окремі зерна плагіоклазу сягають 4 мм, гіпідіоморфнозерниста. Дрібніші зерна кварцу часто знаходяться в інтерстиціях крупніших кристалів плагіоклазу. Слабо проявляються елементи катакlastичної структури у вигляді хвилястого, зрідка хвилясто-блочного погасання зерен маси та тектонобластичної структури – у вигляді слабкої грануляції на границях зерен.

Мінеральний склад (% об.): плагіоклаз – 65–70, кварц – 20–25, гіперстен – 3–5, біотит – 2–4, калієвий польовий шпат – близько 4. Акцесорні мінерали – циркон, апатит, монацит.

Кристали монациту світло-жовті, прозорі, пампушкоподібні, їх контури заокруглені. Поверхня більшості зерен рівна блискуча, трапляються окремі грані і ребра. Відмічається зростання з польовими шпатами і кварцом. Після обробки монациту слабким розчином соляної кислоти лише незначна частина зерен покрилася тонкими білими кірочками.

Вік ендербіту визначали U-Pb ізотопним методом за мультизерновими наважками розмірних фракцій світло-жовтих прозорих пампушкоподібних кристалів монациту. Аналітичні дані наведено в табл. 1 (аналізи 1–4). Через значні розходження в числових значеннях віку, розрахованих за ізотопним відношенням ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb (понад 25 млн років), які значущо перевищують аналітичну похибку, із фракцій 1–4 ще раз відібрали мультизернові наважки 1а–4а і визначили в них вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю (див. табл. 1, 1а–4а).

За верхнім і нижнім перетинами дискордії, розрахованої за наведеними в табл. 1 даними (аналізи 1–4), отримано вік (2023 ± 42) та (747 ± 673) млн років, відповідно. Середньозважене значення віку за ізотопним відношенням ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb становить (2004 ± 28) млн років. Значення віку, отримане за верхнім і нижнім перетинами дискордії, розрахованої за всіма даними табл. 1, становить (2258 ± 1726) та (1895 ± 792) млн років, відповідно. Середньозважене значення віку за ізотопним відношенням ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb – (2000 ± 11) млн років (рис. 2).

Таблиця 1. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із ендербіту, проба ВП-10-1, Сабарівський кар’єр (Степанюк, 2024)

Table 1. Concentrations of Th and U, and isotope composition of Pb in monazite from enderbite, sample VP-10-1, Sabariv open pit (Stepanyuk, 2024)

Mineral fraction	Concentration, ppm		Isotope ratios					Isotope age, Ma			D, %
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	
1	1465	7532	6135	7,9504	0,065449	0,35999	6,1418	1982	1996	2010,8	-1,4
2	1180	5157	6530	8,0438	0,073651	0,34137	5,7613	1893	1941	1991,6	-4,9
3	865	3633	5155	7,9026	0,081400	0,35962	6,1529	1980	1998	2015,8	-1,8
4	907	3840	5875	7,9879	0,079434	0,35442	6,0131	1956	1978	2000,9	-2,3
1a	1234	5057	11280	8,1274	0,083363	0,35935	6,0439	1979	1982	1985,4	-0,3
2a	1090	4385	18020	8,1057	0,084104	0,35577	6,0215	1962	1979	1996,6	-1,7
3a	1270	5214	4085	7,9859	0,082939	0,35724	6,0135	1969	1978	1987,0	-0,9
4a	1157	4948	15670	8,1520	0,078407	0,35442	5,9590	1956	1970	1984,8	-1,5

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2000 млн років: 1–4 – розмірні фракції світло-жовтих прозорих пампушкоподібних кристалів; 1a–4a – ті ж самі розмірні фракції, повторний аналіз. Pb_f – свинець радіогенний. D – дискордантність.

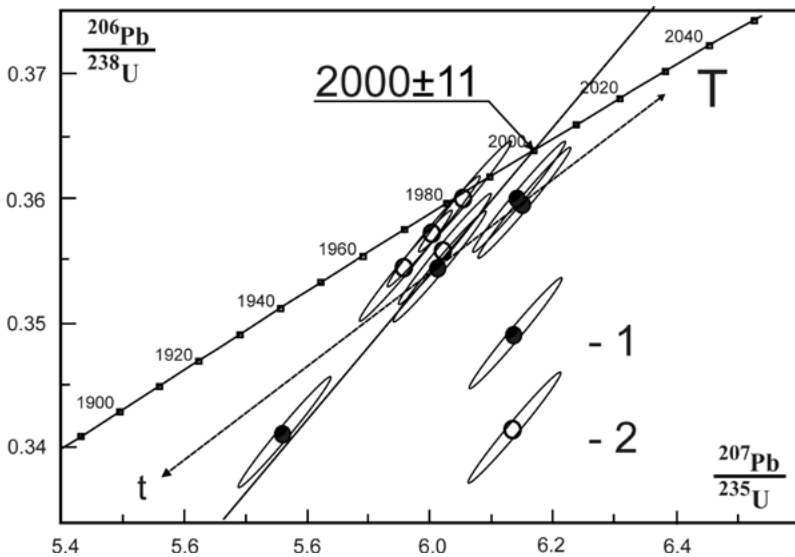


Рис. 2. U-Pb діаграма з конкордією для мультизернових наважок монациту із ендербіту, проба ВП-10-1, Сабарівський кар’єр: 1 – фігуративні точки аналізів 1–4 (див. табл. 1); 2 – аналізів 1a–4a. T – вік, розрахований за верхнім перетином дискордії (пунктирна лінія) з конкордією ((2258 ± 1726) млн років); t – за нижнім перетином ((1895 ± 792) млн років). Суцільна лінія – лінія регресії, розрахована за умови, що вона виходить з початку координат

Fig. 2. U-Pb isotope plot with concordia for multigrain fractions of monazite from enderbite, sample VP-10-1, Sabariv open pit: 1 – analytical spots 1–4 (see Table 1); 2 – analytical spots 1a–4a. T – upper intercept age (dashed line, (2258 ± 1726) Ma), t – lower intercept age ((1895 ± 792) Ma). The solid line is a regression line anchored to the lower intercept at 0 Ma

Отже, чотири додаткові аналізи не дозволили суттєво уточнити вік монациту. Значні розходження в числових значеннях віку як за відношенням $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, так і за відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, які значущо перевищують аналітичну похибку, найімовірніше, враховуючи, що монацити представлені переважно однорідними кристалами, зумовлені досить тривалим (понад 30 млн років) часом протікання структурно-метаморфічного перетворення суперкристальних порід та формування ендербіту. Тому для з’ясування часу кристалізації монациту використали метод LA-ICP-MS; аналітичні результати наведено в табл. 2 та на рис. 3.

Як видно з табл. 2, вік за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ варіює від (1727 ± 21) до (2076 ± 18) млн років при майже конкордантних значеннях віку. На діаграмі з конкордією (рис. 3, а) фігуративні точки свинець-уранових відношень формують поле, яке можна розбити на три ділянки. Перша ділянка характеризує найдавніші кристали монациту віком (2053 ± 14) млн років (рис. 3, б). Деяко молодшими виявилися кристали монациту другої групи – $(1951,7 \pm 7,9)$ млн років (рис. 3, с). Для двох кристалів із 35 проаналізованих отримано деяко молодші значення $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ віку: (1727 ± 21) млн років за дискордантності 1,9 % та (1730 ± 19) млн років за дискордантності 3,5 % (див. табл. 2, аналізи 1 та 3, відповідно).

Таблиця 2. Результати U-Th-Pb датування кристалів монациту із ендербіту, проба ВП-10-1, методом SIMS
Table 2. Results of U-Th-Pb dating of monazite crystals from enderbite, sample VP-10-1, by the LA-ICP-MS method

# Spot	Isotope ratios					Isotope ages, Ma					Concentrations, ppm										
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	ρ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	disc	Pb	Th	U		
1	4.3950	0.0740	0.3009	0.0029	0.56	0.0832	0.0008	0.1060	0.0012	1708	14	1695	14	1616	14	1727	21	1.9	1033	86600	163
2	5.8390	0.0790	0.3530	0.0030	0.57	0.0979	0.0008	0.1202	0.0011	1952	12	1948	14	1888	15	1954	16	0.3	619	43700	383
3	5.2920	0.0770	0.3309	0.0025	0.51	0.0900	0.0008	0.1159	0.0011	1866	12	1842	12	1742	14	1888	17	2.4	831	64100	241
4	4.3350	0.0650	0.2958	0.0021	0.47	0.0827	0.0007	0.1063	0.0011	1698	12	1670	11	1606	13	1730	19	3.5	773	65000	220
5	6.4040	0.0890	0.3743	0.0028	0.48	0.1014	0.0009	0.1238	0.0011	2031	12	2049	13	1951	16	2007	16	-2.1	983	66260	322
6	5.8330	0.0800	0.3522	0.0029	0.60	0.0967	0.0008	0.1200	0.0010	1950	12	1944	14	1865	15	1952	15	0.4	1355	96600	290
7	6.3690	0.0930	0.3663	0.0033	0.70	0.1028	0.0009	0.1262	0.0011	2026	13	2011	16	1977	16	2041	15	1.5	947	64000	555
8	6.3950	0.0920	0.3719	0.0035	0.65	0.1019	0.0009	0.1247	0.0011	2029	13	2037	16	1961	16	2020	16	-0.8	1106	75600	392
9	6.3980	0.0950	0.3751	0.0035	0.61	0.1031	0.0009	0.1235	0.0012	2030	13	2052	16	1983	16	2002	17	-2.5	2374	158100	417
10	6.4830	0.0950	0.3742	0.0036	0.64	0.1024	0.0009	0.1255	0.0012	2043	13	2048	17	1969	17	2033	17	-0.7	1899	128700	444
11	6.7050	0.0990	0.3819	0.0034	0.62	0.1041	0.0010	0.1271	0.0012	2073	13	2084	16	2001	17	2054	16	-1.5	2492	166200	437
12	6.5390	0.1000	0.3735	0.0039	0.56	0.1019	0.0010	0.1270	0.0015	2049	14	2044	18	1961	18	2048	20	0.2	1354	92300	165
13	6.3730	0.0960	0.3689	0.0036	0.52	0.0978	0.0010	0.1255	0.0014	2026	13	2023	17	1886	17	2028	19	0.2	1580	111300	163
14	5.8890	0.0850	0.3567	0.0036	0.61	0.0983	0.0009	0.1197	0.0012	1959	13	1965	17	1895	16	1945	17	-1.0	2565	181400	506
15	6.3970	0.1100	0.3648	0.0049	0.76	0.1018	0.0011	0.1274	0.0013	2028	15	2002	23	1959	20	2057	18	2.7	1069	72600	783
16	6.2170	0.1000	0.3613	0.0044	0.62	0.1005	0.0011	0.1248	0.0014	2005	15	1987	21	1935	20	2019	20	1.6	987	66500	305
17	6.4770	0.1100	0.3692	0.0045	0.62	0.1027	0.0011	0.1272	0.0014	2041	15	2024	21	1976	20	2053	19	1.4	1224	82900	724
18	6.6340	0.1000	0.3782	0.0043	0.73	0.1025	0.0010	0.1276	0.0012	2062	14	2066	20	1971	18	2062	16	-0.2	839	56800	432
19	6.4740	0.1000	0.3693	0.0043	0.62	0.1012	0.0009	0.1271	0.0014	2040	14	2024	20	1949	17	2053	20	1.4	1283	88000	222
20	6.5480	0.1000	0.3718	0.0039	0.59	0.1016	0.0010	0.1278	0.0014	2049	14	2038	19	1955	19	2061	19	1.1	1289	88100	208
21	6.7050	0.1100	0.3821	0.0048	0.74	0.1027	0.0010	0.1275	0.0012	2073	14	2084	22	1975	18	2060	17	-1.2	1119	75400	502
22	6.6230	0.1000	0.3788	0.0043	0.63	0.1028	0.0010	0.1272	0.0013	2059	14	2068	20	1977	19	2053	18	-0.7	1397	94500	322
23	5.6940	0.0930	0.3433	0.0042	0.74	0.0960	0.0009	0.1203	0.0012	1927	14	1900	20	1852	17	1954	18	2.8	1208	87300	774
24	6.3760	0.1000	0.3671	0.0044	0.67	0.1005	0.0010	0.1259	0.0013	2026	14	2015	21	1936	19	2036	18	1.0	1536	105900	556
25	6.4410	0.0990	0.3655	0.0040	0.74	0.1029	0.0011	0.1281	0.0012	2036	14	2006	19	1978	20	2067	16	3.0	1458	98300	765
26	6.7010	0.1100	0.3794	0.0045	0.69	0.1040	0.0010	0.1277	0.0013	2070	14	2071	21	1999	18	2060	17	-0.5	2048	136900	403
27	6.3940	0.1100	0.3662	0.0045	0.71	0.1021	0.0010	0.1265	0.0013	2027	15	2009	21	1964	19	2042	18	1.6	1032	70100	606
28	5.7520	0.0960	0.3505	0.0045	0.66	0.0954	0.0010	0.1192	0.0014	1937	15	1935	21	1841	18	1938	21	0.2	1231	88100	410
29	6.2290	0.1000	0.3635	0.0040	0.72	0.1002	0.0010	0.1240	0.0012	2005	14	1997	19	1929	19	2008	17	0.5	926	64100	685
30	6.3350	0.0990	0.3674	0.0038	0.68	0.1010	0.0010	0.1251	0.0012	2021	14	2015	18	1945	18	2025	17	0.5	970	66500	667
31	5.5830	0.1100	0.3316	0.0044	0.63	0.0902	0.0012	0.1223	0.0016	1913	16	1845	21	1748	23	1983	24	7.0	979	76400	336
32	6.4250	0.0990	0.3703	0.0041	0.70	0.1027	0.0011	0.1262	0.0012	2034	14	2031	20	1977	19	2043	16	0.6	982	66200	676
33	6.2680	0.0960	0.3642	0.0040	0.65	0.1012	0.0010	0.1252	0.0013	2011	13	2000	19	1947	19	2024	18	1.2	1054	72600	438
34	6.5920	0.1000	0.3771	0.0046	0.71	0.1039	0.0011	0.1270	0.0012	2057	14	2060	22	1997	21	2050	17	-0.5	1074	72100	602
35	6.6560	0.1100	0.3769	0.0045	0.67	0.1035	0.0010	0.1288	0.0013	2064	14	2060	21	1990	19	2076	18	0.8	1007	67400	618

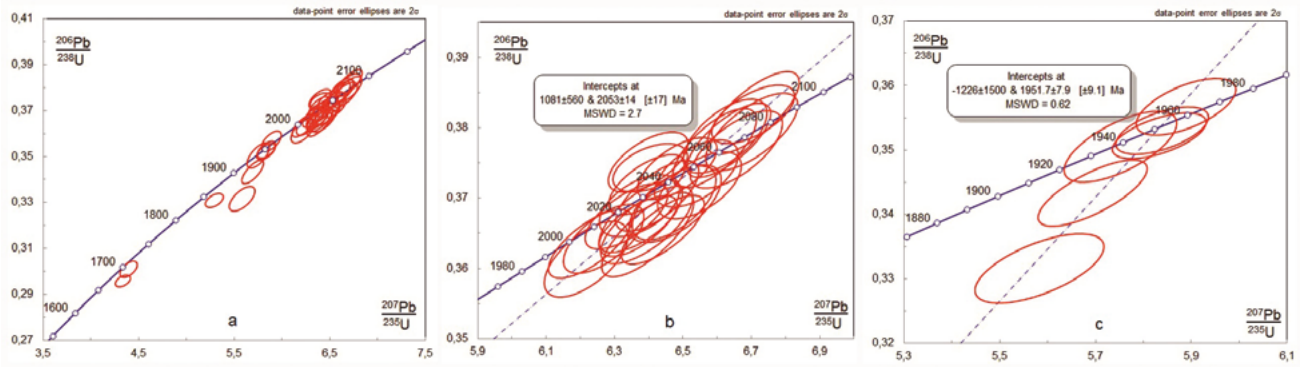


Рис. 3. U-Pb діаграми з конкордією для кристалів монациту із ендербіту, проба ВП-10-1, Сабарівський кар’єр, за даними LA-ICP-MS
Fig. 3. U-Pb isotope plots for monazite crystals from enderbite, sample VP-10-1, Sabariv open pit, according to the LA-ICP-MS data

Вінницит (проба Л-6) розвинутий в північній частині Літинського кар’єру у вигляді розвалів крупних брил, що утворилися після підриву. У вигляді розрізнених фрагментів, вірогідно пластовидного тіла, вінніцити також поширені у поодиноких відслоненнях на південь від кар’єру. Макроскопічно це масивна середньо-крупнозерниста порода, на окремих ділянках дещо катаклазована.

Мінеральний склад (% об.): плагіоклаз – 25–30, кварц – 15–25, КПШ – до 15, гранат – 15–20, в окремих скупченнях до – 30, гіперстен – 5–15, біотит – до 5. Акцесорні мінерали представлені апатитом, цирконом і монацитом, серед рудних переважає пірит.

За даними (Касьяненко, 2016), характерною особливістю цього вінніциту є гранат, склад якого відповідає альмандину (66–70 %) з вміс-

том піропового міналу 24–27 % і гросулярового міналу 1–3 %, тоді як частка андрадитового складає 0,2–3 %, а спесартинового не досягає 1 % (0,1–0,7 %). Залізистість гранату сягає 71–73 %. Часто гранат заміщує гіперстен. Хімічний склад плагіоклазів відповідає альбіту An_8 та олігоклазу An_{16-25} .

Монацит представлений відносно дрібними (менше 50 μm) переважно пампушкоподібними світло-жовтими прозорими кристалами із сильно заокругленими контурами. В меншій кількості присутні ізометричні зерна, кількість яких дещо зростає у дрібніших фракціях.

Вік монациту визначали методом TIMS за мультизерновими наважками розмірних фракцій монациту, які отримали скочуванням кристалів по нахиленій площині. Результати аналітичних досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Вміст урану, свинцю та ізоотопний склад свинцю в монацитах із вінніциту, проба Л-6, Літинський кар’єр

Table 3. Concentrations of Th and U, and isotope composition of Pb in monazite from vinnitsyte (hypersthene-garnet leucogranite), sample L-6, Lityn open pit

Mineral fraction	Concentration, ppm		Isotope ratios					Isotope age, Ma				D, %	$\frac{206}{238} \text{Pb}$ %err	$\frac{207}{235} \text{Pb}$ %err	Rho 6/8–7/5
	U	Pb	$\frac{206}{204} \text{Pb}$	$\frac{206}{207} \text{Pb}$	$\frac{206}{208} \text{Pb}$	$\frac{206}{238} \text{Pb}_f$	$\frac{207}{235} \text{Pb}_f$	$\frac{207}{206} \text{Pb}_f$	σ						
1	1987	4593	4960	7,9707	0,15965	0,35939	6,0901	1979	1989	1998,8	±4,0	1,0	1,1	1,13	0,97992
2	1749	3637	1596	7,6482	0,18099	0,35664	6,0258	1966	1980	1993,6	±3,7	1,4	1,1	1,13	0,98263
3	1863	4234	8000	8,0736	0,16104	0,35646	6,0119	1965	1978	1990,3	±1,3	1,3	1,1	1,1	0,99767
4	1846	4663	4920	7,9033	0,14551	0,36283	6,2011	1996	2005	2013,9	±1,4	0,9	1,1	1,1	0,99744

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2000 млрд років: 1–4 – мультизернові наважки розмірних фракцій монациту.

Таблиця 4. Результати датування кристалів монациту із вінніциту, проба Л-6, методом SIMS
Table 4. Results of dating of monazite crystals from vinnitsa, sample L-6, by the LA-ICP-MS method

#	Spot	Isotope ratios					Isotope ages, Ma					Concentrations, ppm									
		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	ρ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	disc	Pb	Th	U			
1	5.7730	0.0820	0.3501	0.0034	0.58	0.0964	0.0009	0.1195	0.0012	1940	12	1935	16	1860	17	1943	17	0.4	172	12380	537
2	4.8830	0.0760	0.3189	0.0036	0.66	0.0873	0.0010	0.1105	0.0012	1799	13	1784	18	1691	18	1802	20	1.0	230	17870	543
3	3.7000	0.0720	0.2739	0.0036	0.45	0.0776	0.0013	0.0979	0.0016	1567	16	1559	18	1510	25	1570	30	0.7	5	437	149
4	6.7270	0.1100	0.3781	0.0047	0.68	0.1056	0.0011	0.1290	0.0013	2073	14	2066	22	2029	21	2078	18	0.6	1809	116700	949
5	6.8670	0.1200	0.3899	0.0045	0.52	0.1089	0.0012	0.1278	0.0017	2094	16	2121	21	2089	23	2060	23	-3.0	1963	122300	215
6	6.7900	0.1000	0.3872	0.0037	0.61	0.1045	0.0011	0.1271	0.0013	2083	13	2108	17	2009	20	2055	18	-2.6	2089	140000	415
7	6.8100	0.1000	0.3840	0.0036	0.54	0.1042	0.0011	0.1284	0.0014	2084	13	2097	17	2003	21	2073	19	-1.2	1738	115800	490
8	6.6650	0.1100	0.3813	0.0045	0.55	0.1057	0.0011	0.1271	0.0014	2065	14	2082	21	2030	20	2051	20	-1.5	1759	115600	1217
9	6.6400	0.1100	0.3757	0.0046	0.65	0.1043	0.0012	0.1276	0.0014	2061	15	2054	22	2005	22	2066	19	0.6	769	51400	846
10	6.4400	0.1300	0.3711	0.0078	0.52	0.1035	0.0013	0.1272	0.0024	2036	17	2035	38	1989	25	2055	31	1.0	2476	169600	1388
11	6.2350	0.1000	0.3657	0.0042	0.59	0.1005	0.0011	0.1237	0.0014	2007	14	2007	20	1935	20	2001	21	-0.3	63	4300	538
12	4.4290	0.0710	0.3046	0.0036	0.54	0.0840	0.0012	0.1055	0.0013	1716	13	1712	18	1631	22	1713	22	0.1	7	592	262
13	6.8780	0.1100	0.3878	0.0040	0.52	0.1056	0.0012	0.1288	0.0015	2096	14	2111	19	2028	22	2075	20	-1.7	3044	196100	400
14	6.8900	0.1100	0.3917	0.0049	0.48	0.1079	0.0012	0.1284	0.0016	2095	14	2132	23	2071	21	2064	22	-3.3	2790	180300	371
15	6.9080	0.1100	0.3914	0.0041	0.48	0.1041	0.0011	0.1281	0.0014	2097	14	2127	19	2000	21	2069	20	-2.8	1647	109700	388
16	4.4280	0.0790	0.3040	0.0042	0.66	0.0859	0.0011	0.1056	0.0014	1716	15	1709	21	1665	20	1715	24	0.3	22	1803	367
17	6.2390	0.1100	0.3684	0.0060	0.57	0.1024	0.0013	0.1235	0.0018	2007	16	2021	28	1973	25	1993	26	-1.4	2145	145900	959
18	5.7160	0.1000	0.3409	0.0055	0.64	0.0979	0.0011	0.1223	0.0016	1931	15	1888	26	1887	21	1981	23	4.7	1570	111500	1009
19	5.3170	0.0960	0.3370	0.0048	0.50	0.0947	0.0013	0.1149	0.0017	1867	15	1869	23	1829	24	1867	28	-0.1	221	16300	290
20	6.4820	0.1200	0.3974	0.0071	0.52	0.1047	0.0015	0.1189	0.0020	2040	17	2156	33	2014	28	1927	31	-11.9	921	61100	2373
21	6.9700	0.1300	0.3954	0.0066	0.63	0.1048	0.0013	0.1278	0.0018	2103	17	2144	31	2016	24	2058	26	-4.2	1327	87400	733
22	4.8780	0.1000	0.3214	0.0049	0.47	0.0920	0.0017	0.1100	0.0019	1794	18	1794	24	1777	32	1792	32	-0.1	7	510	116
23	5.3400	0.0950	0.3396	0.0045	0.42	0.0908	0.0012	0.1141	0.0018	1872	15	1882	22	1756	23	1851	28	-1.7	16	1218	190
24	6.0600	0.1300	0.3620	0.0066	0.46	0.1016	0.0018	0.1214	0.0020	1975	19	1987	31	1957	34	1964	30	-1.2	12	851	223
25	5.0340	0.1000	0.3295	0.0049	0.55	0.0893	0.0014	0.1107	0.0017	1821	17	1834	24	1729	26	1802	29	-1.8	30	2310	337
26	4.0070	0.0850	0.2879	0.0045	0.37	0.0830	0.0016	0.1014	0.0020	1631	17	1629	22	1612	30	1633	37	0.2	5	429	102
27	3.8680	0.0730	0.2837	0.0040	0.40	0.0806	0.0013	0.0993	0.0017	1605	15	1608	20	1566	24	1596	31	-0.8	11	903	120
28	6.0300	0.1300	0.3571	0.0076	0.60	0.1033	0.0017	0.1228	0.0022	1975	19	1962	36	1985	31	1983	31	1.1	116	7710	780
29	3.8490	0.0860	0.2820	0.0053	0.59	0.0811	0.0013	0.1001	0.0017	1598	18	1598	26	1576	25	1606	32	0.5	26	2226	359
30	6.5200	0.1500	0.3837	0.0086	0.55	0.1092	0.0020	0.1246	0.0026	2042	21	2090	40	2096	36	2010	37	-4.0	130	8260	567
31	6.3500	0.1400	0.3738	0.0080	0.61	0.1043	0.0017	0.1244	0.0023	2019	20	2040	37	2003	31	2009	32	-1.5	100	6610	545
32	6.3000	0.1300	0.3735	0.0076	0.53	0.1060	0.0016	0.1234	0.0022	2016	18	2039	35	2034	30	1997	32	-2.1	73	4804	752
33	7.0600	0.1400	0.4003	0.0073	0.63	0.1098	0.0017	0.1283	0.0020	2117	18	2164	34	2105	31	2068	29	-4.6	1539	97200	342
34	7.0300	0.1500	0.3970	0.0071	0.66	0.1059	0.0017	0.1290	0.0021	2108	19	2149	33	2033	30	2080	29	-3.3	2169	144900	323
35	7.0700	0.1400	0.3977	0.0071	0.60	0.1071	0.0017	0.1300	0.0020	2114	18	2153	32	2054	30	2091	27	-3.0	1578	102400	392

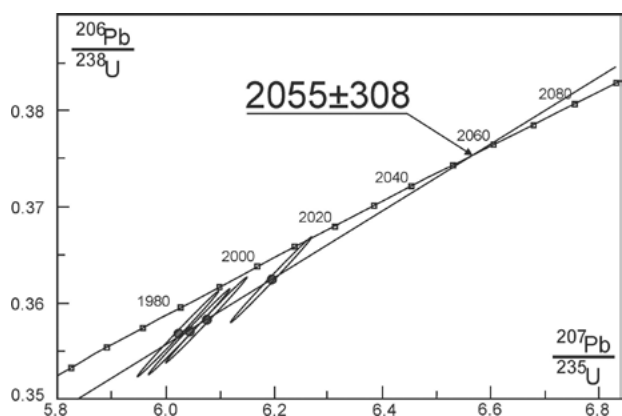


Рис. 4. U-Pb діаграма з конкордією для мультізернових наважок монациту із віннициту, проба Л-6, Літинський кар’єр

Fig. 4. U-Pb isotope plot for multigrain fractions of monazite from vinnitysyte, sample L-6, Lityn open pit

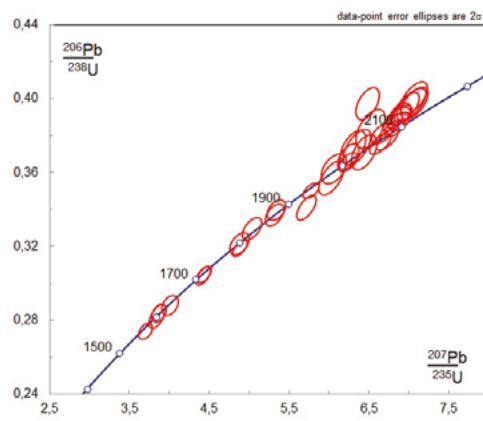


Рис. 5. U-Pb діаграми з конкордією для кристалів монациту із віннициту, проба Л-6, Літинський кар’єр, за даними LA-ICP-MS

Fig. 5. U-Pb isotope plot for monazite from vinnitysyte, sample L-6, Lityn open pit, according to LA-ICP-MS data

Незважаючи на досить високу лінійність у розміщенні фігуративних точок свинець-уранових ізотопних відношень на уран-свинцевій діаграмі з конкордією (рис. 4), СКЗВ = 0,11. Отримано значення віку (2055 ± 308) млн років за верхнім перетином та (1604 ± 533) млн років за нижнім. Ураховуючи велику невизначеність (великі похибки), ми виконали позернове датування монациту за допомогою LA-ICP-MS. Результати аналітичних досліджень наведено в табл. 4 та на рис. 5.

Аналіз даних, поданих у табл. 4, дозволяє припустити, що монацити віннициту зазнали багаторічного порушення уран-свинцевої ізотопної системи або, що менш вірогідно, кристалізувалися впродовж декількох етапів ендегенної активності. В результаті позернового датування було отримано майже безперервну серію конкордантних і субконкордантних ізотопних дат (див. рис. 5), цифрові значення яких за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ лежать в межах від (2097 ± 27) до (1570 ± 30) млн років (див. табл. 4). При цьому дати трьох із 35 проаналізованих кристалів мають відносно молодий вік: аналіз 2 – (1802 ± 20) млн років, дискордантність – 1,0 %; аналіз 22 – ($1792 \pm$

32) млн років, дискордантність – 0,1 %; аналіз 25 – (1802 ± 29) млн років, дискордантність – 1,8 %. Дати ще шести кристалів (аналізи 3, 12, 16, 26, 27 і 29) є ще молодшими і лежать в інтервалі від (1715 ± 24) до (1570 ± 30) млн років (див. табл. 4).

Антипертитовий ендербіт (проба ВП-1) розкритий Тиврівським кар’єром. Основний породний фон у кар’єрі складають зеленувато-сірі середньозернисті антипертитові ендербіти (типу ВП-1), які подекуди січуться тонкими розгалуженими жилами крупнозернистих пегматоїдних ендербітів. У вигляді кутастих тіл різних розмірів (від перших сантиметрів до декількох метрів) серед ендербітів спостерігаються кристалічні сланці.

Ендербіт – зеленувато-сіра середньозерниста порода з масивною текстурою. Мікроструктура гетеробластова дрібно-середньозерниста, гранобластова, рекристалізаційна з елементами катакластичної. Катаклаз проявляється в наявності тонких смужок з тонко- і мікрозернистим подрібненням мінералів на контактах зерен і рідше всередині них та у хвилястому згасанні кварцу. Хімічний склад двох проб антипертитових ендербітів, відібраних у Тиврівському кар’єрі, наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Хімічний склад антипертитових ендербітів, розкритих Тиврівським кар’єром

Table 5. Chemical composition of antiperthyte enderbite, Tyvriv open pit

Sample	Oxides (%)														
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	H ₂ O	LOI	Total
1	72,22	0,06	15,54	0,33	0,98	0,00	0,82	3,16	4,60	1,32	0,08	0,02	0,03	0,31	99,47
2	71,52	0,08	15,96	0,55	0,79	0,02	1,37	3,32	4,23	1,38	0,11	0,01	0,04	0,46	99,84

Примітка: 1 – проба ВП-1; 2 – проба ВП-1п. Аналізи виконані в ІГМР НАН України, аналітик А.В. Ренкас.

Таблиця 6. Результати датування кристалів монациту із антипертитового ендербіту (проба ВП-1) методом SIMS
Table 6. Results of dating of monazite crystals from antiperthite enderbite (sample VP-1) by the LA-ICP-MS method

# Spot	Isotope ratios					Isotope ages, Ma					Concentrations, ppm												
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	ρ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	2σ	disc	Pb	Th	U								
1	6.3380	0.1000	0.3636	0.047	0.78	0.1019	0.0010	0.1262	0.0012	2022	14	1996	22	1960	22	1960	18	2039	16	2.1	2273	154700	821
2	6.2300	0.0960	0.3587	0.0043	0.67	0.1000	0.0010	0.1256	0.0013	2006	13	1974	20	1926	20	1926	18	2031	18	2.8	2388	165800	1549
3	6.0130	0.0980	0.3572	0.0051	0.66	0.1003	0.0014	0.1218	0.0014	1975	14	1966	24	1931	25	1931	25	1979	20	0.7	10	730	1354
4	4.8780	0.0780	0.3257	0.0044	0.67	0.0886	0.0009	0.1086	0.0012	1797	13	1815	22	1715	22	1715	17	1767	20	-2.7	258	20090	2562
5	6.2400	0.1400	0.3579	0.0078	0.84	0.1021	0.0014	0.1261	0.0016	2009	21	1969	37	1965	37	1965	25	2042	22	3.6	2015	132300	921
6	6.3860	0.1100	0.3648	0.0049	0.69	0.1042	0.0010	0.1267	0.0013	2026	15	2002	23	2003	19	2003	19	2046	19	2.2	3910	260700	1145
7	6.4180	0.1200	0.3648	0.0055	0.76	0.1045	0.0011	0.1268	0.0014	2032	16	2002	26	2009	20	2009	20	2049	20	2.3	3668	238700	881
8	5.6140	0.1100	0.3458	0.0072	0.62	0.0969	0.0013	0.1184	0.0019	1914	17	1910	34	1868	24	1868	24	1922	31	0.6	276	19930	1598
9	6.1880	0.1000	0.3627	0.0047	0.65	0.0990	0.0012	0.1231	0.0014	2001	15	1993	22	1909	21	1909	21	1997	20	0.2	59	4050	410
10	5.4140	0.0880	0.3371	0.0052	0.74	0.0963	0.0010	0.1165	0.0013	1884	14	1870	25	1859	18	1859	18	1896	20	1.4	176	12580	2368
11	6.1650	0.0960	0.3757	0.0048	0.60	0.1004	0.0011	0.1194	0.0014	1998	14	2054	23	1936	21	1936	21	1940	20	-5.9	13	899	2418
12	6.4800	0.1800	0.3671	0.0095	0.69	0.1046	0.0017	0.1287	0.0025	2039	24	2013	44	2011	31	2011	31	2072	35	2.8	4757	326400	1030
13	6.5940	0.1000	0.3768	0.0041	0.75	0.1044	0.0009	0.1268	0.0011	2057	14	2060	19	2007	17	2007	17	2050	16	-0.5	4115	272400	759
14	5.9290	0.0950	0.3569	0.0046	0.64	0.0966	0.0015	0.1199	0.0013	1962	14	1967	22	1863	27	1863	27	1950	20	-0.9	21	1530	1290
15	5.1240	0.0880	0.3221	0.0043	0.75	0.0924	0.0011	0.1148	0.0012	1838	14	1798	21	1786	19	1786	19	1873	19	4.0	13	974	1336
16	5.9250	0.1000	0.3731	0.0054	0.67	0.0987	0.0012	0.1150	0.0013	1962	15	2042	25	2042	25	2042	22	1879	20	-8.7	327	23170	3109
17	6.2070	0.1100	0.3741	0.0061	0.61	0.1036	0.0012	0.1205	0.0017	2002	15	2045	29	1992	22	1992	22	1952	25	-4.8	255	17000	2129
18	6.2400	0.0970	0.3705	0.0053	0.58	0.0999	0.0011	0.1223	0.0015	2010	14	2029	25	1924	21	1924	21	1984	22	-2.3	2150	148400	2210
19	6.4860	0.1100	0.3674	0.0049	0.62	0.1041	0.0013	0.1277	0.0015	2041	15	2015	23	2000	23	2000	23	2060	20	2.2	4218	282400	864
20	7.1200	0.1500	0.3825	0.0073	0.63	0.1063	0.0014	0.1340	0.0020	2121	18	2084	34	2041	25	2041	25	2149	26	3.0	4315	282600	941
21	6.3230	0.1200	0.3696	0.0064	0.61	0.0998	0.0013	0.1241	0.0016	2016	16	2023	30	1924	23	1924	23	2016	24	-0.3	1638	114200	1171
22	6.2630	0.1100	0.3862	0.0055	0.62	0.1038	0.0013	0.1175	0.0015	2015	16	2102	26	1996	24	1996	24	1911	22	-10.0	2431	162200	3049
23	6.4790	0.1100	0.3721	0.0053	0.64	0.1062	0.0012	0.1254	0.0016	2039	15	2041	26	2042	21	2042	21	2028	23	-0.6	4067	265100	1153
24	6.1430	0.1100	0.3569	0.0057	0.55	0.1013	0.0012	0.1251	0.0018	1991	16	1967	27	1949	23	1949	23	2018	26	2.5	2424	166200	1248
25	6.1700	0.1300	0.3632	0.0075	0.64	0.1032	0.0015	0.1236	0.0020	1991	19	1994	36	1983	27	1983	27	2001	28	0.3	2354	158600	956
26	6.2000	0.1200	0.3893	0.0068	0.59	0.1037	0.0015	0.1156	0.0018	2000	17	2118	31	1993	27	1993	27	1876	28	-12.9	496	33010	3076
27	6.1700	0.1200	0.3855	0.0068	0.65	0.1031	0.0014	0.1167	0.0017	1999	17	2097	32	1983	25	1983	25	1906	25	-10.0	674	45290	3240
28	5.8800	0.0940	0.3509	0.0041	0.63	0.1082	0.0014	0.1215	0.0012	1955	14	1937	20	2076	25	2076	25	1973	18	1.8	72	4660	721
29	6.1560	0.0970	0.3622	0.0045	0.41	0.1015	0.0011	0.1235	0.0015	1995	14	1990	21	1954	21	1954	21	1997	22	0.4	401	27190	1461
30	5.7770	0.0890	0.3410	0.0041	0.61	0.0971	0.0010	0.1229	0.0013	1940	13	1891	20	1873	18	1873	18	1991	19	5.0	2234	159500	1342
31	6.2150	0.0920	0.3841	0.0041	0.70	0.1033	0.0011	0.1173	0.0011	2004	13	2094	19	1987	20	1987	20	1913	16	-9.5	579	39000	3400
32	6.2760	0.0890	0.3837	0.0038	0.57	0.1021	0.0010	0.1185	0.0012	2014	12	2092	18	1964	19	1964	19	1928	17	-8.5	630	42580	3134
33	6.2720	0.1000	0.3708	0.0054	0.53	0.1024	0.0011	0.1230	0.0016	2011	14	2030	25	1969	20	1969	20	1988	24	-2.1	1612	109400	1581
34	4.8550	0.0820	0.3149	0.0035	0.54	0.0930	0.0019	0.1117	0.0013	1795	14	1763	17	1796	36	1796	36	1817	22	3.0	6	410	195
35	6.3890	0.0960	0.3670	0.0037	0.69	0.1041	0.0009	0.1259	0.0011	2030	13	2014	17	2003	17	2003	17	2037	16	1.1	4285	285900	845

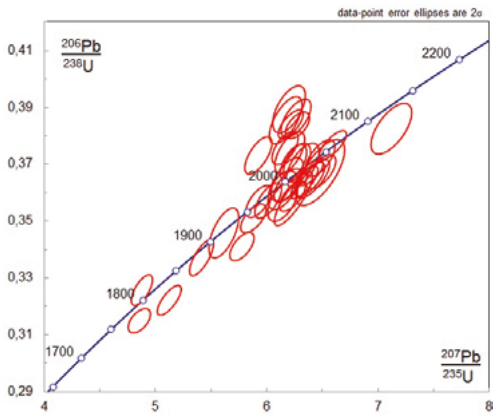


Рис. 6. U-Pb діаграми з конкордією для кристалів монациту із антипертитового ендербіту, проба ВП-1, Тиврівський кар'єр, за даними LA-ICP-MS

Fig. 6. U-Pb isotope plot for monazite from antiperthite enderbite, sample VP-1, Tyvriv open pit, according to LA-ICP-MS data

Мінеральний склад (% об.): плагіоклаз – 70–65, кварц – 28–32, калішпат (лише в антипертитових включеннях) – 5–9, біотит – до 1, гіперстен < 1. Вторинні – карбонат, зелений хлорит. Акцесорні – апатит, циркон, монацит, рудний.

Плагіоклаз (олігоклаз) ізометричний та неправильної форм, розмір кристалів варіює від 0,1 до 4 мм, у середньому 1–2 мм. Зерна з інтенсивно проявленою антипертитовою будовою, інколи з пойкилітовими включеннями кварцу. Вторинні зміни проявляються незначною мірою.

Кварц сплющеної, ізометричної та неправильної форм, розмір кристалів коливається в межах 0,1–5 мм (не враховуючи рекристалізаційну масу), характерне дуже нерівномірне блокове, мозаїчне, хвилясте згасання.

Хлорит світло-зеленого кольору, разом із зеленим біотитом та карбонатом утворює повні псевдоморфози по гіперстену, що мав призматичну та ізометричну форми, зрідка містить його релікти. Також розвивається по плагіоклазу та знаходиться в тонкозернистій рекристалізаційній масі.

Монацит спостерігається в поодиноких дрібних блідо-жовтих прозорих кристалах переважно ізометричної, зрідка пампушкоподібної форм із сильно заокругленими контурами. Через невелику кількість зерен монациту їх вік визначили лише методом LA-ICP-MS. Результати позернового датування наведено в табл. 6 та на рис. 6.

І в даному випадку ми отримали ізотопні дані, які не можна інтерпретувати в рамках моделі Аренса-Везеріла. Майже всі фігуративні точки свинець-уранових ізотопних відношень, за невеликого відхилення, лежать вздовж конкордії

(див. рис. 6); при цьому за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ числові значення віку знаходяться в інтервалі від (2149 ± 26) до (1767 ± 20) млн років. Як і у попередніх пробах, для двох зерен монациту із 35 отримано молоді значення віку: аналіз 4 – (1767 ± 20) млн років (дискордантність – 2,7 %); аналіз 34 – (1817 ± 22) млн років (дискордантність – 3,0 %) (див. табл. 6).

Обговорення

Породні парагенезиси Середнього Побужжя характеризуються тривалою історією геологічного розвитку (Лесная, 1988; Щербак и др., 2005; Claesson et al., 2006). Одним з головних етапів цього розвитку був метаморфізм гранулітової фації, який супроводжувався активним гранітоутворенням і відбувався близько 2,1–2,0 млрд років тому. Гранітоїди цього віку широко розповсюджені на всій території Дністровсько-Бузького району УЩ (Щербаков, 2005; Щербак и др., 2008;).

Оскільки циркон та монацит мають високі температури закриття ізотопних систем, що наближаються до температур кристалізації кислих магматичних розплавів або й навіть їх перевищують, визначений за їхньою допомогою вік має відповідати віку кристалізації гірських порід. Втім, як було показано попередніми дослідниками (Плоткіна, 1994; Степанюк, 2024) і як видно з результатів наших досліджень, деякі з монацитів та цирконів із порід Дністровсько-Бузького району мають вік, значно молодший за вік гранулітового метаморфізму. Подібне явище можна пояснити або тривалим знаходженням гірських порід в умовах гранулітової фації метаморфізму, або ж впливом більш пізньої події, яка спричинила часткову втрату радіогенного свинцю або ж кристалізацію нових кристалів циркону та монациту. Розглянемо обидві можливості.

Окрім сформованих у РТ-умовах гранулітової фації гранітоїдів Дністровсько-Бузького району, циркони віком (1779 ± 10) млн років були виявлені в амфіболітах новокриворізької світи близького віку (1750–1780 млн років) – в породах тетерівської серії (Щербак и др., 2008). Враховуючи знаходження пізньопалеопротерозойських цирконів у геологічних формаціях різних районів УЩ, було запропоновано їх зв'язок з процесами колізії двох сегментів Східноєвропейської платформи – Сарматського та Фенноскандинавського, який відбувався саме в цей час (Elming et al., 2010). Цей час також збігається з формуванням численних дайок основного та

ультраосновного складу, на Верхньому Побужжі представлених так званим Верхньобузьким дайковим полем (Цымбал и др., 2007), вік якого був визначений за баделітом у (1722 ± 12) млн років (Elming et al., 2010), а також Коростенського та Корсунь-Новомиргородського анортозит-рапаківігранітних масивів (Верхогляд, 1995; Щербак и др., 2008; Шестопалова, 2017). У Приазовському районі на цьому етапі укорінилися великі розшаровані інтрузиви, складені піроксенітами, сублужними ферогабро, плагіоклазитами, монцонітами, сієнітами, кварцовими сієнітами та амфібол-біотитовими гранітами та виокремлені у південнокальчицький комплекс (Шеремет и др., 2012). Окрім того, були сформовані штокоподібні масиви рідкісметалевих гранітів кам'яномогильського комплексу (Шеремет и др., 2014) та Октябрський масив, складений сублужними основними та ультраосновними породами (габро, піроксенітами, перидотитами), лужними сієнітами, нефеліновими сієнітами (фойяїтами, маріуполітами) (Кривдик, Ткачук, 1990).

Таким чином, наявні геологічні та геохронологічні дані вказують на те, що близько 1800–1750 млн років тому УЩ зазнавав активних тектонічних і магматичних процесів. Вкорінення в земну кору величезних мас основних і ультраосновних розплавів призводило до її розігріву і часткового плавлення з утворенням гранітоїдних розплавів. Отже, температури розігріву могли сягати в нижній корі 650–700 °С. Цей розігрів міг спричинити або кристалізацію нових генерацій монациту та циркону, або ж часткову або повну втрату вже існуючими кристалами радіогенного свинцю та їх позірне «омолодження».

Втім, звичайний об'ємний (кондуктивний) розігрів (\pm залишкове тепло) кристалічних порід кори мав би рівною мірою впливати на всі кристали циркону та монациту в певному об'ємі породи. Однак ми спостерігаємо, що цей вплив мав якийсь вибірково-характер. Тобто у випадку, коли поява

молодих цирконів та монацитів була зумовлена виключно тривалим часом охолодження, то високі температури впливали б однаковою мірою на всі кристали в породах і на всі породи УЩ. Але у нас, окрім окремих випадків «невдалих» датвань, є велика кількість дат з досить незначними похибками (Степанюк, 2024). Наразі ми схилиємося до думки, що причина в іншому. А саме в ході колізійних процесів, що супроводжувалися розігрівом кори, відбувалося проникнення флюїдів у відносно тонких протяжних лінійних зонах тектонічних порушень (тектонічних деформацій). Саме цим (анізотропією прояву процесу) можна пояснити, чому в одній пробі (5–10 кг) присутні як давні, так і молоді монацити (циркони) та чому в породах з інших ділянок території УЩ молоді кристали цих мінералів відсутні.

Висновки

У межах Дністровсько-Бузького району УЩ набули розвитку породні парагенезиси, в яких високотемпературні мінерали-геохронометри (циркон та монацит) характеризуються широким діапазоном віків. При цьому наймолодші із зафіксованих U-Pb віків становлять 1800–1700 млн років, що на 200–300 млн років пізніше часу прояву гранулітового метаморфізму та вкорінення гранітоїдних масивів. Причинами такого омоложення віку циркону та монациту можуть бути як тривале перебування породних парагенезисів в умовах гранулітової фації метаморфізму, так і повторний розігрів земної кори внаслідок укорінення великого обсягу мантийних розплавів, що супроводжувалися проникненням у зонах тектонічних деформацій флюїдів, що, на наш погляд, є більш вірогідним. Не виключено, що обидва фактори мали сумісний вплив.

Це дослідження було частково профінансовано дослідницьким проектом Інституту геологічних наук Польської академії наук «Petrochron».

Обговорюються результати уран-свинцевого ізотопного датування (метод TIMS і LA ICP MS) монацитів із піроксенвмісних гранітоїдів Дністровсько-Бузького району Українського щита. Отримані аналітичні результати датування мультисервових наважок монациту методом TIMS не відповідають моделі Аренса-Везеріла. У результаті використання позернового датування методом LA ICP MS серед кристалів монациту із тих же порід виявлено як давні (віком понад 2,0 млрд років), так і молоді (1,7–1,8 млрд років) кристали.

Поява молодих кристалів може бути зумовлена не тільки поступовим охолодженням порід, але й, що більш вірогідно, повторним їх розігрівом, спричиненим формуванням магматичної провінції 1,80–1,75 млрд років тому. Наразі провінція репрезентована численними полями дайок, двома габро-анортозит-рапаківігранітними масивами у Волинському й Інгульському районах Українського щита (Коростенський і Корсунь-Новомиргородський, відповідно) та численними інтрузивами ультраосновного складу, сублужними породами та гранітами в Приазовському районі. Тектоно-магматична активізація, окрім повторного розігріву, супроводжувалася проникненням флюїдів у зонах тектонічних деформацій, що і могло спричинити кристалізацію (омолодження) віку кристалів монациту і циркону. Саме цим (анізотропією прояву процесу) можна пояснити, чому в одній пробі вагою 5–10 кг присутні як давні, так і молоді монацити (циркони) і чому в породах з інших ділянок території Українського щита молоді кристали цих мінералів відсутні. Не виключено, що обидва фактори мали сумісний вплив.

Список літератури

- Бартницький Е.Н., Бибилова Е. В., Верхогляд В.М., Легкова Г.В., Скобелев В.М., Терец Г.Я. Международный стандарт циркона для уран-свинцовых изотопных исследований. *Геохимия и рудообразование*. 1995. Вып. 21. С. 164–167.
- Верхогляд В.М. Возрастные этапы магматизма Коростенского плутона. *Геохимия и рудообразование*. 1995. № 21. С. 34–47.
- Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницький Е.Н., Верхогляд В.М., Комаристый А.А., Лесная И.М., Мицкевич Н.Ю., Пономаренко А.Н., Скобелев В.М., Щербак Д.Н. Киев: Наукова думка, 1989. 144 с.
- Гранулитовая фаза Украинского щита. Белевцев Р.Я., Яковлев Б.Г., Щербакова Т.Г. Киев: Наукова думка, 1985. 219 с.
- Касьяненко К.О. Петрологія чарнокітоїдів Літинської структури: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 2016. 22 с.
- Кривдик С.Г., Ткачук В.И. Петрология щелочных пород Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1990. 407 с.
- Кривдик С.Г., Кравченко Г.Л., Томурко Л.Л., Дубина О.В., Загнітко В.М., Рокачук Т.А., Шнюкова К.Е., Мінеєва В.М. Петрологія і геохімія чарнокітоїдів Українського щита. Київ: Наукова думка, 2011. 216 с.
- Курепин В.А. Термодинамические условия образования гранат-кордиерит-биотитовой ассоциации в бердичевских гранитах (Украинский щит). *Минерал. журн.* 1991. Т. 13, № 1. С. 76–87.
- Лесная И.М. Геохронология чарнокитоидов Побужья. Киев: Наукова думка, 1988. 133 с.
- Метаморфизм Украинского щита. Усенко И.С., Щербаков И.Б., Белевцев Р.Я., Сироштан Р.И., Этингоф И.М., Щербакова Т.Г., Половко Н.И., Кравченко Л.Г., Яковлев Б.Г., Орса В.И., Вендиктов В.М., Зюлцле В.В. Киев: Наукова думка, 1982. 308 с.
- Плоткина Т.Э. Геохимия и петрология эндебито-гнейсов и кристаллосланцев Хашевато-Завальевского блока Украинского щита: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.02 / ИГМР АН Украины. Киев, 1994. 24 с.
- Рябенко В.А. Основные черты тектонического строения Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1970. 125 с.
- Степанюк Л.М. Монацитометрія Українського щита (Волинський і Дністровсько-Бузький мегаблоки). Київ: Академперіодика, 2024. 232 с.
- Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита. Щербак Н.П., Есипчук К.Е., Берзенин Б.З., Глевасский Е.Б., Дранник А.С., Пийяр Ю.К., Скаржинская Т.А., Соловицкий В.Н., Этингоф И.М., Клочков В.М., Решетняк В.В. Киев: Наукова думка, 1985. 168 с.
- Шермет Е.М., Мельников В.С., Стрекозов С.Н., Козар Н.А., Возняк Д.К., Кульчицкая А.А., Кривдик С.Г., Бородыня Б.В., Волкова Т.П., Седова Е.В., Омельченко А.А., Николаев И.Ю., Николаев Ю.И., Сетая Л.Д., Агаркова Н.Г., Гречановская Е.Е., Фоций Н.В., Катериненко В.Н. Азовское редкоземельное месторождение Приазовья Украинского щита. Донецк: Ноулидж, 2012. 374 с.
- Шермет Е.М., Кривдик С.Г., Седова Е.В. Редкометалльные граниты Украинского щита (петрология, геохимия, геофизика и рудоносность). Донецк: Ноулидж, 2014. 251 с.
- Шестопалова О.Е. Геохронологія Корсунь-Новомиргородського плутону: автореф. ... канд. геол. наук. Київ, 2017. 21 с.
- Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Киев: Наукова думка, 2005. 244 с.
- Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянський Л.В. Геохронологія раннього докембрія Українського щита. Протерозой. Киев: Наукова думка, 2008. 239 с.
- Щербаков И. Б. Петрология Украинского щита. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 366 с.
- Цымбал С.Н., Кривдик С.Г., Довгань Р.Н., Павлюк В.Н. Субщелочные габбро-диабазы юго-западной части Украинского щита. *Минерал. журн.* 2007. Т. 29, № 1. С. 44–57.
- Broska I., Siman P. The breakdown of monazite in the West-Carpathian Veporic orthogneisses and Tatric granites. *Geologica Carpathica*. 1998. Vol. 49. P. 161–167.
- Budzyń B., Wirth R., Sláma J., Kozub-Budzyń G.A., Rzepa G., Schreiber A. A detailed and comprehensive TEM, EPMA and Raman characterization of high-metamorphic grade monazite and their U-Th-Pb systematics (the Góry Sowie Block, SW Poland). *Chemical Geology*. 2022. Vol. 607. P. 121015.
- Cherniak D.J., Watson E.B., Grove M., Harrison T.M. Pb diffusion in monazite: a combined RBS/SIMS study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004. Vol. 68 (4). P. 829–840.
- Claesson S., Bibikova E., Bogdanova S., Skobelev V. Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking and accretion in the Ukrainian Shield, East European Craton. *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, Memoirs. 2006. Vol. 32. P. 645–654. 0435-4052/06/\$15.00
- Clark C., Kirkland C.L., Spaggiari C.V., Oorschot C., Wingate M.T.D., Taylor R.J. Proterozoic granulite formation driven by mafic magmatism: An example from the Fraser Range Metamorphics, Western Australia. *Precambrian Research*. 2014. Vol. 240. P. 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.07.024>
- Elming S.Å., Shumlyansky L., Kravchenko S., Layer P., Söderlund U. Proterozoic Basic dykes in the Ukrainian Shield: a palaeomagnetic, geochronologic and geochemical study – the accretion of the Ukrainian Shield to Fennoscandia. *Precamb. Res.* 2010. Vol. 178. P. 119–135. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.02.001>
- Grand'Homme A., Janots E., Seydoux-Guillaume A.M., Guillaume D., Bosse V., Magnin V. Partial resetting of the U-Th-Pb systems in experimentally altered monazite: Nanoscale evidence of incomplete replacement. *Geology*. 2016. Vol. 44. P. 431–434
- Harley S.L., Nandakumar V. Accessory mineral behaviour in granulite migmatites: a case study from the Kerala Khondalite Belt, India. *Journal of Petrology*. 2014. Vol. 55 (10). P. 1965–2002.
- Krough T.E. A law contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1973. Vol. 37, No. 3. P. 485–494.
- Ludwig K.R. Pb Dating for MS-DOS, version 1.06. U.S. Geol. Survey Open-File Rept. 1989. No. 88–542. P. 40.
- Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0. U.S. Geol. Survey Open-File Rept. 1990. No. 88–557. P. 38.
- Seydoux-Guillaume A.M., Montel J.M., Bingen B., Bosse V., De Parseval P., Paquette J., Janots E., Wirth R. Low-temperature alteration of monazite: Fluid-mediated coupled dissolution-precipitation, irradiation damage, and disturbance of the U-Pb and Th-Pb chronometers. *Chemical Geology*. 2012. Vol. 330–331. P. 140–158.
- Spear F.S., Pyle J.M. Apatite, monazite, and xenotime in metamorphic rocks. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2002. Vol. 48 (1). P. 293–335.
- Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J. Microprobe monazite geochronology: understanding geologic processes by integrating composition and chronology. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2007. Vol. 35. P. 137–175.
- Taylor R.J.M., Kirkland C.L., Clark C. Accessories after the facts: Constraining the timing, duration and conditions of high-temperature metamorphic processes. *Lithos*. 2016. Vol. 264. P. 239–257. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.09.004>

References

- Bartnytskyi E.N., Bibikova E.V., Verkhoglyad V.M., Legkova G.V., Skobelev V.M., Terets G.Ya. 1995. An international zircon standard for uranium-lead isotope studies. *Geochemistry and ore formation*, 21: 164–167 (in Russian).
- Broska I., Siman P. 1998. The breakdown of monazite in the West-Carpathian Veporic orthogneisses and Tatric granites. *Geologica Carpathica*, 49: 161–167.

- Budzyń B., Wirth R., Sláma J., Kozub-Budzyń G.A., Rzepa G., Schreiber A. 2022. A detailed and comprehensive TEM, EPMA and Raman characterization of high-metamorphic grade monazite and their U-Th-Pb systematics (the Góry Sowie Block, SW Poland). *Chemical Geology*, 607: 121015.
- Cherniak D.J., Watson E.B., Grove M., Harrison T.M. 2004. Pb diffusion in monazite: a combined RBS/SIMS study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68: 829–840.
- Claesson S., Bibikova E., Bogdanova S., Skobelev V. 2006. Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking and accretion in the Ukrainian Shield, East European Craton. *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, Memoirs, 32: 645–654. 0435-4052/06/\$15.00
- Clark C., Kirkland C.L., Spaggiari C.V., Oorschot C., Wingate M.T.D., Taylor R.J. 2014. Proterozoic granulite formation driven by mafic magmatism: An example from the Fraser Range metamorphics, Western Australia. *Precambrian Research*, 240: 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.07.024>
- Elming S.-Å., Shumlyansky L., Kravchenko S., Layer P., Söderlund U. 2010. Proterozoic Basic dykes in the Ukrainian Shield: a palaeomagnetic, geochronologic and geochemical study – the accretion of the Ukrainian Shield to Fennoscandia. *Precambrian Research*, 178: 119–135. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2010.02.001>
- Geochronological scale of the Precambrian of the Ukrainian shield. Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Bartnytskyi E.N., Verkhoglyad V.M., Komaristy A.A., Lesnaya I.M., Mytskevich N.Yu., Ponomarenko A.N., Skobelev V.M., Shcherbak D.N. 1989. Kyiv: Naukova Dumka. 144 p. (in Russian).
- Granulite facies of the Ukrainian Shield. R.Ya. Belevtsev, B.G. Yakovlev T.G. Shcherbakova. 1985. Kyiv: Naukova Dumka. 219 p. (in Russian).
- Grand'Homme A., Janots E., Seydoux-Guillaume A.M., Guillaume D., Bosse V., Magnin V. 2016. Partial resetting of the U-Th-Pb systems in experimentally altered monazite: Nanoscale evidence of incomplete replacement. *Geology*, 44: 431–434.
- Harley S.L., Nandakumar V. 2014. Accessory mineral behaviour in granulite migmatites: a case study from the Kerala Khondalite Belt, India. *Journal of Petrology*, 55: 1965–2002.
- Kasianenko K.O. 2016. Petrology of charnockitoids of the Lityn structure. PhD thesis (abstract). Kyiv. 22 p. (in Ukrainian).
- Kryvdik S.G., Tkachuk V.I. 1990. Petrology of alkaline rocks of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka. 408 p. (in Russian).
- Kryvdik S.G., Kravchenko G.L., Tomurko L.L., Dubyna O.V., Zagnitko V.M., Rokachuk T.A., Shnyukova K.E., Mineeva V.M. 2011. Petrology and geochemistry of charnockitoids of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka. 216 p. (in Ukrainian).
- Krough T.E. 1973. A low contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 37: 485–494.
- Kurepin V.A. 1991. Thermodynamic conditions of formation of garnet-cordierite-biotite association in Berdichev granites (Ukrainian Shield). *Mineral. journal*, 13 (1): 76–87 (in Russian).
- Lesnaya I.M. 1988. Geochronology of charnockites of the Bouh area. Kyiv: Naukova Dumka. 136 p. (in Russian).
- Ludwig K.R. 1989. Pb Dating for MS-DOS, version 1.06. U.S. *Geol. Survey Open-File Rept.*, 88–542: 40.
- Ludwig K.R. 1990. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0. U.S. *Geol. Survey Open-File Rept.*, 88–557: 38.
- Metamorphism of the Ukrainian Shield. Usenko I.S., Shcherbakov I.B., Belevtsev R.Ya., Syroshtan R.Y., Etingof I.M., Shcherbakova T.G., Polovko N.Y., Kravchenko L.G., Yakovlev B.G., Orsa V.Y., Venidiktov V.M., Zyultsle V.V. 1982. Kyiv: Naukova Dumka. 308 p. (in Russian).
- Plotkina T.E. 1994. Geochemistry and petrology of enderbito-gneisses and crystalline slates of the Khashchevato-Zavalyevsky block of the Ukrainian Shield. Autoref. dis. ... Candidate Geological-Mineralogical Sciences: 04.00.02 / IGMR Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. 24 p. (in Russian).
- Ryabenko V.A. 1970. The main features of the tectonic structure of the Ukrainian Shield. Kyiv: Naukova Dumka. 125 p. (in Russian).
- Seydoux-Guillaume A.M., Montel J.M., Bingen B., Bosse V., De Parseval P., Paquette J., Janots E., Wirth R. 2012. Low-temperature alteration of monazite: Fluid-mediated coupled dissolution-precipitation, irradiation damage, and disturbance of the U-Pb and Th-Pb chronometers. *Chemical Geology*, 330–331: 140–158.
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko O.M. 2005. Geochronology of the Early Precambrian. Archaean. Kyiv: Naukova Dumka. 244 p. (in Russian).
- Shcherbak N.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko O.M., Shumlyansky L.V. 2008. Geochronology of the Early Precambrian. Proterozoic. Kyiv: Naukova Dumka. 240 p. (in Russian).
- Shcherbakov I.B. 2005. Petrology of the Ukrainian Shield. Lviv: ZUKTs. 366 p. (In Russian).
- Sheremet Y.M., Melnikov V.S., Strekozov S.N., Kozar N.A., Voznyak D.K., Kulchitskaya A.A., Krivdik S.G., Borodynya B.V., Volkova T.P., Sedova E.V., Omelchenko A.A., Nikolayev I.Y., Setaya L.D., Agarkova N.G., Grechanovskaya Y.Y., Foschiy N.V., Ekaterinenko V.N. 2012. The Azov rare-earth deposit in the Azov region of the Ukrainian Shield. Donetsk: Knowledge. 374 p. (in Russian).
- Sheremet Ye.M., Kryvdik S.G., Sedova E.V. 2014. Rare metal granites of the Ukrainian Shield (petrology, geochemistry, geophysics and ore potential). Donetsk: Knowledge. 251 p. (in Russian).
- Shestopalova O.E. 2017. Geochronology of the Korsun-Novomyrhorod Pluton. Abstract for the degree of Candidate of Geological Sciences. Kyiv. 21 p. (in Ukrainian).
- Spear F.S., Pyle J.M. 2002. Apatite, monazite, and xenotime in metamorphic rocks. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 48 (1): 293–335.
- Stepanyuk L.M. 2024. Monazitometry of the Ukrainian Shield (Volyn and Dniester-Bouh domains). Kyiv: Akademiya. 232 p. (in Ukrainian).
- Stratigraphic sections of the Precambrian of the Ukrainian Shield. Shcherbak N.P., Eypchuk K.E., Berzenin B.Z., Hlevassky E.B., Drannyk A.S., Piyar Y.K., Skarzhinskaya T.A., Solovitsky V.N., Etingoff I.M., Klochkov V.M., Reshetnyak V.V. 1985. Kyiv: Naukova Dumka. 168 p. (in Russian).
- Verhoglyad V.M. 1995. Age stages of magmatism of the Korosten pluton. *Geochemistry and ore formation*, 21: 34–47 (in Russian).
- Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J. 2007. Microprobe monazite geochronology: understanding geologic processes by integrating composition and chronology. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35: 137–175.
- Taylor R.J.M., Kirkland C.L., Clark C. 2016. Accessories after the facts: Constraining the timing, duration and conditions of high-temperature metamorphic processes. *Lithos*, 264: 239–257. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.09.004>
- Tsybaly S.N., Kryvydyk S.G., Dovgan R.N., Pavlyuk V.N. 2007. Subalkaline gabbro-diorite of the southwestern part of the Ukrainian Shield. *Mineral. Journal*, 29 (1): 44–57 (in Russian).