

<https://doi.org/10.15407/gpimo2023.01.079>

О.Б. Висоцький, канд. геол. наук, наук. співроб.

e-mail: alek.vysotsky@gmail.com

ORCID 0000-0002-3542-4685

Л.М. Степанюк, д-р геол. наук, чл.-кор. НАН України, проф., заст. дир.

e-mail: stepaniuk@nas.gov.ua

ORCID 0000-0001-5591-5169

Т.І. Довбуш, наук. співроб.

e-mail: tetyana.dovbush1@gmail.com

ORCID 0000-0002-3512-3313

О.В. Зюльцле, канд. геол. наук, наук. співроб.

E-mail: olegzjults@gmail.com

ORCID 0000-0002-6204-2009

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

УРАН-СВИНЦЕВИЙ ВІК ТИТАНІТУ ІЗ ДІОРИТУ ОСНИЦЬКОГО БЛОКУ (ВОЛИНСЬКИЙ МЕГАБЛОК УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)

Осницький блок є складовою частиною Осницько-Мікашевицького вулканоплутонічного поясу. У геологічній будові Осницького блоку провідне місце займає асоціація порід, яка включає ряд плутонічних утворень від габро до лейкократових гранітів (габро-діорит-гранодіорит-гранітна асоціація), сформована в палеопротерозої — 1,98—1,95 млрд рр. тому.

Наведено результати свинець-свинцевого ізотопного датування титанітів із діоритів, розкритих кар'єром РПЗ-5, що на північно-західній околиці смт Томашгород. Укорінилися діорити у другу фазу після габроїдів, до початку формування гранітоїдів. За результатами U-Pb ізотопного датування титанітів отримано вік $1975 \pm 9,1$ млн рр. Вік, розрахований з урахуванням раніше опублікованих даних, становить $1973 \pm 8,3$ млн рр., що добре співпадає з уран-свинцевим ізотопним віком цирконів $1974 \pm 1,2$ млн рр. із цих діоритів. З'ясовано, що для визначення ізотопного віку титанітів із високим вмістом звичайного свинцю достатньо використати лише ізотопний склад свинцю, розрахувавши вік у координатах графіка $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ за тангенсом кута нахилу лінії регресії.

Ключові слова: уран-свинцевий ізотопний вік, діорит, титаніт, Осницький блок.

Вступ

Осницький блок розташований у крайній північно-західній частині Волинського мегаблоку Українського щита і є складовою частиною Осницько-Мікашевицького вулканоплутонічного поясу, представленого різними за складом ранньопротерозойськими магматичними породами.

Цитування: Висоцький О.Б., Степанюк Л.М., Довбуш Т.І., Зюльцле О.В. Уран-свинцевий вік титаніту із діориту Осницького блоку (Волинський мегаблок Українського щита). *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2023. **19**, № 1: 79—84. <https://doi.org/10.15407/gpimo2023.01.079>

Зважаючи на досить вузький віковий інтервал формування плутонітів цієї асоціації та, в багатьох випадках, неможливість з'ясування відносного віку магматитів геологічними методами через відсутність видимих контактів між конкретними типами порід¹, важливим є прецизійне визначення ізотопного віку.

Раніше нами вже було виконано уран-свинцеве ізотопне датування магматитів цього району за цирконом та титанітом [3].

Циркон в акцесорних кількостях присутній практично в усіх опробуваних нами кристалічних породах Осницького блоку та, не зважаючи на його повсюдне поширення, через складну будову деяких його кристалів (наявність реліктових ядер) у деяких тілах діоритів, цифрові значення ізотопного віку могли бути завищеними. Тому для визначення віку порід використали титаніт, але у деяких випадках (зокрема, для діориту, розкритого кар'єром РПЗ-5 у смт Томашгород, проба ОС-6-В) отримати прецизійні ізотопні дати виявилось неможливим через великі похибки.

Мета роботи

Уточнити вік діориту Осницького блоку за результатами ізотопного датування титаніту та, враховуючи прецизійне визначення віку діориту за цирконом ($1974 \pm 1,2$ млн рр. [3]), з'ясувати можливість спрощеного датування часу протікання процесів інтрузивного магматизму за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$.

Об'єкти та методи дослідження

З метою визначення часу протікання процесів інтрузивного магматизму класичним уран-свинцевим ізотопним методом датували мультизернові наважки титаніту із діориту (проба ОС-6-В), розкритого верхнім уступом кар'єру РПЗ-5, який розташований на північно-західній околиці смт Томашгород.

Для визначення часу формування діориту із різних розмірних фракцій вручну під бінокляром були відібрані зерна (переважно уламки зерен) титаніту. Методика хімічної підготовки, за якою готувалися зразки для мас-спектрометричного аналізу, описана в роботі [2]. Крім раніше виконаних уран-свинцевих ізотопних аналізів чотирьох мультизернових наважок титанітів [3], ще в 10 наважках цього мінералу визначили лише ізотопний склад свинцю.

Ізотопні дослідження свинцю були виконані на 8-колекторному масспектрометрі MI-1201 AT в мультиколекторному статичному режимі; математична обробка експериментальних даних виконувалась програмами ISOPLOT [7, 8] та *Microsoft Excel*. Похибки визначення віку наведені при 2σ . Для перевірки метрологічних характеристик методу використали стандарт циркону ІГМР-1 [1].

Результати та їх обговорення

Для діориту (проба ОС-6-В) з верхнього уступу в кар'єрі РПЗ-5, розташованого на північно-західній околиці смт Томашгород, характерне сіре, темно-сіре заба-

¹ В цілому за геологічними даними спостерігається гомодромний ряд: габро-діорити-гранодіорити-граніти.

рвлення і переважно середньозернистий нерівномірний склад. Структура породи гіпідіоморфнозерниста.

Мінеральний склад діоритів (об'ємні %): плагіоклаз — 60, рогова обманка і біотит — 20—25, епідот — до 8, інколи присутня незначна кількість мікрокліну та кварцу. Хімічний склад (ваг. %): SiO_2 — 62,22; TiO_2 — 0,64; Al_2O_3 — 16,37; Fe_2O_3 — 1,96; FeO — 3,71; MnO — 0,094; MgO — 1,94; CaO — 4,55; Na_2O — 3,8; P_2O_5 — 0,3; K_2O — 3,11; H_2O — 0,26; в. п. п. — 0,98; сума — 99,79.

Плагіоклаз утворює короткопризматичні або таблитчасті зерна з чіткими контурами і двійниками по альбітовому закону. Склад плагіоклазу — андезин № 34—38. Рідко зустрічаються зерна з більш основною центральною частиною (№ 37—42), часто неправильної форми.

Амфібол у вигляді призматичних або нечіткотаблитчастих зерен трав'янисто-зеленого кольору з простими двійниками. За оптичними константами відповідає звичайній роговій обманці (з $N_g = 20$ — 21° , $2V = -63$ — -65°). Заміщується біотитом. Багато зерен містять дрібні включення магнетиту.

Кварц утворює ксеноморфні зерна, та приурочений до міжзернового простору. Конттури зерен звивисті. Часто вміщує тонкі пилуваті частинки. Більшості зерен кварцу властиве хвилясте погасання.

Біотит — пластинчастий, листуватий, плеохроює від зеленувато-жовтого по N_p до темно-зеленого по N_g . Разом з амфіболом утворює ксеноморфні скупчення, до яких у вигляді включень приурочені зерна магнетиту, апатиту, титаніту, циркону.

Епідот утворює скупчення дрібних призматичних зерен, що асоціюють з темнокольоровими мінералами.

Циркон представлений видовжено-призматичними кристалами. Переважають тетрагональні кристали з гладкими, блискучими гранями призми. Мають скляний блиск. Головки кристалів, як правило, зламані, але інколи зберігаються, їм притаманні грані гострих пірамід. Розмір кристалів по $L_4 = 0,3$ — $0,8$ мм, Квид. від 3 до 7,5 мм. Циркон прозорий, безбарвний до слабо рожевого. Також присутній (в кількості до 1—2 %) дрібний ізометричний циркон, який має нечітко проявлені ядра.

Титаніт утворює ксеноморфні зерна бурувато-червоного кольору. Під бінокляром зерна (переважно уламки) досить крупні ($> 0,1$ мм), мають неправильну форму і темно-коричневе забарвлення, інколи відмічаються сильно сплюснені еліпсоподібні.

Для визначення віку за титанітом, були використані мультизернові наважки розмірних фракцій темно-коричневих кристалів та їх уламків. Розмірні фракції титаніту отримали скочуванням по нахиленій площині [2].

Вік за верхнім перетином конкордії дискордією, розрахованою за даними, наведеним в табл. 1, складає 1984 ± 85 млн рр. та за нижнім — 82 ± 188 млн рр., СКЗВ = 4,2 (рис. 1). Середнє зважене значення віку, за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ — 1985 ± 15 млн рр., СКЗВ = 4,8, що в межах похибки співпадають зі значеннями віку, отриманими для цирконів, та віком габро за цирконом та титанітом [3].

Враховуючи досить великий вміст звичайного свинцю (відношення $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ варіює в межах 159,6—304,8), вік також розраховали з використанням моделей, які не вимагають уведення поправки на звичайний сви-

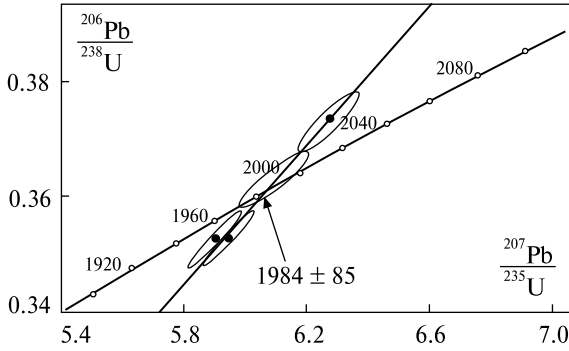


Рис. 1. Уран-свинцева діаграма з конкордією для титанітів із діориту (проба ОС-6-В)

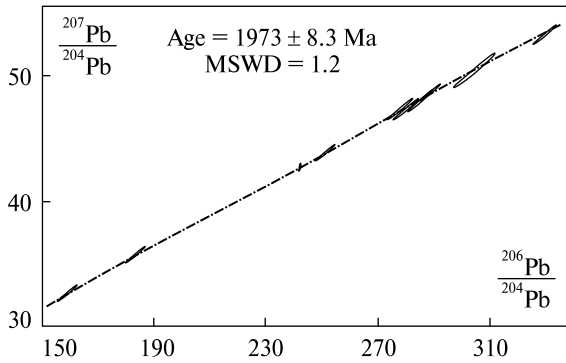


Рис. 2. Графік в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ для мультизернових наважок титаніту з діориту, проба ОС-6-В

З метою уточнення віку титаніту додатково визначили ізоотопний склад свинцю ще в 10 мультизернових наважках титаніту. Зведені результати наведені в табл. 2 (аналізи 2839, 2859—2866, 2868). За усіма отриманими даними (табл. 2) в *Microsoft Excel* розрахували лінію регресії, яка на графіку в координатах

нець — графік в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ та метод нормалізованих (узгоджених) різниць [4].

Лінія регресії, що апроксимує розміщення фігуративних точок на графіку в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, описується рівнянням $y = 0,1216x + 13,345$, коефіцієнт кореляції $R^2 = 1$. Нахил ізохрони відповідає віку 1980 млн рр. Вік, розрахований в програмі *Izoplot* [7, 8] з урахуванням похибок вимірювання ізоотопних відношень за нахилом лінії регресії, складає 1961 ± 21 млн рр.

Вік, розрахований у програмі *Excel* за верхнім перетином конкордії лінією регресії ($y = 0,0595x - 2\text{E}-06$, $R^2 = 0,9996$) в координатах графіка $\Delta(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})/\Delta(^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb})$ — $\Delta(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})/\Delta(^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb})$, складає 1985 млн рр.

Отже розходження у розрахованих різними методами значеннями віку складає більше 20 млн рр. (1984 ± 85 ; 1980; 1961 ± 21 та 1985) млн рр.

Таблиця 1. Вміст урану, свинцю та ізоотопний склад свинцю в титанітах із діориту, проба ОС-6-В [3]

Фракція титаніту	Вміст (ppm)		Ізоотопні відношення					Вік, млн р.		
	U	Pb	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
1/2618	40,381	39,827	304,8	6,0467	0,54891	0,36273	6,0923	1995	1989	1983,0
2/2619	44,345	44,155	192,4	5,2466	0,54963	0,35202	5,8971	1944	1961	1978,3
3/2620	38,006	38,622	281,7	5,9179	0,55200	0,37302	6,2660	2044	2014	1983,2
4/2621	43,336	45,043	159,6	4,8664	0,53459	0,35299	5,9494	1949	1968	1989,2

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 1980 млн рр. Розмірні фракції крупних (>0,1 мм) темно-коричневих (переважно уламків) сильно сплюснених еліпсоподібних зерен.

Таблиця 2. Ізотопний склад свинцю в титанітах із діориту, проба ОС-6-В

Фракція титаніту	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	σ	Rho	Вік
1/2618	304,8	2,0	50,408	2,2	0,99	Model 1 Solution ($\pm 95\%$ -conf.) on 4 points Age = 1961 \pm 21 Ma MSWD = 2,4
2/2619	192,4	0,5	36,671	0,5	0,99	
3/2620	281,7	1,4	47,601	1,5	0,99	
4/2621	159,6	0,3	32,796	0,3	0,99	
5/2839	160,0	1,1	32,802	1,2	0,99	Model 1 Solution ($\pm 95\%$ -conf.) on 14 points Age = 1973 \pm 8,3 Ma MSWD = 1,2
6/2859	286,7	1,5	48,257	1,7	0,99	
7/2860	330,4	1,2	53,458	1,3	0,99	
8/2861	242,1	0,04	42,801	0,5	0,99	
9/2862	266,0	1,4	45,635	1,5	0,99	
10/2863	278,8	1,0	47,045	1,1	0,99	
11/2864	251,6	0,9	43,964	1,0	0,99	
12/2865	132,1	0,3	29,413	0,3	0,99	
13/2866	182,3	0,6	35,424	0,7	0,99	
14/2868	278,2	1,2	47,272	1,3	0,99	

$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, описується рівнянням $y = 0,1215x + 13,35$, коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,9999$. Нахил ізохрони відповідає віку 1978 млн рр.

Вік, розрахований в програмі Izoplot [9] з урахуванням похибок вимірювання ізотопних відношень (в останніх 10 мультизернових наважках) за нахилом лінії регресії, складає $1975 \pm 9,1$ млн рр. Вік, розрахований за всіма наведеними в табл. 2 даними, є $1973 \pm 8,3$ млн рр. (рис. 2), що в є в межах похибки.

Отже, добра узгодженість цифрових значень ізотопного віку, отриманими для циркону ($1974 \pm 1,2$ млн рр. [3]) і титаніту — $1973 \pm 8,3$ млн років, дозволяє в подальшому визначати вік титанітвмісних магматичних порід за результатами визначення лише ізотопного складу свинцю та припустити, зважаючи на відносно низьку температуру закриття уран-свинцевої ізотопної системи титанітів (нижче $650\text{—}700$ °C [5, 6]) порівняно з цирконами, що діорити Осницького блоку були достатньо швидко охолоджені до температури закриття U—Pb ізотопної системи титанітів.

Висновки

1. Для діориту осницького комплексу було отримано вік $1973 \pm 8,3$ млн рр., обчислений з урахуванням раніше опублікованих даних, що добре співпадає з уран-свинцевим ізотопним віком $1974 \pm 1,2$ млн рр. цирконів цих діоритів.

2. Для визначення ізотопного віку титанітів з високим вмістом звичайного свинцю достатньо використати лише ізотопний склад свинцю, розрахувавши вік у координатах графіка $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, за тангенсом кута нахилу лінії регресії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартницький Е.Н., Бибикова Е. В., Верхогляд В.М., Легкова Г.В., Скобелев В.М., Терец Г.Я. Международный стандарт циркона для уран-свинцевых изотопных исследований. *Геология и рудообразование*, 1995. **21**. С. 164 — 167.

2. Методичні рекомендації з уран-свинцевого, рубідій-стронцієвого та самарій-неодимового ізотопного датування геологічних об'єктів при ГРП / Т.І. Довбуш, В.М. Скобелев, Л.М. Степанюк / Київ: УкрДГРІ, 2008. 77 с.
3. Степанюк Л.М., Висоцький О.Б., Довбуш Т.І., Білан О.В., Коваленко Н.О. Геохронологія за цирконом і титанітом магматичних порід Осницького блоку (Український щит). *Мінерал. журн.*, 2020. **42**, № 1. С. 66 — 75. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.01.066>
4. Шуколюков Ю.А., Горохов И.М., Левченко О.А. Графические методы изотопной геологии. Москва: Недра, 1974. 207 с.
5. Cherniak D. J. Lead diffusion in titanite and preliminary results on the effects of radiation damage on Pb transport. *Chemical Geology*. 1993. V. 110. P. 177 — 194.
6. Frost B. R., Chamberlain K. R., Schumacher J. C. Sphene (titanite): phase relations and role as a geochronometer. *Chemical Geology*, 2000. V. 172. P. 131 — 148
7. Ludwig K.R. Pb Dating for MS-DOS, version 1.06. *U.S. Geol. Survey Open-File Rept.* 1989. № 88 — 542. P.40.
8. Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0. *U.S. Geol. Survey Open-File Rept.* 1990. № 88 — 557. P.38.
9. Ludwig K.R. ISOPLOT for Windows, version 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, 2003. No. 4. P. 70.

Стаття надійшла 16.02.2023

O.B. Vysotsky, PhD (Geol.), Research Fellow
e-mail: alek.vysotsky@gmail.com

ORCID 0000-0002-3542-4685

L.M. Stepanyuk, NAS Corresp. Member, Dr. Sci. (Geol.), Prof., Deputy Director
e-mail: stepaniuk@nas.gov.ua

ORCID 0000-0001-5591-5169

T.I. Dovbush, Research Fellow
e-mail: tetyana.dovbush1@gmail.com

ORCID 0000-0002-3512-3313

O.V. Ziultsle, PhD (Geol.), Research Fellow
e-mail: olegzjults@gmail.com

ORCID 000-0002-6204-2009

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy
and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

U-Pb AGE OF TITANITE FROM DIORIT OF OSNYTSKY BLOCK (VOLYN MEGABLOCK OF UKRAINIAN SHIELD)

The Osnytsky block is a constituent part of the Osnytsky-Mikashevsky volcano-plutonic belt. The leading place in the geological structure of the Osnytsky block is occupied by the rock association, which includes a number of plutonic formations from gabbro to leucocratic granites (gabbro-diorite-granodiorite-granite association), formed in the Paleoproterozoic — 1,98—1,95 Ga.

The results of lead-lead isotope dating of titanites from diorites, opened by the RPZ-5 quarry, located in the northwestern vicinity of the village Tomashhorod. Diorites were formed in the second phase, after gabroids, before the beginning of the formation of granitoids. The age of $1975 \pm 9,1$ Ma was obtained for them. The age calculated based on previously published data is $1973 \pm 8,3$ Ma, which is in good agreement with the U-Pb isotopic age of the zircons of these diorites $1974 \pm 1,2$ Ma. It was found that to determine the isotopic age of titanites with a high content of ordinary lead, it is enough to use only the isotopic composition of lead, calculating the age in the coordinates of the graph $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, by the tangent of the angle of inclination of the regression line.

Keywords: U-Pb isotopic age, diorite, titanite, Osnytsky block.