

УДК 550.93(477)

УРАН-СВИНЦЕВИЙ ІЗОТОПНИЙ ВІК МОНАЦИТУ З ГРАНІТОЇДІВ ДНІСТЕРСЬКО-БУЗЬКОГО МЕГАБЛОКА

О. Пономаренко, Л. Степанюк, К. Петриченко, І. Лісна, Т. Довбуш

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України
03142 м. Київ, просп. акад. Палладіна, 34
E-mail: pan@igmof.gov.ua*

Наведено ізотопний вік монациту з бердичівських гранітів, порід березнинської товщі й ендербітів гайворонського комплексу Дністерсько-Бузького мегаблока. З'ясовано, що ізотопний вік монациту в породах цього мегаблока зумовлений тектономагматичними подіями, що відбулися $2,0 \pm 0,1$ млрд років тому, які спричинили найбільший сплеск гранітоутворення на всіх мегаблоках Українського щита, окрім Середньопридніпровського.

Ключові слова: монацит, бердичівський граніт, кристалічний сланець, ендербіт, ізотопний вік, Дністерсько-Бузький мегаблок.

Монацит має важливе значення для геохронології. Це рідкісноземельний мінерал, який трапляється переважно в низькокальцієвих породах, у породах з підвищеною глиноземистістю, яка сприяє концентрації рідкісноземельних елементів (РЗЕ) [6]. У породах з підвищеним вмістом СаО замість монациту кристалізуються, зазвичай, титаніт і ортит, які захоплюють легкі лантаніди з розплаву. Монацит як акцесорний мінерал завжди наявний у калій-натрових гранітоїдах, у метаморфічних породах метапелітового складу. У гнейсах, кристалосланцях і гранітоїдах метабазитового складу монацит може формуватися завдяки накладеним метасоматичним процесам, а саме – калієвому метасоматозу.

У монациті переважають головно легкі РЗЕ – від La до Eu. Вміст важких лантанідів не перевищує звичайно 0,02 частки катіонної групи. В монациті Українського щита максимальна атомна кількість ітрію в катіонній групі ледве досягає 0,05 [1]. У разі гетеровалентного ізоморфізму в мінералі може відбуватися заміщення атомів рідкісноземельної групи кальцієм і торієм, а в аніонній частині фосфору – силіцієм. Унаслідок цього утворюється ізоморфний ряд монацит-TR(PO₄) – хетоніт ThSiO₄ – чераліт Ca,Th(PO₄).

Монацит важливіший, ніж інші радіоактивні мінерали, для визначення віку класичним уран-свинцевим ізотопним методом, оскільки в нього однорідна будова й низька концентрація нерадіогенного свинцю. Крім того, монацит має підвищену радіоактивність завдяки високому вмісту торію, що робить його найсприятливішим мінералом для геохронології, оскільки породи з монацитом легко виявляти в польових умовах за допомогою радіометра. Тому в 70–80-ті роки ХХ ст., на зорі геохронологічних досліджень, використовували переважно монацит.

Надалі великої популярності набув циркон завдяки великій стійкості до хімічного й механічного впливу та наявності акцесорного циркону практично в усіх типах порід. Цирконометрія – уран-свинцеве дослідження циркону – посідає важливе місце в геохро-

нологічних дослідженнях. Циркон, зазвичай, гетерогенний, часто містить ядро, яке може зберігати геохронологічну інформацію про вік протоліту, а зовнішня оболонка – про вік накладених процесів. Визначивши ізотопний вік ядра й оболонки, можна простежити вікову еволюцію циркону, а відповідно, і породи. Проте зворотним боком гетерогенності часто є неможливість визначити природу ядер: є вони рідними цій породі або це ксеногенні включення. У разі визначення ізотопного віку гетерогенного циркону класичним U-Pb методом, зазвичай, одержуємо проміжні цифри віку, не відповідні віку породи, на відміну від монациту, ізотопний вік якого фіксує або становлення, або перетворення породи, зумовлене останньою тектономагматичною (метаморфічною) подією. Для порід Дністерсько-Бузького мегаблока така подія відбулася $2,0 \pm 0,1$ млрд років тому.

Монацит у породах Дністерсько-Бузького мегаблока. У Дністерсько-Бузькому мегаблочі вивчено монацит з бердичівських гранітів, гіперстенових кристалосланців березнинської товщі, відібраних у кар'єрі с. Жежелів, і монацит з ендербітів кар'єру в м. Гайворон; визначено їхній ізотопний вік. У Жежелівському кар'єрі переважають бердичівські граніти і гранат-біотитові мігматити. Метаморфічні породи представлені гранат-біотитовими гнейсами, які трапляються у вигляді неправильних ксенолітоподібних тіл серед гранітоїдів і мігматитів, і гіперстеновими кристалосланцями – високомагнезійними породами ($f = 35\%$) з основним плагіоклазом (лабрадор-бітовнітом) і високим вмістом Ni та Cr [3].

Щодо віку метаморфічних порід березнинської товщі дністерсько-бузької серії є різні уявлення. У хроностратиграфічній схемі Українського щита їх зачислено до архею; на думку авторів [4], вони є найдавнішими в Дністерсько-Бузькому мегаблочі. Проте архейських цифр для порід товщі поки не отримано. Результати Sm-Nd методу березнинської товщі дають протерозойський вік (2 470–2 200 млн років) [7]. Ізохронний Rb-Sr вік цих порід дорівнює 2 300 млн років. Раніше отримані [8] цифри віку для циркону й монациту з гранат-біотитових гнейсів і бердичівських гранітів становлять 2 400–2 000 млн років.

Акцесорний монацит *бердичівських гранітів* кристалізується одночасно з утворенням гранітоїдів. У ході перетворень від гранат-біотитового гнейсу до граніту валовий вміст РЗЕ є практично близьким, відбувається лише перерозподіл рідкісних земель між мінералами бердичівських гранітів і гранат-біотитових гнейсів. У монациті гранітів, як і гранат-біотитових гнейсів, переважає неодим над лантаном, а це є одним із доказів, що субстратом бердичівських гранітів були гранат-біотитові гнейси [8]. Хімічний аналіз монациту з бердичівських гранітів, %: SiO₂ – 1,92, TiO₂ – 0,07, Al₂O₃ – 0,57, Fe₂O₃ – 0,64, MgO – 0,11, CaO – 0,75, P₂O₅ – 28,00, H₂O – 0,06, в. п. п. – 0,54, ThO₂ – 4,96, Ce₂O₂ – 25,95, \sum La₂O₂ – 34,76, U₂O₃ – 0,71, PbO – 0,73, сума – 99,77 [8].

Монацит асоціює звичайно з біотитом, у якому він міститься у вигляді дрібних включень з плеохроїчними двориками. Трапляється він і в інших породоутворювальних мінералах – у гранаті, кордієриті, польових шпатах. У бердичівських гранітах виділяють два різновиди монациту: 1) ясно-жовтий до жовтого різної інтенсивності, прозорий, однорідний, у якому, крім TR, U, Pb, наявний Ca; 2) зеленкувато-жовтий, відрізняється домішковим кальцієм. Характерно, що між різновидами монациту менше коливання в складі, ніж у самих зернах (Y₂O₃ – 0,10–1,65 %, U₂O₃ – 0,36–0,93 %, ThO₂ – 7,85, 6,05 %) [2]. Завдяки чорним пилоподібним включенням (рудним?) колір монациту іноді змінюється до сірувато-жовтого і навіть чорного. Розмір зерен різний – від 0,05 до 0,50 мм.

За кристалографічними дослідженнями, кристали монациту є комбінацією пінакоїдів

{100}, {101} і призми {011}, {110}. Залежно від переважання пінакоїдальних {100} або призматичних {011} граней монацит має або таблитчастий, або ізометричний обрис. Для доступнішого візуального сприйняття форм виділено декілька типів форм монациту. Типи А–А₁, Б–Б₁ і тип В. Тип А – це таблитчасті кристали з розвинутими гранями {100}, {101}, {011}, {110}. У тих випадках, коли грані чітко не визначені, монацит має сплющений обрис і належить до типу А₁. Тип Б – ізометричні кристали зі слабо розвинутими гранями пінакоїда і більше розвинутими гранями призми. Монацит згладженої форми належить до типу Б₁. Тип В – це монацит пластинчастого обрису з паралельними сторонами по (001). Рідше трапляється монацит призматичної форми, подібної до форми циркону.

Монацит із *бердичівських гранітів* з кар'єру с. Жежелів (проба ЖК-2/10) за формою належить переважно до типу Б₁, рідше – до Б.

У *пегматоїдних лейкократових гранітах* (проба ЖК-4/10), як більш грубозернистих, монацит також більший за розміром – від 0,25 до 0,50 і навіть до 1 мм. Він набуває чіткіших кристалографічних форм зі скошеними краями (100), (011), (101); (111), (100), (010); (111), (100), (101) і слабо розвинутими гранями пінакоїда, тобто належить до типу Б, рідше – Б₁.

У вмісних породах березнинської товщі – гранат-біотитових гнейсах – монацит дрібніший, має жовтий колір і за формою належить до типу Б₁. У гіперстеновому кристалосланці (проба ЖК-1/10) монацит відрізняється дрібним розміром (0,03–0,25 мм), ідеальною прозорістю, ясно-жовтим кольором (майже до безбарвного) і неправильною осколковою формою зерен, тому його неможливо зачислити ні до одного з зазначених типів форми. Цей монацит за виглядом нагадує так званий коштовний циркон, характерний для двопіроксенових кристалосланців [3].

У гранітоїдах західної частини Українського щита М. Щербак [9] виділив декілька генерацій монациту, що відрізняються за торій-урановим співвідношенням і вмістом ізотопів свинцю. Монацит бердичівських гранітів і гранат-біотитових гнейсів учений зачислив до ранньої, метаморфогенної генерації. Для нього характерний порівняно низький вміст торію (3,55–7,40 %) і вищий, порівняно з монацитом інших генерацій, – урану (U₂O₃ – 0,72 %). Вміст ²⁰⁸Pb становить 70–80 %, а ²⁰⁶Pb – 16–35 %.

Монацит бердичівських гранітів (кар'єр с. Жежелів) та їхніх лейкократових відмін за вмістом урану і свинцю практично не відрізняється. Монацит з кристалосланців має нижчий вміст урану і свинцю (табл. 1).

Монацит з порід *гайворонського комплексу* відібраний з ендербітів (точніше – чорноендербітів) кар'єру в м. Гайворон. Ендербіти в кар'єрі містяться в шаруватих розрізах, де чергуються з піроксен-роговообманковими кристалосланцями й гіперстеновими гнейсами. На думку [3], протолітами цих порід у кар'єрі були утворення бімодальної серії базальт–дацит (трондєміт). За даними І. Лісної зі співавт., ізотопний вік ендербітів, визначений за цирконом, становить 3,5 млрд років (ядро) і близько 2,0 млрд років (оболонка); Sm-Nd вік за моделлю (DM) становить 3 540 млн років [7]. Монацит в ендербітах кар'єру м. Гайворон з'явився у зв'язку з калішпатизацією порід. Вміст K₂O в них підвищився до 3,46 %, і породи набули складу чорноендербітів.

Монацит представлений прозорими закругленими або овальними зернами зі згладженими поверхнями, що належать до типу Б₁, розміром 0,05–0,30 мм. Має медово-жовтий колір з масним полиском. Поодинокі зерна сірого кольору завдяки включенням рудних мінералів (?). Монацит з чорноендербіту містить мало урану порівняно з мона-

цитом із бердичівських гранітів, а за вмістом свинцю подібний. Якщо в монациті бердичівських гранітів переважає ^{206}Pb , то в чарноендербітах – ^{208}Pb (табл. 2).

Таблиця 1

Вміст урану, свинцю та ізотопний вік монациту з порід, відібраних у кар'єрі с. Жежелів

Фракція циркону, мм	Вміст, ppm		Ізотопні співвідношення		Вік, млн років		
	U	Pb	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	206/238	207/235	207/206
Бердичівський граніт, проба ЖК-2/10							
У пробі	5502	6946	0,38699	6,7243	2 109	2 076	2 043,2
> 0,100	4340	7132	0,51294	8,8995	2 669	2 328	2 040,6
< 0,100	3856	6232	0,49263	8,5691	2 582	2 293	2 045,1
< 0,075	4174	5536	0,41648	7,2295	2 244	2 140	2 041,4
Лейкократовий різновид бердичівського граніту, проба ЖК-4/10							
У пробі	1150	1226	0,33821	5,8713	1 878	1 957	2 041,6
< 0,075	4161	5981	0,49666	8,6380	2 599	2 301	2 044,9
Гіперстеновий кристалосланець, проба ЖК-1/10							
У пробі	1784	2611	0,43279	7,4336	2 318	2 165	2 022,7
> 0,04	1340	1864	0,40530	6,9573	2 193	2 106	2 021,7
< 0,04	1666	1985	0,30100	5,1724	1 696	1 848	2 023,6
< 0,04	1933	3266	0,49046	8,4332	2 573	2 279	2 024,6

Таблиця 2

Вміст урану, свинцю та ізотопний вік монациту із чарноендербіту гайворонського комплексу (кар'єр м. Гайворон, проба 87/78в)

Фракція циркону, мм	Вміст, ppm		Ізотопні співвідношення		Вік, млн років		
	U	Pb	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	206/238	207/235	207/206
> 0,100	1123	5867	0,49776	8,6029	2 604	2 297	2 033,8
> 0,075	903,3	3054	0,38922	6,7316	2 119	2 077	2 035,0
< 0,075	2201	8902	0,47350	8,1843	2 499	2 252	2 033,9
< 0,050	1766	7854	0,46038	7,9538	2 441	2 226	2 033,1

Датування акцесорного монациту. Монацит з описаних вище проб датували класичним уран-свинцевим методом. Хімічну підготовку взірців для мас-спектрометричного аналізу виконано за методикою Т. Кроу [9]. Ізотопні дослідження проводили на восьмиколекторному мас-спектрометрі MI-1201 AT. Математичне опрацювання експериментальних даних виконано за програмами Pb Dat та ISOPLOT.

У табл. 1 наведено і на рис. 1 відображено результати визначення ізотопного віку монациту з бердичівського граніту (проба ЖК-2/10), його лейкократового різновиду (проба ЖК-4/10) та гіперстенового кристалосланцю (проба ЖК-1/10), відібраних у кар'єрі с. Жежелів. Ізохронний вік монациту з бердичівського граніту та його лейкократового різновиду становить $2\,044 \pm 11$ млн років. Дещо нижчий ізохронний вік монациту з гіперстенового кристалосланцю – $2\,023,1 \pm 3,3$ млн років (див. рис. 1). Таке відставання у віці монациту з гіперстенового кристалосланцю можна пояснити, імовірно, тим, що спочатку утворювалися бердичівські граніти з гранат-біотитових гнейсів і в них кристалізувався монацит, а потім граніти впливали на стійкіші до гранітизації гіперстенові

кристалосланці, у яких мінеральний склад змінився. Плагіоклаз (бітовніт) розкислювався до олігоклазу, гіперстен зазнав заміщення амфіболом, з'явилися біотит і монацит [3].

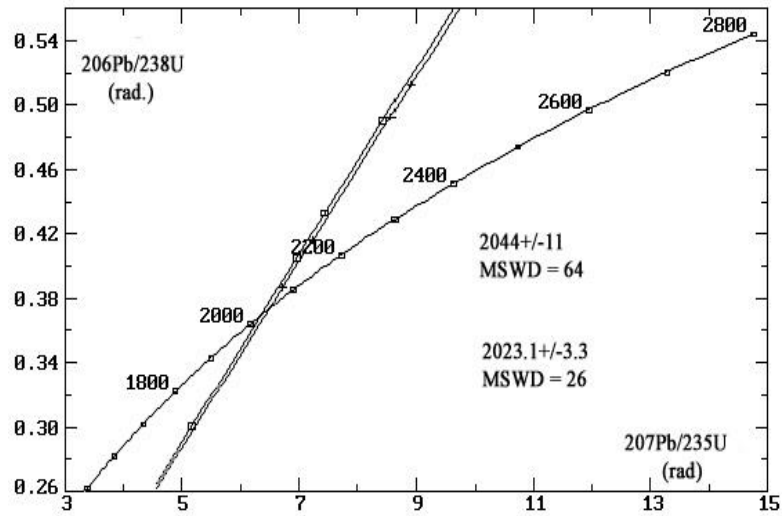


Рис. 1. Діаграма з конкордією для монациту бердичівського граніту (ЖК-2/10), його лейкократового різновиду (ЖК-4/10) та гіперстенового кристалосланцю (ЖК-1/10), відібраних у кар'єрі с. Жежелів.

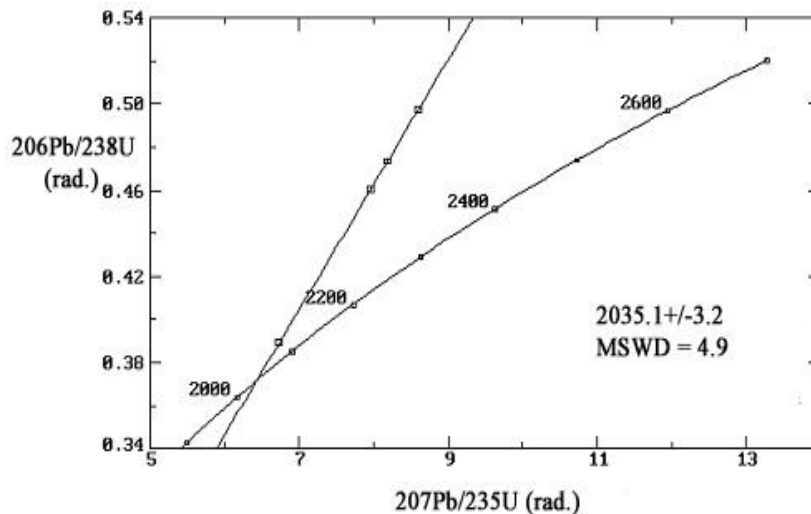


Рис. 2. Діаграма з конкордією для монациту з ендербітів, відібраних у кар'єрі м. Гайворон.

У табл. 2 і на рис. 2 наведено результати визначення ізотопного віку монациту з чарноендербіту гайворонського комплексу (проба 87/78в), відібраного в кар'єрі м. Гайворон. Ізохронний вік монациту дорівнює $2\,035 \pm 3,2$ млн років. Поява монациту в породах пов'язана з калішпатизацією ендербітів, зумовленою процесами тектономагматичної активізації, поширеними в західній частині Українського щита 2,0 млрд років тому.

Отже, монацит у породах Дністерсько-Бузького мегаблока датує час гранітоутворен-

ня, що відбулося $2,0 \pm 0,1$ млрд років тому. Причому незалежно від того, чи був монацит у вихідних породах (як це фіксують у бердичівських гранітах, що утворилися з гранат-біотитових гнейсів, які містять свій монацит), чи його там не було, вік монациту відповідає часу гранітизації, що відбулася $2,0 \pm 0,1$ млрд років тому і супроводжувалась метасоматичними процесами з привнесенням лужних розчинів, збагачених рідкісноземельними елементами. Тому монацит у бердичівських гранітах утворюється як унаслідок мобілізації елементів у вмісних гранат-біотитових гнейсах, так і з привнесенням лужних розчинів, збагачених РЗЕ. В ендербітах гайворонського комплексу поява монациту пов'язана головню з метасоматичними процесами, зумовленими тектономагматичною активізацією, що відбулася $2,0 \pm 0,1$ млрд років тому.

1. Івантишин М. М. Акцесорні рідкісні мінерали та розсіяні елементи в гранітах і пегматитах Українського кристалічного щита / М. М. Івантишин. – К. : Вид-во АН УРСР, 1960.
2. Легкова Г. В. Закономірності зміни складу мінералів з докембрійських порід Українського щита : Автореф. дис. ... д-ра геол. наук / Г. В. Легкова. – Київ, 2007. – 25 с.
3. Лесная И. М. Геохронология чарнокитоидов Побужья / И. М. Лесная. – Киев : Наук. думка, 1988. – 133 с.
4. Нижний докембрий западной части Украинского щита / Е. М. Лазько, В. П. Кирилюк, А. А. Сиворонов, Г. М. Яценко. – Львов : Вища школа, 1975. – 239 с.
5. Петриченко Е. В. О генезисе бердичевских гранитов / Е. В. Петриченко, А. Н. Пономаренко, А. И. Самчук // Минерал. журн. – 2011. – Т. 30. – С. 38–46.
6. Сердюченко Д. П. Редкоземельная минерализация в осадочно-метаморфических породах / Д. П. Сердюченко // Очерки по металлогении осадочных пород. – М. : Изд-во АН СССР, 1961.
7. Степанюк Л. М. Геохронологія докембрію західної частини Українського щита (архей–палеопротерозой) : Автореф. дис. ... д-ра геол. наук / Л. М. Степанюк. – К., 2000. – 34 с.
8. Щербак Н. П. Петрология и геохронология докембрия западной части Украинского щита / Н. П. Щербак. – Киев : Наук. думка, 1975. – 270 с.
9. Krough T. E. A law contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination / T. E. Krough // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1973. – Vol. 37, N 3. – P. 485–494.

**U-Pb ISOTOPIC AGE OF MONAZITE
FROM GRANITOIDS OF DNISTER-BUH GEOBLOCK**

O. Ponomarenko, L. Stepanyuk, K. Petrychenko, I. Lisna, T. Dovbush

*M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU
Acad. Palladin Av. 34, UA – 03142 Kyiv, Ukraine
E-mail: pan@igmof.gov.ua*

Isotopic age of monazite from Berdychiv granites, rocks of Berezninska layer and enderbites of Hayvoron complex (Dnister-Buh megablock of the Ukrainian Shield) is described. It is shown that isotopic age of monazite from these rocks has been conditioned by tektono-magmatic events which took place $2,0 \pm 0,1$ mlrd years ago and caused the most large splash of granite formation in all megablocks of the Ukrainian Shield, except for Middle-Dnieper megablock.

Key words: monazite, Berdychiv granites, crystalline schist, enderbite, isotopic age, Dnister-Buh megablock.

**УРАН-СВИНЦОВЫЙ ИЗОТОПНЫЙ ВОЗРАСТ МОНАЦИТА
ИЗ ГРАНИТОИДОВ ДНЕСТРОВСКО-БУГСКОГО МЕГАБЛОКА**

А. Пономаренко, Л. Степанюк, К. Петриченко, И. Лесная, Т. Довбуш

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины
03142 г. Киев, просп. акад. Палладина, 34
E-mail: pan@igmof.gov.ua*

Приведено изотопный возраст монацита из бердичевских гранитов, пород березнинской толщи и эндербитов гайворонского комплекса Днестровско-Бугского мегаблока Украинского щита. Показано, что изотопный возраст монацита в этих породах обусловлен тектоно-магматическими событиями, происшедшими $2,0 \pm 0,1$ млрд лет назад, которые вызвали наиболее крупный всплеск гранитообразования на всех мегаблоках щита, кроме Среднеприднепровского.

Ключевые слова: монацит, бердичевский гранит, кристаллический сланец, эндербит, изотопный возраст, Днестровско-Бугский мегаблок.

Стаття надійшла до редколегії 28.04.2012

Прийнята до друку 29.05.2012