

ГЕОХІМІЯ І ПЕТРОЛОГІЯ ПРОЦЕСІВ ПОРОДО ТА РУДОУТВОРЕННЯ

УДК 550.93

Л.М. СТЕПАНЮК, Л.В. ШУМЛЯНСЬКИЙ, О.М. ПОНОМАРЕНКО,
Т.І. ДОВБУШ, О.Б. ВИСОЦЬКИЙ, БРУНО ДЬЮЙМ (BRUNO DHUIME)

ДО ПИТАННЯ ПРО ВІКОВІ МЕЖІ ФОРМУВАННЯ КОШАРО-ОЛЕКСАНДРІВСЬКОЇ СВИТИ БУЗЬКОЇ СЕРІЇ ПОБУЖЖЯ

Методом мас-спектрометрії індуктивно-пов'язаної плазми з лазерною абляцією визначено вік кластогенних ядер в кристалах циркону із кварциту кошаро-олександрівської світи 2670–3450 млн рр., що дозволяє децю уточнити нижню вікову межу формування метаморфічних порід – 2670 млн рр. Зроблено припущення, що монацит і циркон оболонки є сингенетичними мінералами, які кристалізувалися в результаті прояву процесів метаморфізму та/або гранітоутворення. За результатами уран-свинцевого ізотопного датування монациту класичним уран-свинцевим ізотопним методом отримано вік $2062,4 \pm 4,4$ млн рр., що є верхньою віковою межею формування цих порід.

ВСТУП

Бузька серія – товща порід, яка включає моно-мінеральні, польовошпатові та залістисті кварцити, гранат-біотитові, силіманіт-гранат-біотитові, графіт-вміщуючі і піроксен-плагіоклазові гнейси, а також піроксен-плагіоклазові кристалосланці та кальцифіри. За різними оцінками загальна потужність бузької серії досягає 2000–3000 м. В її складі виділяються дві світи [2]. Нижня, кошаро-олександрівська (до 800 м), представлена переважно кварцитами, високоглиноземними породами і основними кристалосланцями. У верхній, хашувато-заваллівській світі (до 2000 м), широкий розвиток мають карбонатні породи, графітові, біотитові, піроксен-плагіоклазові гнейси, а також залістисті кварцити, які асоціюють з піроксенвміщуючими гнейсами і основними кристалосланцями. Узагальнені розрізи світ наведено в [7].

Породи бузької серії виповнюють накладені на палеоархейський фундамент, відносно невеликі синформні і моноклінальні структури: Кошаро-Олександрівську, Хашувато-Заваллівську, Молдовську, Секретарську, Грушковську, Шамраївську (Корнілівську) і низьку інших [2]. Численні прояви накладених ендегенних високотемпературних геологічних процесів призвели до ускладнення тектонічної структури, значно завуалювали первинні співвідношення між різновіковими комплексами порід, у тому числі між породами бузької серії і породами фундаменту, представленими метаморфічними породами дністровсько-бузької серії та чарнокітоїдами, що їх заміщують [3, 6].

Очевидно, що для визначення нижньої вікової межі супракрустальних утворень необхідно датувати циркони із порід, розвинених в самій нижній частині розрізу. Раніше [4, 5] вже датували циркони із кварцитів кошаро-олександрівської світи, поширених в межах Шамраївської структури. Але в першому випадку [4] через присутність наростань пізніших оболонки на ядрах кластогенного циркону, отримані значення віку є заниженими і не можуть бути прийняті. В якості нижньої вікової межі, а в другому [5], після аероабразії цирконів, в пробі залишилися найтвердіші ядра, які не обов'язково є наймолодшими і тому їх вік не обов'язково найкращим чином характеризує нижню вікову межу бузької серії.

МЕТОДИКА ІЗОТОПНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відібрані вручну кристали цирконів були імплантовані в епоксидну смолу. Далі кристали цирконів були зрізані та відполіровані приблизно на половину товщини. Для вибору ділянок датування на поверхні зерен використовувались катодо-люмінесцентні зображення, які відображають внутрішню структуру та зональність кристалів циркону.

Аналіз із застосуванням мас-спектрометрії індуктивно-пов'язаної плазми із лазерною абляцією був виконаний в Брістольському університеті з використанням мас-спектрометру Finnigan Element 2, оснащеного лазерною приставкою New Wave Research UP193HE Deep-UV (193 nm) Excimer laser. Циркони випаровувались в атмосфері гелію, оскільки за таких умов підвищується чутливість приладу та зменшується міжелементне фракціонування [10, 11]. Випаровування виконувалося вздовж лінії завдовжки 30 μm з розмірами лазерного пучка в 30 μm , частота імпульсів 4 Hz та щільність енергії лазерного пучка на зразку біля 2 J/cm^2 . Зразки вимірювались послідовно зі стандартом 91500 [13]. Послідовність вимірювання включала 6 стандартів та 10 зразків. Точність вимірювань відстежувалась повторними вимірюваннями вторинного стандарту (циркон GJ-1) [12]. Дані оброблялись згідно із процедурою, описаною в роботах [8, 9]. На кінцевому етапі використовувався табличний процесор, який дозволяє виконувати корекцію вимірюваних сигналів відносно фонових значень, а також U-Pb фракціонування і зсув вимірювання мас з врахуванням повторних вимірювань стандарту 91500. Значення величини корегування зсуву мас визначалось шляхом вимірювання стандартів і отримана в такий спосіб похибка застосовувалась для кожного індивідуального зразка. Кількість звичайного свинцю в аналізованих цирконах зазвичай була менше межі визначення, таким чином корекція на звичайний свинець не застосовувалась. У разі наявності звичайного свинцю у вимірюваннях, зразки відбраковувались.

Для датування монациту застосували класичний уран-свинцевий ізотопний метод. Хімічна підготовка монацита для мас-спектрометричного аналізу виконувалась за методикою [1]. Мас-спектрометричні

аналізи виконані на багатоканальному мас-спектрометрі МІ-1201 АТ у відділі радіогеохронології ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України.

ОБ'ЄКТИ І ДОСЛІДЖЕННЯ

Для уточнення нижньої вікової межі бузької серії нами вивчено уран-свинцеві ізотопні системи кластогенних ядер в кристалах циркону із кварцитів, що утворюють скельні виходи в лівому борту долини р. Південний Буг в районі с. Кошаро-Олександрівка. Ці кварцити є базальним горизонтом кошаро-олександрівської світи бузької серії в межах однойменної синформної структури.

Кварцит – темно-сіра масивна порода, складена (об'ємні %) темно-сірим, майже чорним, кварцом – 95-97, пелітзованим калієвим польовим шпатом – 1-2, плагіоклазом – менше 1 %, в одиничних зернах трапляється рутил, циркон, апатит і монацит. Структура гранобластова, коронарна, текстура неясному-гаста (рис. 1).

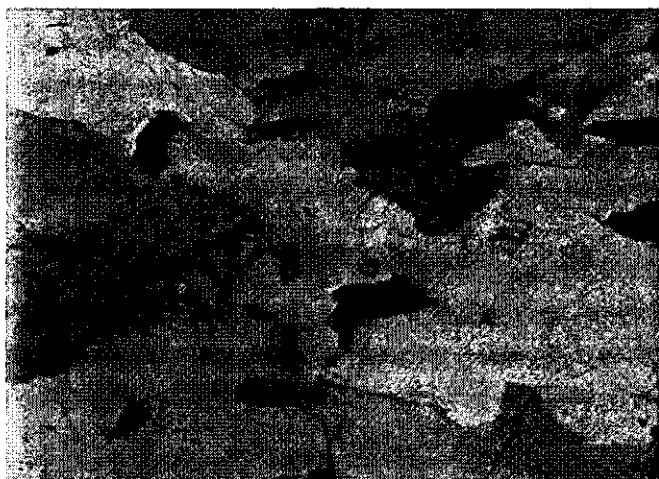


Рис. 1. Мікрофотографія кварциту, базальний горизонт кошаро-олександрівської світи, проба UR-20, відслонення на лівому березі р. Південний Буг в районі с. Кошаро-Олександрівка, просвічуючий мікроскоп, ніколі +.

Порода має наступний склад у (ваг. %): SiO_2 – 96,35; TiO_2 – 0,05; Al_2O_3 – 1,22; Fe_2O_3 – 0,70; FeO – 0,40; MnO – 0,03; MgO – 0,10; CaO – 0,40; Na_2O – 0,15; K_2O – 0,20; P_2O_5 – 0,07; SO_3 – 0,06; H_2O – 0,05; в. п. п. – 0,05; сума – 99,83.

Циркон представлений декількома типами кристалів, що відрізняються як за забарвленням, так і за видовженням. В переважній більшості кристали сірувато-білі, жовтувато-білі напівпрозорі, мають еліпсоподібну форму. Для них характерні заокруглені контури та відсутність чітких ребер, грані розвинені погано або взагалі відсутні, при цьому поверхня кристалів гладенька, блискуча. Близько 10 % зерен мають сніжно-біле забарвлення, яке є нерівномірним, зазвичай біле забарвлення мають вершинки та ребра кристалів. Менше 1 % зерен циркону неоднорідно забарвлені в жовтувато-бурий колір, який, вірогідно, обумовлений гідроксидами заліза. Для поодиноких зерен характерний ясно-рожевий колір, такі зерна часто мають ямчасту сильно заокруглену поверхню, на якій не простежуються не лише ребра, а й грані, кристали в основному прозорі. В окремих кристалах центральні ділянки ясно-рожеві, а вершинки – сірувато-білі, що вірогідно обумовлено наростанням сірувато-білого циркону на ясно-рожевий. Про пізніший час криста-

лізації сірувато-білого (жовтувато-білого) циркону, по відношенню до ясно-рожевого, свідчать спостереження зламів сірувато-білих (жовтувато-білих) кристалів, всередині яких відмічається, зазвичай, добре індивідуалізовані ізометричні ядра ясно-рожевого циркону.

В результаті оптико-мікроскопічного вивчення зрізів кристалів циркону встановлено, що сірувато-білі

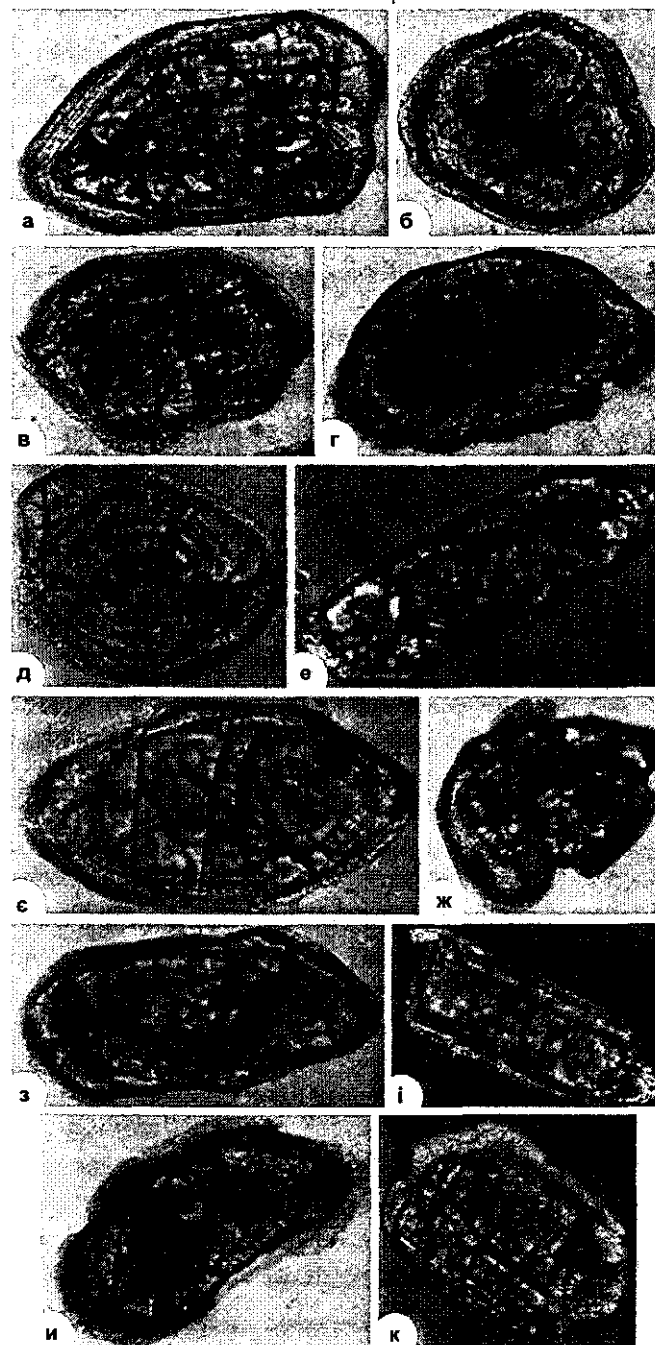


Рис. 2. Мікрофотографії зрізів кристалів циркону із кварциту кошаро-олександрівської світи, проба UR-20, відслонення на лівому березі р. Південний Буг в районі с. Кошаро-Олександрівка, просвічуючий мікроскоп, ніколі +, збільшення 300 раз.

(жовтувато-білі) зерна складні, утворені ядрами різного морфологічного типу, на які нарастають оболонки (рис. 2, 3). Оболонки мають незначну товщину, їх об'єм, зазвичай, менше об'єму ядер (рис. 2, а-з; рис. 3), в поодиноких кристалах наростання пізнішого циркону не є суцільним (рис. 2, ж, и, к; рис. 3, а, е, ж). Завдяки наростанню пізніших оболонок кристали

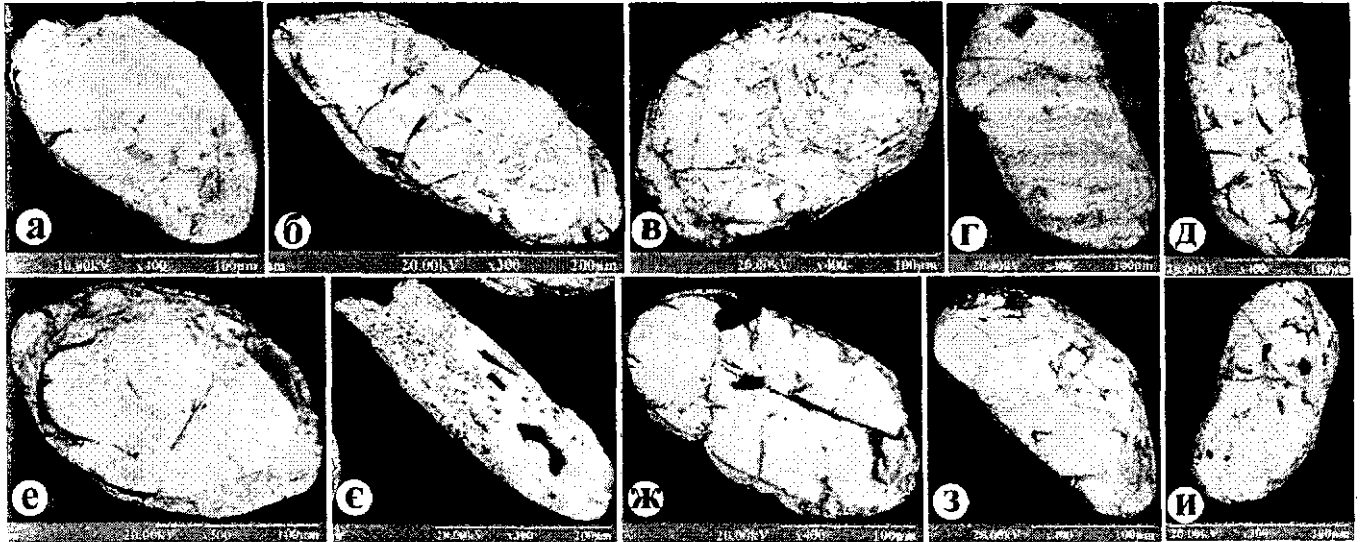


Рис. 3. Мікрофотографії зрізів складних кристалів циркону із кварциту кошаро-олександрівської світи, проба UR-20, електронний мікроскоп, режим BSE. Кристали представлені різними морфологічними типами ядер та оболонками: а, б – неясно зональні ядра; в, г – ядра, що являють собою уламки кристалів з чіткою концентричною “магматичною” зональністю; д-и – азональні ядра, е – заокруглені, є – уламок списоподібного зерна, д, з-и – ядра, являють собою заокруглені видовжено призматичні зерна.

циркону мають дещо більше видовження, порівняно з майже ізометричною формою ядер, але не набули характерного для цього мінералу досконалого огранення (рис. 2, 3).

Монацити спостерігаються у вигляді ізометричних (куля-, еліпсоподібні), зрідка таблитчастих зерен з заокругленими контурами, на поверхні яких іноді трапляються окремі грані (головним чином, пінакоїду у таблитчастих кристалах) та ребра. Забарвлення кристалів бурувато-жовте, зрідка жовте. В переважній більшості бурувато-жовті кристали – напівпрозорі, жовті – прозорі.

**ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.
ВИСНОВКИ**

Результати вивчення уран-свинцевої ізотопної системи кластогенних ядер в кристалах циркону із кварциту наведено в табл. 1 та рис. 6, місця аналізів кристалів – на рис. 4, 5. З табл. 1 видно, що вік ядер (за відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) варіює у віковому інтервалі 2670-3470 млн рр., при цьому максимальне число (19 із 25) ізотопних дат лежить у віковому інтервалі 2915-3115 млн рр., що близько віку цирконів із ендербітоїдів Луполівської антикліналі, визначеного класичним

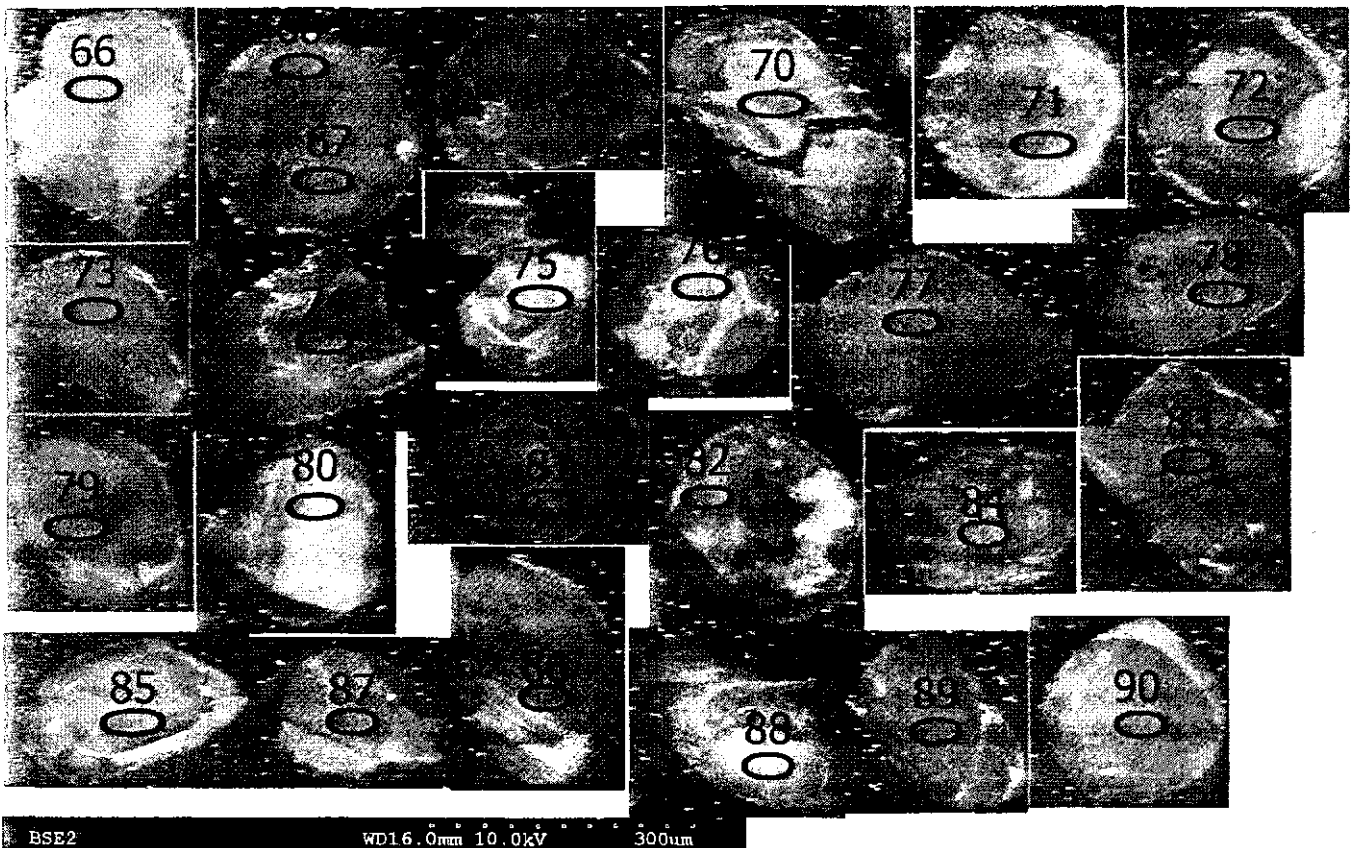


Рис. 4. Мікрофотографії зрізів кристалів циркону із кварциту кошаро-олександрівської світи, проба UR-20, відслонення на лівому березі р. Південний Буг в районі с. Кошаро-Олександрівка, електронний мікроскоп, катодолюмінесценція. Ділянки кристалів, в яких вивчалась уран-свинцева ізотопна система обведені чорною жирною лінією, цифри біля них (66-90) відповідають номерам табл. 1.

Таблиця 1. Результати уран-свинцевого ізотопного датування кластогенних ядер в цирконах із кварциту кошаро-олександрівської світи, проба UR-20

№ Дати	Вміст (ppm)			Відношення		Ізотопні відношення		Вік, млн рр.						Дискордантність. %
	U	Th	Pb	Th/U	$\frac{^{204}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		
								1s	1s	1s	1s			
Spl-66	105	135	74	1,29	0,0007	16,774	0,5603	2868	21	2922	11	2956	17	3
Spl-67	172	37	124	0,22	0,0000	24,048	0,6059	3054	21	3270	10	3382	16	11
Spl-68	286	77	229	0,27	0,0002	27,277	0,6511	3233	22	3393	10	3472	15	7
Spl-69	397	141	267	0,36	0,0000	17,924	0,5645	2885	20	2986	9	3063	16	6
Spl-70	79	69	63	0,87	0,0002	17,930	0,6030	3042	21	2986	11	3018	16	-1
Spl-71	104	73	62	0,70	0,0001	12,773	0,4914	2577	18	2663	11	2749	17	7
Spl-72	160	88	109	0,55	0,0001	17,237	0,5718	2915	20	2948	10	3006	16	3
Spl-73	148	172	116	1,16	0,0001	18,861	0,5696	2906	20	3035	10	3059	16	5
Spl-74	300	75	194	0,25	0,0001	17,717	0,5766	2935	20	2975	9	3032	16	3
Spl-75	232	126	75	0,54	0,0042	7,570	0,2614	1497	12	2181	12	2914	20	95
Spl-76	103	25	65	0,24	0,0000	17,856	0,5607	2870	20	2982	11	3082	16	7
Spl-77	243	153	182	0,63	0,0000	20,031	0,6114	3075	21	3093	10	3114	16	1
Spl-78	321	208	204	0,65	0,0001	15,847	0,5205	2701	19	2868	9	2967	16	10
Spl-79	221	339	178	1,54	0,0002	16,891	0,5488	2820	20	2929	10	2997	16	6
Spl-80	108	92	74	0,85	0,0001	16,876	0,5152	2679	19	2928	11	3103	16	16
Spl-81	395	216	207	0,55	0,0000	10,654	0,4378	2341	17	2493	9	2675	17	14
Spl-82	146	125	82	0,86	0,0009	11,805	0,4690	2479	18	2589	11	2658	18	7
Spl-83	290	100	179	0,34	0,0002	16,470	0,5370	2771	19	2904	9	2977	16	7
Spl-84	109	90	78	0,83	0,0003	16,984	0,5633	2880	20	2934	11	2999	16	4
Spl-85	131	231	91	1,76	0,0010	16,069	0,5496	2824	20	2881	11	2993	17	6
Spl-86	255	249	175	0,98	0,0001	16,042	0,5281	2734	19	2879	10	2965	16	8
Spl-87	202	48	135	0,24	0,0002	17,738	0,5972	3018	21	2976	10	2996	16	-1
Spl-88	65	79	50	1,21	0,0009	17,730	0,5573	2855	21	2975	12	2990	16	5
Spl-89	233	253	182	1,09	0,0000	17,524	0,5868	2977	21	2964	9	2961	16	-1
Spl-90	126	192	106	1,53	0,0000	17,242	0,5877	2980	21	2948	10	2978	16	0

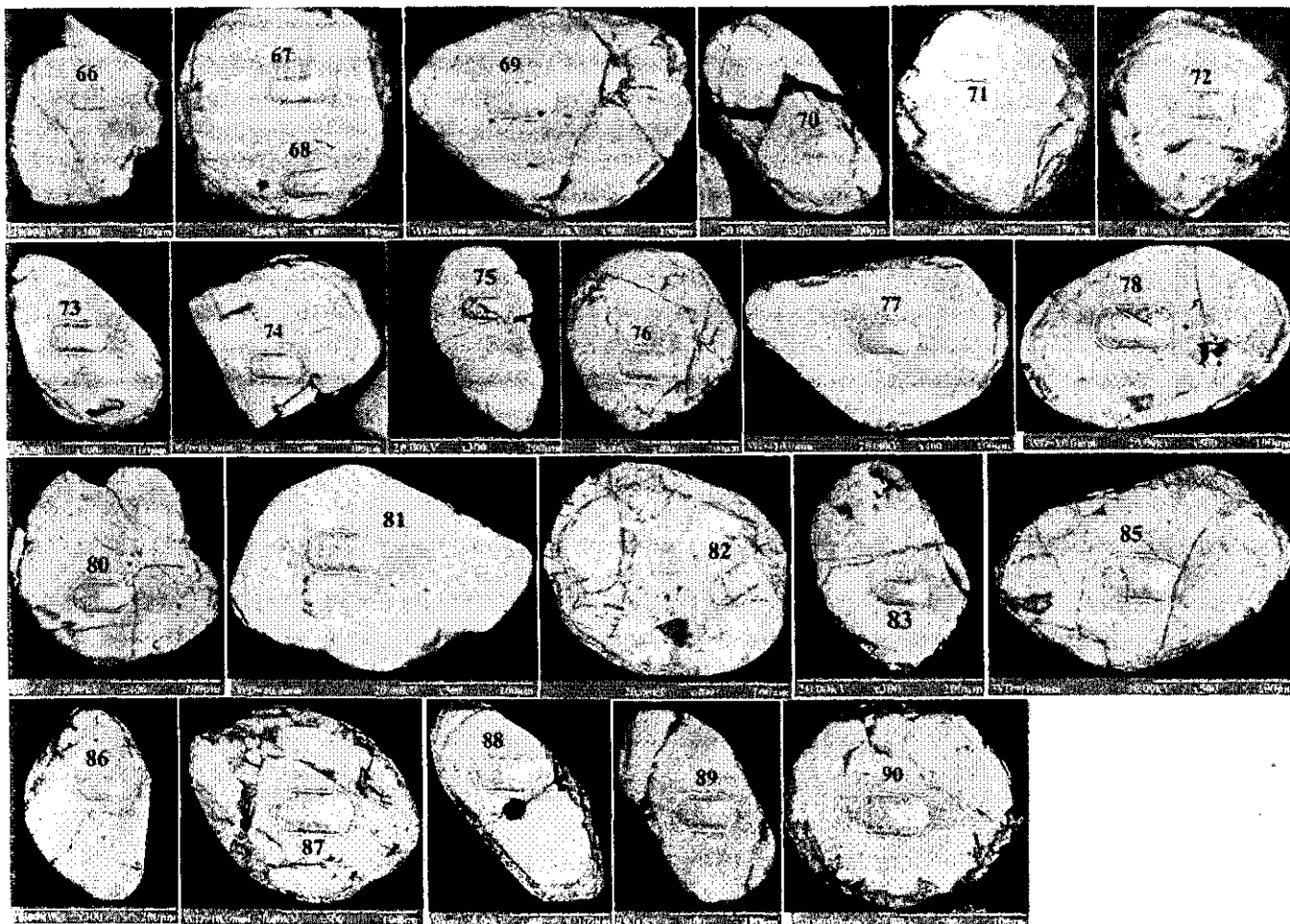


Рис. 5. Мікрофотографії зрізів кристалів циркону із кварциту кошаро-олександрівської світи, проба UR-20, відслонення на лівому березі р. Південний Буг в районі с. Кошаро-Олександрівка, електронний мікроскоп, режим BSE. На поверхні зрізів кристалів видно кратери, які утворилися в результаті лазерної абляції в ході аналізу уран-свинцевої ізотопної системи, цифри біля них (66-90) відповідають номерам табл. 1.

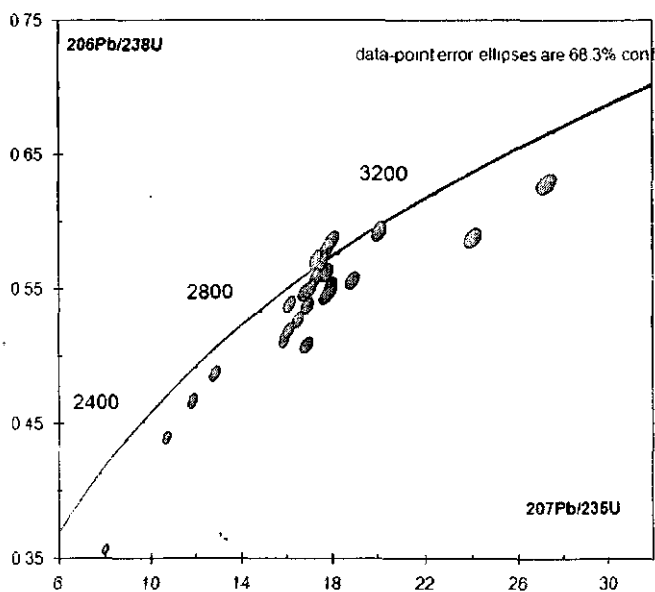


Рис. 6. Уран-свинцева діаграма з конкордією для кластогенних ядер в кристалах циркону із кварциту кошаро-олександрівської світи, проба UR-20.

уран-свинцевим методом для складно побудованих кристалів [5]. В досліджених цирконах нами не виявлені ядра віком близько 2,83 млрд рр., що є досить поширеними в кристалах циркону із кварциту Шамраївського кар'єру [5], що, можливо, обумовлено дещо іншим джерелом теригенного матеріалу в Кошаро-

Олександрівській і в Шамраївській (Корнілівській) структурах. Окрім того, цілком вірогідно, що породні комплекси, які виповнюють ці дві структури, у різний час зазнавали впливу тектоно-метаморфічних перетворень. В будь-якому разі це стосується часу прояву процесу (процесів), що спричинили кристалізацію монациту.

Як і для монациту із шамраївських кварцитів, вік монациту із кварцитів Кошаро-Олександрівської структури визначали класичним уран-свинцевим ізотопним методом. Для цього було взято дві нерозділені наважки монациту та чотири розмірні фракції, що були отримані шляхом скочування кристалів по нахиленій площині, які під бінокляром були очищені від домішок. Як видно із табл. 2, для більшості фракцій монациту отримано дискордантні значення віку, тому вік монациту визначили за верхнім перегином лінії регресії, розрахованої для фракцій монациту з конкордією і який складає $2062,4 \pm 4,4$ млн рр. (див. рис. 7), що значимо древніше, порівняно з цифровими значеннями віку, отриманими для монациту із кварциту Шамраївського кар'єру – $1857,5 \pm 1,1$ млн рр.

Таким чином, за нижню вікову межу формування порід бузької серії слід прийняти вік наймолодших кластогенних ядер в кристалах циркону – 2670 млн рр. Найкращим верхнім віковим рубезем формування цих теригенних утворень є час прояву найдревніших із зафіксованих структурно-метаморфічних перетворень, що вони зазнали – 2062 млн рр.

Таблиця 2. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із кварциту кошаро-олександрівської світи, проба UR-20, відслонення лівого берегу р. Південний Буг, с. Кошаро-Олександрівка

Фракція монациту	Вміст (ppm)		Ізотопні відношення					Вік, млн рр.		
	U	Pb	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
Не розділена	1472,7	3146,5	301	5,8456	0,11749	0,24146	4,2387	1394	1682	2061,2
Не розділена	2183,5	6286,8	308	5,8900	0,13519	0,36825	6,4487	2021	2039	2057,0
1	1288,4	5154,7	521	6,5445	0,13413	0,51999	9,1472	2699	2353	2065,0
2	2564,7	5840,9	581	6,6609	0,13530	0,29924	5,2617	1688	1863	2064,2
3	1919,6	5707,2	414	6,2763	0,13507	0,38547	6,7797	2102	2083	2064,7
4	2057,2	5879,0	490	6,4977	0,13361	0,36942	6,4721	2027	2042	2057,8

Примітка: Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2060 млрд рр.

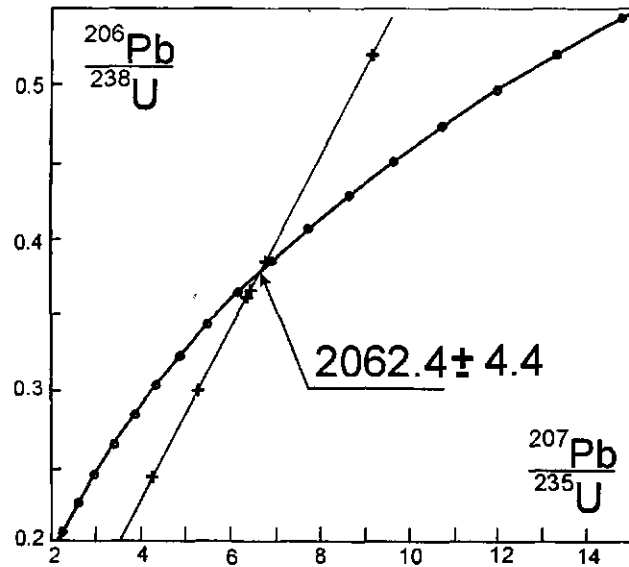


Рис. 7. Уран-свинцева діаграма з конкордією для монацитів із кварциту кошаро-олександрівської світи, проба UR-20.

Робота виконана за фінансової підтримки проекту № 48/08-Ф НАН України и РФФД 08-05-90416Укр_а.

ЛІТЕРАТУРА

1. Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита / Н.П. Щербак, Г.В. Артеменко, Е.Н. Бартницкий и др. – К.: Наук. думка, 1989. – 144 с.
2. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (схема та поясн. записка). – К.: УкрДГРІ, 2004.
3. Лесная И.М., Плоткина Т.Э., Степанюк Л.М., Бартницкий Е.Н. Возрастные этапы формирования мафит-эндербитовой ассоциации Побужья // Геохимия и рудообразование. -1995. – № 21. – С. 56-69.
4. Лесная И.М., Легкова Г.В., Теплякова Н.В., Гринченко А.В. Цирконы из кварцитов с. Шамраевка (бугская серия) // Геохимия и рудообразование. – 1995. – № 21. – С. 69-73.
5. Скобелев В.М., Довбуш Т.І., Степанюк Л.М., Пономаренко О.М. Уран-свинцевий ізотопний вік монациту та кластогенного циркону із кварциту кошаро-олександрівської світи – вікові межі формування порід бугської серії // Зб. наук. пр. УкрДГРІ. – 2004. – № 2. – С. 43-50.
6. Степанюк Л.М. Хронология проявления эндогенных процессов в гранулитовых комплексах Днестровско-Бугского мегаблока Украинского щита (конец архея – ранний протерозой) // Минерал. журн. – 1998. – 20, № 2. – С. 68-73.
7. Стратиграфические разрезы Украинского щита / Н.П. Щербак, К.Е. Есичук, Б.З. Берзенин и др. – Киев: Наук. думка, 1985. – 168 с.
8. Bruguier, O., Telouk, P., Cocherie, A., Fouillac, A.M., Albarède, F., 2001. Evaluation of Pb-Pb and U-Pb laser ablation ICP-MS zircon dating using matrix-matched calibration samples with a frequency quadrupled (266 nm) Nd:YAG laser // Geostandards Newsletter. 25, 361-373.
9. Dhuime B., Bosch D., Bruguier O., Caby R. and Pourtales S., 2007, Age, provenance and post-deposition metamorphic overprint of detrital zircons from the Nathorst Land group (NE Greenland) A LA-ICP-MS and SIMS study // Precambrian Research 155, 24-46.
10. Eggins, S.M., Kinsley, L.P.J., Shelley, J.M.G., 1998. Deposition and element fractionation processes during atmospheric pressure laser sampling for analysis by ICP-MS // Appl. Surf. Sci. 127-129, 278-286.
11. Günther, D., Heinrich, C.A., 1999. Enhanced sensitivity in LA-ICPMS using helium-argon mixture as aerosol carrier // J. Anal. At. Spectrom. 14, 1369-1374.

12. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L. and Belousova E. The application of laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry to in-situ U-Pb zircon geochronology, Chemical Geology 211 (2004), pp. 47-69.

13. Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses // Geostandards Newsletter. 19, 1-23.

РЕЗЮМЕ

С помощью метода масс-спектрометрии индуктивно-связанной плазмы с лазерной абляцией определен возраст кластогенных ядер в кристаллах циркона из кварцита кошаро-олександровской свиты бугской серии 2670-3450 млн лет, что позволяет несколько уточнить нижнюю возрастную границу формирования метаморфических пород – 2670 млн лет. Сделано предположение, что монацит и циркон оболочек являются сингенетичными минералами, которые кристаллизовались в результате проявления процессов метаморфизма и/или гранитообразования. По результатам уран-свинцового изотопного датирования монацита классическим уран-свинцовым изотопным методом получено возраст $2062,4 \pm 4,4$ млн лет, что является верхней возрастной границей формирования этих пород.

SUMMARY

Method of ICP-MS with laser ablation was elaborated to determine age of detrital cores of zircon grains separated from quartzite of the Kosharo-Oleksandrivska suite of the Boug series. The obtained age ranges from 2670 to 3450 Ma that allows to define more exactly lower age boundary of the formation of metamorphic rocks – 2670 Ma. It is assumed that monazite and mantle portions of complex zircon grains crystallized due to metamorphic processes and/or processes of granite formation. Accordingly to results of dating of monazite by classical U-Pb isotopic method the upper age boundary of the rock formation is 2062.4 ± 4.4 Ma.

Інститут геохімії, мінералогії і рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України, м. Київ

stepanyuk@igmof.gov.ua

Брістольський університет, Великобританія

Надійшла до редакції 28.12.2009 р.