

## ВІК ТА ІЗОТОПНИЙ СКЛАД ГАФНІЮ ЦИРКОНІВ З КВАРЦИТІВ СЕРЕДЬНОГО ПОБУЖЖЯ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

**Л.В. Шумлянський**

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03680, просп. Палладіна, 34, Київ, Україна*

Наведено результати дослідження ізотопного віку цирконів з кварцитів кошаро-олександрівської світи бузької серії Побужжя. Також наведено відомості про ізотопний склад гафнію в цих цирконах, про результати дослідження хімічного складу кварцитів і визначення в них ізотопного складу стронцію та неодиму. Показано, що наймолодші з кластогенних цирконів мають вік біля 2540 млн років, що його вважають максимальним віком осадконакопичення. Молодші циркони (віком до 2031 млн років) є метаморфогенними. Найдавніші з кристалів, виявлені в кварцитах, мають вік до 3245 млн років. Ізотопний склад гафнію в цирконах свідчить про ймовірну належність цирконів до двох типів, що походять з двох різних джерел. Більшість кристалів розташовується вздовж лінії еволюції, яка відповідає відношенню  $\text{Lu}/\text{Hf} = 0$ , та перетинає криву еволюції складу гафнію в деплетованій мантії в точці 3,32 млрд років. Ізотопний склад гафнію свідчить про ювенільне походження цих цирконів. Кристали другої відміни, можливо, походять з іншого, більш молодого джерела. Значення неодимового модельного віку вказують на утворення досліджених кварцитів за рахунок руйнування нео-мезоархейських порід переважно кислого складу. За характером розподілу значень віку цирконів кварцити відслонення Біла Скеля помітно відрізняються від кварцитів району с. Кошаро-Олександрівка, хоча і належать до одного стратиграфічного підрозділу. Вочевидь, вони формувались завдяки руйнуванню різних джерел, і мають різну метаморфічну історію. Продукти руйнування палеоархейських утворень дністровсько-бузької серії в досліджених кварцитах відсутні.

Детальний опис порід бузької серії в цілому, та кошаро-олександрівської світи, що входить до її складу, наведено в публікації [2], тому ми не будемо детально зупинятись на цьому питанні. Зазначимо лише, що кошаро-олександрівська світа потужністю до 800 м складена переважно кварцитами, високоглиноземистими породами та основними кристалосланцями. Вік утворення порід світи лишається недостатньо вивченим. У роботі [2] наведено результати датування кристалів циркону з кварцитів, що відслонюються на лівому березі р. Південний Буг в районі с. Кошаро-Олександрівка. За результатами 25 індивідуальних аналізів було встановлено, що вік ядер кристалів циркону варіює від 2670 до 3470 млн років з максимальною кількістю дат в інтервалі 2915–3115 млн років. Якщо ці циркони кластогенні, то відклади бузької серії накопичувались не раніше 2670 млн років тому. Мінімальний вік цих

порід ( $2062,4 \pm 4,4$  млн років) визначений за ізотопним віком монацитів, які вважають метаморфогенними.

У цій статті наведено результати визначення ізотопного віку цирконів з кварцитів кошаро-олександрівської світи, що відслонюються на правому березі р. Південний Буг напроти південного закінчення с. Завалля. Це відслонення відоме під назвою "Біла Скеля", його координати  $48,195219^\circ$  північн. широти та  $29,999027^\circ$  східн. довготи. Крім того, наведено результати визначення ізотопного складу гафнію в цирконах, а також відомості про ізотопний склад Sr, Nd та Pb в кварцитах, та про геохімію цих кварцитів.

Методи досліджень. Вміст головних оксидів у породах визначено методом "мокрої хімії" в лабораторії ІГМР НАН України. Вміст мікроелементів у пробах кварцитів за методом *ICP-MS* у лабораторії ядерно-фізичних та мас-спектральних методів аналізу Інституту проблем технології мікроелектроніки та надчистих матеріалів РАН (проба КО-1) та в

комерційній лабораторії фірми "ACME labs", Канада (проба 06-BG35). Датування цирконів та визначення в них ізотопного складу гафнію виконувалось *in-situ* в ізотопній лабораторії Брістольського університету (Великобританія) за методом ICP-MS на мультиколекторному мас-спектрометрі NEPTUNE, обладнаному приставкою лазерної абляції. Вік цирконів визначено за відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Визначення ізотопного складу стронцію та неодиму проводилось в лабораторії Природознавчого музею, м. Стокгольм, Швеція.

**Опис цирконів.** Циркони з кварцитів відслонення "Біла Скеля" доволі різноманітні за зовнішнім виглядом та особливостями внутрішньої будови. Нижче наведено їх узагальнений опис.

Кристали віком 3150–3250 – біло-жовтуваті, видовжено призматичні, зональні, з чітко вираженим ядром та облямівкою.

Кристали віком 3100–3000 – безбарвні або бліді жовтуваті та сірі, ізометричні до слабо видовжених, люмінесценція не інтенсивна, зональність слабо проявлена.

Кристали віком 2800–2500 – бурі, коричневі, іноді сірі, призматичні, зональні, з чітким ядром та облямівкою, люмінесценція помірна.

Кристал віком 2440 – безбарвний, буруватий, ізометричний, зональний, з яскравою люмінесценцією.

Кристали віком 2420–2320 – сірі, призматичні, незональні, нелюмінесцентні.

Кристали віком 2030 – коричневі до жовтуватих, призматичні, незональні, нелюмінесцентні.

**Результати дослідження ізотопного віку та ізотопного складу гафнію.** Ізотопний вік цирконів з кварцитів відслонення "Біла Скеля" визначено за відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Всього виконано 19 визначень віку та ізотопного складу гафнію (табл. 1).

Значення ізотопного віку цирконів широко варіюють – від  $3245 \pm 250$  до  $2031 \pm 9$  млн років. Слід зазначити, що інтерпретація датування цирконів з глибокометаморфізованих кластогенних порід є вельми непростою задачею. Зокрема, такі породи містять як кластогенні (уламкові) циркони, так і циркони, що утворились унаслідок процесів метаморфізму. Задача ускладнюється, якщо метаморфізм проявлявся неодноразово. З цієї причини судження про походження того чи іншого циркону, і, як наслідок, про вік породи в цілому, стає питанням суб'єктивного вибору. На жаль, самих лише даних про морфологію чи внутрішню будову кристалів циркону часто виявляється недостатньо. Для більш обґрунтованого визначення поход-

ження кристалів необхідно розширювати коло об'єктивних даних – досліджувати геохімічні особливості цирконів, характер та природу включень у них тощо. Наразі, автор змушений використовувати лише відомості про зовнішній вигляд та внутрішню будову кристалів. Згідно з цими даними, циркони, давніші за ~2540 млн років, можуть розглядатись як кластогенні. Для них характерна наявність чітких заокруглених (іноді – кутастих) ядер, які виділяються доволі яскравою люмінесценцією, що є свідченням низького (менше 100 г/т) вмісту урану і торію. Ядра завжди облямовуються потужними зонами зі слабкою люмінесценцією (підвищеним вмістом торію та урану). Завдяки розвитку облямівки кристали циркону нерідко (але не завжди) набувають чітких кристалографічних обрисів. У кристалах, молодших за 2540 млн років, яскраві кластогенні ядра відсутні, кристали зовсім незональні та нелюмінесцентні, або ж мають слабку зональність за низької люмінесценції як центральних ділянок кристалів, так і оболонок. Такі молоді кристали ми розглядаємо в якості метаморфогенних.

Втім, метаморфічний генезис "молодих" кристалів циркону, виявлених в кварцитах відслонення "Біла Скеля", зовсім не заперечує їх кластогенного походження в цій породі. Вони могли потрапити сюди завдяки розмиву метаморфічних порід, що утворились 2540–2030 млн років тому. Хоча такий сценарій видається автору маловірогідним, повністю заперечувати його не можна.

На думку автора, циркони віком 3150–2540 млн років є кластогенними утвореннями, і опинились в цій породі внаслідок розмиву більш давніх геологічних утворень. Молодші кристали утворились вже у кварциті під час його метаморфізму. Таким чином, вік формування зазначених кварцитів як осадових порід становить не більше 2500 млн років.

Цирконам з кварцитів відслонення "Біла Скеля" властиві широкі варіації ізотопного складу гафнію, перерахованого на вік кристалізації циркону (табл. 1, рис. 1). Спостерігається закономірна його залежність від віку – у найдавнішому з кристалів віком в  $3245 \pm 250$  млн років величина  $Hf$  становить  $4,5 \pm 1,6$ , у наймолодших кристалах віком біля 2030 млн років вона дорівнює  $-17,7 \pm 0,7$ .

Найдавніші з кристалів мають позитивні значення  $Hf$ , що свідчить про важливу коротворну подію в цей час – до земної кори надходила нова (ювенільна) мантійна речовина з типовими мантійними ізотопними характеристиками. Ізотоп-

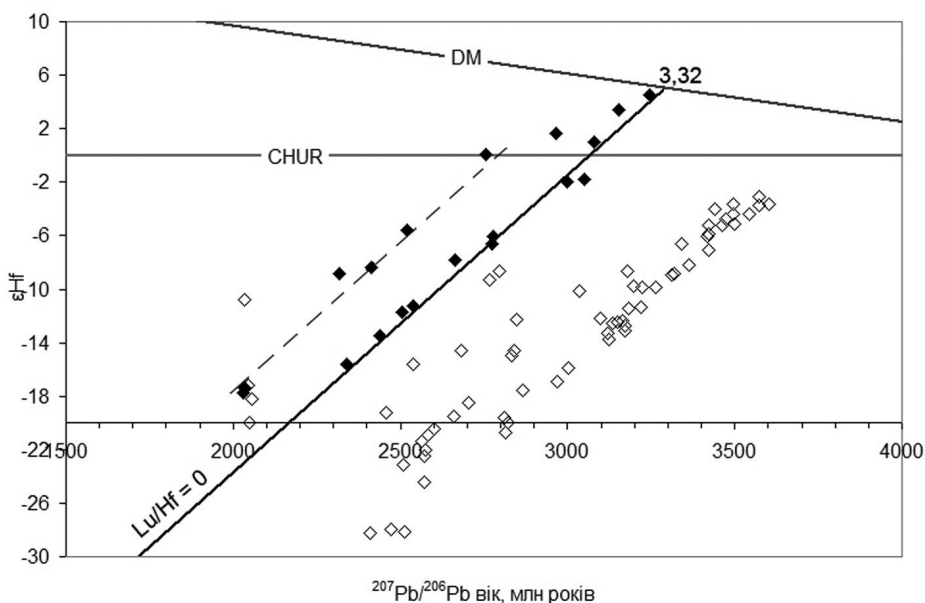
Таблиця 1. Результати визначення віку та ізотопного складу гафнію в цирконах з кварцитів бузької серії,

Аналіз	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} \pm 1$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} \pm 1$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}(\text{T}) \pm 1$	$\text{Hf}(\text{T}) \pm 2$
1	0,281014 ± 10	0,00084 ± 5	0,027927	0,280996 ± 10	-17,4 ± 0,7
2	0,280859 ± 42	0,00073 ± 14	0,022512	0,280839 ± 43	-13,5 ± 3,1
3	0,280893 ± 18	0,00104 ± 11	0,032447	0,280844 ± 20	3,4 ± 1,4
4	0,281014 ± 12	0,00058 ± 3	0,019514	0,281001 ± 12	-8,4 ± 0,8
5	0,280910 ± 15	0,00165 ± 9	0,056336	0,280845 ± 16	-11,7 ± 1,1
6	0,280887 ± 22	0,00097 ± 9	0,030662	0,280852 ± 22	-7,8 ± 1,6
7	0,280776 ± 9	0,00043 ± 3	0,013892	0,280765 ± 9	-1,8 ± 0,6
8	0,280836 ± 19	0,00061 ± 20	0,019474	0,280812 ± 23	4,5 ± 1,6
9	0,280863 ± 7	0,00081 ± 3	0,026482	0,280838 ± 8	-11,2 ± 0,5
10	0,280873 ± 19	0,00118 ± 2	0,037117	0,280824 ± 19	-6,1 ± 1,4
11	0,281045 ± 11	0,00101 ± 8	0,043915	0,281010 ± 12	-5,5 ± 0,9
12	0,280859 ± 12	0,00084 ± 2	0,027000	0,280823 ± 12	1,0 ± 0,9
13	0,281001 ± 10	0,00071 ± 7	0,024047	0,280987 ± 10	-17,7 ± 0,7
14	0,281061 ± 7	0,00052 ± 3	0,017563	0,281052 ± 7	-8,8 ± 0,5
16	0,280886 ± 15	0,00122 ± 18	0,041161	0,280845 ± 18	-15,6 ± 1,2
17	0,280979 ± 13	0,00132 ± 18	0,043903	0,280917 ± 16	1,6 ± 1,1
18	0,281027 ± 11	0,000564 ± 2	0,018421	0,281011 ± 11	0,0 ± 0,8
19	0,280859 ± 10	0,00111 ± 4	0,034064	0,280813 ± 11	-6,6 ± 0,8
20	0,280799 ± 8	0,000309 ± 2	0,009684	0,280795 ± 8	-1,9 ± 0,6

ний склад гафнію у найдавнішому з кристалів циркону за наближується до ізотопного складу цього елемента в деплетованій мантії. Нажаль, вік цього найдавнішого з кристалів визначений з найбільшою похибкою ( $\pm 250$  млн років), що змушує з обережністю ставитись до вказаного результату. Тим не менш, ювенільний характер давніх цирконів підтверджується і даними щодо інших кристалів.

Переважає більшість досліджених кристалів циркону розташовується вздовж лінії, що перетинає лінію еволюції ізотопного складу гафнію в

деплетованій мантії у точці, вік якої відповідає 3,32 млрд років (рис. 1). Нахил лінії відповідає відношенню  $\text{Lu}/\text{Hf} = 0$ . Отже, величина  $\epsilon\text{Hf}$  в кристалах, розташованих на цій лінії, змінюється не за рахунок радіоактивного розпаду лютецію, а лише за рахунок плину часу (в координатах час – ізотопний склад гафнію ці точки розташовуються вздовж горизонтальної лінії, оскільки ізотопний склад гафнію не змінюється з часом через відсутність у кристалах лютецію). Таким чином, циркони, що утворились в різний час, мають ідентичний ізотопний склад гафнію. На думку автора, це



**Рис. 1.** Діаграма залежності ізотопного складу гафнію від часу в цирконах з кварциту кошаро-олександрівської світи з відслонення Біла Скеля (заповнені символи). Для порівняння наведено також результати по цирконах з ендербітів дністровсько-бузької серії, Одеський кар'єр (незаповнені символи, [3])

відслонення Біла Скеля

T(DM)	T(DM)felsic	T(DM)mafic	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ вік, млн років $\pm 2$
3078	3764	4487	0,1252 $\pm$ 3	2032 $\pm$ 7
3277	3843	4430	0,1586 $\pm$ 99	2441 $\pm$ 212
3258	3330	3406	0,2450 $\pm$ 143	3153 $\pm$ 185
3058	3500	3957	0,1560 $\pm$ 35	2413 $\pm$ 76
3286	3785	4321	0,1648 $\pm$ 37	2506 $\pm$ 76
3260	3661	4081	0,1813 $\pm$ 62	2665 $\pm$ 113
3362	3585	3811	0,2298 $\pm$ 5	3050 $\pm$ 7
3298	3335	3374	0,2598 $\pm$ 206	3245 $\pm$ 250
3278	3778	4298	0,1682 $\pm$ 25	2540 $\pm$ 49
3297	3644	4008	0,1943 $\pm$ 80	2779 $\pm$ 135
3051	3405	3778	0,1663 $\pm$ 29	2521 $\pm$ 59
3287	3431	3580	0,2342 $\pm$ 1	3081 $\pm$ 2
3086	3784	4516	0,1252 $\pm$ 3	2031 $\pm$ 9
2991	3451	3927	0,1476 $\pm$ 22	2318 $\pm$ 50
3283	3896	4546	0,1498 $\pm$ 61	2341 $\pm$ 139
3166	3300	3442	0,2180 $\pm$ 21	2966 $\pm$ 30
3040	3237	3441	0,1918 $\pm$ 4	2757 $\pm$ 6
3311	3673	4053	0,1935 $\pm$ 82	2772 $\pm$ 139
3321	3553	3788	0,2225 $\pm$ 10	2999 $\pm$ 15

явище може бути пояснене тим, що досліджені циркони, точки яких розташовані вздовж зазначеної лінії, кристалізувались близько 3100–3300 млрд років тому. Надалі, в ході метаморфічних перетворень у деяких з цих цирконів "перевстановлювалась" U-Pb ізотопна система, і вік кристалів "омолоджувався", відповідаючи вже не часу первинної кристалізації з магматичного розплаву, а часу метаморфізму. Водночас, ізотопний склад гафнію не змінювався, оскільки цей елемент є більш "стійким" до метаморфічних перетворень і заміщує цирконій у кристалічній ґратці циркону. Отже, кристали циркону виявлялись "закритими" по відношенню до Lu-Hf ізотопної системи, але "відкритими" до U-Pb системи.

Слід зазначити, що не всі кристали циркону, розташовані вздовж зазначеної вище лінії, містять ядра. Наймолодші з них мають явно метаморфічне походження. Вочевидь, вони утворювались за рахунок повного розчинення та перевідкладення давніших цирконів, і успадковували від них ізотопний склад гафнію.

Втім, приблизно третина з досліджених автором кристалів суттєво "відхиляється" від зазначеної лінії. Такі кристали або походять з інших джерел з інакшим початковим ізотопним складом гафнію, або ізотопний склад гафнію в них був модифікований під час метаморфічних перетворень завдяки привнесенню гафнію іншого ізотопного складу. Цілком можливо, що в породі при-

сутні дві різновікові "генерації" цирконів, які походять з різних джерел і мають різний ізотопний склад гафнію. У ході метаморфічних перетворень відбувалось "перевстановлення" U-Pb ізотопних систем, в той час як Lu-Hf системи лишались без змін.

**Геохімія кварцитів.** Результати вивчення хімічного складу кварцитів кошаро-олександрівської світи наведено в табл. 2. Автором досліджено склад порід, відібраних з відслонення у с. Кошаро-Олександрівка (те саме відслонення, циркони з кварцитів якого вивчено авторами роботи [2]), а також з відслонення "Біла Скеля". Як видно з наведених даних, кварцити обох відслонень дуже подібні поміж собою за хімічним складом. Вміст  $\text{SiO}_2$  становить 95–97 %. Елементи, які входять до складу польових шпатів, містяться в цих кварцитах у незначній кількості. Серед інших компонентів слід визначити дещо підвищений вміст легких РЗЕ та торію, що пояснюється присутністю у породі монациту. Вміст важких РЗЕ низький.

На хондрит-нормованих діаграмах кварцити вирізняються глибокими негативними аномаліями значень вмісту європію та стронцію, що пов'язано з дефіцитом плагіоклазу.

Порівняння складу кварцитів кошаро-олександрівської світи з фанерозойськими кварцовими аренітами [4] дало змогу виявити деяку збагаченність архейських кварцитів на мафічні компо-

Таблиця 2. Хімічний склад кварцитів кошаро-олександрівської світи, за результатами аналізу ICP-MS

Компонент	06-BG35	КО-1
SiO <sub>2</sub>	95,54	96,92
TiO <sub>2</sub>	0,13	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	0,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,10	0,04
FeO	2,44	1,87
MnO	<0,02	<0,02
MgO	0,24	0,47
CaO	0,11	0,11
Na <sub>2</sub> O	0,08	<0,02
K <sub>2</sub> O	0,2	<0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,03
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,2	0,18
Вп.п.	0,1	0,16
S <sub>заг</sub>	<0,02	<0,02
Сума	99,6	100,43
Li	5	5
Be	0,1	0,1
Sc	0,7	0,4
V	3	3
Cr	52	18
Co	1	1
Ni	12	4
Cu	42	179
Zn	3	1
Ga	1,5	0,43
Rb	6,2	1,7
Sr	4,6	2
Y	2	2
Zr	52	136
Nb	1,4	0,4
Mo	2	1
Cs	0,2	0,2
Ba	12	8
La	7,8	7,9
Ce	10,5	15
Pr	1	1,6
Nd	3,3	5,4
Sm	0,55	0,83
Eu	0,06	0,04
Gd	0,49	0,77
Tb	0,07	0,09
Dy	0,42	0,4
Ho	0,08	0,08
Er	0,21	0,25
Tm	0,03	0,03
Yb	0,24	0,26
Lu	0,04	0,04
Hf	1,5	3,9
Pb	1	11
Th	2,8	6,7
U	0,4	2,1

Примітка: зразок 06-BG35 – відслонення Біла Скеля, КО-1 – відслонення поблизу с. Кошаро-Олександрівка.

ненти – Ti, Cr, Fe, Co, що свідчить про підвищений внесок в утворення цих порід мафічних джерел.

Назагал, слід зазначити, що геохімічні особливості кварцитів кошаро-олександрівської світи – значне домінування кварцу та присутність монациту.

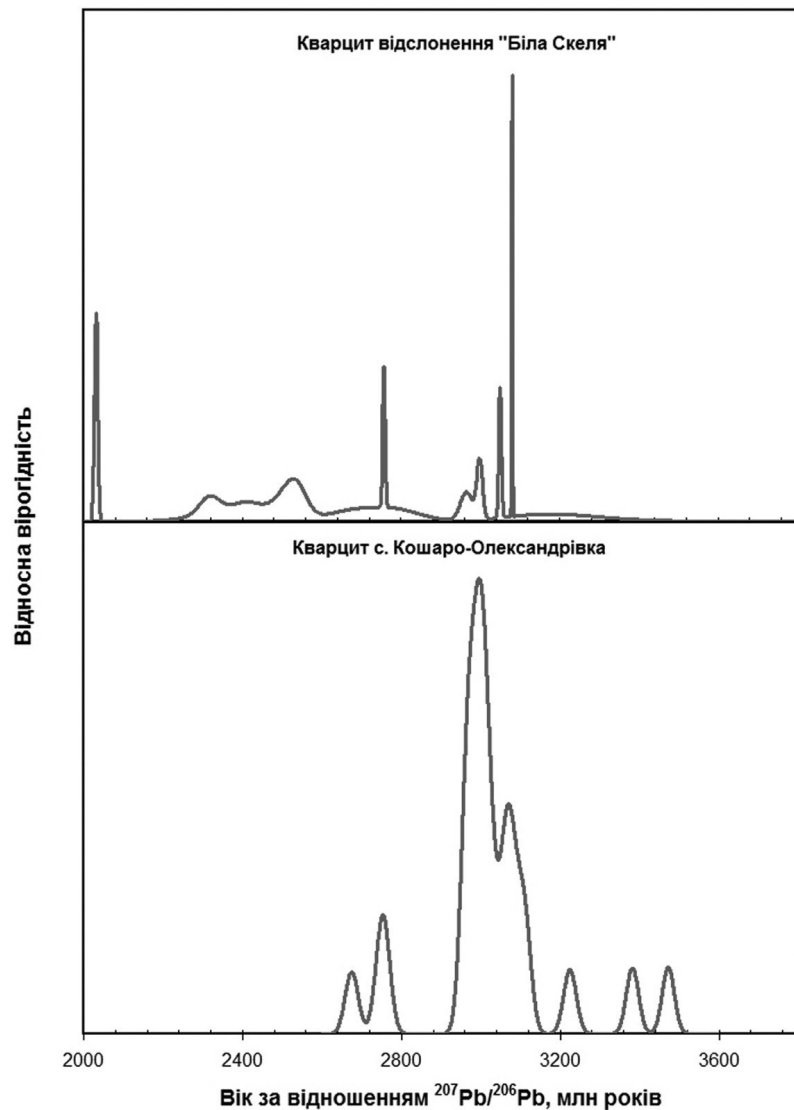
Ізотопний склад стронцію та неодиму. Ізотопний склад стронцію визначено у кварцитах с. Кошаро-Олександрівка "Біла Скеля", а ізотопний склад неодиму – лише в другому зі зразків. Результати наведено в табл. 3.

**Ізотопний склад стронцію і неодиму** вказує на корове походження джерел живлення кварцитів. Водночас, неодимовий модельний вік є нео-мезо-архейськими.

**Обговорення.** Як зазначено вище, отримані результати <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb датування цирконів з кварцитів кошаро-олександрівської світи, що відслонюються поблизу від с. Завалля, не можна назвати однозначними. На думку автора, вік формування осаду слід оцінювати в ~2500 млн років. Молодші кристали є метаморфогенними і не містять кластогенних ядер. В цьому відношенні цікаво порівняти результати, отримані по цирконах з відслонення "Біла Скеля" і цирконах, виділених з кварцитів району с. Кошаро-Олександрівка [2]. Віковий розподіл цирконів наведено на рис. 2. Як видно з цього рисунку, циркони з кварцитів Кошаро-Олександрівки мають чіткий пік в районі 3000 млн років, з декількома менш значними піками від 3477 до 2682 млн років. Циркони, молодші за 2675 млн років, у цій породі не виявлені.

Циркони з відслонення "Біла Скеля" мають інший діапазон значень ізотопного віку – від 3245 до 2031 млн років. На відміну від кварцитів Кошаро-Олександрівки, на відповідній діаграмі відсутній єдиний чіткий пік. Зауважимо, що в обох зразках визначення ізотопного віку цирконів виконувались лише по центральних частинах кристалів. Таким чином, не можна заперечувати, що в цирконах з кварцитів с. Кошаро-Олександрівка відсутні облямівки, молодші за 2675 млн років, однак цілком сформовані пізніше кристали відсутні, на відміну від кварцитів відслонення "Біла Скеля". Можна припустити, що, не зважаючи на відносно невелику відстань між обома відслоненнями (20–25 км) та приналежність кварцитів до однієї світи, джерелами живлення для них були різні породи. Метаморфічна історія цих кварцитів також різна.

Розглянемо тепер можливе джерело живлення кварцитів відслонення "Біла Скеля". Розпов-



**Рис. 2.** Розподіл цирконів за значенням ізотопного віку з кварцитів кошаро-олександрівської світи бузької серії. Нагорі – кварцит відслонення Біла Скеля, внизу – кварцит району с. Кошаро-Олександрівка (за даними [2])

сюдженою є думка про те, що відклади бузької серії (до яких належить і кошаро-олександрівська світа) виповнюють відносно невеликі синформні структури, накладені на палеоархейський фундамент (див, зокрема, [2]). Для кварцитів Хашувато-Заваллівської структури було б логічним припустити, що вони формувались за рахунок розмиву і руйнування палеоархейських утворень дністровсько-бузької серії, на зразок тих, що відслонюються неподалік, в кар'єрах в 1 км на північ від с. Завалля. Автором досліджено циркони з ендербітів Одеського кар'єру на правому березі р. Південний Буг ([3], рис. 1). Як відомо, ендербіти району с. Завалля у великій кількості містять циркони, вік яких вищий від 3300 млн років і сягає 3650 млн років [1, 5]. Такі давні циркони не виявлено ні у кварцитах Завалля, ні у кварцитах

Кошаро-Олександрівки. Результати дослідження ізотопного складу гафнію вказують на значну різницю між одновіковими цирконами з кварцитів та ендербітів. Так, ізотопний склад гафнію в цирконах з ендербітів зазвичай приблизно на 10–15 одиниць нижчий, ніж в одновікових з ними цирконах з кварцитів. Поля цирконів з ендербітів та кварцитів практично не перетинаються, за виключенням наймолодших цирконів (віком біля 2030 млн років), які мають майже тотожний ізотопний склад гафнію. На думку автора, це свідчить про те, що циркони з ендербітів відсутні серед кластогенних кристалів цього мінералу в кварцитах. В іншому випадку, кварцити б містили також давніші за 3245 млн років циркони, а ізотопний склад гафнію в них відповідав би такому в цирконах з ендербітів. Втім, метаморфічна подія,

Таблиця 3. Ізотопний склад стронцію та неодиму в кварцитах кошаро-олександрівської світи

Зразок	Вміст, г/т		Ізотопні відношення			
	Sm	Nd	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	Nd(2500)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(2500)$
06-BG35	0.6	3.57	$0,510817 \pm 4$	0.1015	-4,9	0.509144
КО-1						

Продовження табл. 3

Модельний вік, млн рр.		Вміст, г/т		Ізотопні відношення			
CHUR	DM	Rb	Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(2500)$	Sr(2500)
2900	3115	6.2	4.6	3.9543	$0,851104 \pm 24$	0.708204	94
		1	2.5	1.1618	$0,747275 \pm 24$	0.705291	52

що відбулася близько 2030 млн років тому, в однаковій мірі заторкнула ендербіти і кварцити – новоутворені циркони цього віку в обох породах мають однаковий ізотопний склад гафнію.

Ізотопний склад неодиму в кварцитах с. Завалля вказує на те, що ці породи формувались за рахунок розмиву переважно мезоархейських утворень. Якби головним джерелом кластогенних відкладів кошаро-олександрівської світи були палеоархейські породи дністровсько-бузької серії, то значення неодимового модельного віку кварцитів були б значно давнішими. Ізотопний склад стронцію в досліджених автором незмінених ендербітах [3], перерахований на згаданий вік в 2500 млн років, також є значно більш примітивним, ніж в кварцитах. Так, величина  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(2500)$  в ендербітах та мафітових породах дністровсько-бузької серії варіює від 0,7014 до 0,7050, що помітно менше, ніж в кварцитах.

**Висновки. 1.** Наймолодші з кластогенних цирконів в кварцитах бузької серії відслонення Біла Скеля мають вік близько 2540 млн років, який прийнято за найдавніший можливий вік осадконакопичення. Молодші циркони (віком до 2031 млн років) є метаморфогенними. Найдавніші з кристалів мають вік до 3245 млн років.

**2.** Ізотопний склад гафнію в цирконах свідчить про ймовірну належність цирконів до двох типів, що походять з двох різних джерел. Більшість кристалів розташовується вздовж лінії еволюції, яка відповідає відношенню  $\text{Lu}/\text{Hf} = 0$ , та перетинає криву еволюції складу гафнію в деплетованій мантії в точці 3,32 млрд років. Ізотопний склад гафнію свідчить про ювенільне походження цих цирконів. Кристали другого типу, можливо, походять з іншого, більш молодшого джерела.

**3.** Значення неодимового модельного віку свідчать про утворення кварцитів відслонення Біла Скеля за рахунок руйнування нео-мезоархейських порід переважно кислого складу.

**4.** За характером розподілу значень віку цирконів кварцити відслонення Біла Скеля помітно відрізняються від кварцитів району с. Кошаро-Олександрівка, хоча і належать до одного стратиграфічного підрозділу. Вочевидь, вони формувались завдяки руйнуванню різних джерел і мають різну метаморфічну історію.

**5.** Продукти руйнування палеоархейських утворень дністровсько-бузької серії в кварцитах відслонення Біла Скеля відсутні.

1. Лобач-Жученко С.Б., Степанюк Л.М., Пономаренко А.Н. и др. Возраст цирконов из эндербито-гнейсов Среднего Побужья (Днестровско-Бугский мегаблок Украинского щита) // *Мінерал. журн.* – 2011. – 33, № 1. – С. 3–14.
2. Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Пономаренко О.М. и др. До питання про вікові межі формування кошаро-олександрівської світи бузької серії Побужжя // *Геохімія та рудоутворення.* – 2010. – 28. – С. 4–10.
3. Шумлянський Л.В. Геохімія порід та ізотопний склад гафнію в цирконах з піроксенових плагіогнейсів (ендербітів) Побужжя // *Мінерал. журн.* – 2012. – 34, № 2. – С. 64–79.
4. Boryta M., Condie K. Geochemistry and origin Of the Archaean Beit Bridge Complex, Limpopo Belt, South Africa // *J. Geol. Soc. Lond.* – 1990. – 147. – P. 229–239.
5. Claesson S., Bibikova E., Bogdanova S., Skobelev V. Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking and accretion in the Ukrainian shield, East-European craton // *European lithosphere dynamics./ Geol. Soc. of London.* – 2006. – P. 645–654.

**Шумлянський Л.В. Возраст и изотопный состав гафния цирконов из кварцитов Среднего Побужья Украинского щита.** Приведены результаты исследования изотопного возраста цирконов из кварцитов кошаро-александровской свиты бугской серии Побужья. Также приведены данные об изотопном составе гафния в цирконах, о результатах исследования химического состава кварцитов и определения в них изотопного состава стронция и неодима. Показано, что самые молодые из кластогенных цирконов в этих породах имеют возраст около 2540 млн лет, который и принят как максимально возможное время осадконакопления. Более молодые цирконы (возрастом до 2031 млн лет) – метаморфогенные. Самые древние из кристаллов имеют возраст до 3245 млн лет. Изотопный состав гафния в цирконах указывает на вероятную принадлежность их к двум типам, происходящим из двух разных источников. Большинство кристаллов располагается вдоль линии эволюции, которая соответствует отношению  $Lu/Hf = 0$ , и пересекает кривую эволюции гафния в деплетированной мантии в точке 3,32 млрд лет. Изотопный состав гафния указывает на ювенильное происхождение этих цирконов. Кристаллы второго типа, возможно, происходят из другого, более молодого источника. Значения неодимового модельного возраста указывают на образование кварцитов за счет размыва нео-мезоархейских пород, преимущественно кислого состава. По характеру распределения возрастов цирконы обнажения Белая Скала значительно отличаются от кварцитов района с. Кошаро-Александровка, хотя и принадлежат к одному стратиграфическому подразделению. Очевидно, они формировались за счет размыва разных источников, и имеют разную метаморфическую историю. Продукты размыва палеоархейских образований днестровско-бугской серии в исследованных кварцитах отсутствуют.

**Shumlyansky L.V. Age and Hf isotope composition in zircons from quartzite of Middle Bug Region (Serednie Pobuzhzya) of the Ukrainian Shield.** Paper deals with results of the isotope age investigation of zircons from quartzite of the Kosharo-Oleksandrivka suite of the Bug Series, Pobuzhzya. Besides this, data on Hf isotope composition in zircons, as well as whole-rock geochemistry and Sr and Nd isotope compositions in quartzite are also reported. It is shown that youngest of the detrital zircons are ca. 2540 Ma. This age corresponds to the maximal time of sedimentation. Even younger zircon grains (up to 2031 Ma) are of metamorphic origin. Oldest of the zircons found in quartzite is 3245 Ma. As shown by Hf isotope composition, zircons are probably derived from two different sources. Most of the results are located along evolution line that corresponds to  $Lu/Hf = 0$  and intersects line of evolution of Hf isotope composition in depleted mantle at 3.32 Ga. Hf isotope composition evidences of juvenile origin of these zircons. Grains that belong to the second variety are originated from another, younger source. Nd model ages indicate origin of quartzite due to destruction of Neo- and Meso-Archaeal rocks of mainly felsic composition. Distribution of zircon ages in quartzite of the "Bila Skelya" outcrop differs significantly from the quartzite that crops out nearby Kosharo-Oleksandrivka village that belongs to the same stratigraphic unit. Most probably, these were derived from different sources and have different metamorphic history. There are no evidences of the presence in the studied quartzite of the material derived from the rocks of the Paleoarchaeal Dniester-Bug Series.

*Надійшла 28.11.2011.*