———— ГЕОХИМИЯ =

УДК 550.4+550.93

ПАЛЕОАРХЕЙСКИЙ U–Pb (SIMS SHRIMP-II)-ВОЗРАСТ МАФИЧЕСКИХ ГРАНУЛИТОВ ПОБУЖСКОГО КОМПЛЕКСА УКРАИНСКОГО ЩИТА

С. Б. Лобач-Жученко^{1,*}, Т. В. Каулина², член-корреспондент РАН Ю. Б. Марин³, А. В. Юрченко¹, С. Г. Скублов^{1,3}, Ю. С. Егорова¹, О. Л. Галанкина¹, С. А. Сергеев⁴

Поступило 04.05.2018 г.

Получены данные о U–Pb (SIMS SHRIMP-II)-возрасте циркона (3628 ± 38 и 2845 ± 65 млн лет) из включения мафического гранулита в гнейсоэндербитах побужского комплекса Украины. Циркон с возрастом 3628 ± 38 млн лет впервые позволил установить в Побужье проявление основного магматизма на границе палео- и эоархея. Возраст 2845 ± 65 млн лет датирует повсеместно проявленный в Побужье наложенный метаморфизм, приведший к значительной амфиболизации породы и её частичному плавлению.

Ключевые слова: палеоархей, мафический гранулит, U-Pb-SHRIMP-II-возраст.

DOI: https://doi.org/10.31857/S0869-56524843344-347

Ассоциация древнейших пород Сарматии представлена гнейсоэндербитами и мафическими гранулитами. Возраст гнейсоэндербитов определён в 3,75–3,60 млрд лет [1–5], тогда как о времени становления древних основных пород — только косвенные данные [5, 6].

Мафические гранулиты по геологическим и петрохимическим критериям интерпретируются как метабазальты, метаморфизованные в условиях гранулитовой фации. Они широко распространены в Побужье [6, 7] и в стратиграфической схеме относятся к предположительно раннеархейской днестровско-бугской серии [8], подстилаемой гнейсоэндербитами. В настоящее время вследствие многократных деформаций мафические гранулиты слагают линзы и полосы среди гнейсоэндербитов [9]. Исходя из анализа данных по наименее мобильным при метаморфизме элементам (Ti, Al, Fe, Mg) [10], мафические гранулиты побужского комплекса отвечают: железистым, толеитовым, высокоглиноземистым, высокомагнезиальным базальтам и коматиитам [11]. На диаграмме AFM все породы, за исключением глинозёмистых метабазальтов, расположены в поле толеитовой либо на границе толеитовой и известково-щелочной серий.

- ² Геологический институт Кольского научного центра
- Российской Академии наук, Апатиты Мурманской обл.
- ³Санкт-Петербургский горный университет

Циркон выделен из мафического гранулита UR89/16, представляющего собой включение (рис. 1) в гнейсоэндербитах (многие зёрна циркона из них сохраняют палеоархейские возрасты — неопубликованные данные авторов).

Определение возраста циркона из образца UR89/16 проведено в ЦИИ ВСЕГЕИ на ионном микрозонде SHRIMP-II по методике в [5]. Состав минералов изучен в ИГГД РАН на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6510LA с энергодисперсионным спектрометром JED-2200.

По химическому составу UR89/16 отвечает высокомагнезиальному базальту (#Mg = 0,73) толеитовой серии с высокими содержаниями Ni, Cr, Co.



Рис. 1. Изображение циркона в катодолюминисцентном изображении из мафического гранулита UR89/16. Номера точек соответствуют табл. 1, 2. Приведены значения ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb-возраста.

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия

Российской Академии наук, Санкт-Петербург

⁴ФГБУ "ВСЕГЕИ", Санкт-Петербург

^{*}E-mail: slobach-zhuchenko@mail.ru

№ точки	U	Th	232-1-		²⁰⁶ Pb*	207 DL *		206 01- *			Возраст, млн лет				
	ppm		$\frac{110}{238}$ U	²⁰⁶ Pb _c , %	ppm	²³⁵ U6	±1σ, %	²³⁸ U	±1σ, %	Rho	$\frac{\frac{206}{Pb}}{\frac{238}{U}}$	±1σ	$\frac{207}{206}$ Pb	±lσ	D, %
1.1	528	626	1,22	0,07	212	11,87	1,5	0,467	0,9	0,60	2469	±19	2694	±20	9
2.1	206	95,0	0,48	0,04	104	21,03	1,7	0,590	1,1	0,66	2990	±26	3237	±20	8
2.2	101	72,0	0,71	0,01	50,4	15,30	1,7	0,517	1,5	0,87	2685	±33	2943	±14	10
3.1	452	57,0	0,13	0,03	193	12,82	2,0	0,497	1,0	0,48	2599	±20	2718	±29	5
4.1	177	114	0,67	0,04	82,6	17,88	1,4	0,542	1,2	0,83	2793	±26	3114	±12	12
5.1	157	194	1,27	0,12	59,7	10,58	1,4	0,441	1,1	0,77	2356	±21	2595	±15	10
6.1	267	79,0	0,31	0,05	131	20,33	2,0	0,571	0,9	0,52	2910	±25	3237	±27	11
6.2	114	25,0	0,22	0,00	109	14,90	1,6	0,510	1,5	0,89	2655	±32	2922	±12	10
7.1	127	106	0,86	0,00	58,1	14,54	1,6	0,532	1,1	0,71	2749	±26	2812	±18	2
7.2	62,0	34,0	0,57	0,29	28,5	14,39	3,1	0,535	1,5	0,48	2761	±33	2786	±44	1
8.1	294	90,0	0,32	0,03	175	29,60	1,0	0,692	0,9	0,90	3388	±24	3523	±7	4
9.1	247	75,0	0,30	0,16	66,3	26,30	2,9	0,765	2,6	0,91	3663	±74	3181	±19	-13

Таблица 1. U-Pb-данные для циркона из мафического гранулита UR89/16

Примечание. Pb_c и Pb^{*} — обыкновенный и радиогенный Pb соответственно; *Rho* — коэффициент корреляции ошибок; D — дискордантность; поправку на Pb_c проводили с использованием измеренного ²⁰⁴Pb; погрешность при калибровке стандарта 0,57—0,91%.

Порода состоит из, %: Орх (20), Срх (13), Amph (47), Pl (17), Bt (1), Ilm, Mag до 2. Акцессорные: Ар, Zrn (здесь и ниже аббревиатура минералов дана по [12]).

Текстура породы неоднородная, выделяются полосы, обогащённые Amph + Bt + Ilm. Срх $(En_{0,38-0,42}Fs_{0,06-0,15}Wo_{0,45-0,52})$ размером в 1–2 мм содержит ламелли Орх, Ilm и окружён каймой Срх без структур распада твёрдого раствора. Более мелкие зёрна диопсида не содержат ламеллей. Рассчитанный состав первичного Срх до распада твёрдого раствора соответствовал диопсиду, обогащённому Fs-молекулой и TiO₂. Распад Срх имел место при раннем высокотемпературном метаморфизме.

Орх соответствует энстатиту, содержащему 0,9– 1,43 мас.% Al_2O_3 , $X_{MgO} = 0,57-0,62$. На дискриминационной диаграмме Al_2O_3 vs FeO + MgO [13] энстатит расположен в поле метаморфических ортопироксенов. Pl (An 40–44%) однороден, Amph отвечает ферропаргаситу с #Mg 0,62–0,66, TiO₂ = 1,75– 2,47 мас.%. По краям зёрен пироксенов развивается актинолит (#Mg 0,77–0,78, TiO₂ = 0,42–1,08 мас.%). Слюда имеет высокое содержание TiO₂ = 4,0– 6,3 мас.%; #Mg = 0,63–0,66. В амфиболе и плагиоклазе присутствуют включения мелких (до 20–50 мкм) зёрен циркона.

Циркон из обр. UR89/16 представлен ангедральными и овальными зёрнами с неинтенсивной окраской в катодолюминесцентном (CL) изображении. Большая часть зёрен имеет в CL светлые каймы. Ряд зёрен зонального строения (рис. 1).

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК том 484 № 3 2019

На U-Pb-диаграмме аналитические данные (табл. 1) аппроксимируются двумя дискордиями (рис. 2). Верхнее пересечение первой дискордии соответствует значению 3628 ± 58 млн лет (CKBO = = 1,3). Этот возраст в пределах погрешности соответствует полученному ранее возрасту 3659 ± 19 млн лет одной из пяти генераций циркона из гранулита UR132, для которой предполагалась кристаллизация из расплава основного состава [5]. При совместном расчёте данных по зёрнам древнего циркона из обр. UR89/16 и нескольких зёрен UR132 верхнее





Рис. 2. U–Pb-диаграмма с конкордией для циркона из мафического гранулита (обр. UR89/16) побужского комплекса Украинского щита.

пересечение отвечает значению 3634 ± 42 млн лет (СКВО = 0,74) (рис. 2). Вторая дискордия (рис. 2), построенная по 5 аналитическим результатам, определяет возраст наложенного события метаморфизма по верхнему пересечению конкордии, равному 2845 ± 65 млн лет (СКВО = = 0,64).

Обе возрастные группы циркона имеют геохимические характеристики (Th/U, высокую степень фракционирования P3Э, аномалии Ce, Eu) (табл. 2), отвечающие магматическому типу циркона. Заметные отличия циркона второй группы повышенные концентрации ЛРЗЭ, Ba, U, Th, повышенное значение Th/U, отражающие иной состав среды при их кристаллизации. Петрографические (присутствие мелких зёрен циркона в амфиболе) и геохимические (характеристика P3Э) данные показывают, что кристаллизация циркона на этапе 2845 \pm 65 млн лет происходила из расплава, возникающего в результате селективного плавления

Таблица 2. Содержание (ppm) редких и РЗЭ в цирконе из обр. UR89/16

Vourouaur	Точки анализа									
Компонент	2.1	2.2	1.1	3.1	5.1					
La	0,04	0,03	0,32	0,03	0,17					
Ce	7,47	9,09	30,7	3,18	16,5					
Pr	0,02	0,03	0,34	0,02	0,22					
Nd	0,49	0,41	2,65	0,14	2,36					
Sm	1,04	0,85	3,39	0,59	3,00					
Eu	0,26	0,21	1,09	0,29	0,71					
Gd	7,00	3,83	18,2	5,70	13,0					
Dy	35,0	14,6	65,2	37,7	40,8					
Er	89,2	36,4	145	134	84,7					
Yb	209	76,9	252	355	155					
Lu	41,1	14,0	43,9	71,9	27,5					
Li	4,97	6,25	16,1	9,30	5,61					
Р	113	66,5	179	215	108					
Ca	0,26	0,42	5,37	0,47	3,92					
Ti	12,3	13,7	15,0	9,12	8,50					
Sr	b,d,l,	0,06	0,13	0,17	0,07					
Υ	484	193	812	631	481					
Nb	12,5	8,61	9,84	6,63	11,6					
Ba	0,44	0,49	0,87	0,67	1,14					
Hf	9077	9158	10221	10578	9079					
Th	95,0	101	626	57,0	194					
U	206	72,0	528	452	157					
Th/U	0,46	1,40	1,19	0,13	1,24					
Eu/Eu*	0,29	0,36	0,42	0,48	0,34					
Ce/Ce*	66,0	65,0	23,0	30,0	21,0					
Lu _N /La _N	9822	3957	1332	19926	1543					
<i>T</i> (Ti), °C	762	772	780	735	729					



Рис. 3. Распределение РЗЭ в цирконе из мафического гранулита UR89/16. Номера точек соответствуют табл. 1, 2.

одновременно с процессами амфиболизации мафического гранулита.

Изучение включения мафического гранулита побужского комплекса позволяет сделать следующие выводы.

1. Возраст мафического гранулита в 3628 ± 38 млн лет впервые датирует ранний (палеоархейский) этап базитового магматизма в побужском комплексе и даёт оценку возраста днестровско-бугской серии Украинского щита. Сохранность изотопной системы зёрен циркона в обр. UR89/16, по-видимому, определяется особым геологическим положением изученного образца — его экранированием эндербитогнейсом.

2. Возраст 2845 ± 65 млн лет отвечает этапу метаморфизма, повсеместно проявленному в Побужье [1–4, 6], приведшему к значительной амфиболизации мафического гранулита UR89/16 и его частичному плавлению. В ходе метаморфизма и плавления осуществлялись перекристаллизация зёрен древнего циркона и рост нового магматического циркона.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы № 19 Президиума РАН: тема № 0153—2018—0007, а также тем НИР ИГГД РАН № 0153—2019—0001 и 0153—2019—0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Бибикова Е.В., Клайссен С., Федотова А.А. и др. // Геохимия. 2013. Т. 51. № 2. С. 99–121.
- Claesson S., Bibikova E., Shumlyanskyy L.V., et al. // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2015. V. 389. P. 227– 259.
- 3. Лобач-Жученко С.Б., Степанюк Л.М., Пономаренко А.Н. и др. // Минерал. журн. 2011. Т. 33. № 1. С. 3–15.

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК том 484 № 3 2019

- 4. Шумлянский Л.В. // Минерал. журн. 2012. Т. 34. № 2. С. 64–79.
- Lobach-Zhuchenko S.B., Kaulina T.V., Baltybaev S.K., et al. // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2017. V. 449. P. 175–206.
- 6. *Степанюк Л.М.* // Минерал. журн. 1996. Т. 18. № 4. С. 10–19.
- 7. *Щербаков И.Б.* Петрология Украины. Львов: Издво ТзОВ ЗУКЦ, 2005. 364 с.
- 8. *Есипчук К.Ю.*, *Бобров А.Б.*, *Степанюк Л.М. и др.* Корреляционная хроностратиграфическая схема

раннего докембрия Украинского щита. Киев: Издво Южукргеология, 2004. 37 с.

- 9. Балтыбаев Ш.К., Лобач-Жученко С.Б., Балаганский В.В. и др. // Регион. геология и металлогения. 2014. № 58. С. 33-44.
- 10. *Arndt N.T.* In: Archean Crustal Evolution. L.: Elsevier, 1994. V. 11. P. 11–44.
- Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Вревский А.Б. и др. // Регион. геология и металлогения. 2014. № 59. С. 1–13.
- 12. Kretz R. // Amer. Mineral. 1983. V. 68. P. 277–279.
- 13. Rietmeijer F.J.M. // Mineral. Mag. 1983. V. 47. P. 143–151.

PALEOARCHEAN U–Pb (SIMS SHRIMP-II) AGE OF MAFIC GRANULITES OF THE BUG COMPLEX (UKRAINIAN SHIELD)

S. B. Lobach-Zhuchenko, T. B. Kaulina, Corresponding Member of the RAS Yu. B. Marin, A. V. Yurchenko, S. G. Skublov, Yu. S. Egorova, O. L. Galankina, S. A. Sergeev

Received May 4, 2018

Mafic granulites (metamorphosed tholeite-komatiite volcanic rocks) represent the inclusions in gneissenderbite of the Bug complex (southwest of the Ukrainian shield). The studied mafic inclusion has two zircon generations of magmatic origin that yield, respectively, SHRIMP zircon U–Pb ages of 3628 ± 58 Ma and 2845 ± 65 Ma. The first age is the oldest date the earliest stage of basic magmatism on the Ukrainian shield. The age of the second zircon is interpreted as a result of partial melting, synchronous with the metamorphism in the area.

Keywords: Paleoarchean, mafic granulite, U-Pb SHRIMP-II age.