

УДК 551.71:550.93(477)

С.Б. Лобач-Жученко¹, д-р геол.-мин. наук, проф.,
 Т.В. Каулина², д-р геол.-мин. наук,
 В.В. Сукач³, канд. геол. наук,
 А.В. Юрченко¹, Ш.К. Балтыбаев¹, д-р геол.-мин.
 наук,
 В.В. Балаганский², д-р геол.-мин. наук

1 – Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: slobach-zhuchenko@mail.ru
 2 – Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, Россия, e-mail: kaulina@geoksc.apatity.ru
 3 – Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеново НАН Украины, г. Киев, Украина, e-mail: svital@ukr.net

ДРЕВНЕЙШИЕ ГРАНУЛИТЫ УКРАИНСКОГО ЩИТА, ПОБУЖСКИЙ ГРАНУЛИТОВЫЙ КОМПЛЕКС

S.B. Lobach-Zhuchenko¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,
 T.V. Kaulina², Dr. Sci. (Geol.-Min.),
 V.V. Sukach³, Cand. Sci. (Geol.),
 A.V. Yurchenko¹,
 S.K. Baltybaev¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.),
 V.V. Balagansky², Dr. Sci. (Geol.-Min.)

1 – Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, St.-Petersburg, Russia, e-mail: slobach-zhuchenko@mail.ru
 2 – Geological Institute of Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia, e-mail: kaulina@geoksc.apatity.ru
 3 – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: svital@ukr.net

THE OLDEST GRANULITES OF THE UKRAINIAN SHIELD, THE BUG GRANULITIC COMPLEX

Цель. Геолого-геохронологическое изучение главных этапов гранулитового метаморфизма в истории развития Побужского гранулитового комплекса Украинского щита (УЩ).

Методика. Выполненные исследования включали в себя полевые работы, лабораторно-аналитическое изучение образцов пород и научное обобщение полученных данных. Образцы горных пород отбирались из детально описанных обнажений в бортах карьера. Лабораторные исследования включали следующие методы: химический анализ пород на главные, редкие и редкоземельные элементы; химический анализ породообразующих минералов; анализ содержаний редкоземельных и редких элементов в цирконе; изучение внутреннего строения и измерение U-Pb изотопных отношений в цирконе (SHRIMP II, ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург).

Результаты. По морфологии, внутреннему строению и химическому составу доказана принадлежность изученного циркона к гранулитовому типу. Содержащие его двупироксеновые гнейсы по составу породообразующих минералов отвечают P-T параметрам гранулитовой фации. Таким образом, полученный радиологический возраст циркона 3499 ± 33 млн лет фиксирует время наиболее раннего этапа гранулитового метаморфизма пород Побужского комплекса.

Научная новизна. В породах Побужского комплекса впервые установлен гранулитовый метаморфизм палеоархейского возраста, что существенно дополняет наши представления о ранней истории развития УЩ как фрагмента раннедокембрийской земной коры.

Практическая значимость. Использование полученных результатов в практике геологосъемочных работ при составлении геологических карт Днестровско-Бугской провинции будет способствовать более достоверной металлогенической оценке и повышению эффективности поисковых работ в пределах провинции и УЩ в целом.

Ключевые слова: Побужский гранулитовый комплекс, палеоархей, Одесский карьер, двупироксеновый гнейс, изотопный возраст, циркон, гранулитовая фация

Постановка проблемы. Гранулитогнейсовыи области (ГГО) наряду с гранит-зеленокаменными областями (ГЗО) являются важными тектоническими элементами архея, и их изучение вносит существенный вклад в понимание ранней истории развития Земли. Полиметаморфический характер гнейсо-гранулитовых областей значительно затрудняет геохронологические и геологические исследования и, тем самым, восстановление строения этих территорий и их металлогеническую оценку.

В настоящее время наиболее древние возрасты гранулитового метаморфизма, определенные U-Pb мето-

дом по цирконам, отвечают интервалу 3,1–3,0 млрд лет. В ряде докембрийских структур гранулитовый метаморфизм такого возраста наложен на породы с возрастом 3,7–3,8 млрд лет. Такими областями являются Шарыжалгайский комплекс и Джугджуро-Становая область Сибири (работы Е.В. Бибиковой и др.; Туркиной и др.; Глебовицкого и др.), гнейсы Уивак в Канаде (A.P. Nutman et al.), кратон Аншан в Китае (Wu et al.) и комплекс Нэйпир в Антарктиде (L.P. Black et al.). Преобладающее число датировок гранулитового метаморфизма отвечает границе мезо- и неоархея. В ряде древних ГГО выделены пояса гранулитов палеопротерозойского возраста.

Геологическая позиция и анализ последних исследований. Побужский гранулитовый комплекс

© Лобач-Жученко С.Б., Каулина Т.В., Сукач В.В., Юрченко А.В., Балтыбаев Ш.К., Балаганский В.В., 2015

(ПГК) слагает юго-западную часть Украинского щита и расположен в южной части Днестровско-Бугской провинции, образуя так называемую „гранулитовую дугу“ [1]. Севернее „гранулитовой дуги“ диафторированные гранулиты наблюдаются в виде реликтов среди палеопротерозойских гранитоидов. В центральной части ПГК преобладают гнейсоэндрбиты, содержащие включения основных и ультраосновных пород. Меньшее распространение в ПГК имеют супракрупные серии архея и палеопротерозоя [1]. Наиболее древние значения 3,7–3,6 млрд лет, полученные для гнейсоэндрбитов, интерпретируются как возраст магматического протолита этих пород [2, 3]. По результатам датирования цирконов U-Pb методом в Побужском комплексе были выделены два этапа гранулитового метаморфизма – 2,7–2,8 и 1,9–2,0 млрд лет [2]. Детальные геолого-геохронологические исследования цирконов методом TIMS [4] позволили обосновать в метаморфической истории ПГК три этапа гранулитового метаморфизма: 3,2–3,1, 2,9–2,7 и 2,06–2,04 млрд лет.

Древние гранулиты обнаружены в одном из обнажений Одесского карьера, расположенного на правом берегу р. Южный Буг (район пос. Завалье). Гранулиты обнажения UR132 (48° 13' 55,2" с.ш., 29° 59' 15,75" в.д.) слагают стенку карьера высотой более 5 м. В нижней части обнажения эти породы секутся небольшой дайкой метатрахибазальта, ориентированной в северо-восточном направлении и имеющей возраст 1988 ± 4 млн лет [4]. Ассоциация минералов, слагающих дайку, не несет признаков гранулитового метаморфизма.

Методика исследований. Измерения U-Pb изотопных отношений проводились методом вторично-ионной масс-спектрометрии на ионном зонде высокого разрешения SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Внутреннее строение цирконов изучалось в режимах катодolumинесценции (КЛ) и композиционного контраста (BSE) на растровом электронном микроскопе в ЦИИ ВСЕГЕИ. Анализ содержания редкоземельных и редких элементов в цирконах осуществлялся на ионном зонде Cameca IMS-4F в Ярославском филиале Физико-Технологического института РАН (ЯФ ФТИАН). Состав породообразующих минералов получен с использованием JSM-6510LA SEM с приставкой JED-2200 (JEOL)EDS (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург). Химический состав главных элементов в породах измерен рентгено-спектральным флуоресцентным анализом, редких и редкоземельных элементов – на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ELAN-DRC-6100 в ЦИИ ВСЕГЕИ.

Изложение основного материала. Характеристика породы. Гранулит UR132 представляет собой светло-серую, стекловатую гнейсовидную породу (рис. 1, а) со слабо проявленной сланцеватостью практически строго меридионального простирания при субвертикальном ее падении. В шлифе (рис. 1, б) структура породы среднезернистая, гранобластовая, текстура – гнейсовидная. Гнейсовидность выражена цепочками зерен пироксенов и рудного минерала, разделенными агрегатами антипертитового плагиоклаза и небольшого количества кварца. Отсутствие четкой гнейсовидности

в срезах, расположенных под углом к срезу (рис. 1, б), свидетельствует, что ориентировка пироксенов отражает скорее линейность, чем гнейсовидность. Химический состав приведен в табл.1. На классификационной диаграмме SiO_2 vs $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ порода UR132 располагается в поле основных пород. От кристаллосланцев Одесского карьера (их средний состав приведен в табл. 1, 2) отличается несколько более высокими содержаниями Si, Na, P, меньшей магнезиальностью ($\#mg=0.41$) и очень существенно содержанием редких элементов. Гранулит UR132 обогащен по сравнению с другими основными породами (кристаллосланцами) Zr, Sr, Nb, Hf, REE (табл. 1).

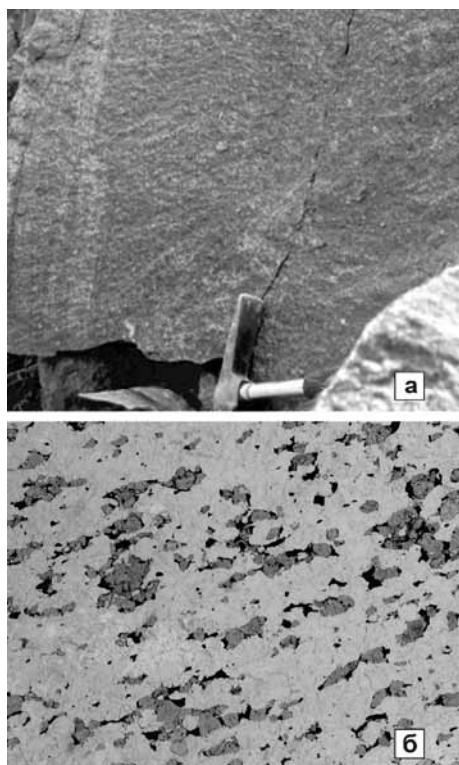


Рис. 1. Фрагмент обнажения гранулитов (а); фото пластинки гранулита UR132 (б), демонстрирующее гнейсовидную текстуру, которая определяется ориентированным расположением агрегатов зерен пироксенов в лейкократовой матрице, сложенной плагиоклазом и небольшим количеством кварца

Минеральный состав гранулита UR132 представлен ассоциацией: $\text{Qzt} + \text{Pl} (\text{An}_{35}\text{Ab}_{63}\text{Ort}_2) + \text{KfSp} (\text{Ort}_{96}\text{Ab}_4)$; антипертитовые вроски в плагиоклазе) + $\text{Hyp} (\text{En}_{46}\text{Fs}_{53}\text{Wo}_1) + \text{Di} (\text{En}_{32}\text{Fs}_{21}\text{Wo}_{47}) + \text{Mgt} + \text{Ilm}$, которая соответствует гранулитовой фации. Крупные зерна клинопироксена содержат ламели ортопироксена. Аксессуары: апатит и циркон. Средние составы минералов приведены в табл. 2.

По минеральному составу, структурно-текстурным особенностям гранулит UR132 идентифицируется нами как гнейс двупироксеновый. Вместе с тем, по химическому составу и низкому содержанию кварца, он близкий к группе кристаллосланцев.

Таблиця 1

Содержание главных (масс %), редких и редкоземельных (ppm) элементов в гнейсе (UR132) и кристаллосланце (2)

	UR132	2		UR132	2
n	2/2	6/6	Ni	49	60
SiO ₂	51,5	49,72	Cr	275	245
TiO ₂	1,61	1,24	V	263	257
Al ₂ O ₃	13,99	14,51	Hf	4,46	1,5
FeO	13,2	12,33	Th	0,28	0,57
MnO	0,21	0,23	U	0,12	0,13
MgO	5,58	7,82	Zn	134	83
CaO	8,72	8,7	Sc	34	nd
Na ₂ O	3,68	2,31	La	31,4	9,36
K ₂ O	0,45	0,41	Ce	58,9	19,56
P ₂ O ₅	0,27	0,19	Pr	7,39	2,79
LOI	<0,1	-	Nd	30,6	11,96
#mg	0,43	0,53	Sm	6,07	3,13
Rb	<2	4,1	Eu	1,46	1,04
Sr	333	213	Gd	5,66	3,56
Y	26	19	Tb	0,91	0,6
Zr	244	61	Dy	5,4	3,6
Ba	309	181	Ho	1,09	0,71
Pb	5,07	2,64	Er	3,29	2,02
Nb	12	8	Tm	0,46	0,35
Ta	0,57	0,7	Yb	3,03	1,88
Co	43	46	Lu	0,48	0,27

Примечание: n – количество анализов: в числителе – главных элементов, в знаменателе – редких и РЗЭ

Таблиця 2

Средний состав (масс %) минералов двупироксенового гнейса

	Клино-пироксен (Срх)	Ортопироксен (Орх)	Плагиоклаз (Pl)	К-полевой шпат (ангит-пертит) (Fsp)	Магнетит (Mgt)	Ильменит (Ilm)
n	10	15	40	11	3	3
SiO ₂	51,9	51,2	58,6	62,3	0,82	0,94
TiO ₂	0,17	-	-	-	0,55	49,3
Al ₂ O ₃	2,1	1,11	26,4	20,2	0,82	0,46
FeO	12,4	30,8	-	-	97	48,1
MnO	0,27	0,76	-	-	-	0,61
MgO	10,8	15,6	-	-	-	0,64
CaO	21,9	0,6	7,29	-	-	-
Na ₂ O	0,52	-	7,28	0,37	-	-
K ₂ O	-	-	0,38	15	-	-
BaO	-	-	-	2,13	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	1,02	-

Примечание: n – количество анализов

Характеристика циркона. Выделенные из двупироксенового гнейса UR132 цирконы в проходящем свете делятся на три группы: 1) светлые, прозрачные округлые или овальные зерна розовой окраски, размером от 150 до 350 мкм, составляющие более трети всех выделенных зерен, 2) цирконы мутные, иногда коричневатой окраски, часто удлиненные, размером до 400 мкм; 3) угловатые обломки неправильной формы.

Эти группы цирконов отчетливо различаются в отраженных электронах и в катодолюминесценции (КЛ). Цирконы первой группы однородные в отраженных электронах и светлые в КЛ (зерна 7, 8, 9, 10, 14, 15) (рис. 2). Иногда содержат твердофазные включения

кварца и апатита. В КЛ демонстрируют секториальность с неровными границами между секторами роста, что впервые было описано Г. Ваврой [5] как характерный признак гранулитового циркона.

Часть зерен имеет тонкие прерывистые более светлые каймы. Цирконы второй группы – неоднородные, состоят из темных в КЛ ядер с многочисленными твердофазными включениями и трещиноватой темно-серой грубо-зональной каймы (зерна 1, 2, 3, 4, 5, 6, 13) (рис. 2). В этой же группе можно выделить зерна с ядрами без включений и яркой в КЛ каймой (зерна 11 и 12). Третья (немногочисленная) группа цирконов характеризуется однородным строением, средней степенью люминесценции, отличаясь от цирконов предыдущих групп угловатой формой зерен, представляя собой, скорее всего, обломки более крупных зерен.

Под электронным микроскопом в пластинке видны многочисленные мелкие цирконы (60–100 мкм), среди которых преобладают округлые или овальные, однородные цирконы, частично эвгдральные, первой группы. Большая их часть располагается внутри зерен плагиоклаза. Некоторые мелкие цирконы соответствуют второму типу. Они неоднородны, нередко имеют зональную структуру, двухфазное строение, содержат твердофазные включения.

U-Pb система цирконов. Изотопный возраст измерен в 17 точках в разных участках цирконов (рис. 2, табл. 3).

Возраст цирконов первой группы по отношению 207Pb/206Pb отвечает интервалу времени 2952±27–3583±19 млн лет, дискордантность < 3%. Выбивается из этой группы точка 9.1 с 207Pb/206Pb возрастом 2617±29 млн лет. Цирконы характеризуются низкими содержаниями Th и U и высокими Th/U отношениями (табл. 3). По пяти точкам (10.1, 10.2, 15.1, 8.1 и 7.1) построена дискордия с верхним пересечением в 3499±33 млн лет при СКВО=2.3, нижнее пересечение отвечает значению 2638±240 млн лет (рис. 3). Для трех близконкордантных точек (10.1, 10.2, 15.1) конкордантный возраст оценивается в 3587±9 млн лет. Поскольку он может быть завышенным из-за положения всех точек выше конкордии, более вероятным является возраст в 3,5 млрд лет, определяемый дискордией. Судя по строению зерен и составу цирконов, образующих дискордию, пересекающую конкордию около значения 3499±33 млн лет, полученный возраст отвечает времени проявления гранулитового метаморфизма.

С таким заключением согласуется также близкое к „магматическому“ распределение REE. Распределение точек по пологой дискордии, а иногда даже „перемещение“ по конкордии (как точка 14.1) характерно для высокотемпературных областей и описано у Л. Ашвала с коллегами [6]. Что касается зерна 9, то, поскольку в краевых частях кристалла сохраняется тонкая ростовая зональность, вероятно изначально кристаллизация циркона происходила из расплава, это подтверждается характером распределения REE в этом зерне (рис. 4, а). Так как в центральной части кристалла зональность стирается, возможно, полученный возраст соответствует времени перекристаллизации.

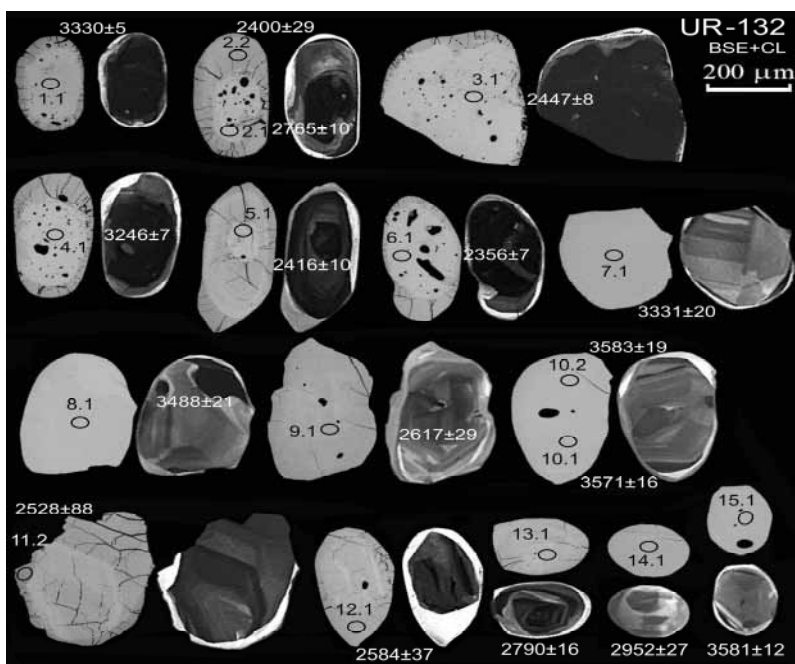


Рис. 2. Парные изображения цирконов в отраженных электронах (слева) и катодолуминесценции (справа) из двупироксенового гнейса UR132 (зерна 7, 8, 10, 14 и 15 интерпретируются как гранулитовые); числа – значения возраста (млн лет)

Таблица 3

U-Th-Pb данные для цирконов из двупироксенового гнейса UR132

Точка	Тип циркона	U, ppm	Th, ppm	Th/U	²⁰⁶ Pb _c , %	²⁰⁶ Pb*, ppm	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±1σ, %	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±1σ, %	Rho	Возраст, млн лет				D, %
												²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ	
1.1	Высоко-U ядра с включениями	1578	1345	0,85	0,01	844	23,52	0,79	0,6220	0,7	0,928	3118	18	3330	4,6	7
2.1		2630	218	0,08	0,00	1080	12,67	0,93	0,4769	0,7	0,777	2514	15	2765	9,6	10
3.1		2952	447	0,15	0,00	1140	9,89	0,89	0,4504	0,7	0,830	2397	15	2447	8,4	2
4.1		2109	2026	0,96	0,00	1100	21,78	0,95	0,6077	0,8	0,880	3061	20	3246	7,1	6
5.1		596	204	0,34	0,00	206	8,66	1,00	0,4020	0,8	0,819	2178	16	2416	10	11
6.1		1592	739	0,46	0,00	544	8,28	0,86	0,3979	0,8	0,888	2159	14	2356	6,7	9
13.1		364	281	0,77	0,04	140	12,02	1,70	0,4457	1,4	0,818	2376	27	2790	16	17
7.1	Гранулитовый циркон	45	43	0,96	0,17	25,7	24,94	2,30	0,6590	1,9	0,824	3264	48	3331	20	2
8.1		48	48	1,00	0,29	29,3	29,36	2,20	0,7020	1,8	0,800	3427	47	3488	21	2
10.1		52	55	1,06	0,00	34,4	33,80	2,10	0,7650	1,8	0,865	3663	50	3571	16	-3
10.2		54	57	1,04	0,21	36,4	34,54	2,20	0,7760	1,8	0,827	3704	51	3583	19	-3
14.1		25	19	0,74	0,73	13,4	18,22	2,70	0,6110	2,1	0,789	3076	52	2952	27	-4
15.1		49	56	1,13	0,16	32,2	33,59	1,90	0,7560	1,7	0,912	3629	48	3581	12	-1
9.1	Магматический	124	168	1,36	0,47	48,5	11,02	2,20	0,4536	1,4	0,614	2411	27	2617	29	9
11.2	Низко-U светлая кайма	21	12	0,56	2,01	8,14	9,91	5,80	0,4300	2,4	0,421	2308	47	2528	88	10
12.1		21	9	0,44	0,87	9,12	11,75	3,10	0,4930	2,2	0,701	2584	47	2584	37	0
2.2	Темно-серая кайма	107	3	0,03	0,00	43,7	10,16	4,20	0,4760	3,8	0,911	2511	79	2400	29	-4

Примечания: Pb_c и Pb* – обычный и радиогенный свинец, соответственно; Rho – коэффициент корреляции Pb/U отношений; D – дискордантность. Поправка на обычный свинец проводилась с использованием измеренного ²⁰⁴Pb. Погрешность при калибровке стандарта варьировала от 0,57 до 0,91%

Значения возраста цирконов второй группы с включениями по ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb отношению варьируют от 3330±5 до 2356±7 млн лет (рис. 3). Содержание урана (табл. 3) повышенное (до 2950 ppm) при меняющемся Th/U отношении (0,08–0,96).

Распределение REE в зернах 1 и 4 (рис. 4, б) предполагает, что цирконы этого типа изначально имели магматическое происхождение, а в дальнейшем подверглись перекристаллизации в связи с метасоматическими процессами. Об этом свидетельствует как разброс

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрастов, так и изменение распределения REE в цирконах этого типа. Например, в точке 5.1 (рис. 2) от первичного зерна с включениями остается небольшой фрагмент, при этом распределение REE в этом фрагменте меняется – уменьшаются Ce и Eu аномалии и понижается содержание HREE – и приближается к распределению REE в темно-серой кайме 2.2 (рис. 4, б).

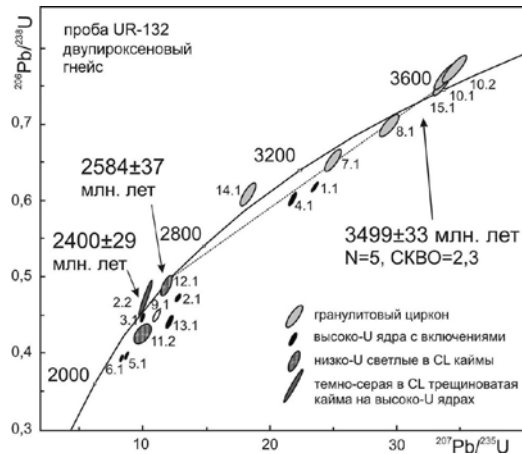


Рис. 3. Диаграмма с конкордией для цирконов из двупироксенового гнейса UR132

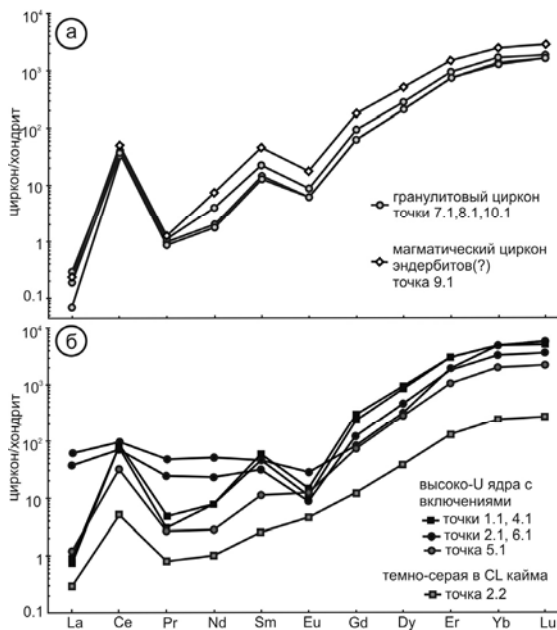


Рис. 4. Распределение REE в зернах гранулитового циркона из двупироксенового гнейса UR132 в сравнении с таковым в магматическом цирконе (а) и в остальных зернах, измененных в различной степени (б)

Это позволяет предполагать, что рост темно-серых кайм на высоко-урановых цирконах с включениями происходил с растворением и, частично, за счет вещества ядерных участков, а также с изменением элементного состава самих ядер. Участки 2.1 и 6.1 демонстрируют повышенные содержания как легких REE (рис. 4, б), так и несовместимых элементов: Ca (до

2300ppm), Li, P, Sr, что подтверждает наличие процессов изменения исходных магматических цирконов.

Цирконы с высоким содержанием урана описаны в ксенолитах метаортопироксенитов Побужья [8], где они рассматриваются как ксеногенные, захваченные из древних эндрбитов с возрастом более 3,7 млрд лет [7].

Достоверно определить возраст высоко-урановых цирконов UR132 при таком разбросе точек на диаграмме с конкордией практически невозможно. Вторичные изменения этих цирконов связаны с процессами 2,6–2,4 млн лет (рис. 3). Светлые в КЛ каймы (точки 11.2 и 12.1) с низким содержанием U и Th имеют $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст 2528–2584 млн лет (табл. 2). За возраст кайм принимаем конкордантное значение 2584 ± 37 млн лет, полученное для точки 12.1 (рис. 2, 3). Вероятно, с этим процессом связано нарушение U-Pb системы гранулитовых цирконов (нижнее пересечение конкордии – 2638 ± 240 млн лет), а также перекристаллизация в зерне 9.1. Конкордантный возраст темно-серой каймы (точка 2.2) – 2400 ± 29 млн лет определяет время проявления следующего наложенного процесса, с которым связано преобразование высокоурановых цирконов, как показывает близкий $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст зерен 3.1, 5.1 и 6.1 (рис. 3). Следует подчеркнуть отсутствие среди цирконов этой пробы палеопротерозойских значений возраста 1.9–2.0 млрд лет, полученных в Одесском карьере ранее [2, 3, 8 и др.].

Заключение. На основании морфологии, внутреннего строения и состава изученные цирконы отнесены к гранулитовому типу. Определен с использованием масс-спектрометра SHRIMP II его возраст, равный 3499 ± 33 млн лет. Изучение минерального состава породы и состава минералов указывает на P-T параметры метаморфизма породы, соответствующие гранулитовой фации. Таким образом, выявленный и обоснованный в данной работе этап палеоархейского гранулитового метаморфизма пород Побужского гранулитового комплекса Украинского щита является первым примером такого древнего события. Сохранность палеоархейских событий обусловлено отсутствием на данном участке значительных деформаций и метаморфизма палеоархейского (2,0–1,9 млрд лет) возраста, широко проявленных на других участках Побужского комплекса, что подтверждается не деформированными и не испытывавшими гранулитовый метаморфизм мафическими дайками. Другой особенностью этого участка является состав породы, содержащей гранулитовый циркон, не имеющей по ряду геохимических характеристик аналогов среди пород Побужского комплекса.

Освещенный в статье вопрос наиболее древнего на УЩ палеоархейского этапа гранулитового метаморфизма требует дальнейших исследований.

Список литературы / References

1. Щербаков И.Б. Петрология Украины / Щербаков И.Б. – Львов: ЗУКЦ, 2005. – 364 с.
 Shcherbakov, I.B. (2005), *Petrologiya Ukrainy* [Petrolology of Ukraine], Lvov, 364 p.
 2. Claesson, S., Bibikova, E.V., Bogdanova, S.V. and Skobelev, V. (2006), “Archaean terranes, Palaeoproterozoic reworking and accretion in the Ukrainian Shield, East Euro-

pean Craton". From: *European Lithosphere Dynamics*. Gee, D.G., Stephenson, R.A. (eds.). The Geological Society of London Memoirs, 32, pp. 645–654.

3. Степанюк Л.М. U-Pb хронологія проявлення гранулітового метаморфізму в породах Дністровсько-Бузького району УЩ / Л.М. Степанюк, І.М. Лісна // Геологія і магматизм Українського щита. – К., 2000. – С. 107–109.

Stepanyuk, L.M. and Lisna, I.M. (2000), "U-Pb geochronology of granulitic metamorphism in rocks of the Dniester-Bug province of the Ukrainian Shield", *Geology and magmatism of the Ukrainian Shield*, collected papers, Kyiv, pp. 107–109.

4. Высококальциевые мафитовые дайки Побужского гранулитового комплекса: геологическое положение, состав, возраст / Л.М. Степанюк, В.А. Гаценко, С.Б. Лобач-Жученко [и др.] // *Мінералогічний журнал*. – 2013. – Т. 35. – № 3. – С. 73–84.

Stepanyuk, L.M., Gatsenko, V.O. and Lobach-Zhuchenko, S.B. (2013), "High-K mafic dykes of Bug granulitic complex: geological setting, rock composition and age", *Mineral. Journ.*, V. 35, no. 3, pp. 78–84.

5. Vavra, G., Gebauer, D., Schmid, R. et al. (1996), "Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulite facies zircons: geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps)", *Contr. Mineral. Petrol.*, no. 122, pp. 337–358.

6. Ashwal, L.D., Tucker, R.D. and Zinner, E.K. (1999), "Slow cooling of deep crustal granulites and Pb-loss in zircon", *Geochim. Cosmochim. Acta*. V. 63, no. 18, pp. 2839–2851.

7. Этапы формирования Побужского гранулитового комплекса: новые структурно-петрологические и изотопно-геохронологические данные (Среднее Побужье, Украинский щит) / С.Б. Лобач-Жученко, В.В. Балаганский, Ш.К. Балтыбаев [и др.] // *Мінерал. журн.* – 2013. – Т. 35. – № 4 – С. 86–98.

Lobach-Zhuchenko, S.B., Balaganskiy, V.V. and Baltybaev, Sh.K. (2013), "Main development stages of Bug granulitic complex: new structural-petrological and isotopic-geochronological data (Middle Bug region, Ukrainian Shield)", *Mineral. Journ.*, V. 35, no. 4, pp. 86–98.

8. Изотопно-геохронологическое (U-Th-Pb, Lu-Hf) изучение цирконов архейских магматических и метасадочных пород Подольского домена Украинского щита / Е.В. Бибикина, С. Клаэссон, А.А. Федотова [и др.] // *Геохимия* – 2013. – № 2 – С. 99–121.

Bibikova, E.V., Claesson, S., Fedotova, A.A. et al. (2013), "Isotopic-geochronological (U-Th-Pb, Lu-Hf) study of zircons from Archean magmatic and metasedimentary rocks of the Podillya dome of the Ukrainian Shield", *Geochemistry*, no. 2, pp. 99–121.

Мета. Геолого-геохронологічне вивчення головних етапів гранулітового метаморфізму в історії розвитку Побужського гранулітового комплексу Українського щита (УЩ).

Методика. Виконані дослідження містили в собі польові роботи, лабораторно-аналітичне вивчення

зразків порід і наукове узагальнення отриманих даних. Зразки гірських порід відбиралися з детально описаних відслонень у бортах кар'єру. Лабораторно-аналітичні дослідження включали наступні методи: хімічний аналіз порід на головні, рідкісноземельні та рідкісні елементи; хімічний аналіз породоутворюючих мінералів; аналіз вмісту рідкісноземельних і рідкісних елементів у цирконі; вивчення внутрішньої будови та вимірювання U-Pb ізотопних відношень у цирконі (SHRIMP II, ВСЕГЕИ, м. Санкт-Петербург).

Результати. За морфологією, внутрішньою будовою та хімічним складом доведена належність вивченого циркону до гранулітового типу. Двопіроксенові гнейси, що його вміщують, за складом породоутворюючих мінералів відповідають P-T параметрам гранулітової фації. Таким чином, отриманий радіологічний вік циркону 3499 ± 33 млн років фіксує час найбільш раннього етапу гранулітового метаморфізму порід Побужського комплексу.

Наукова новизна. У породах Побужського комплексу вперше встановлений гранулітовий метаморфізм палеоархейського віку, що істотно доповнює наші уявлення щодо ранньої історії розвитку УЩ як фрагменту ранньодокембрійської земної кори.

Практична значимість. Використання отриманих результатів у практиці геологознімальних робіт при складанні геологічних карт Дністровсько-Бузької провінції буде сприяти більш достовірній металогенічній оцінці та підвищенню ефективності пошукових робіт у межах провінції та УЩ у цілому.

Ключові слова: Побужський гранулітовий комплекс, палеоархей, Одеський кар'єр, двопіроксеновий гнейс, циркон, ізотопний вік, гранулітова фація

Purpose. Geological and geochronological study of main stages of granulitic metamorphism in the geological evolution of the Bug granulitic complex of the Ukrainian Shield (USh).

Methodology. The study consisted of field works, laboratory analytical investigations of rock samples and scientific generalization of the obtained data. Rock sampling was fulfilled within in detail described exposures of quarry walls. Laboratory investigations included such methods: rock chemical analysis on main, rare and REE elements; chemical analysis of rock-forming minerals; rare and REE analysis of zircon; studying of an internal structure and measurement of U-Pb isotope relations in zircon (SHRIMP II, VSEGEI, St.-Petersburg).

Findings. We have proved that the studied zircon belongs to granulitic type by its morphology, internal structure and chemical composition. Containing zircon two-pyroxene gneisses answer to P-T parameters of granulitic metamorphic facies on the base of rock-forming minerals composition. Thus, the established radiological zircon age 3499 ± 33 Ma fixes time of the earliest stage of granulitic metamorphism of the Bug rock complex.

Originality. The Paleoproterozoic granulitic metamorphic facies have been identified in the Bug rock complex for the first time. This data significantly supplements our concep-

tions about early geological history of USh as a fragment of early Precambrian crust.

Practical value. Practical usage of received results in geological mapping of the Dniester-Bug province will promote more valid metallogenic assessment and increase of prospecting efficiency within this province and USh as a whole.

Keywords: *Bug granulitic complex, Paleoproterozoic, Odessa quarry, tw-pyroxene gneiss, isotope age, zircon, granulitic metamorphic facies*

Рекомендовано до публікації докт. геол. наук В.О. Сьомкою. Дата надходження рукопису 20.12.13.

УДК 553.495:550.83

А.А. Калашник, д-р геол. наук

Казенное предприятие „Кировгеология“, г.Кировград, Украина, e-mail: kalashnik_anna1@mail.ru

РОЛЬ МАНТИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА НА ПРИМЕРЕ УКРАИНСКОГО ЩИТА

А.А. Kalashnik, Dr. Sci. (Geol.)

State Enterprise “Kirovgeologiya”, Kirovograd, Ukraine, e-mail: kalashnik_anna1@mail.ru

THE ROLE OF MANTLE PROCESSES IN THE FORMATION OF COMMERCIAL ENDOGENOUS URANIUM DEPOSITS ON THE EXAMPLE OF THE UKRAINIAN SHIELD

Цель. Выявление новых закономерностей образования эндогенного промышленного уранового оруденения Украинского щита (УЩ) на основе изучения изменчивости параметров глубинной среды, которые определяют возможность возникновения условий генерации специализированных на уран мантийных флюидных потоков и формирование месторождений урана на верхних структурных этажах земной коры из мантийных рудогенных компонентов, что необходимо для усовершенствования методики прогноза и поиска промышленных месторождений урана, в первую очередь крупных по запасам, для эффективного проведения геологоразведочных работ.

Методика. Выполнен анализ большого объема геофизической, геологической, радиогеохимической информации по особенностям формирования, размещения и условиям локализации месторождений урана основных геолого-промышленных типов на территории УЩ в тесной связи с особенностями глубинного строения литосферы и астеносферы, разломной тектоникой, проявлениями мантийного магматизма с использованием современных петрологических, изотопно-геохимических данных.

Результаты. Определены глубинные факторы образования промышленного уранового рудообразования на УЩ эндогенного класса, эффективность которых доказана практическими результатами специализированных на уран исследований на хорошо изученных и разбуренных объектах и площадях УЩ, изотопно-геохимическими данными о мантийном источнике вещества растворов, формировавших урановорудные натриевые метасоматиты. Это дало возможность осуществить обоснованные прогнозные оценки потенциальной уранорудопродуктивности сегментов литосферы УЩ, значительно минимизировать площади для дальнейших поисковых работ.

Научная новизна. В отличие от укоренившихся представлений, выявлено решающее значение на формирование промышленных объектов уранового оруденения эндогенного класса УЩ мантийных источников рудогенных компонентов и особенностей глубинного строения литосферы, определяющих предпосылки возникновения специализированных ураноносных мантийных флюидных потоков и формирования месторождений урана на верхних структурных этажах земной коры из мантийных рудогенных компонентов.

Практическая значимость. Установлены новые закономерности, отражающие специфику формирования эндогенного промышленного уранового оруденения на основе использования современных представлений о металлогении урана с позиции глубинных факторов рудогенеза, первичного масштабного инициального концентрирования рудогенных компонентов в мантии при определенных РТ-условиях, что позволило научно обосновать перспективы территорий на возможность формирования промышленных эндогенных месторождений урана с выделением площадей наиболее вероятной их локализации.

Ключевые слова: *промышленные эндогенные месторождения урана, глубинные факторы оруденения, мантийный источник урана, ураноносные мантийные флюиды*

Общая постановка проблемы и связь с практическими заданиями. Национальная, энергетическая и

экономическая безопасность Украины зависят от наращивания запасов и использования стратегически важных полезных ископаемых, к которым относится и уран, использование которого для потребностей оте-