

УДК 550.93:553.521 (234.851)

## U–Pb LA–SF–ICP–MS-ВОЗРАСТ ЗЕРЕН ЦИРКОНА ИЗ МЕТАПЛАГИОГРАНИТА ХАРБЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

© 2022 г. Н. С. Уляшева<sup>1,\*</sup>, В. Б. Хубанов<sup>2</sup>

Представлено академиком РАН А.М. Асхабовым 20.09.2021 г.

Поступило 20.09.2021 г.

После доработки 19.01.2022 г.

Принято к публикации 26.01.2022 г.

Для установления времени проявления эндогенных событий в харбейском метаморфическом комплексе (Полярный Урал) проведено изотопное U–Pb-датирование зерен циркона из гранат-клинозоизит-двуслюдяного метаплагиогранита с помощью лазерной абляции и магнитно-секторной масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (LA–SF–ICP–MS). По петрогеохимическому составу порода, из которого продатированы зерна циркона, соответствует нормально-щелочному метаглиноземистому граниту, претерпевшему прогрессивный метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации повышенных давлений. Конкордантный возраст 77 проанализированных кристаллов магматического циркона составил  $463 \pm 1$  млн лет при СКВО – 1.02. Средневзвешенный изотопный  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст, скорректированный на обыкновенный свинец  $^{207}\text{Pb}$ -методом, равен  $464 \pm 1$  млн лет. Учитывая то, что харбейский метаморфический комплекс представляет собой фундамент палеоконтинентального сектора Урала, полученные результаты подтверждают существование до среднего ордовика на северо-восточном краю Восточно-Европейского палеоконтинента эндогенной активности, связанной с долгоживущими рифтами.

*Ключевые слова:* харбейский метаморфический комплекс, метаплагиогранит, метаморфизм, циркон, U–Pb LA–ICP–MS-возраст

DOI: 10.31857/S2686739722050188

Харбейский метаморфический комплекс является одним из крупнейших фрагментов выступа кристаллического фундамента на Полярном Урале. Он расположен в пределах Центрально-Уральского поднятия, в южной части Харбейско-Марункеуского блока на границе двух тектонических зон, характеризующих палеозойскую историю формирования уральской складчатости – Западно-Уральской и Тагило-Магнитогорской, и относится к основанию палеоконтинентального сектора Урала. С запада породы комплекса тектонически граничат с верхнепротерозойскими отложениями, а с востока они глубоко вдаются в Таги-

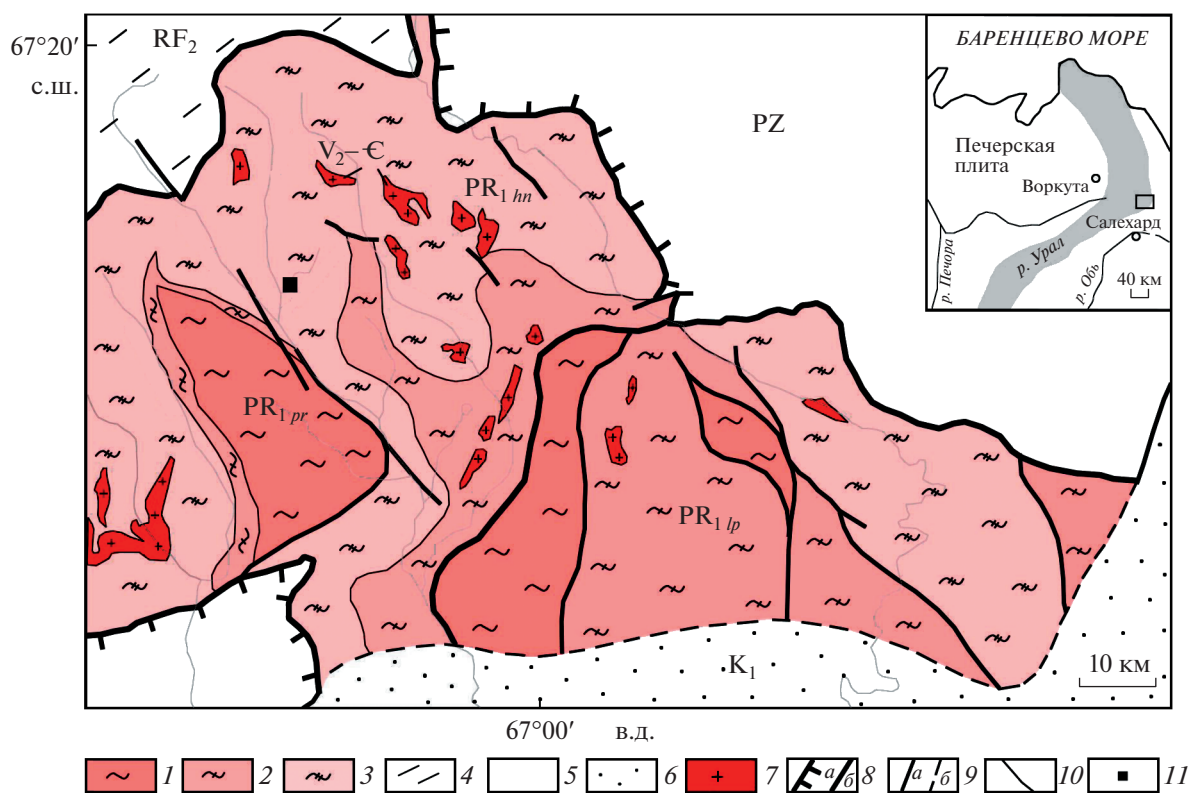
ло-Магнитогорскую зону и по разрывным нарушениям контактируют со среднепалеозойскими образованиями Щучьинской области и мезозойскими формациями Западно-Сибирской платформы (рис. 1). В комплексе распространены амфиболиты, плагиогнейсы и кристаллические сланцы в составе ханмейхойской, лаптаюганской и париквасьшорской свит [4, 5]. Породы претерпели полиметаморфизм [5, 12]. В данной работе харбейский комплекс рассматривается отдельно от расположенного севернее марункеуского комплекса в качестве самостоятельной структурной единицы, как предложено некоторыми исследователями [10].

Согласно IV Уральскому межведомственному стратиграфическому совещанию [11], метаморфиты харбейского комплекса отнесены к раннепротерозойским образованиям, чему способствовали имеющиеся раннепротерозойские изотопно-геохронологические датировки по цирконам из гнейсов – 2200–1730 млн лет [7, 10], получен-

<sup>1</sup>Институт геологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

<sup>2</sup>Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия

\*E-mail: nataliaulyashewa@yandex.ru



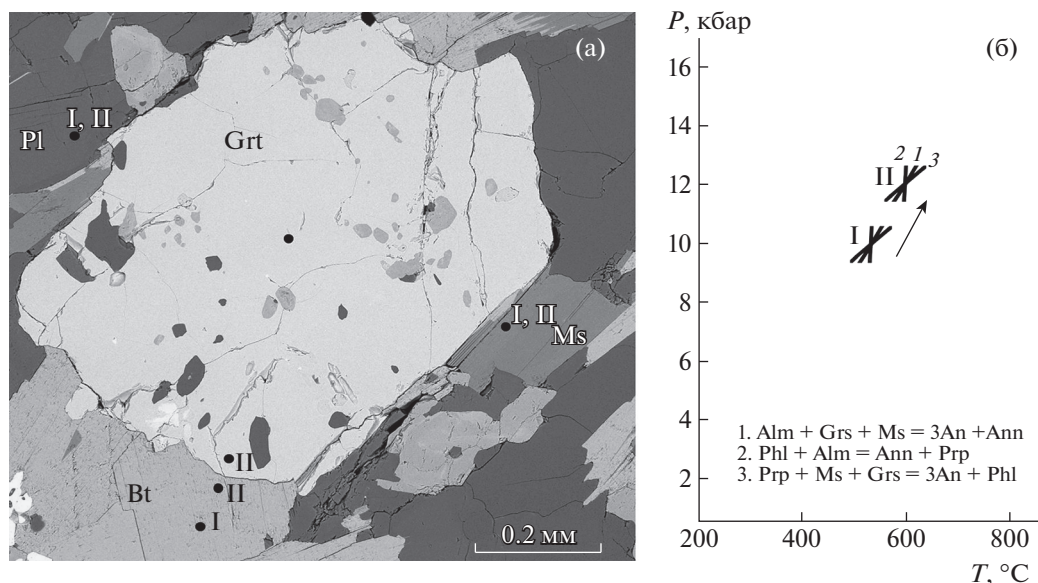
**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта харбейского метаморфического комплекса (с использованием материалов [5]). Условные обозначения: 1–3 – харбейский метаморфический комплекс: 1 – париквасьшорская свита, 2 – лаптяюганская свита, 3 – ханмейхойская свита; 4 – верхнепротерозойские отложения западной тектонической зоны, 5 – палеозойские породы Тагило-Магнитогорской зоны; 6 – мезозойские отложения Западно-Сибирской платформы; 7 – гранито-гнейсы; 8–9 – разрывные нарушения: 8 – главные (а – ГУР, б – шарьяж), 9 – второстепенные (а – надвиги, б – неустановленной морфологии); 10 – граница между свитами; 11 – место отбора образца.

ные с помощью метода термоионной эмиссии ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ -возраст). В последние годы сотрудниками ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) U–Pb-методом на SHRIMP II выполнено изотопное датирование единичных зерен циркона из амфиболитов и плагиогнейсов [6]. Согласно полученным возрастам, соответствующим 582–431 млн лет, исследователи выводят харбейский метаморфический комплекс в ранг ранневендских образований. Среднепалеозойские датировки связаны, по их мнению, с поздними метаморфическими событиями. Для гнейсогранитов, располагающихся в ядрах брахиформных складок харбейского метаморфического комплекса, были получены датировки – 557 и 497 млн лет (U–Pb, SHRIMP II), отвечающие тиманскому тектогенезу и эпиконтинентальному рифтогенезу [3].

Отсутствие детальных петрологических, изотопно-геохимических и геохронологических исследований пород харбейского комплекса приводит к разным трактовкам возраста протолитов метаморфитов и последующих метаморфических изменений. Всестороннее изучение плагиогнейсов, широко распространенных среди амфиболитов,

даст возможность уточнить историю геологического развития сегмента земной коры, участвующей в строении харбейского метаморфического комплекса.

Нами проведено U–Pb LA–ICP–MS-датирование зерен циркона из гранат-клиноцоизит-мусковит-биотитового плагиогнейса, отобранного по левобережью ручья Амфиболитового в 90 м выше его устья в пределах ханмейхойской свиты (рис. 1). Порода представлена телом мощностью около 2 м, залегающим среди амфиболитов. Она имеет лепидогранобластовую, мелкозернистую и порфиробластовую структуру. Гнейсовидность породы согласуется с метаморфическими структурами вмещающих пород. Метаморфит состоит (в об. %) из граната (5), клиноцоизита (10), мусковита (5), биотита (15), плагиоклаза (олигоклаза, альбита) (25), кварца (35), апатита, титанита, циркона и ильменита (3). В порфиробластическом гранате (рис. 2а) от центра к краю наблюдаются понижение марганца и повышение железа и магния, что может указывать на прогрессивный метаморфизм.



**Рис. 2.** Изображение в отраженных электронах (BSE) и точки составов минералов в плагиогнейсе (а), используемые для расчета начальных (I) и пиковых (II) *PT*-условий метаморфизма (б) по программе WinTWQ. Условные обозначения [17]: Grt – гранат, Bt – биотит, Ab – альбит, Ms – мусковит.

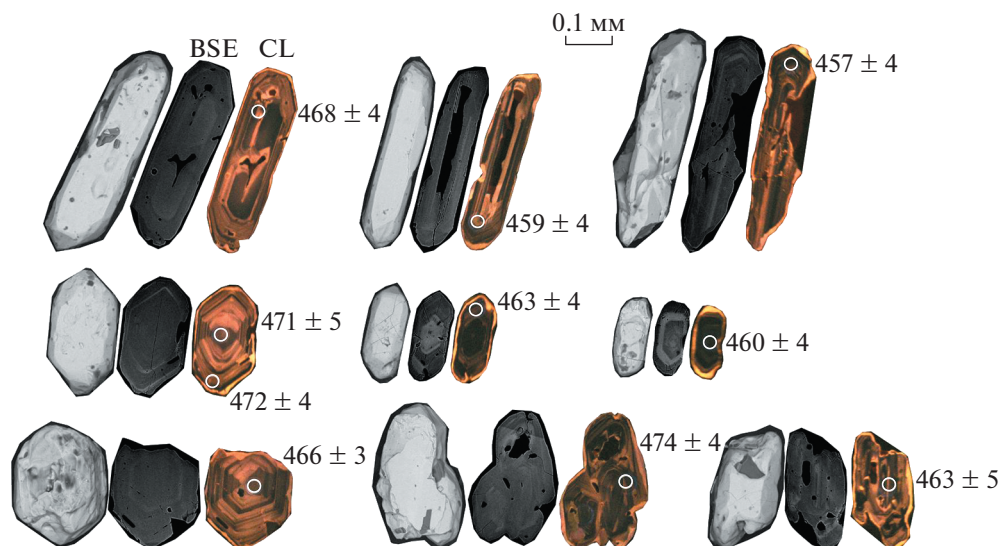
Согласно дискриминантной функции [2], разделяющей метаосадочные образования от магматических, метаморфит является ортопородой. По содержаниям породообразующих оксидов ((в мас. %)  $\text{SiO}_2$  – 68.52,  $\text{TiO}_2$  – 0.73,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 14.12,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1.66,  $\text{FeO}$  – 1.71,  $\text{CaO}$  – 3.36,  $\text{MgO}$  – 0.93,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 4.69,  $\text{K}_2\text{O}$  – 1.41) он обнаруживает сходство с нормально-щелочным плагиогранитом известково-щелочной серии. По рассчитанным значениям коэффициента агаптитности (0.65) и индекса насыщения глиноземом (ASI – 0.93) порода относится к металиноземистому образованию. Петрохимические особенности метаплагиогранита сближают его с гранитами I типа, в пользу чего указывают и индикаторные содержания редких и редкоземельных элементов ((в г/т) Ba – 477, Rb – 44, Sr – 157, Zr – 81).

Для расчета *PT*-условий метаморфизма использован пакет программ TWQ [13], предназначенных для выполнения согласованных между собой термобарометрических расчетов, и составы центральных и краевых частей граната и биотита из плагиогнейса. При расчетах учитывались составы олигоклаза и мусковита (рис. 2 а). Моделирование минеральных равновесий показало, что условия метаморфизма, показанные тремя минеральными реакциями (рис. 2 б), изменялись от  $T$  – 520°C,  $P$  – 10 кбар до  $T$  – 600°C,  $P$  – 12 кбар. Согласно гранат-биотитовому геотермометру [16], рассчитанные пиковые значения температуры при давлении 12 кбар составляют 570°. Полученные данные по метаморфизму плагиогнейса согласуются с результатами [6] исследований

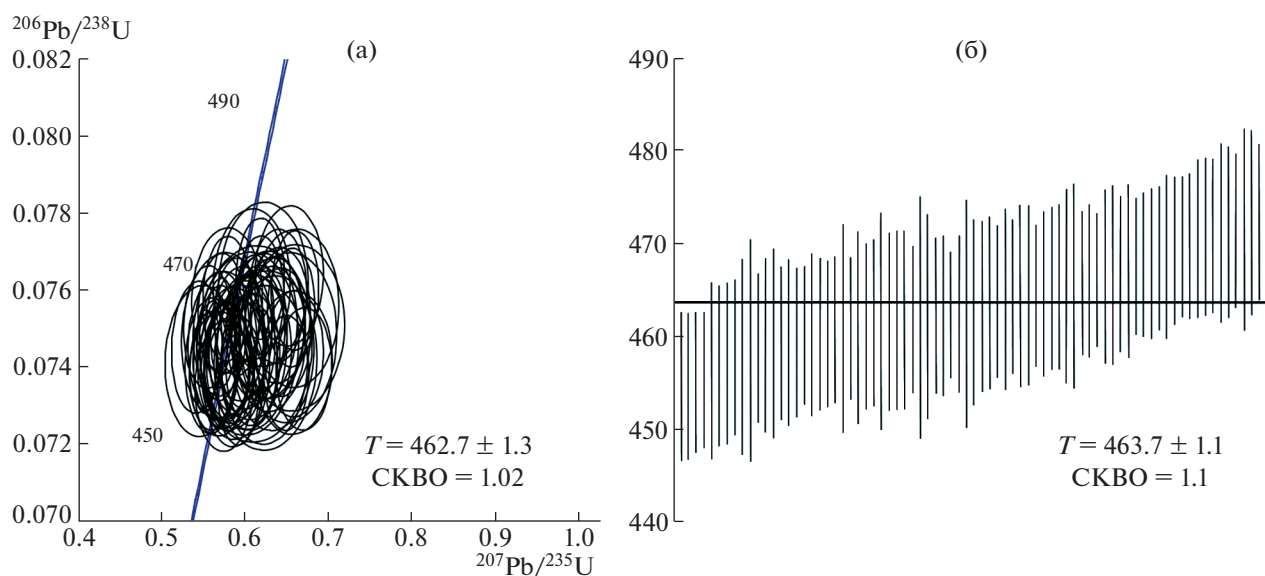
*PT*-условий формирования гранатосодержащих пород харьбейского метаморфического комплекса, согласно которым породы испытали дислокационный метаморфизм повышенных давлений.

Зерна циркона в метаплагиограните представлены бледно-розовыми удлинёнными и изометричными субидiomорфными кристаллами с коэффициентом удлинения от 5 до 1.4, размерами от 0.1 до 0.8 мм, для которых характерно развитие граней – {100}, {110}, {111}, {311}. Грани призм минерала часто неровные, с углублениями и ямками, пирамидальные окончания зерен округлые. В цирконе отмечаются включения вторичных минералов, приуроченных к кавернам. На изображениях цирконов в режимах отраженных электронов (BSE) и катодолюминесценции (CL) наблюдаются две генерации этого минерала – магматические цирконы с концентрической зональностью роста и значениями Th/U в пределах 0.6–1.51 обрастают тонкой каймой мощностью 5–50 мкм, скорее всего, метаморфического циркона (рис. 3).

U–Pb-изотопный анализ зерен циркона из изучаемого метаморфизованного плагиогранита выполнен на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (“Thermo Fisher Scientific”), соединенном с приставкой лазерного пробоотбора UP-213 (New Wave Research), в лаборатории инструментальных методов анализа Геологического института Сибирского отделения РАН (Улан-Удэ). Обработка данных анализа выполнена в программах Glitter [14] и Microsoft Excel с надстройкой Isoplot [18]. Диаметр пучка лазера



**Рис. 3.** Морфологические особенности некоторых проанализированных зерен циркона из метаплагиогранита харьбейского метаморфического комплекса. Изображения в режимах BSE, CL и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст (в млн лет).



**Рис. 4.** Диаграмма Аренса–Везерилла с конкордией (а) и диаграмма средневзвешенных  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возрастов (б), скорректированных на обыкновенный свинец  $^{207}\text{Pb}$ -методом, для зерен циркона из гранат-клинозоизит-двуслюдяного плагиогнейса харьбейского метаморфического комплекса. Эллипсы и планки погрешностей на уровне  $2\sigma$ .

составляет 25 мкм. При этом в качестве внешнего стандарта использовались зерна циркона 91 500 [20], GJ [15] и Plešovice [19], по которым получены конкордантные возраста соответственно  $1059 \pm 22$ ,  $605 \pm 16$  и  $341 \pm 1.8$  млн лет. Подробное описание метода приведено в работе [1]. Проанализированы центральные и средние зоны 77 кристаллов магматического циркона (табл. 1). По 21 анализам выявлены дискордантные значения. Конкордантный возраст составил  $463 \pm 1$  млн лет при

СКВО – 1.02 (рис. 4 а). Средневзвешенный изотопный  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст, скорректированный на обыкновенный свинец  $^{207}\text{Pb}$ -методом, составил  $464 \pm 1$  млн лет (рис. 4 б). Значения датировок, соответствующие среднему ордовику, для метагранитоида харьбейского комплекса получены впервые.

Для пород палеоконтинентального сектора Полярного Урала среднеордовикские датировки встречаются редко. U–Pb-методом на SHRIMP-II

**Таблица 1.** Результаты U–Pb (LA–ICP–MS)-датирования зерен циркона из метаплагиогранита харьбейского метаморфического комплекса

	Th/U	Изотопные отношения		Rho	Возраст			D, %
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{PbCorr} \pm 1\sigma$	
1	0.78	0.6701 ± 0.0137	0.0740 ± 0.0007	0.43	460 ± 4	521 ± 8	455 ± 4	13
2	0.78	0.6890 ± 0.0130	0.0741 ± 0.0006	0.46	461 ± 4	532 ± 8	455 ± 4	15
3	1.40	0.6492 ± 0.0110	0.0739 ± 0.0006	0.49	459 ± 4	508 ± 7	455 ± 4	11
4	0.94	0.5919 ± 0.0101	0.0734 ± 0.0006	0.47	457 ± 4	472 ± 6	455 ± 4	3
5	0.78	0.6574 ± 0.0192	0.0741 ± 0.0008	0.35	461 ± 5	513 ± 12	456 ± 5	11
6	0.86	0.5748 ± 0.0143	0.0735 ± 0.0007	0.38	457 ± 4	461 ± 9	457 ± 4	1
7	0.82	0.5865 ± 0.0146	0.0736 ± 0.0007	0.38	458 ± 4	469 ± 9	457 ± 4	2
8	0.62	0.6584 ± 0.0144	0.0743 ± 0.0007	0.41	462 ± 4	514 ± 9	458 ± 4	11
9	1.20	0.6231 ± 0.0209	0.0741 ± 0.0008	0.34	461 ± 5	492 ± 13	458 ± 5	7
10	1.18	0.6242 ± 0.0251	0.0742 ± 0.0010	0.32	461 ± 6	493 ± 16	459 ± 6	7
11	1.04	0.6079 ± 0.0126	0.0741 ± 0.0007	0.42	461 ± 4	482 ± 8	459 ± 4	5
12	0.76	0.5882 ± 0.0168	0.0740 ± 0.0008	0.36	460 ± 5	470 ± 11	459 ± 5	2
13	0.91	0.6340 ± 0.0199	0.0744 ± 0.0008	0.35	462 ± 5	499 ± 12	459 ± 5	8
14	0.70	0.5686 ± 0.0145	0.0738 ± 0.0007	0.35	459 ± 4	457 ± 9	459 ± 4	0
15	0.95	0.6059 ± 0.0146	0.0741 ± 0.0007	0.40	461 ± 4	481 ± 9	459 ± 4	4
16	1.07	0.5801 ± 0.0120	0.0739 ± 0.0007	0.42	460 ± 4	465 ± 8	459 ± 4	1
17	1.15	0.6832 ± 0.0113	0.0749 ± 0.0006	0.48	466 ± 4	529 ± 7	460 ± 4	14
18	0.82	0.5871 ± 0.0146	0.0741 ± 0.0007	0.38	461 ± 4	469 ± 9	460 ± 4	2
19	1.00	0.5747 ± 0.0129	0.0740 ± 0.0007	0.40	460 ± 4	461 ± 8	460 ± 4	0
20	0.60	0.5602 ± 0.0111	0.0739 ± 0.0006	0.43	460 ± 4	452 ± 7	460 ± 4	-2
21	0.91	0.5782 ± 0.0113	0.0741 ± 0.0006	0.44	461 ± 4	463 ± 7	461 ± 4	1
22	1.03	0.6514 ± 0.0239	0.0748 ± 0.0009	0.33	465 ± 5	509 ± 15	461 ± 6	10
23	1.45	0.5796 ± 0.0106	0.0742 ± 0.0006	0.46	461 ± 4	464 ± 7	461 ± 4	1
24	1.21	0.6059 ± 0.0201	0.0744 ± 0.0008	0.34	463 ± 5	481 ± 13	461 ± 5	4
25	1.38	0.5593 ± 0.0128	0.0740 ± 0.0007	0.42	460 ± 4	451 ± 8	461 ± 4	-2
26	0.75	0.5846 ± 0.0158	0.0743 ± 0.0007	0.36	462 ± 4	467 ± 10	462 ± 4	1
27	0.85	0.7551 ± 0.0272	0.0757 ± 0.0009	0.34	471 ± 6	571 ± 16	462 ± 6	21
28	0.98	0.6081 ± 0.0172	0.0745 ± 0.0008	0.37	463 ± 5	482 ± 11	462 ± 5	4
29	1.01	0.6859 ± 0.0191	0.0752 ± 0.0008	0.37	467 ± 5	530 ± 12	462 ± 5	13
30	0.75	0.6297 ± 0.0174	0.0747 ± 0.0008	0.37	465 ± 5	496 ± 11	462 ± 5	7
31	1.06	0.5657 ± 0.0114	0.0742 ± 0.0006	0.43	461 ± 4	455 ± 7	462 ± 4	-1
32	0.68	0.6112 ± 0.0282	0.0746 ± 0.0010	0.30	464 ± 6	484 ± 18	462 ± 7	4
33	0.99	0.6589 ± 0.0245	0.0750 ± 0.0009	0.32	466 ± 5	514 ± 15	462 ± 5	10
34	0.65	0.6425 ± 0.0147	0.0749 ± 0.0007	0.40	466 ± 4	504 ± 9	462 ± 4	8
35	1.00	0.5904 ± 0.0140	0.0745 ± 0.0007	0.39	463 ± 4	471 ± 9	462 ± 4	2
36	1.05	0.5518 ± 0.0057	0.0741 ± 0.0006	0.72	461 ± 3	446 ± 4	462 ± 3	-3
37	0.62	0.6010 ± 0.0141	0.0746 ± 0.0007	0.39	464 ± 4	478 ± 9	462 ± 4	3
38	0.70	0.6030 ± 0.0249	0.0746 ± 0.0010	0.31	464 ± 6	479 ± 16	462 ± 6	3
39	0.62	0.5470 ± 0.0176	0.0742 ± 0.0008	0.34	461 ± 5	443 ± 12	463 ± 5	-4
40	1.02	0.7051 ± 0.0185	0.0756 ± 0.0007	0.37	470 ± 4	542 ± 11	463 ± 5	15
41	0.75	0.6322 ± 0.0162	0.0750 ± 0.0008	0.39	466 ± 4	498 ± 10	464 ± 5	7
42	1.34	0.6147 ± 0.0133	0.0749 ± 0.0007	0.41	466 ± 4	487 ± 8	464 ± 4	4
43	0.75	0.5727 ± 0.0169	0.0746 ± 0.0008	0.35	464 ± 5	460 ± 11	464 ± 5	-1

Таблица 1. Окончание

	Th/U	Изотопные отношения		Rho	Возраст			D, %
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{PbCorr} \pm 1\sigma$	
44	0.69	0.6164 ± 0.0140	0.0750 ± 0.0007	0.39	466 ± 4	488 ± 9	464 ± 4	5
45	0.73	0.6195 ± 0.0174	0.0750 ± 0.0008	0.37	466 ± 5	490 ± 11	464 ± 5	5
46	0.87	0.6260 ± 0.0183	0.0751 ± 0.0008	0.35	467 ± 5	494 ± 11	464 ± 5	6
47	0.95	0.5695 ± 0.0100	0.0746 ± 0.0006	0.47	464 ± 4	458 ± 6	464 ± 4	–1
48	0.98	0.5953 ± 0.0151	0.0749 ± 0.0007	0.37	465 ± 4	474 ± 10	465 ± 4	2
49	0.81	0.5421 ± 0.0124	0.0745 ± 0.0007	0.41	463 ± 4	440 ± 8	465 ± 4	–5
50	0.94	0.6393 ± 0.0158	0.0753 ± 0.0007	0.39	468 ± 4	502 ± 10	465 ± 4	7
51	0.69	0.6595 ± 0.0216	0.0755 ± 0.0008	0.34	469 ± 5	514 ± 13	465 ± 5	10
52	1.04	0.5730 ± 0.0203	0.0748 ± 0.0009	0.33	465 ± 5	460 ± 13	465 ± 5	–1
53	1.40	0.6551 ± 0.0115	0.0755 ± 0.0006	0.47	469 ± 4	512 ± 7	466 ± 4	9
54	1.16	0.5696 ± 0.0130	0.0749 ± 0.0007	0.39	465 ± 4	458 ± 8	466 ± 4	–2
55	0.77	0.5706 ± 0.0076	0.0749 ± 0.0006	0.58	466 ± 3	458 ± 5	466 ± 4	–2
56	1.02	0.7111 ± 0.0187	0.0761 ± 0.0008	0.38	473 ± 5	545 ± 11	466 ± 5	15
57	0.69	0.7133 ± 0.0197	0.0762 ± 0.0008	0.37	473 ± 5	547 ± 12	467 ± 5	16
58	0.69	0.7204 ± 0.0153	0.0762 ± 0.0007	0.42	474 ± 4	551 ± 9	467 ± 4	16
59	0.89	0.6836 ± 0.0179	0.0760 ± 0.0008	0.38	472 ± 4	529 ± 11	467 ± 5	12
60	1.09	0.6106 ± 0.0096	0.0754 ± 0.0006	0.50	469 ± 4	484 ± 6	468 ± 4	3
61	1.03	0.5902 ± 0.0110	0.0753 ± 0.0006	0.44	468 ± 4	471 ± 7	468 ± 4	1
62	0.88	0.5553 ± 0.0119	0.0750 ± 0.0007	0.40	466 ± 4	449 ± 8	468 ± 4	–4
63	1.14	0.6595 ± 0.0117	0.0760 ± 0.0006	0.47	472 ± 4	514 ± 7	468 ± 4	9
64	1.08	0.6383 ± 0.0144	0.0758 ± 0.0007	0.41	471 ± 4	501 ± 9	469 ± 4	6
65	1.23	0.5721 ± 0.0115	0.0754 ± 0.0006	0.42	469 ± 4	459 ± 7	469 ± 4	–2
66	0.97	0.7129 ± 0.0104	0.0766 ± 0.0006	0.54	476 ± 4	547 ± 6	470 ± 4	15
67	1.20	0.6187 ± 0.0114	0.0759 ± 0.0006	0.45	471 ± 4	489 ± 7	470 ± 4	4
68	1.51	0.8175 ± 0.0167	0.0776 ± 0.0007	0.43	482 ± 4	607 ± 9	471 ± 4	26
69	1.13	0.7076 ± 0.0146	0.0768 ± 0.0007	0.43	477 ± 4	543 ± 9	471 ± 4	14
70	0.98	0.9076 ± 0.0160	0.0784 ± 0.0007	0.49	487 ± 4	656 ± 9	471 ± 4	35
71	1.21	0.5784 ± 0.0173	0.0757 ± 0.0008	0.34	471 ± 5	463 ± 11	471 ± 5	–2
72	1.31	0.6525 ± 0.0168	0.0764 ± 0.0007	0.38	474 ± 4	510 ± 10	471 ± 5	8
73	1.23	0.5782 ± 0.0118	0.0758 ± 0.0007	0.43	471 ± 4	463 ± 8	471 ± 4	–2
74	1.09	0.6218 ± 0.0218	0.0761 ± 0.0009	0.33	473 ± 5	491 ± 14	471 ± 5	4
75	1.09	0.6078 ± 0.0189	0.0761 ± 0.0008	0.34	473 ± 5	482 ± 12	472 ± 5	2
76	0.98	0.6825 ± 0.0142	0.0768 ± 0.0007	0.43	477 ± 4	528 ± 9	472 ± 4	11
77	0.81	0.6182 ± 0.0118	0.0763 ± 0.0006	0.44	474 ± 4	489 ± 7	473 ± 4	3

Примечание.  $D = 100\{[\text{возраст}(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})]/[\text{возраст}(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})] - 1\}$ . 4. Rho – коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  и  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ .  $^{207}\text{PbCorr}$  – возраста по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , скорректированные на обыкновенный свинец  $^{207}\text{Pb}$ -методом.

(ВСЕГЕИ) получен конкордантный возраст  $457 \pm 5$  млн лет по зернам циркона “габбрового” типа из эклогитизированных бронзитовых перидотитов слюдяногорского метаультрамафит-метагаббрового комплекса (хр. Марункеу) [5]. Радиологический возраст (K–Ar-метод) нормально-

и умеренно-щелочных габбродолеритов изьяхойского и орангюганско-лемвинского комплексов, распространенных в виде даек и силлов соответственно в Бельско-Елецкой и Самаро-Лемвинской СФЗ и характеризующих рифтогенные процессы, составляет 420–470 млн лет [4, 5]. По мне-



нию В.Н. Охотникова [8], гранитный магматизм в раннем палеозое завершился в среднем ордовике 460 млн лет назад (К–Аг–метод).

Если принять во внимание, что харьбийский метаморфический комплекс в палеозое представлял собой фундамент палеоконтинентального сектора, то полученные результаты по U–Pb LA–ICP–MS–датированию зерен циркона из метаплагиогранита подтверждают, что до среднего ордовика уже после раскрытия Палеоуральского океана на северо-восточном краю Восточно-Европейского палеоконтинента сохранялась эндогенная активность, связанная с долгоживущими рифтами и, возможно, вызванная плюмовыми процессами. Плюм-зависимый магматизм при заложении континентальных окраин может приводить к плавлению нижней коры (гранулитов или амфиболитов) с образованием гранит-риолитовой магматической компоненты [9]. В связи с этим метаплагиограниты, распространенные в харьбийском комплексе, могут быть связаны с габбродолеритами оранжюганско-лемвинского комплекса и образуют с ними контрастную серию.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны за консультацию А.А. Соболевой.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках НИР, проект № АААА-А17-117121270035-0.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буянтуев М.Д., Хубанов В.Б., Врублевская Т.Т. U–Pb LA–ICP–MS датирование цирконов из субвулканических бимодальной дайковой серии Западного Забайкалья: методика, свидетельства позднепалеозойского растяжения земной коры // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 369–384.
2. Великoslavинский С.Д., Глебовицкий В.А., Крылов Д.П. Разделение силикатных осадочных и магматических пород по содержанию петрогенных элементов с помощью дискриминантного анализа // ДАН. 2013. Т. 453. № 3. С. 310–313.
3. Голубева И.И. Первые результаты U–Pb датирования цирконов гнейсогранитов харьбийского комплекса Полярного Урала // ДАН. 2011. Т. 439. № 4. С. 508–513.
4. Душин В.А., Сердюкова О.П., Малюгин А.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист R Q-42-I, II (Лаборова). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 372 с.
5. Зылева Л.И., Коновалов А.Л., Казак А.П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 – Салехард. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 396 с.
6. Коновалов А.Л., Лохов К.И., Черкашин А.В., Вакуленко О.В. О тектонической границе между метаморфическими сланцевыми и кристаллическими образованиями позднего протерозоя Харьбийского антиклинория (Полярный Урал) // Региональная геология. ВСЕГЕИ, 2016. № 68. С. 6–20.
7. Краснобаев А.А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 152 с.
8. Охотников В.Н. Геология рудных образований Полярного Урала. Л.: Наука, 1975. 175 с.
9. Пучков В.Н. Плюм-зависимый гранит-риолитовый магматизм // Литосфера. 2018. Т. 18. № 5. С. 692–705.
10. Пыстина Ю.И., Пыстин А.М. Цирконовая летопись уральского докембрия. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 168 с.
11. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Уралгеолком, 1993. 152 с.
12. Уляшева Н.С. Термодинамическая эволюция метаморфизма пород харьбийского комплекса (Полярный Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 9. С. 2–6.
13. Berman R.G. P-T history of the HT/HP Granulite Metamorphism Associated with Thrusting in a Junction Zone between the Porya Guba and Umba Blocks, Lapland Granulite Belt (Northeastern Baltic Shield) // Canad. Miner. 1991. V. 29. P. 833–855.
14. Griffin W.L., Powell W.J., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP–MS. In: P.J. Sylvester (Ed.), Laser Ablation ICP–MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues. Mineralogical association of Canada short course series. 2008. V. 40. P. 204–207.
15. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The Application of Laser Ablation–inductively Coupled Plasma–mass Spectrometry to in situ U–Pb Zircon Geochronology // Chem. Geol. 2004. V. 211, P. 47–69.
16. Kleemann U., Reinhardt J. Garnet-biotite Thermometry Revisited: The Effect of Al<sup>VI</sup> and Ti in Biotite // Eur. J. Mineral. 1994. V. 6. P. 925–941.
17. Kretz R. Symbols for Rock-forming Minerals // Amer. Miner. 1983. V. 68. P. 277–279.
18. Ludwig K.R. User's Manual for Isoplot 3.70: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Berkeley. 2008. 76 p.
19. Sláma J., Košler J., Condon D.J., et al. Plešovice Zircon – A New Natural Reference Material for U–Pb and Hf Isotopic Microanalysis // Chemical Geology, 2008. V. 249 (1–2), P. 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.11.005>
20. Wiedenbeck M., Allé P., Corfu F., et al. Three Natural Zircon Standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, Trace Element and REE Analysis // Geostandards Newsletter. 1995. V. 19 (1). P. 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x>

## U–Pb LA–SF–ICP–MS AGE OF ZIRCON FROM METAPLAGIOGRANITE OF THE KHARBEI METAMORPHIC COMPLEX (POLAR URALS)

N. S. Ulyasheva<sup>a,#</sup> and V. B. Hubanov<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Geological Institute, Komi Science Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Geological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: nataliaulyasheva@yandex.ru*

Presented by Academician of the RAS A.M. Askhabov October 20, 2021

To establish the time of endogenous events in the Kharbei metamorphic complex (Polar Urals), U–Pb isotopic dating of zircons from garnet-clinzoisite-two-mica metaplagiogranite was carried out using laser ablation and magnetic sector mass spectrometry with inductively coupled plasma (LA–SF–ICP–MS). In terms of petrogeochemical composition, the rock from which the zircons were dated corresponds to normal alkaline meta-alumina granite, which underwent progressive metamorphism under conditions of the epidote-amphibolite facies of elevated pressures. The concordant age of the 77 analyzed crystals of magmatic zircon was  $463 \pm 1$  Ma at the MSWD of 1.02. The weighted average  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  isotopic age corrected for ordinary lead by the  $^{207}\text{Pb}$  method is  $464 \pm 1$  Ma. Considering that the Kharbey metamorphic complex is the basement of the paleocontinental sector of the Urals, the results obtained confirm the existence of endogenous activity associated with long-lived rifts on the northeastern margin of the East European paleocontinent until the Middle Ordovician.

*Keywords:* Kharbei metamorphic complex, metaplagiogranite, metamorphism, zircon, U–Pb LA–SF–ICP–MS age