

УДК 549.383+553.86+539.181.2+546.832+572.3

Lu-Hf ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА РЕЛИКТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ РЕСТИТОГЕННЫХ УЛЬТРАМАФИТОВ ШАМАНСКОГО МАССИВА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)



Ф.П. Леснов¹, И.Н. Капитонов², С.А. Сергеев^{2,3}

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, Центр изотопных исследований, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

В работе представлены результаты исследования по Lu-Hf систематике цирконов из пород Шаманского ультрамафитового массива, входящего в состав Байкало-Муйского офиолитового пояса. Он сложен в различной мере серпентинизированными и динамометаморфизованными гарцбургитами и подчиненными им дунитами, имеющими реститогенную природу. Из композитной пробы этих пород массой около 4 кг было выделено и продатировано U-Pb методом 31 зерно циркона размером 100–150 мкм. Все эти зерна имели округленную форму и шероховатую поверхность. Большинству из них свойственна очень низкая (до полного отсутствия) интенсивность катодолюминесцентного свечения. По значениям изотопного возраста вся коллекция цирконов разделена на три кластера: а) «древний» (3 049–1 189 млн лет); б) «промежуточный» (827–812 млн лет); в) «молодой» (630–502 млн лет). В представительных зернах минерала из этих кластеров были определены параметры их Lu-Hf изотопных систем. Цирконы из «древнего» кластера характеризуются повышенными значениями параметра $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, а также пониженными значениями параметров $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$, $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Цирконы из «промежуточного» кластера характеризуются повышенными значениями параметра $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, пониженными значениями параметра $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$, а также промежуточными значениями параметров $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Цирконы из «молодого» кластера характеризуются промежуточными значениями параметра $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, примерно такими же, как в предыдущем кластере, значениями параметра $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$, а также повышенными средними значениями параметров $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$.

Исследованные цирконы рассматриваются в качестве реликтовой фазы. Предполагается, что изначально немногочисленные зерна этого минерала находились в виде ювенильной фазы в составе верхнемантийного протолита, возраст которого превышал 3 000 млн лет. Допускается также, что в дальнейшем в процессе нагрева и частичного плавления протолита, инициировавшего диффузию ионов Pb и U в структуре ювенильных цирконов, имели место нарушения в их U-Pb и Lu-Hf изотопных системах, что обусловило наблюдаемое неравномерное «омоложение» их возраста. Эти цирконы рассматриваются в качестве реликтовой фазы, сохранившейся в ультрамафитовых реститах при частичном плавлении верхнемантийного протолита. По всей вероятности, выделенные возрастные кластеры цирконов не знаменуют собой возрастные рамки каких-либо дискретных геологических событий.

Ключевые слова: цирконы, U-Pb изотопный возраст, изотопный состав Hf, гарцбургиты, дуниты, офиолиты, Восточное Забайкалье.

Введение

При определении условий и времени формирования мафит-ультрамафитовых массивов, распространенных в различных структурах земной коры, применяются различные методы исследований, в том числе структурно-геологическое картирование, петрографические, геохимические, и минералогические наблюдения. Относительно новыми подходами в этих исследованиях являются методы U-Pb изотопного датирования и Lu-Hf изотопной систематики цирконов, обнаруженных в породах подобных массивов [Griffin et al., 2000; Kinny, Maas, 2003; Knauf, 2008; Аникина, Краснобаев, Русин и др., 2012; Малич, Баданина, Белоусова, 2012; Баданина, Белоусова, Малич, 2013; Малич, Баданина, 2018; Леснов, Капитонов, Сергеев, 2018]. В предлагаемой работе представлены первые данные о Lu-Hf изотопном со-

ставе цирконов, обнаруженных в реститогенных ультрамафитах из потенциально хромитоносного Шаманского массива. Он представляет собой субвертикально залегающую среди протерозойских карбонатных метаморфических образований (муйская серия) протрузию с площадью выходов 6×26 км, которая, обнажаясь на правобережье р. Витим (Восточное Забайкалье) ($55^{\circ}81'38.9''$ с.ш., $111^{\circ}09'16.7''$ в.д.), входит в состав Байкало-Муйского офиолитового пояса [Леснов, Чернышов, Пугачева, 2016]. В северной части массива находится гора Шаман, которая возвышается над уровнем р. Витим на 1 800 м. Массив сложен в различной мере серпентинизированными и динамометаморфизованными реститогенными гарцбургитами, а также подчиненными им дунитами. Последние залегают среди гарцбургитов в виде полосовидных обособлений различной протяженности и мощности. К востоку от ультрамафитового масси-

ва на небольшом удалении обнажается вытянутый в субмеридианальном направлении габброидный интрузив, залегающий среди метатерригенных и карбонатных отложений.

Результаты исследований

В ультрамафитах Шаманского массива методом ICP-MS были определены относительно повышенные содержания Zr (9–193 г/т) и Hf (0,20–3,8 г/т), между которыми наблюдалась прямая зависимость. Это позволило предположить присутствие в них зерен акцессорного циркона [Леснов Чернышов, Пугачева, 2016]. Позже это было подтверждено при обработке композитной пробы гарцбургитов и дунитов общей массой около 4 кг, отобранной на нескольких участках массива. Из нее было выделено 31 зерно циркона размером 100–150 мкм. Все они имели округленную форму и шероховатую поверхность. Все зерна циркона характеризовались низкой (до полного отсутствия) интенсивностью катодолюминесцентного свечения, а также редко наблюдаемой аномальной секториально-блоковой осцилляторной зональностью. При изотопном датировании цирконов U-Pb методом (SHRIMP II) выполнено 35 определений их возраста, значения которого варьируют в интервале 3 049–502 млн лет. С учетом этих данных вся коллекция зерен циркона была разделена на три возрастных кластера: а) «древний» (3 049–1 189 млн лет, 13 зерен); б) «промежуточный» (827–812 млн лет, 3 зерна); в) «молодой» (630–502 млн лет, 17 зерен) [Леснов, 2018].

В представительных зернах из этих возрастных кластеров цирконов был исследован их Lu-Hf изотопный состав (рис. 1, табл. 1).

Определение Lu-Hf изотопного состава цирконов было выполнено в Центре изотопных исследований ФГУП ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) методом LA ICP-MS на мультиколлекторном масс-спектрометре Termo-Finnigan Neptune (лазер COMPEX-102, 193 нм ArF (система абляции – DUV-193). Диаметр кратера от луча лазера составлял ~50 мкм при глубине 20–40 мкм. При анализе регистрировали следующие изотопы: ^{172}Yb , ^{174}Yb , ^{176}Lu , ^{176}Hf , ^{177}Hf и ^{178}Hf . Для коррекции масс-дискриминации использовали одно нормирующее отношение – $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Корректные значения ^{176}Hf были получены посредством вычитания ^{176}Yb и ^{176}Lu , для чего измеряли свободные от наложения линии ^{172}Yb и ^{175}Lu . Все ошибки определений находятся на уровне 2σ. При расчете значений ϵ_{Hf} использовали следующие хондритовые значения: $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,336$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,282785$ [Bouvier, Vervoort, Patchett, 2008]. Модельный возраст цирконов $T_{\text{Hf}}(\text{DM})$ был определен относительно деплетированной мантии (DM) со следующими параметра-

ми: $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,0384$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,2832$ [Blichert-Toft, Albaredo, 1997; Chauvel, Blichert-Toft, 2001]. Исходя из того, что модельный возраст цирконов – T_{Hf} (DM – указывает на минимальный возраст источника, из которого они кристаллизовались), был получен более реалистичный двухстадийный их возраст T_{Hf}^{C} , рассчитанный посредством проецирования инициального значения параметра $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ цирконов на линию DM с использованием среднекорового значения $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,015$ [Griffin et al., 2000].

На построенной по этим данным гистограмме частот встречаемости значений параметра $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$, имеющей полимодальную конфигурацию, присутствует серия максимумов различной интенсивности, которые условно разделены на две группы (рис. 2). Первая из них включает пять максимумов с относительно низкой интенсивностью, расположенных в области низких значений параметра $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Эти максимумы характеризуют цирконы, относящиеся к «древнему» кластеру. Вторая группа включает два более интенсивных максимума, расположенных в области повышенных значений параметра $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Они характеризуют цирконы из «промежуточного» и «молодого» возрастных кластеров.

Цирконы из «промежуточного» кластера (813–804 млн лет) по сравнению с минералом из двух остальных кластеров отличаются повышенными содержаниями ^{177}Hf , U и Th, а также промежуточными значениями параметров $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$, более высокими значениями параметра $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, более низкими значениями параметра $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$. Значения параметра $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ в этих цирконах имеют как положительный, так и отрицательный знак. Соответственно, их фигуративные точки (4–6) находятся по обе стороны линии CHUR на различном удалении от нее (см. рис. 3).

Цирконам из «древнего» кластера (3 049–1 736 млн лет), представленным шестью зернами, свойственны пониженные содержания ^{177}Hf , U и Th по сравнению с этим минералом из двух остальных кластеров. Значения параметров $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ в них тоже более низкие, чем в зернах из двух остальных кластеров. Значения параметра $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ в цирконах из этого кластера варьируют в интервале 0,280896–0,281724. Значения параметра $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ имеют как положительные, так и отрицательные знаки (от +3,3 до –4,9). На диаграмме в координатах « ϵ_{Hf} – возраст» фигуративная точка наиболее древнего зерна циркона (1) расположена в непосредственной близости от линии эволюции изотопного состава Hf в универсальном хондритовом резервуаре (CHUR), точки двух остальных зерен (2 и 3) находятся выше этой линии на большем удалении (рис. 3).

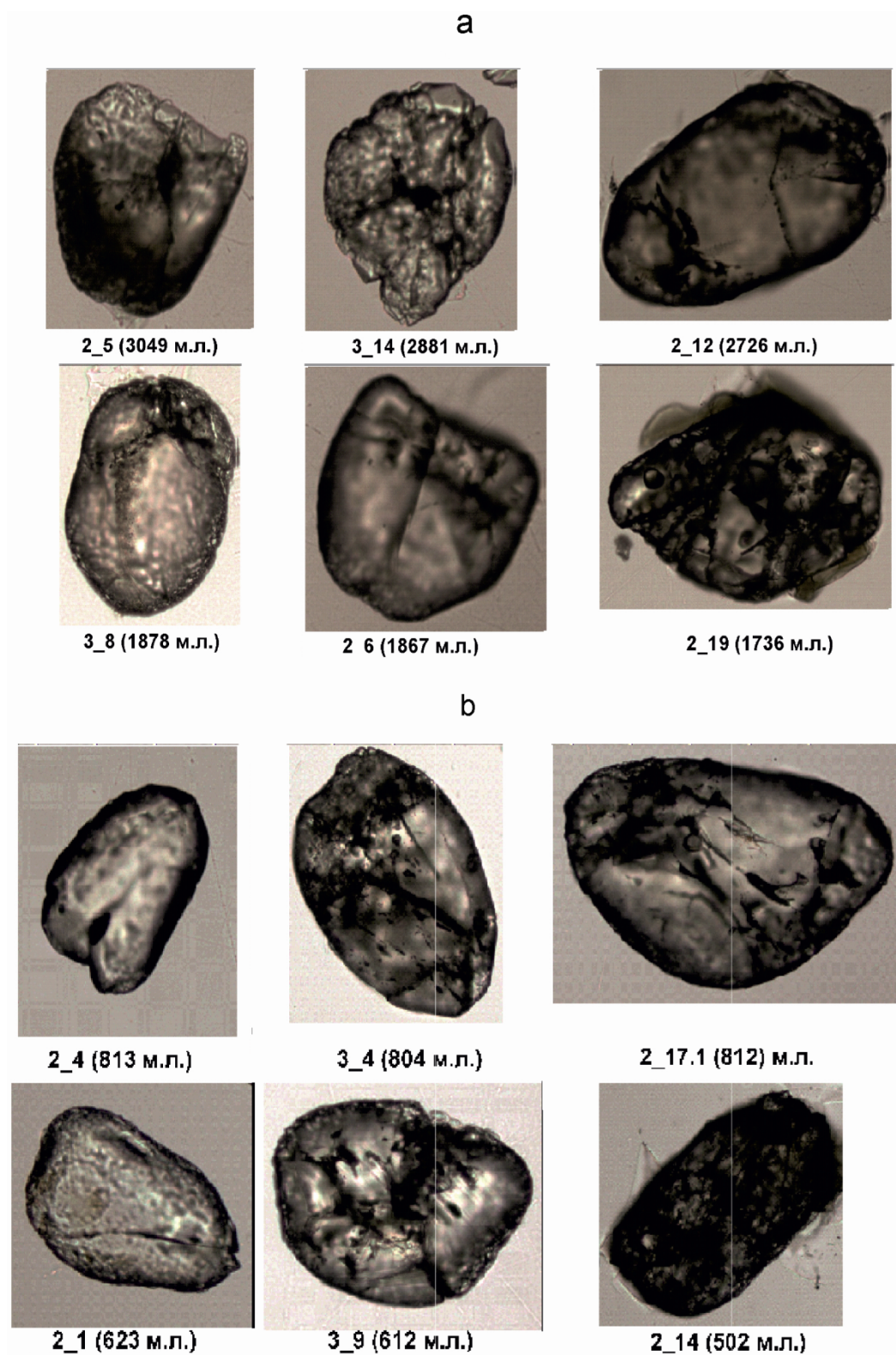


Рис. 1. Морфология зерен циркона из трех возрастных кластеров, в которых были определены параметры их Lu-Hf изотопных систем
 Кластеры: а) «древний», б) «промежуточный» и «молодой»

Fig. 1. Morphology of zircon grains from three age clusters in which the parameters of their Lu-Hf isotopic systems were determined.
 Clusters: а) “ancient”, б) “intermediate” and “young”

Результаты исследований Lu-Hf изотопных систем цирконов из гарцбургитов и дунитов Шаманского массива

Table 1

Results of studies of the Lu-Hf isotope systems of zircons from harzburgites and dunites rocks of the Shaman massif

№ анализа	№ фракции и зерна	Возраст, млн лет $T(^{207}\text{Rb}/^{206}\text{U})$	Возраст, млн лет $T(^{206}\text{Rb}/^{238}\text{U})$	U, г/г	Th, г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	^{177}Hf , г/г	$\pm 2\sigma$	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\sigma$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$\pm 2\sigma$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{исот}}$	$\pm 2\sigma$	ε_{Hf} (Т)	$\pm 2\sigma$	T_{Hf} (DM), млн лет
«Древний» кластер																	
1	2_5	3 049	2 620	198	45	0,24	8 582	807	0,0147	0,0002	0,001419	0,000028	0,280896	0,000039	0,000039	0,000039	3 306
2	3_14	2 881	2 350	229	67	0,29	7 475	1248	0,0244	0,0016	0,002575	0,00008	0,281158	0,000043	0,000043	0,000043	3 039
3	2_12	2 726	2 672	452	294	0,67	6 689	465	0,0329	0,0004	0,001083	0,000006	0,281188	0,000032	0,000032	0,000032	2 880
4	3_8	1 878	1 871	221	86	0,4	7 577	519	0,0112	0,0002	0,000539	0,000005	0,281469	0,000036	0,000036	0,000036	2 461
5	2_6	1 867	1 884	70	49	0,72	7 448	386	0,0107	0,0003	0,000447	0,000002	0,281515	0,000051	0,000051	0,000051	2 394
6	2_19	1 736	1 741	189	93	0,51	3 678	395	0,0173	0,0004	0,000686	0,000006	0,281724	0,000067	0,000067	0,000067	2 125
«Промежуточный» кластер																	
7	2_4	813	813	323	205	0,66	13 410	199	0,0142	0,0003	0,001119	0,000004	0,282303	0,000019	0,000019	0,000019	1 343
8	2_17	812	614	131	320	2,52	3 946	208	0,0236	0,0003	0,000824	0,000003	0,28257	0,000052	0,000052	0,000052	961
9	3_4	804	812	356	198	0,57	5 417	520	0,1154	0,0009	0,004541	0,000034	0,282304	0,000115	0,000115	0,000115	1 476
«Молодой» кластер																	
10	2_1	623	604	176	104	0,61	8 263	976	0,0424	0,0032	0,00392	0,000161	0,282325	0,00004	0,00004	0,00004	1 418
11	3_9	612	603	367	139	0,39	7 545	475	0,0767	0,0052	0,003861	0,000102	0,282441	0,000072	0,000072	0,000072	1 240
12	2_13	581	615	415	125	0,1	7 885	617	0,0331	0,0012	0,001218	0,000011	0,282364	0,000037	0,000037	0,000037	1 262
13	2_14	502	502	148	82	0,57	3 994	396	0,0731	0,0023	0,002388	0,000057	0,282698	0,000059	0,000059	0,000059	814
14	2_18	459	513	166	445	2,77	4 810	154	0,0301	0,0041	0,000951	0,000045	0,282596	0,000049	0,000045	0,000045	928

Примечание. $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{исот}}$ – рассчитанный первоначальный состав Hf на момент образования цирконов; ε_{Hf} (Т) – значение на момент образования цирконов; T_{Hf} (DM) – значение модельного возраста цирконов. В зернах 2_14, 3_4 и 3_9 определены повышенные содержания редкоземельных элементов. $\pm 2\sigma$ – стандартное отклонение. Данные об изотопном возрасте цирконов, по [Леснов, 2018].

Note. $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{исот}}$ – calculated initial Hf composition at the time of zircons formation; ε_{Hf} (Т) – value at the time of zircons formation; T_{Hf} (DM) is the value of the model age of zircons. In grains 2_14, 3_4 and 3_9, elevated REE contents were determined. $\pm 2\sigma$ – standard deviation. Data on the isotopic age of zircons, according to [Lesnov, 2018].

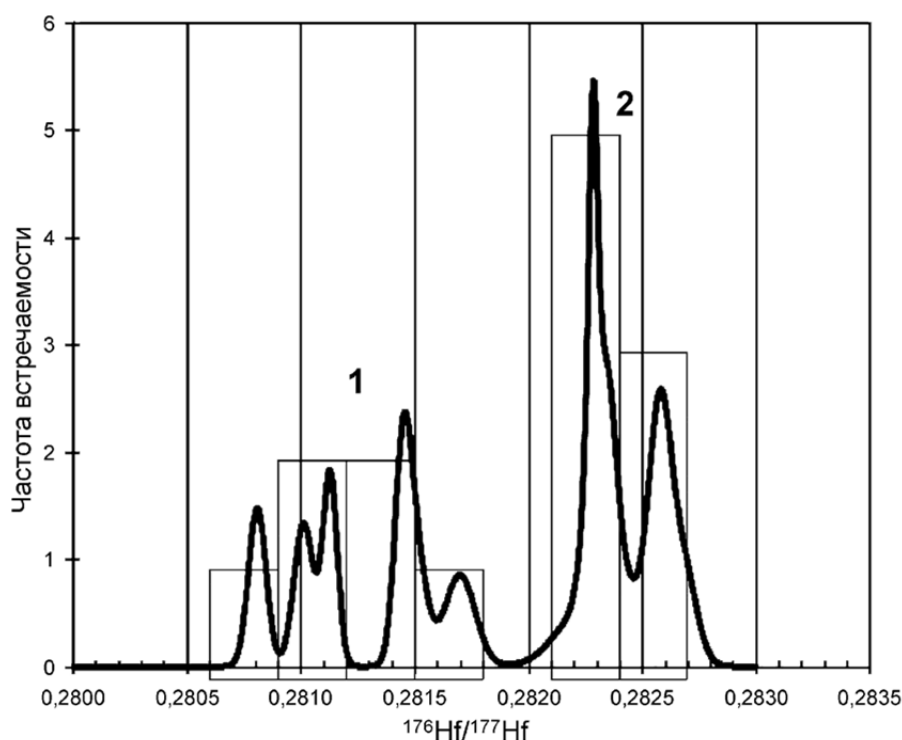


Рис. 2. Гистограмма частот встречаемости значений параметра $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ цирконов (по данным табл. 1)
Кластеры: 1 – «древний», 2 – «промежуточный» и «молодой»

Fig. 2. A histogram of the frequencies of occurrence of the parameter values $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ of zircons (according to the data in the Table 1)

Clusters: 1 – “ancient”, 2 – “intermediate” and “young”

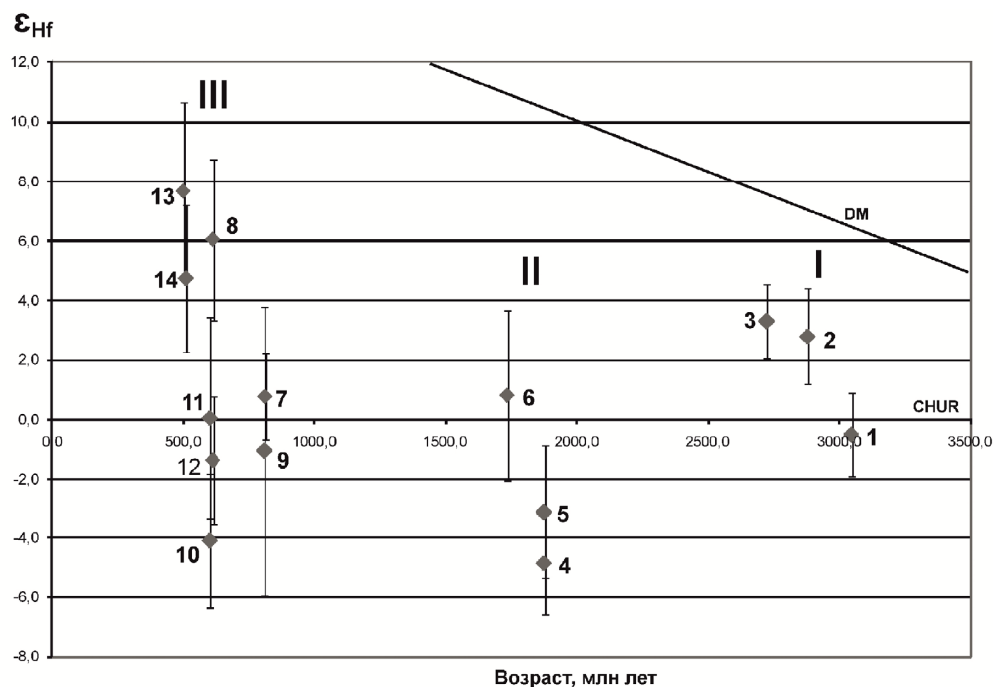


Рис. 3. Диаграмма в координатах « ϵ_{Hf} – возраст» для цирконов

Возрастные кластеры: I – «древний», II – «промежуточный», III – «молодой». CHUR – линия эволюции изотопного состава Hf в универсальном хондритовом резервуаре, DM – линия эволюции изотопного состава Hf в деплетированной мантии. Номера точек соответствуют номерам анализов в табл. 1

Fig. 3. The diagram in coordinates « ϵ_{Hf} – age» for zircons

Age clusters: I – “ancient”, II – “intermediate”, III – “young”. CHUR is the evolution line of the Hf isotopic composition in a universal chondrite reservoir, DM is the evolution line of the Hf isotopic composition in a depleted mantle. The point numbers correspond to the numbers of analyzes in the Table 1

Цирконы из «молодого» кластера (623–459 млн лет) по сравнению с цирконами из двух остальных кластеров характеризуются промежуточными содержаниями U, Th и ^{177}Hf , промежуточными значениями параметра $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, примерно такими же, как в цирконах из «промежуточного» кластера значениями параметра $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$, а также более высокими значениями параметров $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ и $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Параметр $\epsilon_{\text{Hf}}(\text{T})$ в них имеет как положительные, так и отрицательные значения, соответственно, их фигуративные точки (7–14) также находятся по обе стороны от линии CHUR на различном удалении от нее (см. рис. 3). Следует отметить, что значения модельного возраста – $T_{\text{Hf}}(\text{DM})$ – для цирконов из всех проанализированных цирконов находятся в интервале от 3 306 до 814 млн лет, причем во всех случаях они превышают те значения возраста, которые были рассчитаны на основе параметров $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

Суммируя изложенное выше, подчеркнем, что все зерна цирконов из гарцбургитов и дунитов Шаманского массива имеют округленную в результате резорбирования форму, пониженную (до полного отсутствия) интенсивность катодолюминесцентного свечения, а также аномальную секториально-блочную осцилляторную зональность. Им свойственны значительные вариации значений U-Pb изотопного возраста. Как предполагается, это обусловлено процессами неравномерного «омоложения» U-Pb изотопных систем, изначально находившихся в верхнемантийном протолите ювенильных цирконов, имевших возраст более 3 000 млн лет. Подобное «омоложение», предположительно, было обусловлено процессами диффузии ионов Pb и U в структуре цирконов [Cherniak, 2010]. Представленные данные изотопного датирования позволили разделить всю коллекцию цирконов на три возрастных кластера («древний», «промежуточный» и «молодой»). Эти цирконы рассматриваются в качестве реликтовой фазы, сохранившейся в ультрамафитовых реститах при частичном плавлении верхнемантийного протолита. По всей вероятности, выделенные возрастные кластеры цирконов не знаменуют собой возрастные рамки проявления каких-либо дискретных геологических событий.

Выводы

1. Значения параметров $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ и $\epsilon_{\text{Hf}}(\text{T})$ в цирконах из ультрамафитов Шаманского массива имеют полимодальное распределение.
2. Полимодальное распределение изотопных параметров Hf в цирконах в целом согласуется с их разделением на «древний», «промежуточный» и «молодой» возрастные кластеры по результатам датирования U-Pb методом.
3. Стандартные отклонения значений параметра $\epsilon_{\text{Hf}}(\text{T})$ увеличиваются в ряду от цирконов «древнего» кластера к цирконам из «промежуточного» и «молодого» кластеров.
4. Значение параметра $\epsilon_{\text{Hf}}(\text{T})$ для наиболее древнего зерна циркона (3 049 млн лет) почти совпадает со значением этого параметра в универсальном хондритовом резервуаре (CHUR). Аналогичный факт ранее был установлен в отношении наиболее древнего реликтового циркона (~ 3 100 млн лет) из гибридных пироксенитов Березовского мафит-ультрамафитового массива (о. Сахалин) [Леснов и др., 2018].
5. Результаты Lu-Hf систематики цирконов из ультрамафитов Шаманского массива в целом коррелируют с данными по их U-Pb изотопному датированию.
6. Исследованные цирконы рассматриваются в качестве реликтовой фазы. Предполагается, что изначально немногочисленные зерна этого минерала находились в виде ювенильной фазы в составе верхнемантийного протолита, возраст которого превышал 3 000 млн лет. Допускается также, что в дальнейшем в процессе нагрева и частичного плавления протолита, инициировавшего диффузию ионов Pb и U в структуре ювенильных цирконов, имели место нарушения в их U-Pb и Lu-Hf изотопных системах, что обусловило наблюдаемое неравномерное «омоложение» их возраста.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (№ 0330-2016-0014).

ЛИТЕРАТУРА

- Аникина Е.В., Краснобаев А.А., Русин А.И., Бушарина С.В., Капитонов И.Н., Лохов К.И. Изотопно-геохимические характеристики циркона из дунитов, клинопироксенитов и габбро Платиноносного пояса Урала // Доклады РАН. 2012. Т. 443, № 6. С. 711–715.
- Баданина И.Ю., Белоусова Е.А., Малич К.Н. Изотопный состав гафния цирконов дунитов Нижне-Тагильского и Гулинского массивов (Россия) // Доклады РАН. 2013. Т. 448, № 1. С. 59–63. DOI: 10.7868/S0869565213010179
- Леснов Ф.П. Петрология полигенных мафит-ультрамафитовых массивов Восточно-Сахалинской офиолитовой ассоциации. Новосибирск: ГЕО, 2015. 240 с.
- Леснов Ф.П. U-Pb изотопное датирование цирконов из ультрамафитовых реститов Шаманского массива (Восточное Забайкалье) // Геосферные исследования. 2018. № 1. С. 6–16. DOI: 10.17223/25421379/6/1
- Леснов Ф.П., Капитонов И.Н., Сергеев С.А. Изотопный состав гафния в цирконах из пород Березовского мафит-ультрамафитового массива и условия его формирования (о. Сахалин) // Геосферные исследования. 2018. № 2. С. 31–51. DOI: 10.17223/25421379/7/3

Леснов Ф.П., Чернышов А.И., Пугачева Е.Е. Геохимия редких, редкоземельных и платиновых элементов в породах Шаманского ультрамафитового массива (Восточное Забайкалье) // Литосфера. 2016. № 4. С. 30–53.

Малич К.Н., Баданина И.Ю. Изотопный состав гафния цирконов платиноносного Феклистовского массива (Шантарский архипелаг, Охотское море, Россия) // Литосфера. 2018. Т. 18, № 4. С. 585–522.

Малич Л.Н., Баданина И.Ю., Белоусова Е.А. Lu-Hf изотопная систематика архейских цирконов ультрамафитов платиноносных массивов // Минералогия во всем пространстве этого слова: проблемы укрепления минерально-сырьевой базы и рационального использования минерального сырья. СПб.: Издательство Российского минералогического общества, 2012. С. 182–184.

Blichert-Toft J., Albarede F. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system // Earth Planet. Sci. Lett. 1997. Vol. 148. P. 243–258.

Bouvier A., Vervoort J.D., Patchett P.J. The Lu-Hf and Sm-Nd isotopic composition of CHUR constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets // Earth and Planet. Sci. Lett. 2008. V. 273. P. 48–57.

Chauvel C., Blichert-Toft J. A hafnium isotope and trace element perspective on melting of the depleted mantle // Earth and Planet. Sci. Lett. 2001. V. 190. P. 137–151.

Cherniak D.J. Diffusion in accessory minerals: zircon, titanite, apatite, monazite and xenotime // Reviews in mineralogy and geochemistry. 2010. V. 77. P. 827–869.

Griffin W.L., Pearson N.J., Belousova E., Jackson S.E., van Achterbergh E., O'Reilly S.Y., Shee S.R. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICP-MS analysis of zircon megacrysts in kimberlites // Geochem. Cosmochem. Acta. 2000. V. 64. P. 133–147.

Kinny P.D., Maas R. Lu-Hf and Sm-Nd isotope systems in zircon / Zircon // Reviews in mineralogy and geochemistry. 2003. V. 53. P. 327–341.

Knauf O. The age of dunite-clinopyroxenite core of Kytlym and Galmoen zonal Ural-type massifs by data of zircons // 33th Int. Geol. Congr. Abstract. Oslo. 2008. P. 105–107.

Авторы:

Леснов Феликс Петрович, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, ведущий научный сотрудник, Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия. E-mail: felix@igm.nsc.ru; lesnovfp@list.ru

Капитонов Игорь Николаевич, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, Центр изотопных исследований, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Igor_Kapitonov@vsegei.ru

Сергеев Сергей Андреевич, кандидат геолого-минералогических наук, директор Центра изотопных исследований, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, Центр изотопных исследований, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: sergey_sergeev@vsegei.ru

Geosphere Research, 2019, 3, 42–49. DOI: 10.17223/25421379/12/4

F.P. Lesnov¹, I.N. Kapitonov², S.A. Sergeev²

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

² A.P. Karpinsky Russian Geological Institute (VSEGEI), Saint-Petersburg, Russia

³ St. Petersburg University, Saint-Petersburg, Russia

Lu-Hf ISOTOPE SYSTEMATIZATION OF RELICT ZIRCONS FROM RESTITOGENIC ULTRAMAFIC ROCKS OF SHAMAN MASSIF (East Transbaikalia)

The work presents the results of a study on Lu-Hf systematization of zircons from rocks of the Shamanic ultramafic massif, which is part of the Baikal-Muya ophiolite belt. It is composed to varying degrees of serpentinized and dynamometamorphized harzburgites and dunites subordinate to them, which have a restitogenic nature. From a composite sample of these rocks weighing about 4 kg, 31 zircon grains 100–150 µm in size were extracted and sold by U-Pb. All these grains had a rounded shape and a rough surface. Most of them are characterized by a very low to complete absence of cathodoluminescent light intensity. According to the values of the isotopic age, the entire collection of zircons was divided into three clusters: a) “ancient” (3,049–1,189 Ma); b) “intermediate” (827–812 Ma); c) “young” (630–502 Ma). In representative mineral grains from these clusters, the parameters of their Lu-Hf isotopic systems were determined. Zircons from the “ancient” cluster are characterized by increased values of the parameter $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, as well as lower values of the parameters $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$, $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ and $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Zircons from the “intermediate” cluster are characterized by increased values of the parameter $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, lower values of the parameter $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$, as well as intermediate values of the parameters $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ and $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$. Zircons from the “young” cluster are characterized by intermediate values of the parameter $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, approximately the same as in the previous cluster, by the values of the parameter $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$, and also by increased average values of the parameters $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ and $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$.

The studied zircons are considered as a relic phase. It is assumed that initially the few grains of this mineral were in the form of a juvenile phase in the composition of the upper mantle protolith, whose age exceeded 3,000 million years. It is also assumed that subsequently, during the heating and partial melting of protolith, which initiated the diffusion of Pb and U ions in the structure of juvenile zircons, disturbances occurred in their U-Pb and Lu-Hf isotopic systems, which caused the observed uneven “rejuvenation” of their age.

Keywords: zircons, U-Pb isotopic age, Hf isotopic composition, harzburgites, dunites, ophiolites, East Transbaikalia.

References

Anikina E.V., Krasnobaev A.A., Rusin A.I., Busharina S.V., Kapitonov I.N., Lokhov K.I. Isotope Geochemical Characteristics of Zircon from Dunite, Clinopyroxenite, and Gabbro of the Uralian Platinum Belt // *Doklady Earth Sciences*. 2012. V 443, № 2. pp. 513–516.

Badanina I.Yu., Malitch K.N., Belousova E.A. Hafnium isotope composition of zircons from dunites of the Nizhny Tagil and Guli Massifs (Russia) // *Doklady Earth Sciences*. 2013. V. 448, № 1. pp. 38–42. In Russian. DOI: 10.7868/S0869565213010179

Lesnov F.P. Data on U-Pb isotopic dating of zircons from ultramafic restites of Shaman massif (Eastern Transbaikalia). *Geosphere Research*. 2018. No 1. pp. 6–16. DOI 10.17223/25421379/6/1 In Russian

Lesnov F.P. *Petrologiya poligennykh mafit-ultramafitovykh massivov Vostochno-Sahalinskoy ofiolitovoy assotsiatsii* [Petrology of polygenic mafic-ultramafite massifs of the East Sakhalin ophiolite association]. Novosibirsk: Publishing House GEO, 2015. 240 p. In Russian

Lesnov F.P., Kapitonov I.N., Sergeev S.A. Isotopic composition of Hafnium in zircons from the rocks of Berezovskii mafic-ultramafic massif and the conditions of its formation (Sakhalin Island) // *Geosphere Research*. 2018. No 2. pp. 31–51. In Russian. DOI 10.17223/25421379/7/3

Lesnov F.P., Chernyshov A.I., Pugacheva E.E. Geochemistry of rare, rare earth, and platinum elements in rocks of the Shaman ultramafic massif (East Transbaikalia) // *Lithosphere*. 2016. No 4. pp. 30–53. In Russian

Malich K.N., Badanina I.Yu. Isotopic composition of hafnium zircons of the platinum-bearing Feklistovsky massif (Shantar archipelago, Sea of Okhotsk, Russia) // *Lithosphere*. 2018. V. 18. No 4. pp. 585–522. In Russian

Malich K.N., Badanina I.Yu., Belousova E.A. *Lu-Hf izotopnaya sistematika arkheyskikh tsirkonov ul'tramafitov platinonosnykh massivov* [Lu-Hf isotope systematics of Archean zircons of ultramafites of platinum-bearing massifs] // *Mineralogy in the whole space of this word: problems of strengthening the mineral and raw materials base and rational use of mineral raw materials*. St.-Peterburg: Publishing House of the Russian Mineralogical Society, 2012. pp. 182–184. In Russian

Blichert-Toft J., Albarede F. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle-crust system // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1997. V. 148. pp. 243–258.

Bouvier A., Vervoort J.D., Patchett P.J. The Lu-Hf and Sm-Nd isotopic composition of CHUR: constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2008. V. 273. pp. 48–57.

Chauvel C., Blichert-Toft J. A hafnium isotope and trace element perspective on melting of the depleted mantle // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2001. V. 190. pp. 137–151.

Cherniak D.J. Diffusion in accessory minerals: zircon, titanite, apatite, monazite and xenotime // *Reviews in mineralogy and geochemistry*. 2010. V. 77. pp. 827–869.

Griffin W.L., Pearson N.J., Belousova E., Jackson S.E., van Acherbergh E., O'Reilly S.Y., Shee S.R. The Hf isotope composition of cratonic mantle: LAM-MC-ICPMS analysis of zircon megacrysts in kimberlites // *Geochem. Cosmochim. Acta*. 2000. V. 64. pp. 133–147.

Kinny P.D., Maas R. Lu-Hf and Sm-Nd isotope systems in zircon / *Zircon* // *Reviews in mineralogy and geochemistry*. V. 53. (Eds. Hancher J.M. and Hoskin P.W.O.). 2003. pp. 327–341.

Knauf O. The age of dunite-clinopyroxenite core of Kytlym and Galmoenan zonal Ural-type massifs by U-Pb data of zircons // 33th Int. Geol. Congr. Abstracts. Oslo, 2008. pp. 105–107.

Authors:

Lesnov Felix P., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Academician RANS, Leading Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: felix@igm.nsc.ru; lesnovfp@list.ru

Kapitonov Igor N., Cand. Sci. (Physic.-Math.), Leading Researcher, Head of Center of Isotopic Research, A.P. Karpinsky Russian Geological Institute (VSEGEI), Saint-Petersburg, Russia. E-mail: Igor_Kapitonov@vsegei.ru

Sergeev Sergey A., Cand. Sci. (Geol.-Miner.). Head of Center of Isotopic Research, A.P. Karpinsky Russian Geological Institute (VSEGEI), Saint-Petersburg, Russia. E-mail: sergev_sergeev@vsegei.ru