

ГЕОХИМИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 549.383+550.3+546.65+549.9+571.55

U-Pb ИЗОТОПНОЕ ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВЫХ РЕСТИТОВ ШАМАНСКОГО МАССИВА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Ф.П. Леснов

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

Обсуждаются полученные U-Pb методом первые данные об изотопном возрасте цирконов из реститогенных ультрамафитов Шаманского массива (Восточное Забайкалье), который имеет размеры 6×25 км и является крупнейшей протрузией этих пород в составе восточного фланга Байкало-Муйского офиолитового пояса. Из коллективной пробы массой около 4 кг, состоявшей из нескольких десятков небольших образцов гарцбургитов и дунитов, отобранных из коренных обнажений в пределах внутренней зоны массива, было выделено 31 зерно циркона. Все цирконы характеризуются округленной формой и шероховатой поверхностью, многие из них лишены катодолюминесцентного свечения и осцилляторной зональности. Значения их возраста варьируют в очень широком диапазоне (3 049–502 млн лет), т.е. они являются полихронными. Рабочая коллекция зерен циркона была разделена на два возрастных кластера: а) более редкие зерна с возрастом $3\,049 \pm 17$ – $1\,189 \pm 29$ млн лет; б) чаще встречающиеся зерна с возрастом 638 ± 29 – 502 ± 54 млн лет. Кроме того, три зерна имеют возраст в диапазоне 813 ± 26 – 778 ± 63 млн лет. Предполагается, что наиболее древние цирконы имеют реликтовую природу и что они изначально находились в верхнемантийном протолите, прогрев которого при частичном плавлении обусловил нарушение и неравномерное «омоложение» изотопных систем этих цирконов. С меньшей определенностью такой же генезис может быть приписан цирконам, показавшим более молодые значения изотопного возраста.

Ключевые слова: цирконы, U-Pb изотопный метод, гарцбургиты, дуниты, реститы, геохимия, Шаманский массив, Байкало-Муйский офиолитовый пояс, Восточное Забайкалье.

Введение

В работе представлены впервые полученные U-Pb методом данные об изотопном возрасте цирконов из дунитов и гарцбургитов Шаманского ультрамафитового массива, расположенного на правом берегу р. Витим (Восточное Забайкалье) и входящего в состав Байкало-Муйского офиолитового пояса, который структурно приурочен к зоне глубинного разлома, разграничивающего Сибирский кратон и Алтае-Саянскую складчатую область (GPS координаты по центру массива: 55.81389 с.ш., 111.09167 в.д.). Массив является крупнейшей протрузией реститогенных ультрамафитов в составе восточной ветви этого пояса [Кибанов, 1971; Анашкина и др., 1997; Лоскутов, Асосков, 2010; Леснов и др., 2012, 2016]. Его породами сложены хребет и гора Шаман, возвышающаяся над уровнем р. Витим на 1 800 м. Массив имеет размеры 6×25 км и обнажается на площади 110 км^2 . Его длинная ось ориентирована в север-северо-западном направлении согласно простиранию зоны глубинного разлома. По размеру этот массив стоит в одном ряду с такими крупными ультрамафитовыми массивами Алтае-Саянской складчатой области, как Оспинско-Китойский (Восточный Саян, 200 км^2), Иджимский (Западный Саян, 106 км^2), Шишихдгольский (285 км^2) и Наранский

(188 км^2) – в Монголии. С вмещающими метаморфическими образованиями протерозойского возраста Шаманский массив граничит вдоль субвертикальных разломов. В его западном экзоконтакте преобладают амфиболиты и карбонатные отложения, вдоль восточного экзоконтакта распространены метапесчаники и кварциты. Структурно массив приурочен к протяженной зоне глубинного разлома, разграничивающей Сибирский кратон и его южное складчатое обрамление. Массив сложен слабо серпентинизированными гарцбургитами и подчиненными им дунитами, залегающими среди гарцбургитов в виде полос и линзовидных обособлений, имеющих нерезкие границы с гарцбургитами. Вдоль его западного эндоконтакта расположена мощная зона интенсивно рассланцованных серпентинитов, которые в направлении к его осевой зоне сменяются почти не серпентинизированными ультрамафитами. Массив относится к числу потенциально хромитоносных [Лоскутов, Асосков, 2010].

Методы исследований

Содержание большинства элементов-примесей в породах было определено в лаборатории ИГМ СО РАН методом ICP-MS на масс-спектрометре ELEMENT (Finigan Mat). Определение изотопного

возраста цирконов (локальный U-Pb метод с использованием вторично-ионного масс-спектрометра SHRIMP II, стандарты «TEMORA» и «91500») выполнено в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) по стандартной методике [Schuth et al., 2012]. Эти измерения сопровождались изучением морфологии кристаллов циркона в оптическом и катодоллюминесцентном режимах (сканирующий электронный микроскоп CamScan MX2500).

Результаты исследований

По данным микроструктурного анализа оливинов из слагающих массив гарцбургитов и дунитов, было выявлено его зональное строение, свидетельствующее о последовательном увеличении интенсивности пластических деформаций от внутренней зоны массива, наименее деформированные оливины из пород которой имеют протогранулярную и мезогранулярную микроструктуры, в направлении к периферическим зонам массива, в породах которых более де-

формированные оливины характеризуются порфи-рокластической, порфиroleйстовой и мозаичной микроструктурами [Пугачева, 1988, 1996].

Гарцбургиты и дуниты массива обеднены CaO, TiO₂, Na₂O, K₂O, редкими и редкоземельными элементами (РЗЭ), суммарные содержания последних в гарцбургитах составили 0,29–3,01 г/т, в дунитах – 0,12–1,54 г/т (табл. 1). Спектры распределения хондрит-нормированных содержаний РЗЭ в ультрамафитах массива имеют дугообразно изогнутую книзу конфигурацию, обусловленную относительным обогащением пород неструктурной примесью легких РЗЭ, которая сосредоточена в межзерновых и внутризерновых микротрещинах (рис. 1).

Содержания Zr и Hf в ультрамафитах массива подвержены значительным вариациям, при этом между ними выявлена прямая зависимость (см. табл. 1, рис. 2). Это позволило предположить, что в породах данного массива могут присутствовать очень неравномерно распределенные зерна циркона [Леснов и др., 2016].

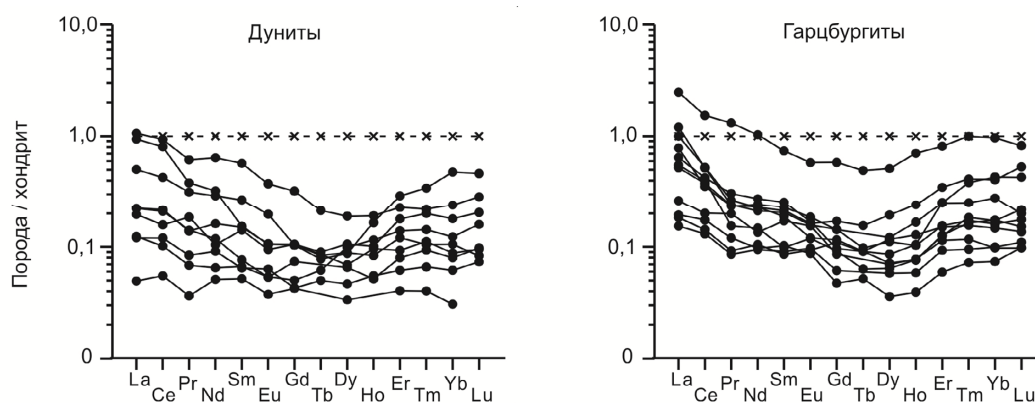


Рис. 1. Спектры распределения хондрит-нормированных содержаний редкоземельных элементов в ультрамафитах из Шаманского массива (по данным табл. 1)

Fig. 1. The patterns of distribution of chondrite-normalized rare earth elements contents in ultramafic rocks from Shaman massif (data Table 1)

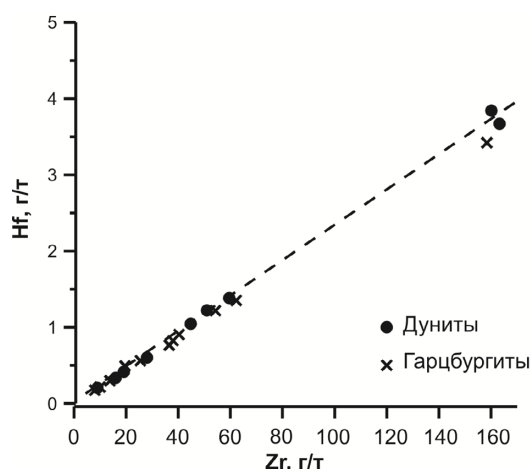


Рис. 2. График корреляции между содержаниями Zr и Hf в ультрамафитах из Шаманского массива: точки – дуниты, крестики – гарцбургиты (по данным табл. 1)

Fig. 2. The graph of the correlation between the contents of Zr and Hf in ultramafites from the Shaman massif: dunite points, crosses - harzburgites (data Table 1)

Содержания U и Th в породах массива, как и значения параметра Th/U, подвержены значительным колебаниям, причем в большинстве случаев U преобладает над Th (табл. 2). Суммарные содержания элементов платиновой группы (ЭПГ) в гарцбургитах и дунитах массива варьируют в интервале 12,50–24,35 мг/т, при этом преобладающим элементом в них является Ru. В породах была выявлена обратная зависимость между содержаниями Ru и тяжелыми РЗЭ (Er, Tm, Yb, Lu), а также между суммарными содержаниями РЗЭ и ЭПГ. Предполагается, что подобная зависимость между содержаниями контрастных по своим свойствам этих двух групп элементов является следствием их разнонаправленного фракционирования в процессе частичного плавления верхнемантийного протолита. Судя по преобладанию Ru над остальными ЭПГ, главными concentra-

торами последних в породах массива могут быть микрочастицы рутеносмирида и лаурита [Леснов и др., 2012].

Согласно результатам геохронологических исследований, выполненных разными методами, в том числе U-Pb методом по циркону, значения возраста пород из метаморфических комплексов, распространенных в районах южного складчатого обрамления Сибирского кратона, значительно варьируют: 2,4–2,0 и 1,88–1,85 млрд лет [Туркина и др., 2016]; 2,66–1,88 млрд лет [Shatsky et al., 2015]; <1,0 млрд лет [Ярмолюк и др., 2012]; 1,02–0,89 млрд лет [Гордиенко и др., 2009]. Что касается ультрамафитов, массивы которых расположены среди метаморфических комплексов этих районов, то до настоящего времени изотопное датирование цирконов из данных пород не проводилось.

Таблица 1

Содержание редкоземельных и других элементов-примесей в представительных образцах ультрамафитов из Шаманского массива, г/т

Table 1

The contents of rare-earth and other trace elements in representative samples of ultramafic rocks from Shaman massif, ppm

| Элемент | Дуниты | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | Номера образцов | | | | | | | | |
| | Ш-1/3 | Ш-1/4 | Ш-2/2 | Ш-4/1 | Ш-5/3 | Ш-6/1 | Ш-24/2 | Ш-27/1 | Ш-33/6 |
| La | 0,055 | 0,012 | 0,26 | 0,030 | 0,048 | 0,23 | 0,029 | 0,055 | 0,12 |
| Ce | 0,13 | 0,035 | 0,59 | 0,065 | 0,10 | 0,51 | 0,077 | 0,14 | 0,27 |
| Pr | 0,014 | 0,004 | 0,059 | 0,007 | 0,018 | 0,037 | 0,008 | 0,013 | 0,030 |
| Nd | 0,056 | 0,024 | 0,30 | 0,031 | 0,050 | 0,15 | 0,043 | 0,077 | 0,014 |
| Sm | 0,012 | 0,008 | 0,088 | 0,010 | 0,022 | 0,024 | 0,010 | 0,023 | 0,041 |
| Eu | 0,003 | 0,002 | 0,022 | 0,003 | 0,005 | 0,006 | 0,004 | 0,006 | 0,011 |
| Gd | 0,015 | 0,009 | 0,066 | 0,010 | 0,021 | 0,021 | 0,009 | 0,021 | 0,021 |
| Tb | <0,001 | <0,001 | 0,008 | 0,002 | <0,001 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,003 |
| Dy | 0,017 | 0,009 | 0,048 | 0,025 | 0,018 | 0,027 | 0,012 | 0,022 | 0,023 |
| Ho | 0,003 | <0,001 | 0,011 | 0,007 | 0,005 | 0,006 | 0,003 | 0,009 | 0,005 |
| Er | 0,013 | 0,007 | 0,038 | 0,023 | 0,015 | 0,030 | 0,010 | 0,048 | 0,020 |
| Tm | 0,002 | 0,001 | 0,006 | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 0,002 | 0,009 | 0,003 |
| Yb | 0,013 | 0,005 | 0,040 | 0,020 | 0,014 | 0,030 | 0,010 | 0,079 | 0,017 |
| Lu | 0,002 | <0,001 | 0,007 | 0,004 | 0,002 | 0,005 | 0,002 | 0,012 | 0,002 |
| Сумма | 0,444 | 0,119 | 1,543 | 0,241 | 0,322 | 1,084 | 0,221 | 0,517 | 0,580 |
| (La/Yb) _n | 2,80 | 1,60 | 4,44 | 1,01 | 2,24 | 5,23 | 1,95 | 0,47 | 4,78 |
| (Eu/Eu*) _n | 0,71 | 0,80 | 0,84 | 0,93 | 0,77 | 0,81 | 1,18 | 0,84 | 1,06 |
| Ca | 1 857 | 1 674 | 1 961 | 2 157 | 2 012 | 5 646 | 2 430 | 4 503 | 1 730 |
| Sc | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1,91 | <0,1 | 1,30 | <0,1 | 3,7 | <0,1 |
| Ti | <2,0 | <2,0 | 128 | 37 | 14 | 20 | 4,6 | 46 | 62 |
| V | 8,4 | 4,0 | 9,8 | 24 | 9,5 | 35 | 8,8 | 34 | 10,0 |
| Cr | 1 106 | 737 | 1 204 | 1 932 | 2 087 | 2 461 | 740 | 1 901 | 1 812 |
| Mn | 394 | 222 | 479 | 569 | 535 | 766 | 232 | 585 | 485 |
| Co | 44 | 29 | 59 | 68 | 59 | 81 | 30 | 71 | 57 |
| Ni | 885 | 600 | 1 204 | 1 305 | 1 147 | 1 573 | 610 | 1 388 | 1 106 |
| Cu | 4,0 | 2,8 | 7,5 | 6,4 | 8,4 | 14,8 | 1,0 | 4,2 | 6,0 |
| Zn | 21 | 39 | 26 | 30 | 55 | 54 | 30 | 64 | 67 |
| Ga | 0,31 | 0,24 | 0,49 | 0,68 | 0,35 | 0,93 | 0,39 | 1,03 | 0,34 |

| Элемент | Дуниты | | | | | | | | |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | Номера образцов | | | | | | | | |
| | Ш-1/3 | Ш-1/4 | Ш-2/2 | Ш-4/1 | Ш-5/3 | Ш-6/1 | Ш-24/2 | Ш-27/1 | Ш-33/6 |
| Rb | 0,32 | 0,23 | 0,61 | 0,57 | 0,51 | 0,66 | 0,22 | 0,58 | 0,40 |
| Sr | 1,49 | 0,72 | 1,60 | 1,18 | 1,26 | 2,1 | 1,48 | 6,8 | 1,91 |
| Y | 0,14 | 0,078 | 0,38 | 0,24 | 0,10 | 0,17 | 0,11 | 0,30 | 0,23 |
| Zr | 45 | 19,1 | 60 | 28 | 51 | 163 | 15,9 | 9,0 | 160 |
| Nb | 0,012 | 0,012 | 0,28 | 0,033 | 0,039 | 0,031 | 0,01 | 0,026 | 0,11 |
| Cs | 1,96 | 1,21 | 2,50 | 3,3 | 2,7 | 3,5 | 1,37 | 3,5 | 2,2 |
| Ba | 3,3 | 0,98 | 2,7 | 1,86 | 3,5 | 12,4 | 1,94 | 1,88 | 2,5 |
| Hf | 1,05 | 0,41 | 1,38 | 0,60 | 1,22 | 3,7 | 0,34 | 0,20 | 3,8 |
| Ta | 0,003 | 0,004 | 0,024 | 0,007 | 0,004 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,013 |
| Pb | 0,51 | 0,36 | 0,82 | 1,24 | 0,66 | 1,01 | 0,39 | 0,96 | 0,80 |
| Th | 0,018 | 0,012 | 0,060 | 0,01 | 0,021 | 0,067 | 0,01 | 0,17 | 0,040 |
| U | 0,014 | 0,005 | 0,018 | 0,005 | 0,005 | 0,01 | 0,011 | 0,007 | 0,014 |

Примечание. Анализы выполнены в Аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) методом ICP-MS (аналитики – С.В. Палесский, И.В. Николаева).

Note. Analyzes were performed in the Analytical Center of IGM SB RAS (Novosibirsk) by the ICP-MS method (S.V. Palessky and I.V. Nikolaeva).

Как отмечалось выше, полученные ранее данные геохимических исследований ультрамафитов из Шаманского массива позволили предположить, что в этих породах присутствуют зерна циркона, которые могут быть продатированы U-Pb методом. С учетом этого обстоятельства были предприняты усилия по обнаружению и выделению зерен циркона из дунитов и гарцбургитов данного массива. Для этого была использована коллективная проба, составленная из нескольких десятков небольших образцов гарцбургитов и дунитов общей массой около 4 кг. Эти образцы были отобраны из коренных обнажений, расположенных в пределах удаленной от тектонических контактов внутренней зоны массива, для выполнения микроструктурных исследований оливинов [Пугачева, 1988, 1996]. С учетом крайне ограниченного и неравномерного распространения зерен циркона в ультрамафитах, можно предположить, что обнаружение и выделение цирконов из коллективной пробы окажутся более продуктивными по сравнению с их выделением из крупнообъемных, но единичных проб. При дроблении и рассеве эта коллективная проба была разделена на две примерно равные по массе фракции: 02 и 03, размер частиц в которых составил –0,3 мм. Из обеих фракций инженером Л.П. Пантюковой (лаборатория разделения минералов ИГМ СО РАН) было выделено 31 зерно циркона размером 100–150 мкм. Было установлено, что почти все эти зерна лишены кристаллографической огранки, имеют округленную форму и шероховатую поверхность. Большинство из них рассечено микротрещинами, в некоторых зернах наблюдались прозрачные микровклю-

чения невыясненного состава (рис. 3, 4). При этом большинство зерен не имели катодолюминесцентного свечения и осцилляторной зональности, в остальных зернах наблюдались катодолюминесцентное свечение низкой интенсивности и нерегулярная осцилляторная зональность.

Локальным U-Pb SIMS методом выполнены определения изотопного возраста цирконов из рассматриваемой коллекции (табл. 2). На гистограмме частот встречаемости полученных значений возраста цирконов присутствует несколько различных по интенсивности максимумов, позволивших разделить всю коллекцию зерен на два основных кластера (рис. 5). Первый из них включает малочисленные зерна циркона, имеющие древние возраста ($3\,049 \pm 17$ – $1\,189 \pm 29$ млн лет). Второй кластер представлен более многочисленными зернами, имеющими более молодые возраста (638 ± 29 – 502 ± 54 млн лет). Помимо этих кластеров в коллекции обнаружены три зерна с промежуточными значениями возраста (813 ± 26 – 778 ± 63 млн лет). За исключением нескольких зерен из обеих фракций (5.1 – из фракции 02; 14.1, 11.1, 2.1 – из фракции 03) эллипсоиды значений изотопного возраста продатированных цирконов расположены на конкордиях или в непосредственной близости от них (рис. 6).

При этом значения возраста древних цирконов из исследованной коллекции соотносятся с двумя основными максимумами значений изотопного возраста (2 700 и 1 880 млн лет), установленными по результатам статистической обработки глобальной выборки анализов пород и минералов, включавшей 14 200 определений [Балашов, Глазнев, 2004].

Таблица 2

Результаты определения изотопного возраста цирконов из ультрамафитов Шаманского массива

Table 2

U-Pb data and age for zircons from ultramafic rocks of the Shaman massif

| № анализа | % $^{206}\text{Pb}_e$ | U, г/т | Th, г/т | $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ | ppm $^{206}\text{Pb}^*$ | Возраст ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) | ±% | Возраст ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) | ±% | Дискордантность, % | $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ | ±% | $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ | ±% | $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ | ±% | КК |
|-----------|-----------------------|--------|---------|----------------------------------|-------------------------|--|----|---|-----|--------------------|---------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|-------|
| (03) 3.1 | 0,07 | 582 | 267 | 0,47 | 47,0 | 579 | 6 | 579 | 28 | 0 | 0,0593 | 1,3 | 0,768 | 1,7 | 0,0939 | 1,2 | 0,669 |
| (03) 6.1 | 0,06 | 684 | 384 | 0,58 | 57,5 | 602 | 7 | 619 | 25 | 3 | 0,0604 | 1,2 | 0,816 | 1,6 | 0,0979 | 1,1 | 0,699 |
| (03) 9.1 | 0,23 | 367 | 139 | 0,39 | 31,0 | 603 | 7 | 612 | 51 | 1 | 0,0602 | 2,3 | 0,814 | 2,7 | 0,0981 | 1,2 | 0,465 |
| (03) 12.1 | 0,03 | 1 377 | 14 | 0,01 | 119,0 | 616 | 7 | 596 | 17 | -3 | 0,0598 | 0,8 | 0,827 | 1,4 | 0,1003 | 1,1 | 0,822 |
| (03) 10.1 | Н.п.о. | 83 | Н.п.о. | Н.п.о. | 7,2 | 619 | 9 | 675 | 60 | 9 | 0,0620 | 2,8 | 0,861 | 3,2 | 0,1007 | 1,4 | 0,455 |
| (03) 1.1 | 0,15 | 325 | 128 | 0,41 | 28,7 | 630 | 7 | 623 | 44 | -1 | 0,0605 | 2,1 | 0,856 | 2,4 | 0,1026 | 1,2 | 0,503 |
| (03) 4.1 | 0,06 | 356 | 198 | 0,57 | 41,1 | 812 | 9 | 804 | 27 | -1 | 0,0659 | 1,3 | 1,220 | 1,8 | 0,1342 | 1,2 | 0,673 |
| (03) 2.1 | 0,05 | 475 | 86 | 0,19 | 98,5 | 1 393 | 14 | 1 793 | 12 | 29 | 0,1096 | 0,6 | 3,646 | 1,3 | 0,2412 | 1,1 | 0,873 |
| (03) 7.1 | Н.п.о. | 1 076 | 156 | 0,15 | 294,0 | 1 779 | 17 | 1 841 | 6 | 3 | 0,1126 | 0,4 | 4,932 | 1,2 | 0,3178 | 1,1 | 0,953 |
| (03) 8.1 | 0,10 | 221 | 86 | 0,40 | 64,0 | 1 871 | 20 | 1 878 | 15 | 0 | 0,1149 | 0,8 | 5,335 | 1,5 | 0,3368 | 1,2 | 0,822 |
| (03) 13.1 | 0,22 | 445 | 263 | 0,61 | 125,0 | 1 820 | 18 | 1 919 | 16 | 5 | 0,1175 | 0,9 | 5,286 | 1,4 | 0,3261 | 1,1 | 0,790 |
| (03) 5.1 | 0,01 | 1 282 | 383 | 0,31 | 388,0 | 1 945 | 19 | 2 068 | 6 | 6 | 0,1278 | 0,3 | 6,207 | 1,2 | 0,3522 | 1,1 | 0,960 |
| (03) 11.1 | 0,01 | 765 | 719 | 0,97 | 267,0 | 2 200 | 21 | 2 426 | 5 | 10 | 0,1572 | 0,3 | 8,820 | 1,2 | 0,4068 | 1,1 | 0,961 |
| (03) 14.1 | 0,04 | 229 | 67 | 0,30 | 86,5 | 2 350 | 24 | 2 881 | 8 | 23 | 0,2069 | 0,5 | 12,550 | 1,3 | 0,4399 | 1,2 | 0,927 |
| (02) 14.1 | Н.п.о. | 148 | 82 | 0,57 | 10,3 | 502 | 7 | 502 | 54 | 0 | 0,0573 | 2,5 | 0,640 | 2,8 | 0,0811 | 1,4 | 0,492 |
| (02) 18.1 | 0,55 | 166 | 445 | 2,77 | 11,9 | 513 | 7 | 459 | 120 | -11 | 0,0562 | 5,2 | 0,642 | 5,4 | 0,0829 | 1,4 | 0,258 |
| (02) 9.1 | Н.п.о. | 465 | 141 | 0,31 | 39,0 | 601 | 7 | 587 | 27 | -2 | 0,0596 | 1,3 | 0,802 | 1,7 | 0,0976 | 1,2 | 0,678 |
| (02) 1.1 | 0,24 | 176 | 104 | 0,61 | 14,9 | 604 | 8 | 623 | 64 | 3 | 0,0605 | 3,0 | 0,820 | 3,2 | 0,0983 | 1,3 | 0,401 |
| (02) 15.1 | Н.д. | 959 | 353 | 0,38 | 80,9 | 604 | 7 | 596 | 19 | -1 | 0,0598 | 0,9 | 0,810 | 1,4 | 0,0983 | 1,1 | 0,787 |
| (02) 16.1 | 0,14 | 198 | 261 | 1,37 | 16,8 | 607 | 7 | 640 | 47 | 5 | 0,0610 | 2,2 | 0,830 | 2,5 | 0,0987 | 1,3 | 0,497 |
| (02) 11.1 | 0,05 | 694 | 217 | 0,32 | 59,1 | 610 | 7 | 598 | 24 | -2 | 0,0599 | 1,1 | 0,818 | 1,6 | 0,0992 | 1,1 | 0,712 |
| (02) 1.2 | 0,44 | 100 | 43 | 0,44 | 8,6 | 611 | 8 | 584 | 97 | -4 | 0,0595 | 4,5 | 0,816 | 4,7 | 0,0995 | 1,4 | 0,305 |
| (02) 3.2 | 0,05 | 670 | 65 | 0,10 | 57,5 | 613 | 7 | 608 | 24 | -1 | 0,0601 | 1,1 | 0,828 | 1,6 | 0,0998 | 1,1 | 0,714 |
| (02) 17.1 | Н.п.о. | 131 | 320 | 2,52 | 11,3 | 614 | 8 | 612 | 52 | 0 | 0,0602 | 2,4 | 0,830 | 2,7 | 0,0999 | 1,3 | 0,489 |
| (02) 3.1 | 0,07 | 532 | 62 | 0,20 | 45,8 | 615 | 7 | 638 | 29 | 4 | 0,0610 | 1,3 | 0,841 | 1,8 | 0,1001 | 1,2 | 0,651 |
| (02) 13.1 | 0,09 | 415 | 125 | 0,10 | 35,7 | 615 | 7 | 581 | 34 | -5 | 0,0594 | 1,6 | 0,820 | 1,9 | 0,1001 | 1,2 | 0,603 |
| (02) 10.1 | 0,40 | 93 | 6 | 0,07 | 8,27 | 630 | 9 | 579 | 97 | -8 | 0,0593 | 4,5 | 0,840 | 4,7 | 0,1027 | 1,4 | 0,306 |
| (02) 4.1 | 0,01 | 323 | 205 | 0,66 | 37,2 | 813 | 9 | 813 | 26 | 0 | 0,0662 | 1,2 | 1,226 | 1,7 | 0,1343 | 1,2 | 0,696 |
| (02) 7.1 | Н.п.о. | 57 | 18 | 0,33 | 6,7 | 827 | 12 | 778 | 63 | -6 | 0,0651 | 3,0 | 1,229 | 3,4 | 0,1369 | 1,6 | 0,462 |
| (02) 2.1 | 0,09 | 144 | 36 | 0,26 | 24,8 | 1 177 | 14 | 1189 | 29 | 1 | 0,0797 | 1,5 | 2,201 | 1,9 | 0,2003 | 1,3 | 0,653 |

| № анализа | % $^{206}\text{Pb}_c$ | U, г/т | Th, г/т | $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ | ppm $^{206}\text{Pb}^*$ | Возраст ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) | $\pm\%$ | Возраст ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) | $\pm\%$ | Дискордантность, % | $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ | $\pm\%$ | $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ | $\pm\%$ | $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ | $\pm\%$ | КК |
|-----------|-----------------------|--------|---------|----------------------------------|-------------------------|--|---------|---|---------|--------------------|---------------------------------------|---------|------------------------------------|---------|------------------------------------|---------|-------|
| (02) 19.1 | 0,04 | 189 | 93 | 0,51 | 50,2 | 1 741 | 19 | 1 736 | 16 | 0 | 0,1062 | 0,9 | 4,542 | 1,5 | 0,3101 | 1,2 | 0,806 |
| (02) 6.1 | 0,24 | 70 | 49 | 0,72 | 20,6 | 1 884 | 23 | 1 867 | 31 | -1 | 0,1142 | 1,7 | 5,340 | 2,2 | 0,3395 | 1,4 | 0,634 |
| (02) 8.1 | 0,25 | 150 | 43 | 0,30 | 57,9 | 2 383 | 25 | 2 370 | 14 | -1 | 0,1521 | 0,9 | 9,380 | 1,5 | 0,4473 | 1,2 | 0,827 |
| (02) 5.1 | Н.п.о. | 198 | 45 | 0,24 | 85,2 | 2 620 | 26 | 3 049 | 17 | 16 | 0,2295 | 1,1 | 15,870 | 1,6 | 0,5014 | 1,2 | 0,744 |
| (02) 12.1 | 0,01 | 452 | 294 | 0,67 | 200,0 | 2 672 | 25 | 2 726 | 7 | 2 | 0,1882 | 0,4 | 13,330 | 1,2 | 0,5136 | 1,1 | 0,945 |

Примечание. Анализы выполнены в Центре изотопных исследований (ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург) U-Pb методом (SIMS SHRIMP). В первом столбце в скобках указан номер фракции. Н.п.о. – содержание ниже пределов обнаружения. Н.д. – нет данных. Ошибки – 1σ ; Pb_c и Pb^* – общая и радиогенная части соответственно. Погрешность стандартной калибровки составила 0,42% (не входит в вышеперечисленные погрешности). Содержание общего Pb на основе измеренного ^{204}Pb . КК – коэффициент корреляции.

Note. The analyzes were performed in the Center for Isotope Studies (VSEGEI, St. Petersburg) using the U-Pb method (SIMS SHRIMP). In the first column in parentheses indicates the fraction number. Н.п.о. - content below detection limits. Н.д. - no data. Errors - 1σ ; Pb_c and Pb^* - are the total and radiogenic parts, respectively. The standard calibration error was 0.42% (not included in the above-listed errors). The content of the total Pb is based on the measured ^{204}Pb . KK is the correlation coefficient.

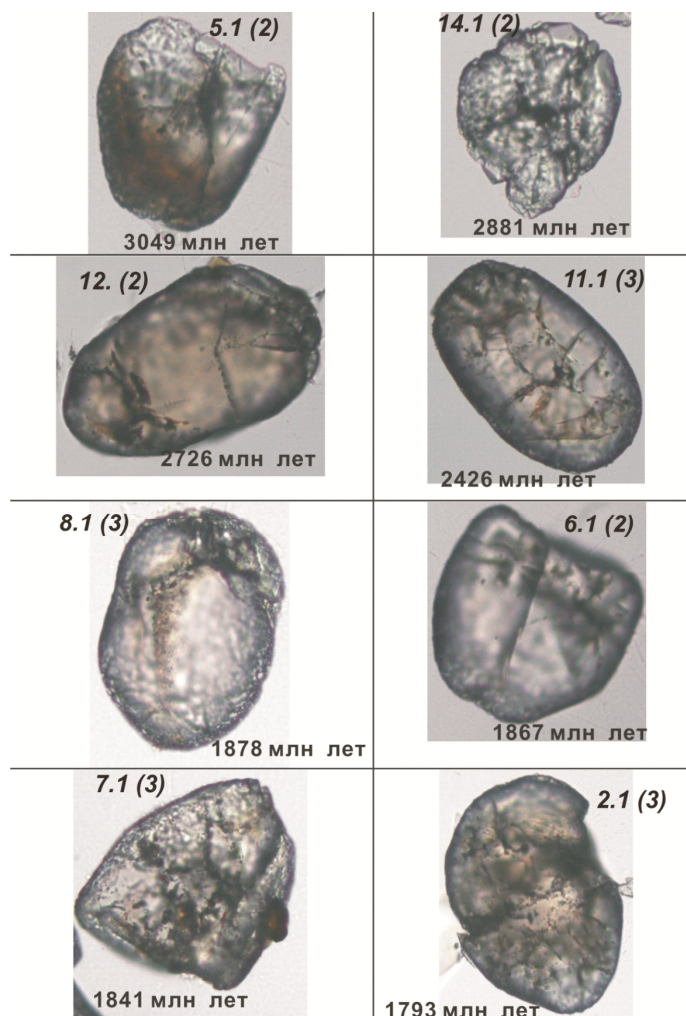


Рис. 3. Морфология зерен древних цирконов из ультрамафитов Шаманского массива

Цифры в круглых скобках – номера фракций; цифры рядом слева – номера зерен; цифры внизу – возраст циркона, рассчитанный по параметру $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (по данным табл. 2)

Fig. 3. Morphology of grains of ancient zircons from the ultramafic rocks of the Shaman massif

The digits in parentheses are the numbers of the fractions; the digits next to the left are the numbers of grains; the digits below are the values of isotopic age of zircon calculated according to the parameter $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (data Table 2)

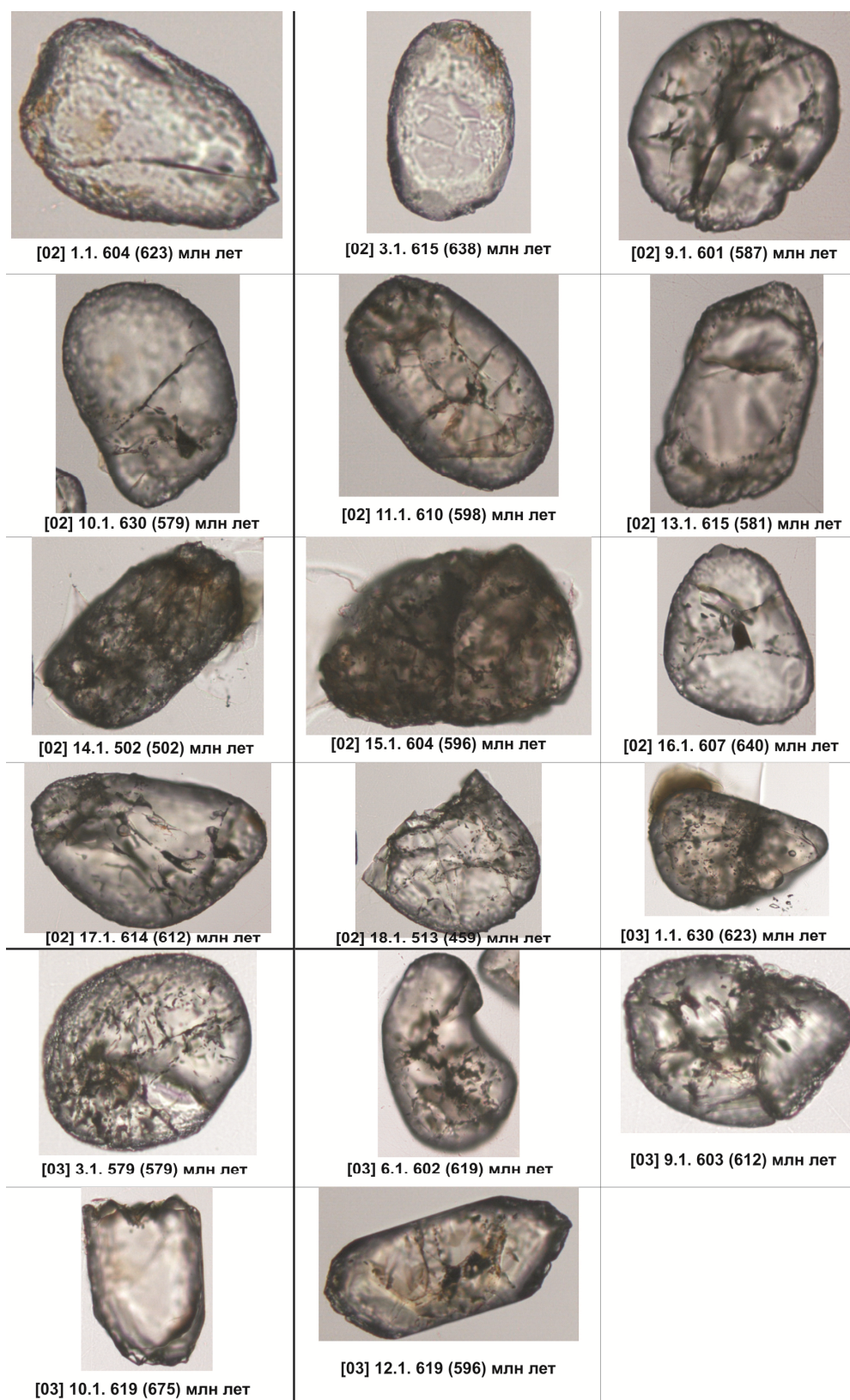


Рис. 4. Морфология зерен молодых цирконов из ультрамафитов Шаманского массива

Цифры в квадратных скобках – номера фракций; следующие справа три цифры – номера зерен (анализов); следующие справа три цифры – значения изотопного возраста, рассчитанные по параметру $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; последние три цифры (в круглых скобках) – значения изотопного возраста, рассчитанные по параметру $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (по данным табл. 2)

Fig. 4. Morphology of the grains of young zircons from ultramafites of the Shaman massif

The digits in square brackets are the numbers of the fractions; following the right three digits - numbers of grains (analyzes); following the right three digits - the isotope age values calculated by the parameter $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$; the last three digits (in parentheses) are the values of the isotope age calculated with the parameter $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (data Table 2)

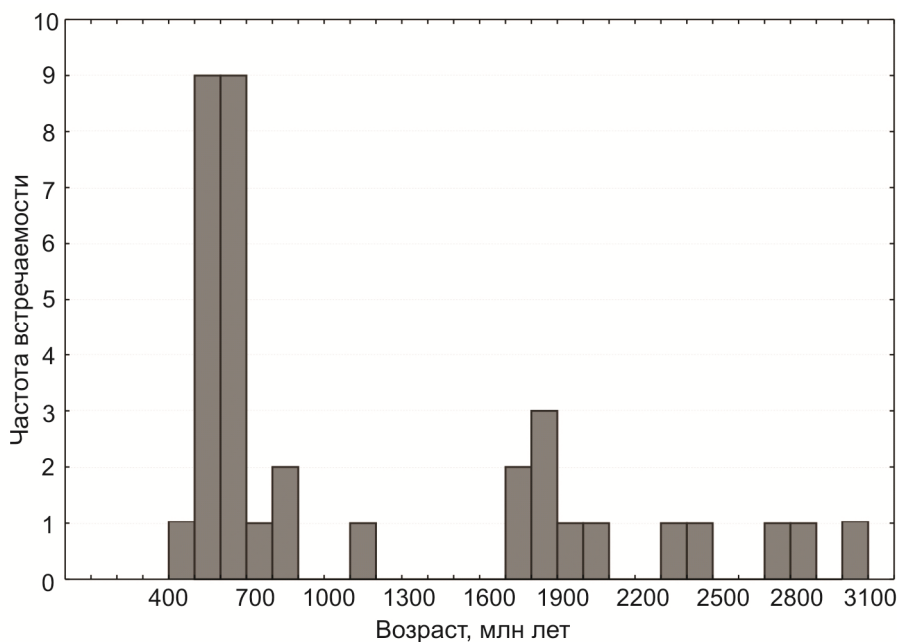


Рис. 5. Гистограмма частот встречаемости значений возраста цирконов из ультрамафитов Шаманского массива, рассчитанных по параметру $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (по данным табл. 2)

Fig. 5. Histogram of frequencies of occurrence of values of the age of zircons from the ultramafic rocks of the Shaman massif calculated by the parameter $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (data Table 2)

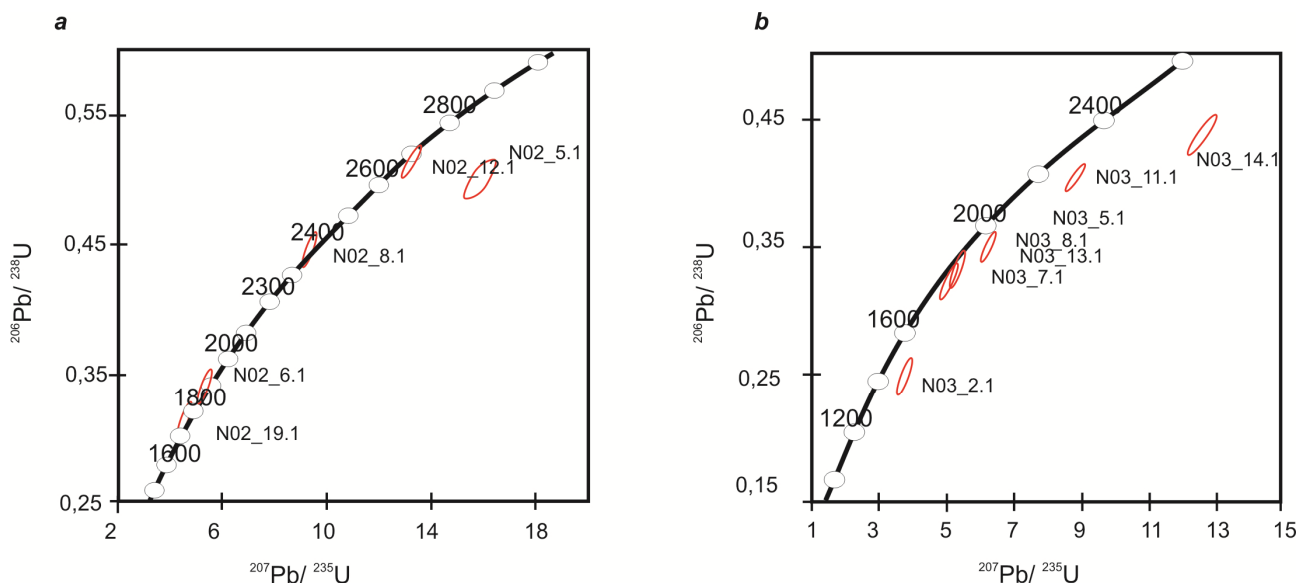


Рис. 6. Диаграммы изотопного возраста с конкордиями для цирконов из ультрамафитов Шаманского массива

a – фракция 02; *b* – фракция 03 (по данным табл. 2)

Fig. 6. Diagrams of isotopic age with concordiaes for zircons from ultramafic rocks from the Shaman massif
a - fraction 02; *b* - fraction 03 (data Table 2)

Обсуждение результатов исследований

Переходя к вопросу об интерпретации результатов выполненных исследований, прежде всего подчеркнем, что цирконы из реститогенных ультрама-

фитов Шаманского массива являются полихронными. Значения их возраста, рассчитанные по параметру $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, свидетельствуют о том, что эти цирконы могут быть разделены на две дискретные группы: кластер реже встречающихся зерен с

древними возрастами ($3\,049 \pm 17$ – $1\,189 \pm 29$ млн лет) и кластер чаще встречавшихся зерен с относительно молодыми возрастами (638 ± 29 – 502 ± 54 млн лет). Кроме того, три зерна показали промежуточные значения возраста (813 ± 26 – 778 ± 63 млн лет). Как было сказано, почти все зерна из обоих кластеров имеют округленную форму и шероховатую поверхность, что, как предполагается, является следствием их эпигенетического резорбирования. Подавляющее большинство зерен циркона лишены или почти лишены катодолюминесцентного свечения и осцилляторной зональности.

При рассмотрении вопроса об условиях образования цирконов с наиболее древними возрастами представляется возможным отдать предпочтение точке зрения о том, что эти цирконы имеют реликтовую природу. При этом допускается, что они кристаллизовались и первоначально находились в верхнемантийном протолите, т.е. имели одинаковый с ним очень древний возраст. В дальнейшем в процессе прогрева и частичного плавления протолита присутствовавшие в нем зерна циркона, по-видимому, подверглись резорбированию и приобрели округленную форму. В ходе этого процесса в структуре цирконов, по всей видимости, произошло диффузионное перераспределение элементов-примесей, выполняющих роль люминофоров (Ce, Yb, U), что обусловило частичное или полное исчезновение в них катодолюминесцентного свечения и осцилляторной зональности. Кроме того, такой прогрев протолита мог обусловить нарушения в их U-Pb системах и связанное с этим неравномерное их «омоложение». Важно отметить, что свойства, присущие цирконам из ультрамафитов Шаманского массива, ранее были нами описаны в цирконах из пород Березовского мафит-ультрамафитового массива (Восточно-Сахалинская офиолитовая ассоциация), среди которых также обнаружены полихронные, в том числе очень древние, цирконы, которым приписывалась реликтовая природа [Леснов, 2015; Lesnov, 2017].

Менее определенным в настоящее время представляется генезис более многочисленных зерен циркона из кластера, в составе которого их возраст изменяется в сравнительно узком интервале – от

638 ± 29 до 502 ± 54 млн лет. С одной стороны, такой узкий интервал вариаций значений возраста этих цирконов позволяет допустить, что они являются сингенетическими, т.е. кристаллизовались близко одновременно с породообразующими минералами содержащих их ультрамафитов, и что значения их возраста фиксируют время одного из главных событий в геологической истории Шаманского массива. С другой стороны, такие свойства этих цирконов, как отсутствие кристаллографической огранки и округленная форма зерен, а также частичное или полное отсутствие катодолюминесцентного свечения и осцилляторной зональности, не позволяют полностью исключить вероятность того, что цирконы из данного кластера тоже имели древний возраст, т.е. являются реликтовыми, но с тем отличием, что «омоложение» их U-Pb изотопных систем было более кардинальным, чем в цирконах из предыдущего кластера. По-видимому, такой же генезис можно предположить и для единичных зерен с возрастом 813 ± 26 – 778 ± 63 млн лет. Рассмотренную дилемму относительно возможного генезиса цирконов из пород Шаманского массива, вероятно, можно будет решить после более детального изотопного датирования цирконов как из Шаманского массива, так и из других подобных ему проявлений верхнемантийного ультрамафитового магматизма.

В заключение подчеркнем, что обнаружение цирконов с очень древними изотопными возрастами в реститогенных ультрамафитах из Шаманского массива позволяет высказать предположение относительно того, что источниками сноса древних детритовых цирконов, обнаруженных в палеопротерозойских метаморфических комплексах южного складчатого обрамления Сибирского кратона [Гордиенко и др., 2009; Ярмолюк и др., 2012; Shatsky et al., 2015; Туркина и др., 2016], могли быть и находящиеся в этих районах массивы реститогенных ультрамафитов.

Автор признателен С.А. Сергееву за выполнение изотопных исследований, Е.Е. Пугачевой и А.И. Чернышовой – за любезно предоставленную коллекцию, Л.П. Пантюковой – за помощь в выделении фракции цирконов.

ЛИТЕРАТУРА

- Анашкина К.К., Бутин К.С., Еникеев Ф.И. Геологическое строение Читинской области // Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1:500 000. Чита, 1997. 239 с.
- Балашов Ю.А., Глазнев В.Н. Мантийные циклы магматизма // Глубинный магматизм, его источники и их связь с плюмовыми процессами. Иркутск ; Улан-Удэ : Изд-во Ин-та геохимии СО РАН, 2004. С. 55–88.
- Гордиенко И.В., Булгатов А.Н., Ласточкин Н.И., Ситникова В.С. Состав, U-Pb изотопный возраст (SHRIMP II) офиолитовой ассоциации Шаманской палеоспрединговой зоны и условия ее формирования (Северное Забайкалье) // Доклады Академии Наук. 2009. Т. 429, № 3. С. 359–364.
- Кибанов Г.А. Объяснительная записка к Геологической карте СССР масштаба 1:200 000. Серия Прибайкальская. Лист N-50-II / ред. В.Л. Тихонов. М., 1971. 145 с.

Леснов Ф.П. Петрология полигенных мафит-ультрамафитовых массивов Восточно-Сахалинской офиолитовой ассоциации. Новосибирск : ГЕО, 2015. 240 с.

Леснов Ф.П., Чернышов А.И., Козьменко О.А., Николаева И.В., Палесский С.В. О соотношениях элементов платиновой группы и редкоземельных элементов в ультрамафитовых реститах из Шаманского массива (Восточное Забайкалье): первые данные // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и их минерогения : IV междунар. конф. Улан-Удэ : Изд-во Геолог. ин-та СО РАН, 2012. С. 94–97.

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.

Лоскутов И.Ю., Асосков В.М. Оценка потенциальной хромитоносности Шаманского гипербазитового массива // Руды и металлы. 2010. № 6. С. 32–36.

Пугачева Е.Е. Внутренняя деформационная структура Шаманского гипербазитового массива // Актуальные вопросы геологии Сибири. Томск : ТГУ, 1988. С. 122–123.

Пугачева Е.Е. Петрология гипербазитов Шаманского массива (Средневитимская горная страна) : дис. канд. геол.-минер. наук. Томск : ТГУ, 1996. 334 с.

Туркина О.М., Бережная Н.Г., Сухоруков В.П. Изотопный Lu-Hf состав детритового циркона из парагнейсов шары-жалгайского выступа: свидетельства роста коры в палеопротерозое // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 7. С. 1292–1306.

Ярмолюк В.В., Ковач В.П., Козаков И.К., Козловский А.М., Котов А.Б., Рыжк Е.Ю. Механизмы формирования континентальной коры Центрально-Азиатского складчатого пояса // Геотектоника. 2012. № 4. С. 3–27.

Lesnov F.P. Petrology of polygenic mafic-ultramafic massifs of the East Sakhalin ophiolite association. London ; Leiden : Publishing House Taylor & Francis Group, 2017. 300 p.

Schuth S., Gornyy V.I., Berndt J., Shevchenko S.S., Sergeev S.A., Karpuzov A.F., Mansfeldt T. Early Proterozoic U-Pb Zircon Ages from basement gneiss at Solovetsky Archipelago, White Sea, Russia // Int. J. Geosci. 2012. № 3 (2). P. 289–296

Shatsky V.S., Malkovets V.G., Belousova E.A., Skuzovatov S.Yu. Evolution history of the Neoproterozoic eclogite-bearing complex of the Muya dome (Central Asian Orogenic Belt): Constraints from zircon U-Pb age, Hf and whole-rock Nd isotopes // Precambrian Research. 2015. Vol. 261. P. 1–11.

Автор:

Леснов Феликс Петрович, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, ведущий научный сотрудник, лаборатория геодинамики и минералогии, Институт геологии и минералогии им. академика В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия. E-mail: lesnovfp@list.ru

Geosphere Research, 2018, 1, 6–16. DOI: 10.17223/25421379/6/1

F.P. Lesnov

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia

DATA ON U-Pb ISOTOPIC DATING OF ZIRCONS FROM ULTRAMAFIC RESTITES OF SHAMAN MASSIF (EASTERN TRANSBAIKALIA)

The first data on the isotope age of zircons from the restitogenic ultramafic rocks from the Shamansky massif (Eastern Transbaikalia), which are 6 x 25 km in size, are the protrusions of these rocks in the composition of the eastern flank of the Baikal-Muya ophiolitic belt obtained by the U-Pb method. Of the collective sample weighing about 4 kg, consisting of several dozen small samples of harzburgites and dunites, selected from the indigenous outcrops within the inner zone of the massif, 31 zircon grains were isolated. All these grains are characterized by a rounded shape and a rough surface. Many of them do not have cathodoluminescence glow and oscillatory zonality. Studies have shown that these zircons are polychronous, and that their age values vary in a very wide range (3 049–502 Ma). The total collection of zircon grains was divided into two discrete age clusters: a) small grains with an age of 3 049±17 - 1 189±29 million years; b) numerous grains with the age of 638±29 - 502±54 million years. Three grains showed an age in the range of 813±26 - 778±63 Ma. It is assumed that the most ancient zircons are of a relict nature, and that they were originally in the upper mantle protolith. Warming of the latter with partial melting caused a violation and "rejuvenation" of these zircons. With less certainty, the same genesis can be attributed to zircons, which showed younger values of isotope age.

Keywords: zircons, U-Pb isotope method, harzburgites, dunites, restites, geochemistry, Shaman massif, Baikal-Muya ophiolite belt, Eastern Transbaikalia

References

Anashkina K.K., Butin, S. K., Enikeev F.I. *Geologicheskoe stroenie Chitinskoy oblasti* [Geological structure of the Chita region] // Explanatory notes to the geological map of scale 1:500 000. Chita. 1997. 239 p. In Russian

Balashov Yu. A., Glaznev V. N. *Mantiynye tsikly magmatizma* [Mantle cycles of magmatism] // Deep-seated magmatism, its sources and their relation to bluemovie processes. Irkutsk–Ulan-Ude: Publishing house of Institute of Geochemistry of SB RAS. 2004. pp. 55–88. In Russian

Gordienko I. V., Bulgatov A. N., Lastochkin N.I., Sitnikova V. S. Composition, U-Pb isotopic age (SHRIMP II) of the ophiolite Association Shamanic paleosprenging zone and the conditions of its formation (North Transbaikalia) // *Doklady Earth Sciences*. 2009. V. 429. № 3, pp. 359–364.

Kibanov G. A. *Ob'yasnitel'naya zapiska k Geologicheskoy karte SSSR masshtaba 1:200 000. Seriya Pribaykal'skaya. List N-50-II* [Explanatory notes to the Geological map of the USSR, scale 1:200 000. A Series of Baikal. Sheet N-50-II] (ed. V. L. Tikhonov). M. 1971. 145 p. In Russian

Lesnov F.P. *Petrologiya poligennykh mafit-ul'tramafitovykh massivov Vostochno-Sakhalinskoy ofiolitovoy assotsiatsii* [Petrology of polygenic mafic-ultramafic massifs of the East-Sakhalin ophiolite association]. Novosibirsk: Academic publishing house "GEO". 2015. 240 p. In Russian

Lesnov F. P., Chernyshov A. I., Koz'menko O. A., Nikolaeva I. V., Palesskii S. V. *O sootnosheniyakh elementov platinovoy gruppy i redkozemel'nykh elementov v ul'tramafitovykh restitakh iz Shamanskogo massiva (Vostochnoe Zabaykal'e): pervye dannye* [About correlation of platinum group elements and rare earth elements in ultramafic restite of the Shaman massif (Eastern Transbaikalia): first data] // The Ultramafic-mafic complexes of folded regions and their minerageny. IV International conference. Ulan-Ude: Publishing house of Geological Institute SB RAS. 2012. pp. 94–97. In Russian

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

Loskutov I. Yu., Asoskov V. M. *Otsenka potentsial'noy khromitonochnosti Shamanskogo giperbazitovogo massiva* [Evaluation of the potential chrome mineralization of Shaman ultrabasic massif] // Ores and metals. 2010. №. 6. pp. 32–36. In Russian

Pugacheva E. E. *Vnutrennyaya deformatsionnaya struktura Shamanskogo giperbazitovogo massiva* [The internal deformation structure of the Shaman ultrabasic massif] // Actual problems of geology of Siberia. Tomsk: Tomsk state University. 1988. pp. 122–123. In Russian

Pugacheva E. E. *Petrologiya giperbazitov Shamanskogo massiva (Srednevitimskaya gornaya strana)* [Petrology of hyperbasites of the Shaman massif (Middle Vitim mountain land)] // Tes.... Doct. Geol.-Mineral. Sciences. Tomsk: Tomsk state University. 1996. 334 p. In Russian

Turkina O. M., Berezhnaya N. G., Sukhorukov V. P. Isotope Lu-Hf composition of detrital zircon from paragneisses of the Sharyzhalgay salient: evidence of the growth of the crust in the Paleoproterozoic // Russian Geology and Geophysics. 2016. V. 57. №. 7. pp. 1016–1026.

Yarmolyuk V.V., Kozlovsky A.M., Kovach V.P., Kozakov I.K., Kotov A.B., Rytsk E.Y. Mechanisms of continental crust formation in the Central Asian foldbelt // Geotectonics. 2012. № 4. pp. 251–272.

Schuth S., Gornyy V.I., Berndt J., Shevchenko S.S., Sergeev S.A., Karpuzov A.F., Mansfeldt T. Early Proterozoic U-Pb Zircon Ages from basement gneiss at Solovetsky Archipelago, White Sea, Russia // Int. J. Geosci. 2012. V. 3, № 2, pp. 289–296.

Shatsky V.S., Malkovets V.G., Belousova E.A., Skuzovatov S.Yu. Evolution history of the Neoproterozoic eclogite-bearing complex of the Muya dome (Central Asian Orogenic Belt): Constraints from zircon U–Pb age, Hf and whole-rock Nd isotopes // Precambrian Research. 2015. V. 261. pp. 1–11.

Lesnov F.P. Petrology of polygenic mafic-ultramafic massifs of the East Sakhalin ophiolite association. London - Leiden: Publishing House Taylor & Francis Group. 2017. 300 p.

Author:

Lesnov Felix P., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Academician RAS, Leading Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: lesnovfp@list.ru