

УДК 550.42:546.027+553.832(571.63)

U–Pb-ВОЗРАСТ И ГЕОХИМИЯ ВКЛЮЧЕНИЯ ЦИРКОНА В САПФИРЕ: ЩЕЛОЧНОБАЗАЛЬТОВЫЙ ИСТОЧНИК ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ В РОССЫПЯХ ПРИМОРЬЯ

© 2017 г. В. В. Акинин¹, С. В. Высоцкий^{2,3,*}, М. Кобл⁴, А. В. Асеева³

Представлено академиком РАН А.И. Ханчуком 14.05.2015 г.

Поступило 26.05.2015 г.

Приведены первые результаты U–Pb–SHRIMP-датирования включений циркона в сапфире из Незаметнинской россыпи на севере Приморья. Полученный возраст парагенезиса этих минералов ($12,2 \pm 0,2$ млн лет) практически совпадает с возрастом излияния щелочных базальтов региона, что предоставляет прямые доказательства их генетической связи. Геохимия примесных элементов в датированном цирконе предполагает его кристаллизацию из щелочнобазальтовой магмы или её более поздних трахитовых/фонолитовых дериватов.

DOI: 10.7868/S0869565217290138

Россыпные месторождения ювелирного сапфира и циркона, давно известные в Австралии и Юго-Восточной Азии, были лишь недавно открыты на Дальнем Востоке, в Приморье [1]. Как правило, эти россыпи ассоциируют пространственно с выходами щелочных базальтов, что предполагает их генетическую связь [2–5]. Для мегакристов циркона из россыпи руч. Подгелбаночный был определён U–Pb-возраст $11,2 \pm 0,2$ млн лет, что практически совпало с возрастом извержений щелочных базальтов и доказывало их генетическую связь [6]. Для сапфиров такое заключение представлялось далеко не очевидным, хотя геохимические особенности россыпных корундов косвенно указывали на парагенетические связи с базальтами [1, 3, 7]. Однако прямых доказательств кристаллизации сапфира из щелочнобазальтового расплава или его производных не приводилось. Редкие находки мегакристаллов корунда и циркона в щелочных базальтах сильно резорбированы и характеризуются признаками неравновесия с вмещающим расплавом,

что, в строгом понимании, определяет их как ксенокристы [2, 8, 9]. Хорошо известны месторождения корунда в метаморфических и гранитоидных комплексах, поэтому вопрос о генезисе ювелирных сапфиров и цирконов открыт. В приложении к приморским россыпям, в качестве источника этих минералов, кроме базальтов [5] рассматривали метасоматиты, связанные с гранитоидными телами [10].

В нашем сообщении приведены первые результаты изотопно-геохимического изучения включений циркона в сапфире и обоснован источник этого парагенезиса в россыпях Приморья.

Россыпи благородных сапфиров и цирконов известны в Маревской депрессии, выполненной четвертичными аллювиальными отложениями. По периферии депрессии обнажены палеозойские и меловые гранитные интрузии, меловые известково-щелочные вулканиты, третичные базальты и кайнозойские щелочные базальты Вострецовской группы (рис. 1). Все эти породы потенциально можно рассматривать в качестве источников россыпей сапфиров и цирконов. Однако участки с установленной аллювиальной сапфириноносностью пространственно ассоциируют главным образом с серией небольших эродированных вулканических построек, сложенных кайнозойскими щелочными оливиновыми базальтоидами и трахитами. В вулкане Конфетка при шлиховом опробовании большеобъемной пробы элювия (~700 кг) были обнаружены три мелких обломка кристалла сапфира, что подтверждало возможность их

¹ Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Магадан

² Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

³ Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

⁴ Стэнфордский университет, США (Stanford, USA)

*E-mail: vysotskiy@fegi.ru

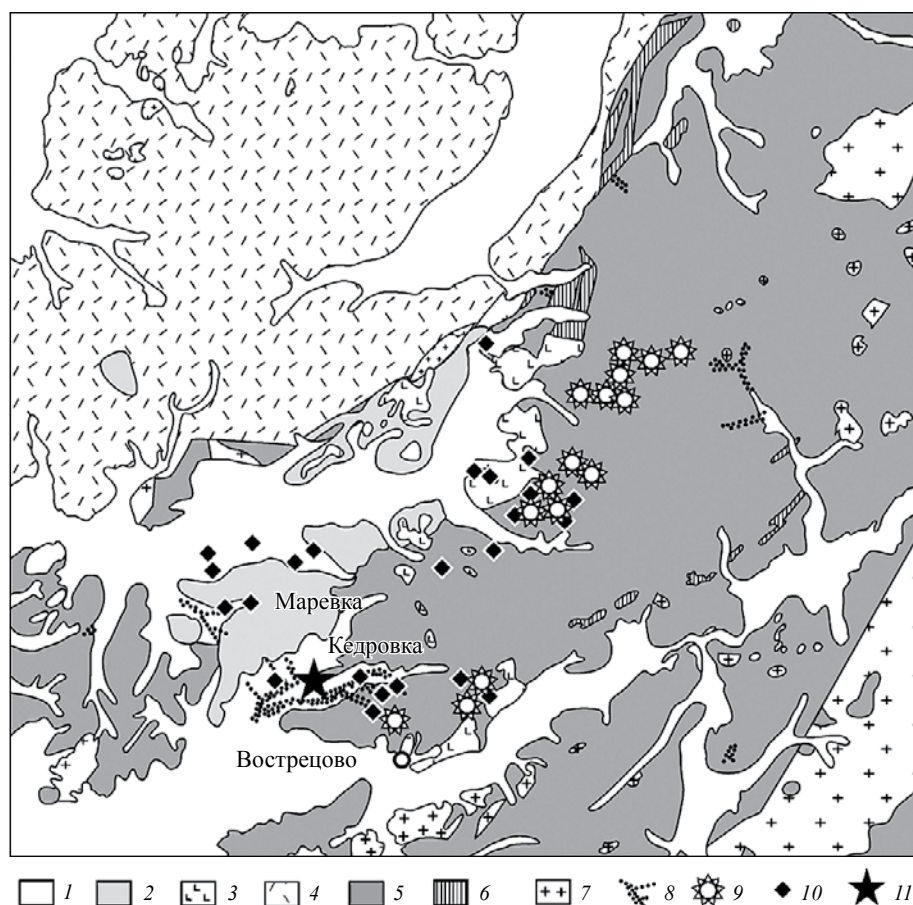


Рис. 1. Схема геологического строения Маревского сапфириноносного россыпного района [1]. 1 – аллювий, 2 – третичные осадки, 3 – покровы третичных базальтов, 4 – меловые вулканогенно-осадочные породы, 5 – до-меловые вулканические и осадочные породы, 6 – палеозойские габброиды и ультрабазиты, 7 – палеозойские и меловые гранитоиды, 8 – россыпи и коренные рудопроявления Au, 9 – миоценовые щелочные базальтоиды, 10 – корунды и цирконы в осадках, 11 – местоположение исследованного образца.

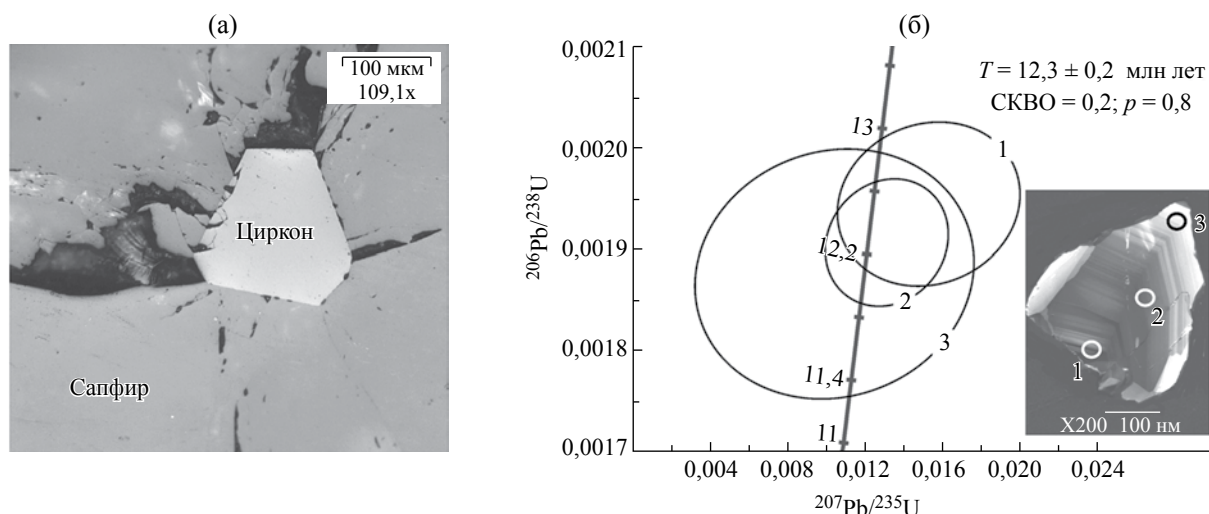


Рис. 2. Включение циркона в сапфире (а) и результаты U–Pb–SHRIMP-датирования включения циркона (б). На диаграмме с конкордией (б) – фото кристалла циркона в катодолуминесцентном излучении и позиция точек анализа.

Таблица 1. Результаты изотопно-геохимических исследований включения циркона в сапфире (Незаметнинская россыпь).

| № точки | $^{206}\text{Pb}_c$, % | U, ppm | Th, ppm | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ дата, млн л | | $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb} \pm\%$ | | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm\%$ | | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm\%$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm\%$ | | Rcor |
|---------|-------------------------|--------|---------|--|-----------|--|-----|---|-----|--|----|--|-----|------|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,505 | 379 | 464 | 12,2 | $\pm 0,3$ | 527 | 2,4 | 0,0503 | 9,9 | 0,010 | 29 | 0,002 | 2,7 | 0,09 |
| 2 | 0,910 | 1057 | 2577 | 12,2 | $\pm 0,2$ | 522 | 1,3 | 0,0535 | 5,8 | 0,013 | 10 | 0,002 | 1,4 | 0,15 |
| 1 | -0,357 | 983 | 2444 | 12,4 | $\pm 0,2$ | 523 | 1,5 | 0,0435 | 6,3 | 0,015 | 13 | 0,002 | 1,7 | 0,13 |

| № точки | La | Ce | Nd | Sm | Eu | Gd | Dy | Er | Yb | Y | Hf | Ti |
|---------|-------|----|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|------|-------|-----|
| 3 | 0,012 | 8 | 0,3 | 1,1 | 0,77 | 13 | 77 | 148 | 299 | 809 | 11755 | 4,0 |
| 2 | 0,021 | 28 | 1,6 | 4,9 | 2,77 | 43 | 221 | 364 | 655 | 2057 | 11477 | 6,8 |
| 1 | 0,031 | 25 | 1,3 | 4,0 | 2,32 | 37 | 190 | 316 | 580 | 1751 | 11136 | 8,2 |

Примечание. Измерены на ионном микрозонде SHRIMP-RG. Погрешности 1σ , Pb_c – доля обыкновенного Pb, *Pb – радиогенный Pb. Ошибка калибровки стандарта R33–0,30%. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -даты скорректированы на ^{207}Pb . Rcor – ошибка корреляции. Концентрации примесных элементов в г/т.

транспорта к поверхности щелочнобазальтовой магмой [1].

В Незаметнинской россыпи, в одном из кристаллов голубоватого сапфира $\sim 1,5$ см были обнаружены хорошо огранённые микровключения бледно-розовых цирконов размером ~ 300 – 400 мкм (рис. 2а). В полированном аншлифе и на сколе хорошо видны идиоморфная морфология кристаллов циркона и отсутствие реакционных структур на границах минеральных фаз, что позволяет определить их как равновесный парагенезис. Следовательно, определяя возраст циркона *in situ*, мы сможем надёжно оценить и возраст кристаллизации сапфира. U–Pb-датирование микровключений циркона было выполнено на ионном микрозонде обратной геометрии SHRIMP-RG в микроаналитическом центре Стэнфордского университета. В катодоллюминесцентном излучении в цирконе проявлена осциляторная ростовая зональность, осложнённая светлыми низкоурановыми каймами (рис. 2б). Средневзвешенный $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -возраст, скорректированный на ^{207}Pb , составил для трёх точек разных зон кристалла $12,3 \pm 0,2$ млн лет (СКВО = 0,2; вероятность = 0,8). Измеренные изотопные отношения визуально, с учётом погрешностей, расположены на конкордии (рис. 2б). K–Ar-возраст кайнозойских щелочных базальтоидов, обнажающихся в непосредственной близости от россыпей, 13–10 млн лет [14]. Таким образом, оценка возраста кристаллизации россыпных цирконов и сапфиров соответствует интервалу проявления вулканизма.

Разные зоны в исследованном кристалле циркона характеризуются некоторыми вариациями состава в отношении примесных элементов. Светлые

каймы относительно ядерных частей на порядок обеднены всеми примесными элементами, особенно U, Th, REE (табл. 1). Концентрации Hf, напротив, в кайме несколько повышены, Hf/Yb меняется от ядра к краю с 17 до 39. Оценки температуры кристаллизации циркона по термометру “Ti в цирконе” [11] показывают снижение температуры от 727 в ядре до 667 °C в кайме при условии, что активность Ti, Si в системе составляла 1. Расчёт равновесного циркону расплава выполняли, используя коэффициенты распределения

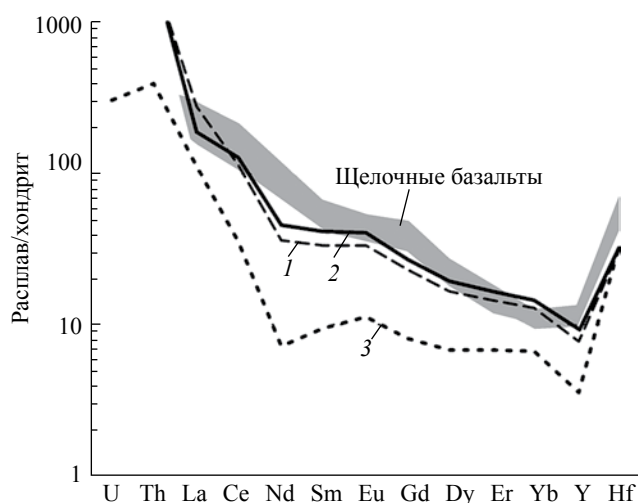


Рис. 3. Спектры распределения примесных элементов для расплавов, равновесных ядер датированного циркона (1, 2) и светлой каймы (3) в сравнении с составами кайнозойских щелочных базальтов региона, Вострецовская группа вулканов по [14]. Составы расплавов рассчитали, используя коэффициенты распределения циркон-расплав для P3Э [12] и U, Th, Y, Hf [13].

примесных элементов [12, 13]. Для ядерных зон кристалла циркона (табл. 1, точки 1, 2) расчётный равновесный расплав в целом очень похож по спектру распределения примесных элементов на вмещающие щелочные базальты и трахиты, отличаясь лишь несколько пониженной концентрацией Nd (рис. 3). Расплав, равновесный обеднённой РЗЭ кайме кристалла циркона (табл. 1, точка 3), напротив, демонстрирует принципиально другой источник кристаллизации, который похож по низким концентрациям СЭРЗ и ТРЗЭ на примитивный толеитовый расплав, а по повышенной концентрации ЛРЗЭ – на флюид (рис. 3, точка 3).

Таким образом, результаты изотопно-геохимического исследования включений циркона в сапфире из Незаметнинской россыпи доказывают, что указанный парагенезис минералов кристаллизовался из щёлочнобазальтовой магмы или её более кислых дериватов ~12 млн лет назад.

Авторы благодарят А.В. Альшевского за помощь при микроскопических наблюдениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Высоцкий С.В., Баркар А.В.* Сапфиры Приморья: геология, минеральные ассоциации и генезис. Владивосток, Дальнаука. 2006. 112 с.
2. *Guo J., O'Reilly S.Y., Griffin W.L.* // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1996. V. 60 (13). P. 2347–2363.
3. *Sutherland F.L., Hoskin P.W.O., Fanning C.M., Coenraads R.R.* // *Contribs. Mineral. and Petrol.* 1998. V. 133. P. 356–372.
4. *Есин С.В., Перетяцько Ю.В.* // *Геология и геофизика.* 1992. № 12. С. 93–102.
5. *Высоцкий С.В., Шека С.А., Нечаев В.П., Сорока В.П., Баркар А.В., Ханчук А.И.* // *ДАН.* 2002. Т. 387. № 6. С. 806–810.
6. *Akinin V.V., Vysotskiy S.V., Mazdab F.K., Miller E., Wooden J.L.* In: *Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism, and Metallogeny of Active Continental Margins.* Proc. Int. IAGOD conf. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 323–326.
7. *Яковенко В.В.* Изотопно-геохимическая систематизация корундов и их генезис. Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 2013. 23 с.
8. *Levinson A.A., Cook F.Q.* // *Gems Gemol.* 1994. V. 30. P. 253–262.
9. *Изох А.Э., Смирнов С.З., Егоров В.В., Чанг Туан Ань, Ковязин С.В., Нго Тхи Фьонг, Калинина В.В.* // *Геология и геофизика.* 2010. Т. 51. № 7. С. 925–943.
10. *Ханчук А.И., Залищак Б.Л., Пахомова В.А., Одариченко Э.Г., Сапин В.И.* // *Тихоокеан. геология.* 2002. Т. 21. № 2. С. 89–95.
11. *Ferry J.M., Watson E.B.* // *Contribs Mineral. and Petrol.* 2007. V. 154. P. 429–437.
12. *Sano Y., Terada K., Fukuoka T.* // *Chem. Geol.* 2002. V. 184. P. 217–230.
13. *Rubatto D., Hermann J.* // *Chem. Geol.* 2007. V. 241. P. 38–61.
14. *Чащин А.А., Мартынов Ю.А., Рассказов С.В., Максимов С.О., Бранд И.С., Саранина Е.В.* // *Петрология.* 2007. Т. 15. № 6. С. 656–681.