ВКЛЮЧЕНИЕ ЗОЛОТА В АКЦЕССОРНОМ ЦИРКОНЕ КОЖИМСКОГО ГРАНИТНОГО МАССИВА

Ю. В. Денисова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

yulden777@yandex.ru

Кристаллы циркона благодаря своей устойчивости к внешнему воздействию способны раскрыть информацию об особенностях среды минералообразования, в том числе и за счет включений, наблюдаемых в минерале. Циркон может содержать различные минеральные включения: биотит, плагиоклаз, кварц, апатит и др. Однако ни в одном цирконе из гранитов Приполярного Урала ранее не встречалось включение золота. В данной работе представлены результаты изучения включения золота в акцессорном цирконе Кожимского гранитного массива. Сделано предположение о характере минералообразующей среды и этапе формирования циркона.

Ключевые слова: акцессорный циркон, гранит, включение, золото, Кожимский массив, Приполярный Урал.

THE INCLUSION OF GOLD IN ACCESSORY ZIRCON OF THE KOZHIM GRANITIC MASSIF

Yu. V. Denisova

Institute of geology of Komi Science Centre of RAS, Syktyvkar

The crystals of zircon can reveal information about their formation environment due to their resistance to external influence and also inclusions observed of them. Zircon can contain different mineral inclusions: biotite, plagioclase, quartz, apatite, etc. However no information about gold inclusions has been available in the zircons from granites of the Sudpolar Urals. The study results of the inclusions of gold in accessory zircon of the Kozhim granitic massif are presented in this paper. The studied mineral is a dark-brown translucent short-prismatic crystal containing an inclusion of gold and nodules of quartz. According to our studies, the inclusion of gold formed during the growth of zircon and it is gold covered with a thin film of oxide gold. It was confirmed that the crystallization of the studied zircon occurred at a temperature of 800 °C and above at the stage of formation of granites of Kozhim massif. We suggested the presence of an additional temperature mode when the temperature decreased to 700 °C and below during the postmagmatic stage.

Keywords: accessory zircon, granite, inclusion, gold, the Kozhim massif, the Subpolar Urals.

Введение

При изучении типоморфических и типохимических особенностей акцессорных минералов крайне важно уделять внимание имеющимся в минерале включениям, исследование которых позволяет получить информацию о фазовом составе, химизме, температуре и давлении минералообразующей среды [1, 5–9, 14, 15 и др.]. Особенно интересен в этом отношении циркон, характеризующийся исключительной стойкостью к различным химическим и физическим воздействиям, происходящим в среде минералообразования. Кристаллы акцессорного циркона из гранитоидов Приполярного Урала часто переполнены газо-жидкими и твердыми минеральными включениями. Синпетрогенные включения представлены биотитом, хлоритом, роговой обманкой, плагиоклазом, кварцем, апатитом и другими минеральными образованиями [16]. Впервые при исследовании циркона гранитоидов Приполярного Урала было установлено включение золота, результаты изучения которого представлены в данной работе.

Объект изучения

Кожимский массив представляет собой группу вытянутых изолированных тел, находящихся на левом и правом берегах Кожима в бассейнах рек Осею и Понью (рис. 1). Граниты Кожимского массива представляют собой среднезернистые лейкократовые породы розового цвета с зеленовато-серым оттенком, обладающие массивной грубоплитчатой текстурой с хорошо выраженной тектонической гнейсоватостью [13].

Акцессорные цирконы в гранитах представлены тремя морфологическими типами. В первый морфологический тип выделены бесцветные прозрачные короткопризматические цирконы. Размер кристаллов 0.05–0.15 мм. Коэффициент удлинения 1.0–1.8. Развиты грани (100), (110). Присутствует дипирамида (111). Поверхность граней гладкая, блестящая. В отдельных кристаллах наблюдаются включения кварца, эпидота, апатита. В цирконе этого морфотипа отмечаются самые высокие средние содержания Nb, U, Th, TR. Кроме того, наблюдаются наибольшие значения таких элементов, как Y, Hf, что свидетельствует о выделении минерала на поздних стадиях образования гранитов. Содержание описываемых цирконов оставляет 80–90 % от общего объема этого минерала в породе. Ко второму морфологическому типу отнесены коричневые полупрозрачные и матовые короткопризматические цирконы. Размер таких кристаллов 0.03–0.10 мм. Коэффициент удлинения 1.0–2.0. Облик кристалла обусловлен развитием граней (100), (110). Поверхность граней гладкая, блестящая. Наблюдаются включения кварца, эпидота, апатита, золота (в одном зерне). Содержание цирконов этого типа 5–10 % от общего состава содержания минерала в породе. Третий морфологический тип составляют прозрачные длиннопризматические кристаллы циркона светло-желтого цвета. Размер кристаллов 0.4–0.8 мм, коэффициент удлинения 2.0–4.0 (до 6.0). Под биноклем видна гладкая блестящая поверхность. Среди включений распространены образования кварца, апатита, эпидота. Содержание цирконов этого типа в среднем 5–10 % от общего объема минерала в породе.

Рис. 1. Геологическая карта Кожимского гранитного массива (по: Пыстин, Пыстина, 2011):

1 — слюдяно-кварцевые сланцы, зеленые ортосланцы, кварциты; 2 — слюдяно-кварцевые сланцы, порфиры, порфириты, прослои мраморов и кварцитов; 3 — граниты; 4 — габбро; 5 — геологические границы: а — стратиграфические и магматические, б — тектонические; 6 — элементы залегания плоскостных структур. Массивы (цифры в кружочках): 1 — Кузпуяуский; 2 — Кожимский (название массивов по [12])

Fig. 1. The Kozhim granite massif (by Pystin, Pystina, 2011):

1 — mica-quartz shales, green orthoschists, quartzite; 2 — mica-quartz shales, porphyries, porphyrites, interlayers of marbles and quartzites; 3 — granites; 4 — gabbro; 5 — the geological boundaries: stratigraphic and igneous, b — tectonic; 6 — the occurrence of planar structures. The massifs (numerals in circles): 1 — the Kuzpuy massif; 2 — the Kozhim massif (the names of the massifs by [12])

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящей работе мы остановимся на характеристике циркона второго морфотипа, среди включений которого при микрозондовом исследовании было обнаружено золото. Акцессорный циркон представляет собой темно-коричневый полупрозрачный короткопризматический кристалл (рис. 2, а) размером 0.04 мм и с коэффициентом удлинения 1.65. Растровые изображения получены в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (комплекс Vega3 Tescan, аналитик С. С. Шевчук). Облик кристалла обусловлен развитием граней (110), (111), (100). Кристаллизация этого морфотипа происходила на начальной стадии

формирования гранитного массива при температуре 700–900 °С и повышенной щелочности среды [2].

Включение золота (рис. 2, б) образовалось, судя по всему, во время роста циркона. Подобное выпадение золота из расплава могло произойти за счет повышения вязкости кремнистых расплавов и медленного падения растворимости с температурой. Также необходимо учитывать, что при восстановлении золота из расплавов оно не выпадает в осадок, а образует гидрозолы [5], которые, свою очередь, могли быть частью сложных силикатных термофлюидных сред с температурой около 800 °С, обогащенных кремнеземом, из которых формировались массивные включения кварца в гранитах [11]. Подобное предположение подтверж-

Рис. 2. Акцессорный циркон из гранита Кожимского массива:

а) циркон с выделениями кварца (Кв) и включениями золота (Au); б) включение золота. 1–4 — точки определения химического состава минерала

Fig. 2. Accessory zircon from granite of the Kozhim massif.

а) zircon with secretions of quartz (Кв) and inclusions of gold (Au); б) the inclusion of gold. 1–4 — the point determination of the chemical composition of the mineral.

The bitmap images obtained in the research Geosciences Institute of Geology, Komi science centre, Urals branch of RAS (complex Vega3 Tescan, analyst S. S. Shevchuk).

Химический состав циркона и золота, мас. %
Chemical compositions of zircon and the inclusion of gold, weight. %

Элемент Element	Циркон / Zircon			Золото / Gold	σ
	1	2	3		
Zr	46.49	46.44	46.01	21.62	0.12
Si	16.55	16.74	16.93	8.05	0.17
O	32.02	31.55	31.47	18.15	0.08
Na	0.11	0.02	0.01	0.15	0.11
Al	0	0.02	0.08	0.06	0.09
K	0.01	0.02	0.01	0.06	0.08
Fe	0.14	0.08	0.01	0.02	0.14
Se	0.06	0.05	0.04	0.25	0.18
Y	0.46	0.48	0.47	0.26	0.25
Ce	0.13	0.51	0.31	0.33	0.21
Gd	0.18	0.19	0.34	0.06	0.25
Dy	0.01	0.09	0.15	0.11	0.25
Er	0.05	0.04	0.06	0.41	0.48
Yb	0.01	0.05	0.06	0.11	0.25
Hf	1.18	1.24	1.36	0.27	0.25
Th	0.22	0.28	0.26	0.26	0.25
U	0.58	0.52	0.54	0.05	0.25
Au	0	0	0	48.22	1.75
Сумма / Total	98.2	98.32	98.11	98.44	-

Примечание. 1—4 — точки определения химического состава минерала, σ — приборная характеристика систематической погрешности методики анализа.

Designation. 1—4 — the point determination of the chemical composition of the mineral. σ — the instrument characteristic systematic errors of the analysis techniques.

Note. Sampling site: on the left bank of the river Kozhim in 30 meters from the watershed and 1,200 meters below the mouth (massive gray-green granite). Microprobe analysis is performed at the Institute of Geology KSC UB RAS (Vega3 Tescan, analyst S. S. Shevchuk).

дается наличием выделений кварца в исследованном цирконе. Таким образом, присутствие в цирконе золота говорит о высоких температурах (800 °C и выше) минералообразующей среды и подтверждает предполагаемый температурный диапазон кристаллизации акцессорного циркона на раннемагматической стадии формирования гранитов Кожимского массива [2, 3].

Как правило, в составе золота в заметных количествах всегда отмечается серебро, содержание которого увеличивается от ранних генераций золота к более поздним [10]. В изученном включении (место отбора пробы — левый берег р. Кожим, в 30 м от водораздела и в 1200 м ниже устья; массивные серо-зеленые граниты) отсутствуют даже незначительные примеси Ag (см. таблицу, микрозондовый анализ выполнен в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН — комплекс Vega 3 Tescan, аналитик С. С. Шевчук). Это позволяет предположить, что небольшое количество золота присутствовало уже в высокотемпературном материнском расплаве. В цирконе и в золоте (с дополнительным составом циркона) отмечаются следы редких элементов иттриевой группы. К сожалению, включение золота в акцессорном цирконе настолько мало, что при микрозондовом анализе получилось определить химический состав только в одной точке золотины (составы в остальных точках характеризовались очень плохими суммами), что не позволило выявить особенности распределения редких земель.

Исследуемая золотина при полировке пробы не была вскрыта полностью, в результате чего представленный в таблице химический состав золота содержит и «наложившийся» состав циркона. При пересчете формулы циркона было выявлено наличие избыточного

кислорода, что позволяет предположить, что изученное включение представляет собой золото, покрытое тонкой пленкой оксида золота. Несмотря на то, что кислород инертен по отношению к золоту, образование такого оксида возможно при 500—700 °C в результате взаимодействия кислорода с атомами золота на его поверхности [4]. Это дает основание предположить, что в течение роста циркона температура минералообразующей среды могла снижаться до 700 °C и ниже.

Закключение

Таким образом, обнаруженное включение золота и его химический состав позволяют сделать вывод о кристаллизации изученного акцессорного циркона при температуре 800 °C и выше на раннемагматическом этапе формирования гранитов Кожимского массива и далее при снижении температуры до 700 °C и ниже на постамагматическом этапе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 15-18-5-17.

Литература

1. Гармаев Б. Л., Дамдинов Б. Б., Миронов А. Г. Золотовисмутное проявление Пограничное (Восточный Саян): состав и связь с магматизмом // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 6. С. 533—545.
2. Денисова Ю. В. Типоморфические и типохимические особенности акцессорных цирконов гранитоидов Приполярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 5. С. 9—16.

3. Денисова Ю. В. Термометрия циркона из гранитоидов Приполярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 12. С. 37—44.
4. Дюсембаева К. Ш. Микроскопическое исследование руд золота. Алматы: КазНТУ, 2011. 135 с.
5. Звягинцев О. Е. Геохимия золота. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. 120 с.
6. Ипатьева И. С. Акцессорные минералы позднемезозойских гранитоидов Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1976. 110 с.
7. Краснобаев А. А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 146 с.
8. Мальков Б. А., Филиппов В. Н., Куратов В. В. Au-Pd-геотермометр для импактных риолитов — «малдынитов» хр. Малдынырд // Проблемы и перспективы современной минералогии (Юшкинские чтения — 2014): Материалы минералогического семинара с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 22—23.
9. Носырев И. В., Ромул В. М., Есипчук К. Е., Орса В. И. Генерационный анализ акцессорного циркона. М.: Наука, 1989. 203 с.
10. Осовецкий Б. М. Типоморфизм шлиховых минералов. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. 244 с.
11. Перетяжко И. С., Смирнов С. З., Котельников А. Р., Котельникова З. А. Экспериментальное изучение системы H_3BO_3 —NaF— SiO_2 — H_2O при 350—800 °С и 1—2 кбар методом синтетических флюидных включений // Геология и геофизика. 2010. № 4. С. 450—472.
12. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры // Литосфера. 2008. № 11. С. 25—38.
13. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Новые данные о возрасте гранитоидов Приполярного Урала в связи с проблемой выделения кожимской среднерифейской гранит-риолитовой формации // Известия КНЦ УрО РАН. 2011. Вып. 4 (8). С. 14—19.
14. Сальникова Е. Б., Яковлева С. З., Котов А. Б., Толмачева Е. В., Плоткина Ю. В., Козловский А. М., Ярмолюк В. В., Федосеенко А. М. Кристаллогенезис циркона щелочных гранитов и особенности его U-Pb-датирования (на примере хангайского магматического ареала) // Петрология. 2014. Т. 22. № 5. С. 482—495.
15. Хабибулина Т. С. Типология и состав цирконов гранитоидов Верхояно-Колымских мезозойских (петрогенетические аспекты). Якутск: Сахаполиграфиздат, 2003. 147 с.
16. Фишман М. В., Юшкин Н. П., Голдин Б. А., Калинин Е. П. Минералогия, типоморфизм и генезис акцессорных минералов изверженных пород севера Урала и Тимана. М.; Л.: Наука, 1968. 252 с.

References

1. Garmaev B. L., Damdinov B. B., Mironov A. G.. *Zoloto-vismutovoe proyavlenie pogrannichnoe (Vostochnyi Sayan): sostav i svyaz' s magmatizmom* (Gold-bismuth occurrence pogrannichnoe (Eastern Sayany): composition and connection to magmatism). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*, 2013, V. 55, No. 6, pp. 533—545.
2. Denisova Yu. V. *Tipomorficheskie i tipohimicheskie osobennosti aktsessornykh tsirkonov granitoidov Pripolyarnogo Urala* (Typomorphic and typechemical features of accessory zircons of granitoids of Subpolar Urals). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar*, No. 5, 2014, pp. 9—16.
3. Denisova Yu. V. *Termometriya tsirkona iz granitoidov Pripolyarnogo Urala* (Thermometry of zircon from granitoids of

- Sublopar Urals). *Vestnik of Institute geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar*, No. 12, 2016, pp. 37—44.
4. Dyusembaeva K. Sh. *Mikroskopicheskoe issledovanie rud zolota* (Microscopical investigation of gold ores). *Almaty: KazNTU*, 2011, 135 pp.
5. Zvyagintsev O. E. *Geohimiya zolota* (Gold geochemistry). *Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR*, 1941, 120 pp.
6. Ipateva I. S. *Aktsessornye mineraly pozdnemezozoiskikh granitoidov Severo-vostoka SSSR* (Accessory minerals of Late Mesozoic granitoids of North-Eastern USSR). *Novosibirsk: Nauka*, 1976, 110 pp.
7. Krasnobayev A. A. *Tsirkon kak indikator geologicheskikh protsessov* (Zircon as indicator of geological processes). *Moscow: Nauka*, 1986, 146 pp.
8. Mal'kov B. A., Filippov V. N., Kuratov V. V. *Au-Pd geotermometr dlya impaktnykh riolitov "maldynitov" hr. Maldynyrd* (Au-Pd geothermometer for impact rhyolites "maldynites" from Maldynyrd Range). *Problemy i perspektivy sovremennoi mineralogii (Yushkinskie chteniya — 2014)* (Problems and prospects of modern mineralogy (Yushkin Readings — 2014): Proceedings of conference. *Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS*, 2014, pp. 22—23.
9. Nosyrev I. V., Romul V. M., Esipchuk K. E., Orsa V. I. *Generatsionnyi analiz aktsessornogo tsirkona* (Generation analysis of accessory zircon). *Moscow: Nauka*, 1989, 203 pp.
10. Osovetskii B. M. *Tipomorfizm shlihovyykh mineralov* (Typomorphism of placer minerals). *Perm: Perm university*, 2001, 244 pp.
11. Peretyazhko I. S., Smirnov S. Z., Kotelnikov A. R., Kotelnikova Z. A. *Eksperimentalnoe izuchenie sistemy H_3BO_3 —NaF— SiO_2 — H_2O pri 350—800 °S i 1—2 kbar metodom sinteticheskikh flyuidnykh vkluychenii* (Experimental study oa system H_3BO_3 —NaF— SiO_2 — H_2O at 350—800 °S and 1—2 kbar by method of synthetic fluid inclusions). *Geologiya i Geofizika*. 2010, No. 4, pp. 450—472.
12. Pystin A. M., Pystina Yu. I. *Metamorfizm i granitoobra-zovanie v proterozoisko- rannepaleozoiskoi istorii formirovaniya Pripolyarnouralskogo segmenta zemnoi kory* (Metamorphism and granite formation in Proterozoic-Early Paleozoic history of formation of Sublopar Urals segment of earth crust). *Litosfera*, 2008, No. 11, pp. 25—38.
13. Pystin A. M., Pystina Yu. I. *Novye dannye o vozraste granitoidov Pripolyarnogo Urala v svyazi s problemoi vydelenii kozhim-skoi srednerifeiskoi granit-riolitovoi formatsii* (New data about age of granitoids of Subpolar Urals in connection with problem of kozhim-skaya Middle Riphean granite-rhyolite suite). *Izvestiya Komi SC UB RAS, Syktyvkar*, 2011. No. 4 (8), pp. 14—19.
14. Salnikova E. B., Yakovleva S. Z., Kotov A. B., Tolmacheva E. V., Plotkina Yu. V., Kozlovskii A. M., Yarmolyuk V. V., Fedoseenko A. M. *Kristallogenezis tsirkona shelochnykh granitov i osobennosti ego U-Pb datirovaniya (na primere hangaisk-ogo magmaticheskogo areala)* Crystal genesis of zircon from alkaline granites and features of its U-Pb dating (Khangaysky magmatic areal)). *Petrologiya*, 2014, V. 22, No. 5, pp. 482—495.
15. Habibulina T. S. *Tipologiya i sostav tsirkonov granitoidov Verhoyano- Kolymskih mezozoid (petrogeneticheskie aspekty)* (Typology and composition of granitoids of Verkhoyan-Kolyma mesozoids (Petrogenetical aspects). *Yakutsk: Sahapoligrafizdat*, 2003, 147 pp.
16. Fishman M. V., Yushkin N. P., Goldin B. A., Kalinin E. P. *Mineralogiya, tipomorfizm i genezis aktsessornykh mineralov izverzhennykh porod severa Urala i Timana* (Mineralogy, typomorphism and genesis of accessory minerals of igneous rocks of Northern Urals and Timan). *Moscow- Leningrad: Nauka*, 1968, 252 pp.