

УДК 550.42

Н. М. Кудряшов, С. Г. Скублов, А. А. Калинин, Л. М. Лялина

Минералогические и геохимические характеристики циркона из дайки диоритовых порфиров Сергозерского золоторудного проявления (Стрельнинский зеленокаменный пояс, Кольский регион)

N. M. Kudryashov, S. G. Skublov, A. A. Kalinin, L. M. Lyalina

Mineralogical and geochemical characteristics of zircon from diorite porphyry dyke in Sergozerskoe gold occurrence (the Strel'ninsky greenstone belt, Kola region)

Аннотация. Проведено минералого-геохимическое изучение циркона из дайки диоритовых порфиров Сергозерского рудопроявления золота. Изучение морфологии циркона, внутреннего строения, а также содержания и распределения редкоземельных элементов позволило получить важную информацию об условиях кристаллизации циркона и последующих метасоматических изменениях. Циркон из диоритовых порфиров обладает признаками кристаллизации из расплава, обогащенного флюидной фазой. Воздействие флюида продолжалось и после кристаллизации, отразившись в неравномерном составе циркона и, соответственно, в конфигурации спектров распределения REE, которые характерны для циркона метасоматического генезиса. Подобные характеристики отмечены для циркона из других рудопроявлений золота, размещенных в зеленокаменных поясах Кольского региона.

Abstract. Mineralogical and geochemical investigation of zircon from diorite porphyry from Sergozerskoe occurrence has been carried out. Study of morphology and inner structure of zircon crystals in back scattered electron rays as well as assaying for content and distribution of Rare Earth Elements in mineral grains have given important information about conditions of crystallization and following metasomatic alteration of zircon. Zircon characteristics show that it crystallized in a melt, enriched in fluid phase. Fluid influence lasted after zircon crystallization, this reflected in uneven composition of the mineral and in configuration of REE spectra, typical for metasomatic zircon. Similar zircon characteristics have been noted in zircons from other gold occurrences in greenstone belts in the Kola region.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, циркон, геохимия, минералогия, Кольский регион.

Key words: gold occurrence, zircon, geochemistry, mineralogy, the Kola region.

Введение

Сергозерское рудопроявление золота расположено в юго-восточной части Кольского полуострова в верхнем течении реки Б. Варзуга в пределах Стрельнинского (в некоторых источниках именуется Терским) зеленокаменного пояса. Золоторудная минерализация на рудопроявлении контролируется пачкой метавулканитов основного-ультраосновного состава мощностью около 150 м в толще биотитовых и двуслюдяных гнейсов и сланцев. Первичная природа метавулканитов по химическому составу отвечает коматиитам, коматиитовым и толеитовым базальтам (снизу вверх по разрезу пачки), а вмещающие их гнейсы и сланцы представляют собой метапелиты [1]. Стратиграфически вулканогенно-осадочные толщи участка отнесены к имандровской серии верхнего лопия [2]. Уровень метаморфизма пород достигает верхней части зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фации [3]. В средней и верхней части разреза метавулканитов хлорит-актинолитовые (коматиитовые базальты) и роговообманковые (толеитовые базальты) амфиболиты тектонизированы (смяты в мелкие складки) и интенсивно метасоматически изменены. Мощность зоны метасоматического изменения составляет около 80 м. Преобладающим процессом в нижней части этой зоны является развитие биотита (замещает амфибол и хлорит) и кальцита (по плагиоклазу и амфиболу). Выше по разрезу в роговообманковых амфиболитах отмечается развитие наложенных хлорита и кальцита, а также карбонат-кварцевое прожилкование.

Метаморфизованные вулканиты и метаосадки прорываются дайками диоритовых порфиров мощностью до 20 м. Дайки секут вмещающие амфиболиты и двуслюдяные гнейсы под острым углом, контакты даек резкие, неровные, извилистые. Диоритовые порфиры рассланцованы, но при этом хорошо сохранили первичную порфировую текстуру. Основная мелкозернистая ткань породы биотит-кварц-плагиоклазового состава, порфировые вкрапленники размером до 1.5 мм представлены олигоклазом, их форма округлая либо неправильная, часто видна зональность, которая подчеркивается вторичными изменениями минерала. Химический состав диоритовых порфиров (масс.%): SiO₂ 57.85, TiO₂ 0.61, Al₂O₃ 19.27, Fe₂O₃ 1.31, FeO 3.42, MnO 0.07, MgO

1.73, CaO 4.87, Na₂O 5.35, K₂O 1.81, H₂O⁻ 0.00, п.п.п. 0.70, P₂O₅ 0.16, S 0.86, CO₂ 1.17. Состав пород согласно классификационной диаграмме Йенсена [4] отвечает риолитам и дацитам толеитовой серии. Метасоматически измененные породы (как метавулканыты, так и диоритовые порфиры) содержат вкрапленность арсенопирита и герсдорфита (последний концентрируется только в ультраосновных разностях), с которой связана минерализация золота.

При формировании минерализованных зон в архей-протерозойских структурах часто задействовано несколько золоторудных процессов, действующих как одновременно, так и разорванных во времени. Поэтому до начала проведения изотопно-геохронологических исследований необходимо решить ряд задач: 1) выделить минеральные ассоциации, с которыми связана золоторудная минерализация; 2) установить тектоно-метаморфические процессы рудогенеза, приведшие к возникновению этих ассоциаций; 3) подобрать наиболее эффективные методы изотопно-геохронологического анализа для определения возраста того или иного процесса при формировании месторождения; 4) провести минералогическое и геохимическое исследование минералов-геохронометров, которые будут использованы при датировании изотопными методами.

Настоящая работа посвящена результатам изучения минералого-геохимических характеристик циркона из дайки диоритовых порфиров Сергозерского рудопроявления золота с целью получения информации о генезисе и условиях его кристаллизации.

Методики минералогических и геохимических исследований

Исследования морфологии и внутреннего строения кристаллов циркона проводились на растровом электронном микроскопе LEO-1450. Рабочее расстояние 13 мм, ускоряющее напряжение 20 кВ, величина тока зонда 75–300 пА – для изображений во вторичных электронах (SE), 500–1000 пА – для обратно-отраженных электронов (BSE).

Содержание редкоземельных (REE) и редких элементов в цирконе определялось на ионном микрозонде Cameca IMS-4f (ЯФ ФТИАН, аналитики С. Г. Симакин, Е. В. Потапов) по методикам, приведенным в [5; 6]. Размер исследуемого участка минерала не превышал в диаметре 15–20 мкм; относительная ошибка измерения для большинства элементов составляла 10–15 %; порог обнаружения элементов в среднем равен 10 ppb. При построении спектров распределения REE составы цирконов нормировались на состав хондрита C1 [7]. Оценка температуры кристаллизации циркона выполнена с помощью термометра "Ti-в цирконе" [8].

Результаты минералогических исследований

Циркон в диоритовых порфирах представлен дипирамидально-призматическими прозрачными кристаллами (коэффициент удлинения $K_y = 3.0–4.5$). Преобладающими гранями являются грани {100}, {110} и {111}, в отдельных кристаллах наблюдается развитие граней {311} (рис. 1, а, б). Цвет кристаллов коричневый, блеск стеклянный. Индивиды циркона трещиноватые, часто содержат включения других минералов. Включения представлены преимущественно апатитом, калиевым полевым шпатом и пирротинном. Внутреннее строение кристаллов в обратно-отраженных электронах характеризуется тонкой зональностью роста, в зернах видна центральная ядерная часть, границы которой конформны с огранкой кристаллов (рис. 1). В BSE изображениях отмечаются незначительные зоны изменения циркона (более темные), вероятно, под действием флюида. Эти зоны подчеркивают ростовую зональность и приурочены в основном к внешним границам зерен (рис. 1).

Результаты геохимических исследований

В изображении в режиме BSE темно-серой окраской отличаются зоны изменения цирконов, подчеркивающие ростовую зональность и приуроченные в основном к границам внутреннего ядра. Зерна циркона СРГ-9.1 и СРГ-9.4 изменены в наибольшей степени, в том числе и в ядерной части. Ядро циркона СРГ-9.10 практически не затронуто изменениями. Содержание REE и редких элементов измерялось в центральной, внешне не затронутой частями, части зерен.

Спектры распределения REE, нормированные к хондриту, в целом сходны между собой (рис. 2). Прежде всего, для всех четырех цирконов установлена положительная Eu-аномалия (Eu/Eu* от 2.46 до 5.61, табл.), нехарактерная для цирконов магматического происхождения [9]. Как правило, положительная Eu-аномалия присуща цирконам гидротермально-метасоматического типа [10; 11]. Общей особенностью является пологий характер спектра в части легких REE (Sm_N/La_N отношение варьирует от 2.08 до 3.11, табл.). Цирконы отличаются общим уровнем содержания легких REE на несколько порядков друг от друга (от 24.2 до 1087 ppm), однако наблюдается специфическая параллельность (подобие) их спектров распределения в области легких REE (рис. 2). При этом более "плоское" распределение легких REE установлено для наиболее измененных зерен циркона СРГ-9.1 и СРГ-9.4 (рис. 1). Положительная Ce-аномалия, также характерная для цирконов магматического генезиса, в цирконах из диоритов Сергозерского рудопроявления практически отсутствует (Ce/Ce* меняется от 0.99 до 1.14, табл.). Спектры REE имеют недифференцированный характер

и в области тяжелых REE для трех цирконов СРГ-9.1, СРГ-9.4 и СРГ-9.11 (Lu_N/Gd_N отношение для них находится в интервале 1.29–10). Только для неизмененного циркона СРГ-9.10 спектр REE относительно дифференцирован от легких к тяжелым REE (Lu_N/Gd_N отношение составляет 44.8, табл.).

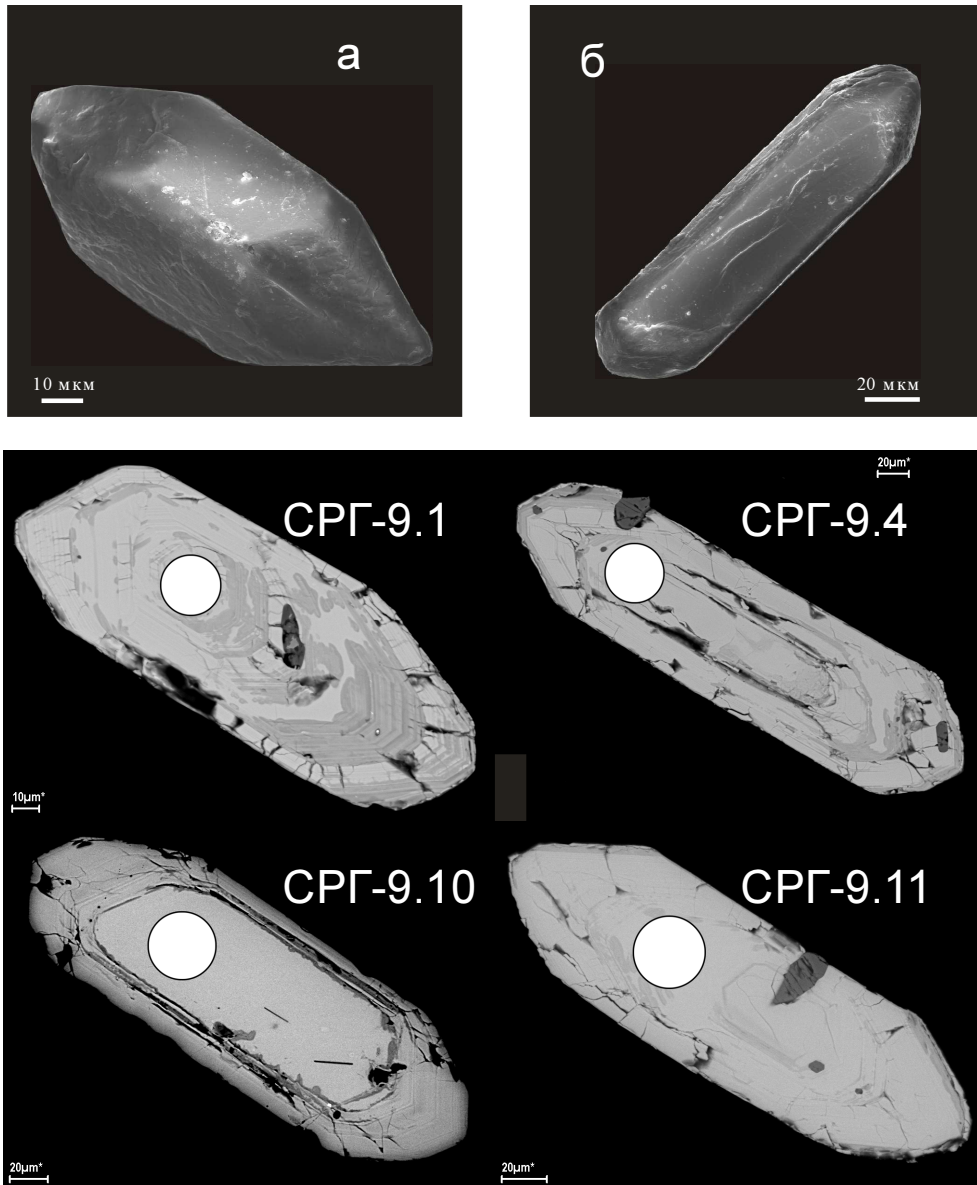


Рис. 1. Морфология (а, б) (SE-изображения) и внутреннее (BSE-изображения) строение циркона из диоритовых порфиров Сергозерского рудопроявления золота. Кружками отмечены точки анализа на ионном микрозонде

Изученные цирконы характеризуются относительно низким содержанием Р и У (в среднем 126 и 1012 ppm соответственно), повышенным содержанием Li и Nb (в среднем 72 и 46 ppm соответственно). Содержание U повышенное и составляет 1778–2563 ppm, Th/U отношение при этом низкое (0.05–0.13, табл.), нехарактерное для цирконов магматического происхождения [9]. Содержание таких неформульных для циркона элементов, как Ca, Sr и Ba, варьирует; оно максимально в наиболее измененных цирконах СРГ-9.1, СРГ-9.4 и минимально в неизмененных цирконах СРГ-9.10, СРГ-9.11 (табл.). При этом разница в содержании этих элементов составляет порядок и более (например для Ca 101 и 3347 ppm соответственно). Содержание Ca, Sr, Ba положительно коррелируется с суммарным уровнем содержания легких REE, а также Ti. В измененных цирконах содержание Ti в среднем 24 ppm, в неизмененных – в среднем 4 ppm. Поэтому к температурам кристаллизации циркона, рассчитанным с помощью Ti-термометра [8], следует подходить критически. Для неизмененных цирконов температурный интервал оценен как 650–700 °С, для измененных – как 810–840 °С (табл.). Вряд ли метасоматическое изменение циркона происходило на фоне

роста температуры. Положительная корреляция Ti и Ca, Sr, Ba указывает на привнос всех этих элементов при метасоматозе. Напрямую использовать значения температуры по Ti-термометру было бы необоснованно.

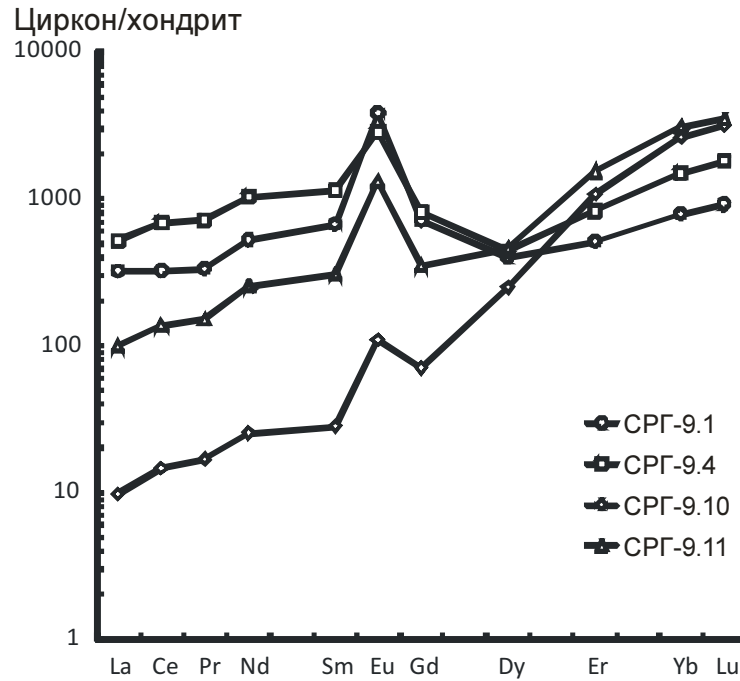


Рис. 2. Спектры распределения РЗЭ в цирконе из диоритовых порфиров Сергозерского рудопроявления золота

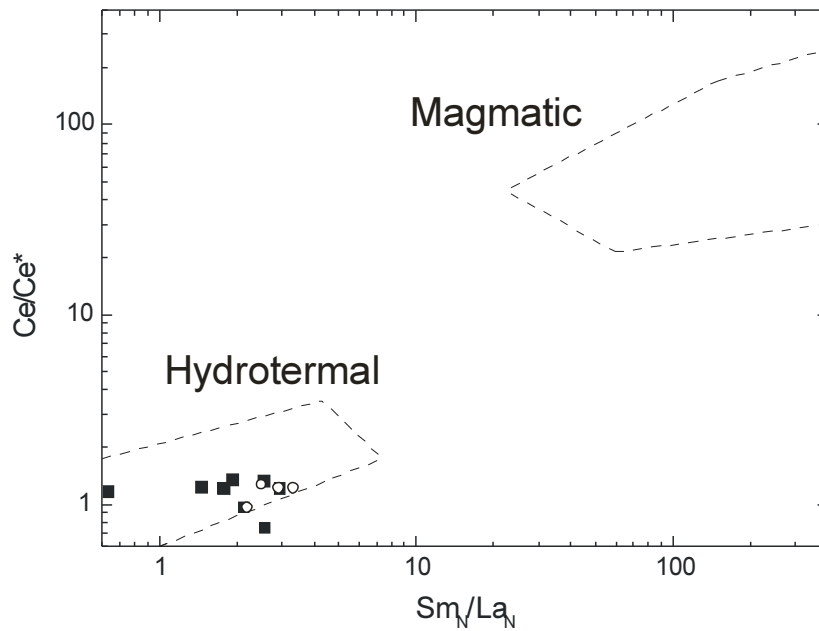


Рис. 3. Соотношение между степенью фракционирования LREE (Sm_N/La_N) и величиной Ce-аномалии (Ce/Ce^*). Поля магматических и гидротермально-метасоматических цирконов приведены по [10]. Составы цирконов из обр. СРГ-9 обозначены кружками, для сравнения залитыми квадратами показаны составы метасоматических цирконов из амфиболитов дайкового комплекса Конточки [11]

Рассмотренные особенности распределения редких и редкоземельных элементов позволяют отнести цирконы из диоритов Сергозерского рудопроявления к метасоматическому типу. На диаграмме соотношения степени дифференцированности легких REE и величины Ce-аномалии (рис. 3) все четыре точки цирконов, вне зависимости от степени наложенных изменений, фиксируемых с помощью BSE изображений (рис. 1),

попадают в поле "гидротермально-метасоматических цирконов", выделенное в работе [10]. С ними практически совпадают фигуративные точки метасоматических цирконов из алмазоносных амфиболитов даек Контковки района Костомукши [11], также имеющие положительную Eu-аномалию, но отличающиеся гораздо более высоким уровнем содержания REE и Y. В это же поле попадают цирконы из метасоматитов Терского зеленокаменного пояса [12], из других золоторудных месторождений [13; 14]. В последних проявлены такие черты метасоматических цирконов, как отсутствие Ce-аномалии и выположенность спектра REE, но не наблюдается положительная Eu-аномалия, характерная для цирконов из диоритов Сергозерского рудопоявления.

Поскольку особенности состава, характерные для метасоматических цирконов, проявлены даже в практически неизменных зернах СРГ-9.10 и СРГ-9.11 (рис. 1), то возможно предположить их происхождение как кристаллизацию из магматического расплава (на это указывает дипирамидально-приматический габитус циркона и отчетливо проявленная тонкая осцилляторная зональность), обогащенного флюидной фазой. Воздействие флюида продолжалось и после кристаллизации, неравномерно отразившись в составе цирконов.

Таблица

Содержание редкоземельных и редких элементов (ppm) в цирконах из диоритовых порфиров

Компонент	СРГ-9.1	СРГ-9.4	СРГ-9.10	СРГ-9.11
La	76,4	123	2,30	23,6
Ce	199	424	8,82	84,8
Pr	31,1	66,4	1,55	14,1
Nd	242	474	11,5	116
Sm	99,0	170	4,17	45,9
Eu	218	162	6,15	73,5
Gd	142	162	14,0	69,7
Dy	97,8	108	61,1	114
Er	82,0	133	171	245
Yb	127	241	424	503
Lu	22,6	44,8	77,5	86,3
Li	53,1	46,4	104	85,6
P	78,5	113	166	145
Ca	3 347	2 542	101	467
Ti	20,9	26,3	2,89	5,66
Sr	107	96,6	2,49	18,4
Y	750	892	939	1 469
Nb	35,1	56,7	50,8	42,1
Ba	28,8	32,7	2,38	6,11
Hf	7 727	8 519	9 081	8 664
Th	270	232	83,6	188
U	2 048	2 453	1 778	2 563
Th/U	0,13	0,09	0,05	0,07
Eu/Eu*	5,61	2,98	2,46	3,96
Ce/Ce*	0,99	1,14	1,13	1,13
ΣREE	1 336	2 107	782	1 376
ΣLREE	548	1 087	24,2	238
ΣHREE	471	688	747	1 018
Lu _N /La _N	2,85	3,52	324	35,2
Lu _N /Gd _N	1,29	2,24	44,8	10,0
Sm _N /La _N	2,08	2,22	2,90	3,11
T(Ti), °C	813	836	644	695

Заключение

Циркон из диоритовых порфиров обладает всеми признаками кристаллизации из расплава, обогащенного флюидной фазой. Воздействие флюида продолжалось и после кристаллизации, неравномерно отразившись в составе циркона и, соответственно, в конфигурации спектров распределения REE, которые характерны для циркона метасоматического генезиса. Подобные характеристики отмечены в цирконе из других рудопоявлений золота, размещенных в зеленокаменных поясах Кольского региона.

Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 16-05-00367, 16-05-00125 и 16-05-00427), Минобрнауки РФ № 5.2115.2014/К на 2014-2016 гг. Госзадание № 0231-2015-0005.

Библиографический список

1. Сергозерское рудопроявление золота в Терском зеленокаменном поясе / А. А. Калинин, О. В. Казанов, Г. Ф. Бакаев, Е. Э. Савченко // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона. Труды XII Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 80-летию со дня рождения акад. РАН Ф. П. Митрофанова. Апатиты, 6–7 апреля 2015 г. / ред. Ю. Л. Войтеховский. Апатиты, 2015. С. 108–115.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q_37 – Архангельск. Объяснительная записка. СПб., Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.
3. Имандра-Варзугская зона карелид (геология, геохимия, история развития) / под ред. Г. И. Горбунова. Л. : Наука, 1982.
4. Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks // Ontario Div. Mines. Misk., 1976. 66 p.
5. Hinton R. W., Upton B. G. J. The chemistry of zircon: Variations within and between large crystals from syenite and alkali basalt xenoliths // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. V. 55. P. 3287–3302.
6. Федотова А. А., Бибикина Е. В., Симакин С. Г. Геохимия циркона (данные ионного микрозонда) как индикатор генезиса минерала при геохронологических исследованиях // *Геохимия*. 2008. № 9. С. 980–997.
7. McDonough W. F., Sun S. S. The composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. V. 120. P. 223–253.
8. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2006. V. 151. P. 413–433.
9. Hoskin P. W. O., Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis // *Zircon* (eds. J. M. Hanchar and P. W. O. Hoskin). *Rev. Mineral. Geochem.* 2003. V. 53. P. 27–62.
10. Hoskin P. W. O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2005. V. 69. P. 637–648.
11. Levskii L. K., Skublov S. G., Gembitskaya I. M. Isotopic-geochemical study of zircons from metabasites of the Kontokki dike complex: Age of regional metamorphism in the Kostomuksha structure // *Petrology*. 2009. V. 17, N 7. P. 669–683.
12. Геохимия метасоматических цирконов Терского зеленокаменного пояса / Б. Ю. Астафьев, С. Г. Скублов, В. А. Глебовицкий, И. М. Гембицкая, О. А. Воинова, О. А. Левченков // *Доклады АН*. 2009. Т. 427, № 1. С. 90–95.
13. Hydrothermal zircons: A tool for ion microprobe U-Pb dating of gold mineralization (Tamlalt-Menhouhou gold deposit – Morocco) / E. Pelleter, A. Cheilletz, D. Gasquet, A. Mouttaqi, M. Annich, A. El Nakour, E. Deloule, G. Féraud // *Chemical Geology*. 2007. V. 245. P. 135–161.
14. Вревский А. Б. Возраст и изотопная геохимия рудовмещающих гранодиоритов золоторудного месторождения Няльм-1, зеленокаменный пояс Колмозеро-Воронья, Кольский полуостров // *Доклады АН*. 2012. Т. 442, № 2. С. 223–227.

References

1. Sergozerskoe rudoproyavlenie zolota v Terskom zelenokamennom poyase [The Segozerskoe ore occurrence of gold in the Tersky greenstone belt] / A. A. Kalinin, O. V. Kazanov, G. F. Bakaev, E. E. Savchenko // *Geologiya i strategicheskie poleznye iskopaemye Kolskogo regiona. Trudy XII Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) Fersmanovskoy nauchnoy sessii, posvyaschyonnoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya akad. RAN F. P. Mitrofanova. Apatity, 6–7 aprelya 2015 g. / red. Yu. L. Voytehovskiy. Apatity, 2015. P. 108–115.*
2. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii [State geological map of Russian Federation]. Masshtab 1:1000000 (trete pokolenie). Seriya Baltiyskaya. List Q_37 – Arhangelsk. Ob'yasnitelnaya zapiska. SPb., Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2012.
3. Imandra-Varzugskaya zona karelid (geologiya, geohimiya, istoriya razvitiya) [Imandra-Varzuga belt of Karelides (geology, geochemistry, and history of development)] / pod red. G. I. Gorbunova. L. : Nauka, 1982.
4. Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks // Ontario Div. Mines. Misk., 1976. 66 p.
5. Hinton R. W., Upton B. G. J. The chemistry of zircon: Variations within and between large crystals from syenite and alkali basalt xenoliths // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. V. 55. P. 3287–3302.
6. Fedotova A. A., Bibikova E. V., Simakin S. G. Geohimiya tsirkona (dannye ionnogo mikrozonada) kak indikator genезisa minerala pri geohronologicheskikh issledovaniyah [Geochemistry of zircon (ion microprobe data) as an indicator of mineral genesis in geochronological investigations] // *Geohimiya*. 2008. N 9. P. 980–997.
7. McDonough W. F., Sun S. S. The composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. V. 120. P. 223–253.

8. Watson E. B., Wark D. A., Thomas J. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2006. V. 151. P. 413–433.
9. Hoskin P. W. O., Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis // Zircon (eds. J. M. Hanchar and P. W. O. Hoskin). Rev. Mineral. Geochem. 2003. V. 53. P. 27–62.
10. Hoskin P. W. O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2005. V. 69. P. 637–648.
11. Levskii L. K., Skublov S. G., Gembitskaya I. M. Isotopic-geochemical study of zircons from metabasites of the Kontokki dike complex: Age of regional metamorphism in the Kostomuksha structure // Petrology. 2009. V. 17, N 7. P. 669–683.
12. Geohimiya metasomaticheskikh tsirkonov Terskogo zelenokamennogo poyasa [Geochemistry of metasomatic zircons from the Tersky greenstone belt] / B. Yu. Astafev, S. G. Skublov, V. A. Glebovitskiy, I. M. Gembitskaya, O. A. Voinova, O. A. Levchenkov // Doklady AN. 2009. V. 427, N 1. P. 90–95.
13. Hydrothermal zircons: A tool for ion microprobe U-Pb dating of gold mineralization (Tamlalt-Menhouhou gold deposit – Morocco) / E. Pelleter, A. Cheilletz, D. Gasquet, A. Mouttaqi, M. Annich, A. El Hakour, E. Deloule, G. Féraud // Chemical Geology. 2007. V. 245. P. 135–161.
14. Vrevskiy A. B. Vozrast i izotopnaya geohimiya rudovmeschayuschih granodioritov zolotorudnogo mestorozhdeniya Nyalm-1, zelenokamennyiy poyas Kolmozero-Voronya, Kolskiy poluostrov [Age and isotope geochemistry of granodiorite host rocks of Nyalm-1 gold deposit, Kolmozero-Voronya greenstone belt] // Doklady AN. 2012. V. 442, N 2. P. 223–227.

Сведения об авторах

Кудряшов Николай Михайлович – Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол. наук;
e-mail: nik@geoksc.apatity.ru

Kudryashov N. M. – Geological Institute KSC RAS, Cand. of Geol. Sci.; e-mail: nik@geoksc.apatity.ru

Скублов Сергей Геннадьевич – Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,
д-р геол.-мин. наук; Национальный минерально-сырьевой университет "Горный";
e-mail: skublov@yandex.ru

Skublov S. G. – Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, Dr of Geol. & Miner. Sci.;
National Mineral Resources University (University of Mines); e-mail: skublov@yandex.ru

Калинин Аркадий Авенирович – Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол. наук;
e-mail: kalinin@geoksc.apatity.ru

Kalinin A. A. – Geological Institute KSC RAS, Cand. of Geol. Sci.; e-mail: kalinin@geoksc.apatity.ru

Лялина Людмила Михайловна – Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол. наук;
e-mail: lialina@geoksc.apatity.ru

Lyalina L. M. – Geological Institute KSC RAS, Cand. of Geol. Sci.; e-mail: lialina@geoksc.apatity.ru