Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 552.163; 552.4 (234.851)

DOI: 10.19110/2221-1381-2018-11-22-30

ТИПОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИРКОНОВ ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НЯРОВЕЙСКОЙ СЕРИИ И НЕМУРЬЮГАНСКОЙ СВИТЫ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

О. В. Гракова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

ovgrakova@geo.komisc.ru

Впервые проведена сравнительная характеристика цирконов из метаосадочных, в том числе углеродсодержащих, верхнепротерозойских отложений няровейской серии и немурьюганской свиты Полярного Урала. Изучение типохимических особенностей цирконов показало отличия во внутреннем строении и химическом составе минерала. Для метаосадочных безуглеродистых пород характерна ровная поверхность и однородное строение зерен циркона. В цирконах из углеродсодержащих отложений внутреннее строение неоднородное, присутствуют вторичные изменения. В углеродсодержащих отложениях няровейской серии и немурьюганской свиты в составе циркона отмечается уран. Циркон первоначально мог быть обогащен ураном, либо образование урана в изначально деформированных цирконах могло быть связано с гипергенными процессами. В углеродсодержащих отложениях минисейшорской свиты в цирконах помимо урана присутствуют иттрий, торий и скандий.

Ключевые слова: углеродсодержащие отложения, циркон, Полярный Урал.

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF ZIRCONS OF UPPER-PROTEROZOIC DEPOSITS, THE NYAROVEI SERIES AND THE NEMURYUGAN SUITE (POLAR URALS)

O. V. Grakova

Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch of RAS, Syktvykar

For the first time, a comparative analysis of zircons from metasedimentary, including carbon-containing Upper Proterozoic deposits of the Nyarovei series and the Nemuryugan suite of the Polar Urals was carried out. The study of the typical features of zircons showed differences in the internal structure and chemical composition of the mineral. For meta-sedimentary non-carbonaceous rocks, a flat surface and a homogeneous structure of zircon grains are characteristic. In zircons from carbon-containing deposits, the internal structure is inhomogeneous, there are secondary changes. In the Carboniferous deposits of the Nyarovei series and the Nemuryugan suite, uranium is found in zircon. Zircon originally could be enriched with uranium, or the formation of uranium in initially deformed zircons could be associated with hypergenic processes. In carbon-containing deposits of the Miniseyshor suite in zircons, in addition to uranium, yttrium, thorium and scandium are present.

Keywords: carbon-containing deposits, zircon, the Polar Urals.

Введение

Изучение цирконов представляет большой интерес. Циркон является одним из основных акцессорных минералов в большинстве метаморфических пород. Он содержит U, Th, Hf и REE. Эти элементы-примеси очень важны для геохимических исследований и для определения возраста [10]. Цирконы, вновь образованные либо преобразованные, обнаруживают новые свойства, выраженные в изменении морфологии кристаллов, внутреннего строения и геохимического состава [6].

Особое значение приобретает изучение поведения циркона в углеродсодержащих отложениях, характеризующихся повышенными концентрациями многих металлов, редких и редкоземельных элементов. Представляется важным проследить, как и по каким причинам изменяется циркон в этих породах, вариации его химического состава, особенности морфологии.

Изучение типохимических особенностей цирконов метаосадочных отложений, в том числе углеродсодержащих, няровейской серии и немурьюганской свиты Полярного Урала позволит провести сравни-

тельную характеристику безуглеродистых и углеродсодержащих отложений и уточнить условия их формирования.

Характеристика объекта исследования

Объектом исследования явились верхнепротерозойские отложения (в том числе углеродсодержащие) няровейской серии и немурьюганской свиты (рис. 1) Центральноуральской мегазоны Полярного Урала [1]. Верхнехарьбейская и минисейшорская свиты, входящие в состав няровейской серии, состоят из кварцитов, филлитовидных, углеродистых, кварц-альбит-слюдистых и кварц-альбит-актинолит-слюдистых сланцев. Немурьюганская свита верхнего рифея представлена переслаивающимися слюдисто-альбит-кварцевыми, карбонатсодержащими сланцами, углеродсодержащими кварц-карбонатными породами, мраморами, кварцитами и метаэффузивами кислого, среднего и основного состава [5]. Нами были оценены значения РТ-параметров метаморфизма верхнепротерозойских отложений Полярного Урала. Установлено,

Рис. 1. Схематическая геологическая карта нижнего течения р. Немурьюган (Полярный Урал) (по [5]). Условные обозначения: 1 — марункеуская свита; 2 — ханмейхойская свита; 3 — верхнехарбейская свита; 4 — минисейшорская свита; 5 — немурьюганская свита; 6 — нижняя подсвита сядатинской свиты; 7 — верхняя подсвита сядатинской свиты; 8 — орангская свита; 9 — слюдяногорский комплекс габбро-гипербазитовый эклогитизированный плутонический; 10 — васькеуский комплекс плутонический метагаббро-дolerитовый гипабиссальный; 11 — евьюганский комплекс мигматит-плагиогранитовый плутонический; 12 — минисейский комплекс измененных гипербазитов плутонический; 13 — харбей-собский комплекс габброгранодиоритовый; 14 — сядатояхинский комплекс гранитовый плутонический; 15 — ампельшорский комплекс измененных ультрамафитов плутонический; 16 — орангюганско-лемвинский комплекс габбро-дolerитовый гипабиссальный; 17 — сымкеуский комплекс дунит-гарцбургитовый плутонический; 18 — войкаро-кемпирсайский комплекс тектонитов; 19 — марунский комплекс щелочно-базитовый; 20 — разрывные нарушения: а — сдвиги, б — неуставленной кинематики, с — взбросонадвиги второстепенные, d — взбросонадвиги главные. Точками отмечены места и номера отбора проб

Fig. 1. Schematic geological map of the lower reaches of the river Nemuryugan (Polar Urals) (according to [5]). Legend: 1 — Marunkey series; 2 — Hanmeyhoy series; 3 — Verhneharbey series; 4 — Miniseyshor series; 5 — Slyudyangorsky complex gabbro-ultramafic plutonic eclogitized; 6 — the lower subordinate is the Sudaden suite; 7 — the upper subordinate is the Sudaden suite; 8 — Orang suite; 9 — Slyudyangorsk complex gabbro-hyperbasic eclogitized plutonic; 10 — Vaskau complex plutonic metagabbro-dolerite hypabyssal; 11 — Evyugansky complex migmatite plagiogranite plutonic; 12 — Miniseysky complex ultramafic plutonic; 13 — Harbey-Sob complex gabbro-granodiorite; 14 — Shadatoyakhinsky granite plutonic complex; 15 — Ampelshory complex of altered ultramafites plutonic; 16 — Orangyugansko-Lamvinsky complex gabbro-doleritic hypabyssal; 17 — Syumkeusky complex harzburgite-dunite plutonic; 18 — Voikaro-Kempirsay complex tectonites; 19 — Marunsky complex alkaline-basic; 20 — discontinuous violations: a — shifts, b — unsettled kinematics, c — overturn thrusts secondary, d — upslope main thrusts. Points indicate places and numbers of sampling

что метаморфиты няровейской серии образовались в условиях эпидот-мусковит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации [3].

По химическому составу среди сланцев няровейской серии были выделены орто- и парапороды [8]. Ортопороды являются метабазальтами, метатугафами и метариолитами. Парапороды представлены метаосадочными породами: метапелитами, метаморфизованными граувакковыми песчаниками и алевролитами, аркозовыми и кварцевыми песчаниками. Петрохимические исследования пород немурьюганской свиты показали, что большинство из них являются метаосадочными образованиями, присутствуют сланцы, имеющие вулканогенно-осадочное происхождение, являющиеся, скорее всего, метатугафами основного-среднего состава [7]. С металлогенической точки зрения няровейская серия и немурьюганская свита специализированы на благороднометалльное оруденение, характеризуются надкларковыми значениями цинка, свинца, ванадия, фосфора и др. [5].

Нами было проведено U-Pb-датирование детритовых цирконов из отложений няровейской серии LA-SF-ICP-MS-методом, реализованным на базе одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Element XR и установки для лазерной абляции UP-213 в ГИН СО РАН. Было показано, что весь разрез няровейской серии, включающий верхнехарбейскую и минисейшорскую свиты, сформировался в позднем рифее [9].

Исследованы особенности сульфидной и сульфатной рудной минерализации верхнепротерозойских отложений няровейской серии Полярного Урала. Для метабазальтов няровейской серии характерно присутствие пирита, халькопирита, галенита, барита и англезита, а метаосадочные образования содержат пирит, халькопирит и сфалерит. Формирование пирита в метабазальтах и метапелитах различалось. В метабазальтах пирит образовался в результате метаморфизма пород. Установлено, что метабазальты няровейской серии перспективны на золото, его входя-

ние в структуру минерала осуществлялось совместно с мышьяком. Пирит из метапелитов образовался в процессе осадконакопления [2].

В углеродсодержащих отложениях няровейской серии и немурьюганской свиты нами было изучено углеродистое вещество, определено содержание благородных металлов и уточнена рудная специализация. Установлены средние значения температур образования углеродного вещества в углеродсодержащих сланцах верхнепротерозойских отложений Полярного Урала. Они составили около 500 °С. Углеродное вещество представлено нанокристаллическим графитом, его образование проходило в стабильных условиях. В породах няровейской серии присутствуют Os, Ir, Pd, содержание золота в углеродсодержащих сланцах достигает промышленно значимых концентраций. Выявлена редкоземельная уран-ториевая (монацит, ксенотим, коффинит), сульфидная (пирит, пентландит, ковеллин), сульфатная (барит) и медная минерализации. В сланцах обнаружен редкий минерал коркит. Формирование рудных минералов связано с метаморфическими и поздними окислительными процессами в приповерхностных условиях [4].

Методы исследования

Пробы для исследования были отобраны нами летом 2017 года из отложений няровейской серии и не-

мурьюганской свиты по ручьям Няршор, Немурьюган и Мраморный. Также нами была изучена предоставленная К. С. Нейман коллекция образцов пород няровейской серии по ручьям Няршор, Графитовый, безымянным притокам ручья Ингилорьеган.

Для установления типохимических особенностей циркона и проведения сравнительной характеристики минерала из разновозрастных отложений различного генезиса изучено более 20 аншлифов и около 100 микрондовых анализов. Химический состав минерала был установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой Instruments X-Max (аналитики С. С. Шевчук, А. С. Шуйский и Е. М. Тропников) в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН.

Типохимические особенности цирконов

Верхнехарьейская свита

Цирконы верхнехарьейской свиты были изучены в метаосадочных безуглеродистых отложениях (обр. Н-5-6) и углеродсодержащих метаосадочных отложениях (обр. НВ-2, НВ-4, НВ-6, НВ-8) (рис. 1).

В метаосадочных безуглеродистых породах цирконы обнаружены в виде окатанных округлых и удлиненных зерен размером 10–50 мкм (рис. 2, а–с). Структура кристаллов однородная, иногда отмечаются трещины, сколы. Помимо основных компо-

Рис. 2. Цирконы в метаосадочных отложениях верхнехарьейской свиты: а–с — безуглеродистых, d–i — углеродсодержащих. Zrn — циркон, Aln — алланит, Qz — кварц, Ms — мусковит, Ap — апатит, Xtm — ксенотим. Здесь и далее сокращения минералов приняты в соответствии с [11]

Fig. 2. Zircons in the metasedimentary deposits of Verkhneharbey series: а–с — carbon-free, d–i — carbon-containing. Zrn — zircon, Aln — allanite, Qz — quartz, Ms — muscovite, Ap — apatite, Xtm — xenotime. Here and further, mineral reductions are taken in accordance with [11]

нентов — SiO_2 (32.26—33.65 мас. %) и ZrO_2 (65.63—68.73 мас. %) в химическом составе циркона (см. таблицу, ан. 1—7) присутствуют HfO_2 (1.1—2.43 мас. %) и FeO (0.13—0.6 мас. %).

В углеродсодержащих метаосадочных отложениях циркон представлен окатанными зернами, слабоокатанными призматическими и короткопризматическими кристаллами размером 5—25 мкм. В цирконах отмечаются вторичные структуры: разрушенные области (рис. 2, d—g) и трещины (рис. 2, h). Присутствуют сростки зерен циркона с ксенотимом (рис. 2, i). По данным химического анализа циркона видно, что помимо основных компонентов — ZrO_2 (50.19—71.17 мас. %) и SiO_2 (26.96—38.08 мас. %) — они содержат следующие элементы-примеси (мас. %): HfO_2 (1.09—2.12), FeO (0.26—2.51), Al_2O_3 (0.46—2.6), K_2O (0.17—0.77), CaO (0.14—0.3) и UO_3 (0.63—1.44) (см. таблицу, ан. 8—20).

Минисейшорская свита

Цирконы минисейшорской свиты исследовались в метаосадочных безуглеродистых отложениях (Н-4-11, Н-4-64, Н-4-66, НМ-5, НМ-8) и углеродсодержащих метаосадочных отложениях (Н-4-26, Н-4-27, Н-4-31, Н-4-53, Н-4-55, Н-7-22) (рис. 1).

Цирконы метаосадочных безуглеродистых отложений представлены короткопризматическими и длиннопризматическими кристаллами, от слабо- до хорошо окатанных (рис. 3). Внутреннее строение кри-

сталлов однородное, иногда наблюдаются трещины (рис. 3, a, h). Размер кристаллов — от 5 до 40 мкм.

По химическому составу циркона (см. таблицу, ан. 21—40) можно отметить, что помимо основных компонентов — ZrO_2 (49.71—68.75 мас. %) и SiO_2 (29.31—37.57 мас. %) — присутствуют (мас. %): HfO_2 (0.64—2.06), FeO (0.46—3.5), Al_2O_3 (0.38—6.86), CaO (0.34—6.44), TiO_2 (0.42—1.58), Na_2O (0.77—4.11).

В углеродсодержащих метаосадочных породах цирконы обнаружены в виде длиннопризматических кристаллов, от слабо- до хорошо окатанных, и их обломков размером от 10 до 50 мкм (рис. 4). Поверхность цирконов неровная, на ней отмечаются углубления, сколы. Внутреннее строение неоднородное, с «выплавленными», «изъеденными» структурами, трещинами. Встречаются почти полностью разрушенные цирконы в виде неоднородной массы (рис. 4, a, e). В химическом составе цирконов помимо основных компонентов — ZrO_2 (46.77—68.42 мас. %) и SiO_2 (31.17—39.18 мас. %) — и элементов-примесей (мас. %): HfO_2 (0.9—1.86), FeO (0.29—2.19), Al_2O_3 (0.64—13.68), K_2O (0.21—1.58), CaO (0.36—0.5), TiO_2 (0.03—1.25), Na_2O (0.41—4.47), MgO (0.33—0.61) — появляются UO_3 (0.13—1.96), Y_2O_3 (3.73), ThO_2 (0.53—0.77), Sc_2O_3 (0.35) (см. таблицу, ан. 41—53).

Немурьюганская свита

Цирконы немурьюганской свиты изучались в метаосадочных безуглеродистых отложениях (НМ-31)

Рис. 3. Цирконы в метаосадочных безуглеродистых отложениях минисейшорской свиты: Zrn — циркон, Ab — альбит, Ep — эпидот, Ms — мусковит, Ttn — титанит

Fig. 3. Zircons in metasedimentary carbon-free sediments of Miniseyshor series: Zrn — zircon, Ab — albite, Ep — epidote, Ms — muscovite, Ttn — titanite

Рис. 4. Цирконы в углеродсодержащих метасадочных отложениях минисейшорской свиты

Fig. 4. Zircons in the carbon-containing metasedimentary deposits of Miniseysk series

и углеродсодержащих метасадочных отложениях (НМ-25, НМ-28) (рис. 1).

В метасадочных породах цирконы представлены короткопризматическими слабоокатанными кристаллами размером 5–30 мкм (рис. 5, а, b). По хи-

мическому составу видно, что в цирконах присутствуют (мас. %): ZrO_2 (45.99–66.97), SiO_2 (30.58–35.82) и элементы-примеси HfO_2 (1.10–1.46), FeO (0.69–1.16), Al_2O_3 (5.72–8.8), K_2O (2.43–3.85), CaO (0.74), TiO_2 (0.26–1.11), MgO (0.62–0.97) (см. таблицу, ан. 54–56).

В углеродсодержащих метасадочных отложениях циркон отмечен в виде короткопризматических кристаллов, от слабо- до хорошо окатанных, размерами 5–10 мкм (рис. 5, с, d). Помимо основных компонентов — ZrO_2 (51.22–63.23 мас. %) и SiO_2 (21.56–28.29 мас. %) — содержатся следующие элементы-примеси (мас. %): HfO_2 (0.83–1.41), FeO (0.29–1.38), Al_2O_3 (0.95–0.97), CaO (1.91–11.55), MgO (4–6.99), UO_3 (0.6–3.45) (см. таблицу, ан. 57–60).

Сравнительная характеристика цирконов няровейской серии и немурьюганской свиты

Изучение типохимических особенностей цирконов показало отличия во внутреннем строении и химическом составе цирконов безуглеродистых и углеродсодержащих метасадочных верхнепротерозойских отложений няровейской серии и немурьюганской свиты Полярного Урала.

Внутреннее строение цирконов из метасадочных безуглеродистых отложений няровейской серии и немурьюганской свиты чаще всего однородное, ровное, редко можно отметить трещинки, сколы на поверхности зерен (рис. 2, а–с, рис. 3, рис. 5, а, b).

Рис. 5. Цирконы из метасадочных отложений немурьюганской свиты: а, b — безуглеродистых, с, d — углеродсодержащих

Figure 5. Zircons from metasedimentary deposits of Nemuryugan series: a, b — carbon-free, c, d — carbon-containing

Химический состав циркона метаосадочных отложений Полярного Урала, мас. %
Chemical composition of zircon from metasedimentary deposits of the Polar Urals, wt. %

Компо- ненты Components	Свита Suite	Верхнехарбейская свита Verkhnekharbeyskaya suite									
		безуглеродистые отложения carbon free deposits						углеродсодержащие отл. carbon containing deposits			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂		33.04	32.26	32.82	33.65	32.56	33.48	32.82	31.37	38.08	34.67
ZrO ₂		67.57	67.31	68.57	68.73	65.63	68.57	67.77	64.55	56.82	66.28
HfO ₂		2.12	1.1	2.43	1.89	1.69	1.69	1.55	2.12	—	1.38
FeO		0.6	0.35	0.44	0.13	—	—	—	0.92	0.61	0.35
Al ₂ O ₃		—	—	—	—	—	—	—	0.97	0.73	0.44
K ₂ O		—	—	—	—	—	—	—	—	0.17	—
UO ₃		—	—	—	—	—	—	—	0.63	1.2	—
Сумма / Total		103.33	101.38	104.26	104.4	99.88	103.74	102.21	100.56	97.62	103.12
Компо- ненты Components	Свита Suite	Верхнехарбейская свита Verkhnekharbeyskaya suite									
		углеродсодержащие отложения carbon containing deposits									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂		34.98	31.09	27.54	31.32	31.2	33	32.78	28.29	26.96	30.31
ZrO ₂		60.58	66.72	55.29	67.39	67.51	64.59	71.17	57.42	50.19	62.25
HfO ₂		1.09	1.37	1.55	1.71	1.44	1.78	1.68	1.53	1.5	2.01
FeO		0.81	0.26	1.02	—	—	—	—	0.58	2.51	0.89
Al ₂ O ₃		—	—	1.59	—	—	—	—	0.46	2.6	0.95
CaO		0.14	—	0.23	—	—	—	—	—	0.22	—
K ₂ O		—	—	0.34	—	—	—	—	0.18	0.77	—
UO ₃		1.23	—	0.7	—	—	0.77	—	1.34	1.44	0.76
Сумма / Total		98.83	99.43	88.26	100.43	100.15	100.13	105.63	89.81	86.19	96.87
Компо- ненты Components	Свита Suite	Минисейшорская свита Miniseyshorskaya suite									
		безуглеродистые отложения carbon free deposits									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
SiO ₂		30.51	30.33	33.66	33.1	33.75	32.19	33.51	36.5	33.7	32.79
ZrO ₂		66.18	65.02	49.71	68.75	66.8	66.87	67.84	64.26	59.99	66.83
HfO ₂		1.48	1.55	1.28	1.98	1.52	0.64	1.81	1.67	1.24	1.08
FeO		—	—	2.65	0.46	0.64	0.46	0.52	0.92	0.85	0.75
Al ₂ O ₃		—	—	5.59	—	0.98	—	—	1.77	3.8	—
CaO		—	—	6.44	—	—	—	—	0.9	3.25	0.34
TiO ₂		—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	—
Na ₂ O		—	—	—	—	—	—	—	0.77	—	—
Сумма / Total		98.17	96.89	99.33	104.29	103.69	100.16	103.68	106.79	103.25	101.79

Таблица (продолжение)

Химический состав циркона метаосадочных отложений Полярного Урала, мас.%

Table (continued)

Chemical composition of zircon from metasedimentary deposits of the Polar Urals, wt.%

Компо- ненты Components	Свита Suite	Минисейшорская свита / Miniseyshorskaya suite									
		безуглеродистые отложения / carbon free deposits									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂		33.79	33.25	33.28	33.32	33.55	33.57	33.76	33.96	35.58	35.71
ZrO ₂		65.73	65.43	67.03	67.41	63.23	67.49	67.98	67.82	52.19	59.61
HfO ₂		1.55	1.26	1.41	1.44	1.16	1.82	1.37	1.62	2.06	1.45
FeO		0.48	1.1	0.93	0.67	0.87	0.75	0.86	0.62	2.45	—
Al ₂ O ₃		—	0.77	0.62	0.75	2.11	0.64	—	0.38	6.86	3.03
CaO		1.47	1.17	0.36	0.34	2.05	—	—	—	5.86	1.76
TiO ₂		1.58	0.53	—	—	—	—	—	—	—	0.8
Na ₂ O		—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.59
Сумма / Total		104.6	103.51	103.63	103.93	102.97	104.27	103.96	104.4	105	103.95
Компо- ненты Components	Свита Suite	Минисейшорская свита / Miniseyshorskaya suite									
		углеродсодержащие отложения / carbon containing deposits									
		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
SiO ₂		32.8	33.31	34.17	34.11	34.15	32.12	33.97	31.17	32.93	31.36
ZrO ₂		67.19	65.11	46.77	63.63	68.42	54.68	65.11	60.88	63.84	52.27
HfO ₂		1.48	1.23	1.77	1.43	1.22	1.44	1.83	1.1	1.38	0.9
FeO		0.29	1	1.8	1	0.92	2.19	1.73	0.8	1.04	1.08
Al ₂ O ₃		—	0.64	13.68	2.26	—	6.15	0.93	—	1.55	2.95
CaO		—	0.38	—	—	—	0.5	—	—	—	0.36
TiO ₂		0.04	1.25	0.59	0.26	0.03	0.43	0.17	0.08	0.01	0.19
Na ₂ O		—	—	4.47	0.41	—	0.42	—	—	—	1.33
MgO		—	—	—	—	—	0.61	—	—	0.33	—
K ₂ O		—	—	1.58	—	—	0.88	—	—	—	—
Sc ₂ O ₃		—	—	—	0.35	—	—	—	—	—	—
Y ₂ O ₃		—	—	—	—	—	—	—	3.73	—	—
UO ₃		0.24	—	—	1.01	0.87	0.52	0.25	0.11	0.98	0.55
ThO ₂		—	—	—	—	—	—	—	0.77	—	0.53
Сумма / Total		102.04	102.92	104.83	104.46	105.61	99.94	103.99	98.64	102.06	91.52
Компо- ненты Components	Свита Suite	Минисейшорская свита Miniseyshorskaya suite			Немурьюганская свита / Nemuryuganskaya suite						
		углеродсодержащие отл. Carbon containing deposits			безуглеродистые отл. carbon free deposits			углеродсодержащие отл. Carbon containing deposits			
		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
SiO ₂		36.48	34.88	39.18	30.58	34.60	35.82	25.17	21.56	28.04	28.29
ZrO ₂		60.22	61.06	56.86	66.97	55.62	45.99	51.22	55.57	63.23	58.16
HfO ₂		1.35	1.54	1.3	1.46	1.46	1.10	0.83	—	0.86	1.41
FeO		—	0.62	0.54	—	0.69	1.16	0.29	1.38	—	—
Al ₂ O ₃		—	—	—	—	5.72	8.8	—	0.95	—	0.97
CaO		—	—	—	—	—	0.74	9.47	11.55	5.66	1.91
TiO ₂		0.03	0.11	—	—	0.26	1.11	—	—	—	—
MgO		—	—	—	—	0.62	0.97	6.99	4	—	—
K ₂ O		—	—	—	—	2.43	3.85	—	—	—	—
UO ₃		1.96	0.73	1.11	—	—	—	1.1	3.45	—	0.60
Сумма / Total		100.4	98.94	98.99	99.01	101.41	99.52	95.07	98.46	97.79	91.34

Поверхность цирконов углеродсодержащих пород неровная, на ней отмечаются углубления, сколы, трещины (рис. 2, d—i, рис. 4, рис. 5, с, d). Внутреннее строение неоднородное, с «изъеденными» структурами, трещинами.

Для всех цирконов из верхнепротерозойских отложений, в том числе углеродсодержащих, характерно присутствие HfO_2 , FeO , Al_2O_3 , CaO , TiO_2 и др.

Во всех углеродсодержащих отложениях изучаемых свит в составе циркона отмечается UO_3 , в химическом составе цирконов из остальных пород он отсутствует (по результатам микронзондовых исследований). В породах минисейшорской свиты помимо урана в цирконе присутствуют иттрий, торий и скандий.

Наличие урана в цирконах углеродсодержащих верхнепротерозойских отложений Полярного Урала может быть объяснено следующим образом: 1) циркон мог быть первоначально обогащен ураном, и различия в содержании UO_3 в углеродсодержащих и безуглеродистых отложениях могли быть связаны с различными источниками сноса циркона; 2) изначально циркон углеродсодержащих отложений был деформирован, вследствие чего произошло нарушение решетки циркона и дальнейшее накопление урана связано с гипергенными процессами.

Выводы

Проведенные исследования показали различия в цирконах из метаосадочных, в том числе углеродсодержащих, отложений няровейской серии и немурьюганской свиты Полярного Урала. Кристаллы цирконов из углеродсодержащих метаосадочных отложений, в отличие от безуглеродистых, чаще всего имеют неоднородное внутреннее строение, трещиноватые, разрушенные.

В углеродсодержащих отложениях няровейской серии и немурьюганской свиты в химическом составе циркона отмечается уран. Циркон первоначально мог быть обогащен ураном, либо образование урана в изначально деформированных цирконах могло быть связано с гипергенными процессами. В углеродсодержащих отложениях минисейшорской свиты в цирконах помимо урана присутствует иттрий, торий и скандий.

Исследования проведены в рамках НИР ИГ Коми НЦ УрО РАН ГР № АААА-А17-117121270035-0 и при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 18-5-5-19.

Литература

1. Глубинное строение Тимано-Североуральского региона / Отв. редактор А. М. Пыстин. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 264 с.
2. Гракова О. В. Рудная минерализация няровейской серии (Полярный Урал) // Известия Коми научного центра УрО РАН. № 2 (34). Сыктывкар, 2018. С. 64—70.
3. Гракова О. В. Термодинамические условия метаморфизма верхнепротерозойских отложений Полярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 6 (270). С. 13—19.
4. Гракова О. В., Уляшева Н. С. Металлогенические особенности верхнепротерозойских углеродсодержащих сланцев

няровейской серии (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 9 (254). С. 16—21.

5. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Листы Q-42-I, II. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 340 с.

6. Пыстина Ю. И., Пыстин А. М. Распределение U и Th в цирконах метаморфических пород и гранитоидов севера Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: 12 Межрегион. науч.-практ. конф.: Сб. ст. Уфа, 2018. С. 294—299.

7. Уляшева Н. С. Геохимические особенности пород немурьюганской свиты (Полярный Урал) // Там же. С. 311—315.

8. Уляшева Н. С., Гракова О. В. Первичный состав пород няровейской серии (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 2. С. 24—35.

9. Уляшева Н. С., Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Гракова О. В., Хубанов В. Б. U-Pb LA-SF-ICP-MS-датирование цирконов из верхнепротерозойских отложений Полярного Урала // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Материалы Всерос. науч. конф. с международ. участием. Сыктывкар, 2017. С. 223—224.

10. Hoskin, P. W. O., Schaltegger, Urs. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, vol. 53, no. 1, p. 27—62. DOI: 10.2113/0530027.

11. Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95(1), 185—187. DOI: 10.2138/am.2010.3371.

References

1. Glubinnoe stroenie Timano-Severoural'skogo regiona (Abyssal structure of Timan-Northern Ural region). Ed. A. M. Pystin. Syktivkar: Geoprint, 2011, 264 p.
2. Grakova O. V. Rudnaya mineralizatsiya nyarovejskoy serii (Polyarnyj Ural) (Ore mineralization of nyaroveyskayaseries (Polar Urals). Proceedings of Komi Science Center, 2 (34), Syktivkar, 2018, pp. 64—70.
3. Grakova O. V. Termodinamicheskie usloviya metamorfizma verhneproterozojskikh otlozhenij Polyarnogo Urala (Thermodynamic conditions of metamorphism of Upper Proterozoic deposits of Polar Urals). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2017, No. 6 (270), pp. 13—19.
4. Grakova O. V., Ulyasheva N. S. Metallogenicheskie osobennosti verhneproterozojskikh uglerodsoderzhashchih slancev nyarovejskoy serii (Polyarnyj Ural) (Metallogenic features of Upper Proterozoic shales of nyaroveyskaya series (Polar Urals)). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2016, No. 9 (254), pp. 16—21.
5. Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Uralskaya. Listy Q—42-I, II. Obyasnitelnaya zapiska (State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000. Second edition. Polar Ural series. Sheets Q—42-I, II. Explanatory note). St. Petersburg: VSEGEI, 2007, 340 pp.
6. Pystina Yu. I., Pystin A. M. Raspredelenie U i Th v cirkonah metamorficheskikh porod i granitoidov Severa Urala (U and Th distribution in zircons of metamorphic rocks and greanitoids of the North of the Urals). Proceedings of 12th conference «Geologiya,

poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredelnyh territorij. Ufa, 2018, pp. 294–299.

7. Ulyasheva N. S. *Geokhimicheskie osobennosti porod nemuryuganskoy svity (Polyarnyj Ural)* (Geochemical features of rocks of nemuryuganskaya suite (Polar Urals)). Proceedings of 12th conference «*Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredelnyh territorij*». Ufa, 2018, pp. 311–315.

8. Ulyasheva N. S., Grakova O. V. *Pervichnyj sostav porod nyarovejskoj serii (Polyarnyj Ural)* (Primary compositions of nyaroveyskaya series (Polar Urals)). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2016, No. 2, pp. 24–35.

9. Ulyasheva N. S., Pystin A. M., Pystina Yu. I., Grakova O. V., Hubanov V. B. *U–Pb LA-SF-ICP-MS datirovanie cirko-*

nov iz verhneproterozojskih otlozhenij Polyarnogo Urala (U–Pb LA-SF-ICP-MS dating of zircons from Upper Proterozoic deposits of Polar Urals). Proceedings of conference «*Geodinamika, veshchestvo, rudogenez vostochno-evropejskoj platformy i ee skladchatogo obramleniya*» (Geodynamics, substance, ore genesis of East European platform and its folded margin). Syktyvkar, 2017, pp. 223–224.

10. Hoskin, P. W. O., Schaltegger, Urs. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, V. 53, No. 1, p. 27–62. DOI: 10.2113/0530027.

11. Whitney, D. L., & Evans, B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 2010, 95(1), 185–187. DOI: 10.2138/am.2010.3371.