

Типоморфизм апатитов метаморфических пород Приполярного Урала (бассейн реки Кожим)

Ю.И. Пыстина

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
yuliya_pystina@mail.ru

Аннотация

Изучение апатитов из метаморфических образований Приполярного Урала показывает, что он может использоваться как индикатор условий метаморфизма пород. С целью получения дополнительных минералогических критериев для расчленения и корреляции докембрийских метаморфических толщ Приполярного Урала были изучены акцессорные апатиты. В статье приводятся результаты исследования акцессорного апатита из пород няртинского гнейсо-мигматитового комплекса, а также щокурьинской и пуйвинской свит. Полученные данные показали, что в качестве типоморфных признаков апатитов, связанных с метаморфизмом пород, могут использоваться морфологические особенности кристаллов, наличие, минеральный состав и количество твердых и газовой-жидких включений, химический состав самого минерала (содержание стронция, качественный состав и содержание P39), спектроскопические и люминесцентные свойства. Некоторые типоморфные особенности апатитов связаны с процессами гранитизации (мелкие включения монацита по периферии зерен апатита). Этот факт может быть полезен при диагностике низкотемпературных диафоритов, в которых признаки гранитизации пород, как и признаки ранее проявленного высокотемпературного метаморфизма, часто «затушеваны» и визуально не распознаются. Результаты исследований подтверждают ранее полученные данные о принадлежности метаморфических пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты к одному структурному этажу.

Ключевые слова:

Приполярный Урал, докембрийские отложения, апатит, микроскопические исследования

Введение

Район развития докембрийских отложений на Приполярном Урале в пределах Ляпинского антиклинория является стратотипическим для всего Тимано-Североуральского региона, включающего Канино-Тиманскую гряду, Печорскую синеклизу, северную часть Урала и Пай-Хой.

По решению IV Уральского межведомственного стратиграфического совещания [1] в докембрийском разрезе это-

Typomorphism of apatites from metamorphic rocks of the Subpolar Urals (basin of the river Kozhim)

Yu.I. Pystina

Institute of Geology named after academician N. P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktvykar
yuliya_pystina@mail.ru

Abstract

The study of apatites from the metamorphic formations of the Subpolar Urals shows that this mineral can be used as an indicator of the conditions of rock metamorphism. According to the typomorphic features of apatites, one can judge not only the similarity or difference in the degree of metamorphism of the compared rock associations, but also solve the important problem of separating mono- and polymetamorphic formations, in particular. In order to obtain additional mineralogical criteria for subdivision and correlation of Precambrian metamorphic strata of the Subpolar Urals, a description of accessory apatite from metamorphic rocks of the Nyartin Complex, as well as the Shchokurya and Puiva suites, is given. It is shown that morphological features of crystals, the presence, mineral composition and amount of solid and gas-liquid inclusions, the chemical composition of the mineral itself (strontium content, qualitative composition and REE content), spectroscopic properties can be used as typomorphic features of apatites associated with rock metamorphism. Some typomorphic features of apatites can be associated with granitization processes (small inclusions of monazite along the periphery of apatite grains).

The results of the studies confirm the previously obtained data on the belonging of the metamorphic rocks of the Nyartin Complex and the Shchokurya suite to the same structural stage.

Keywords:

Subpolar Urals, Precambrian deposits, apatite, microprobe studies

го района были выделены следующие стратиграфические подразделения (снизу вверх): няртинский метаморфический комплекс (PR₁), маньхобеинская и щокурьинская свиты (RF₁), пуйвинская свита, включающая базальную ошизскую толщу (RF₂), хобеинская и мороинская (санаизская) свиты (RF₃), саблегорская (RF₃-V₁) и лаптопайская (V₂) свиты.

и Б.А. Голдина [9], а также В.Н. Пучкова [10], в стратиграфических схемах которых базальное положение в верхнедокембрийской части разреза рассматриваемого нами района занимает ошизская толща (свита). Уточненный на основании U-Pb датирования детритовых цирконов возраст пород пуйвинской свиты, включающей ошизскую толщу, позднерифейский [11, 12]. Авторский вариант схемы геологического строения района (составленный совместно с А.М. Пыстиным) приведен на рис. 1 [13].

При решении вопросов стратиграфии приполярноуральского докембрия, а также изучения процессов образования пород и их последующего метаморфического преобразования нами широко использовались акцессорные минералы. Особое внимание уделялось циркону как одному из наиболее информативных акцессорных минералов [14, 15]. В настоящей статье с целью получения дополнительных минералогических критериев для расчленения и корреляции метаморфических толщ приводится описание акцессорного апатита, который, как и циркон, широко распространен в метаморфических породах этого района. При этом для оценки возможного влияния метаморфизма на морфологию и состав апатита дается сравнительный анализ свойств этого минерала из пород, принадлежащих одному структурному этажу (няртинский комплекс и шокуринская свита), а также к разным структурным этапам: няртинскому комплексу и шокуринской свите, с одной стороны, и пуйвинской свите – с другой.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований является акцессорный апатит из гнейсов няртинского комплекса, кристаллических сланцев шокуринской и хлорит-мусковит-альбит-квар-

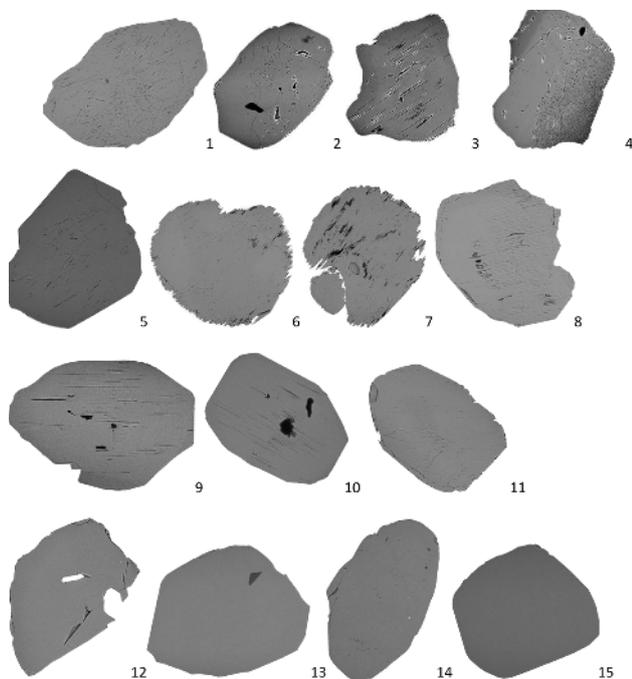


Рисунок 2. Апатиты из пород няртинского комплекса (1 – 4), шокуринской (5 – 11) и пуйвинской (12 – 15) свит.

Figure 2. Apatites from the rocks of the Nyartin Complex (1–4), the Shokurinskaya (5–11), and the Puiva suites (12–15).

цевых сланцев пуйвинской свит. Степень метаморфизма пород няртинского комплекса и шокуринской свиты отвечает уровню амфиболитовой фации умеренных давлений, пуйвинской свиты – зеленосланцевой фации умеренных давлений [16]. Породы няртинского комплекса частично претерпели средне- и низкотемпературный диафорез. Степень диафореза пород шокуринской свиты значительная.

Средний вес пробы составлял 2–3 кг. Выделение монофракций апатитов производилось из протолочных проб по стандартной методике: дробление, расситовка раздробленной пробы по крупности зерен, повторное дробление крупных фракций до 0.25 мм, отмучивание фракции меньше 0.25 мм, магнитная сепарация, отбор немагнитной фракции и дальнейшее выделение из нее тяжелой фракции. Апатиты из тяжелой немагнитной фракции отбирались вручную под бинокулярным микроскопом. Изучение морфологических особенностей апатита выполнялось с помощью поляризационного тринокулярного микроскопа ПОЛАМ-312 в проходящем свете. Микроразондовые исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMH с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm2 Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размер пучка – 180 нм и области возбуждения – до 5 мкм с использованием программного обеспечения Aztec (ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН, аналитики – А.С. Шуйский, Е.М. Тропников). Калибровка производилась по кобальту (Co). В качестве дополнительных стандартов применялись 55 стандартов фирмы Micro-Analysis Consultants Ltd. Погрешность измерений: SiO₂ – до 0.07 %, CaO – до 0.2, F – до 0.22, P₂O₅ – до 0.23, Y₂O₃ – до 0.29, SrO – до 0.15, MnO – до 0.06, CeO – до 0.11, Al₂O₃ – до 0.10, TiO₂ – до 0.29 %.

Типоморфные особенности апатитов

Апатиты из гнейсов няртинского комплекса (рис. 2, 1–4) представлены как призматическими кристаллами с габитусными формами гексагональной призмы и дипирамиды, из граней обычно представлены призма {1010}, пинакоид {0001}, дипирамиды {1011}, {1121}, {2131}, {2021}, так и зернами округлой или неправильной формы размерами 35–60 мкм. Поверхность граней обычно неровная, шероховатая. Минерал бесцветный, иногда имеет легкий коричневато-розоватый оттенок. Отмечаются также апатиты с сильным перламутровым блеском. Под микроскопом они обнаруживают тонкую параллельную трещиноватость (рис. 2, 3).

В прозрачных не перламутровых разновидностях апатитов внутреннее строение характеризуется наличием твердых, реже газовой-жидких включений (рис. 3, 1).

Среди твердых включений отмечаются ильменит, рутил, титанит, гранат, ортит, циркон, кварц, эпидот, мусковит, альбит и монацит. Твердые включения в апатитах представлены теми же минералами (породообразующими и акцессорными), что и апатитосодержащие породы. Одновременно в одном кристалле могут встречаться ильменит, рутил, титанит и кварц, ортит, гранат и альбит, мусковит и торит, эпидот и кварц, циркон, кварц и монацит. Монацит

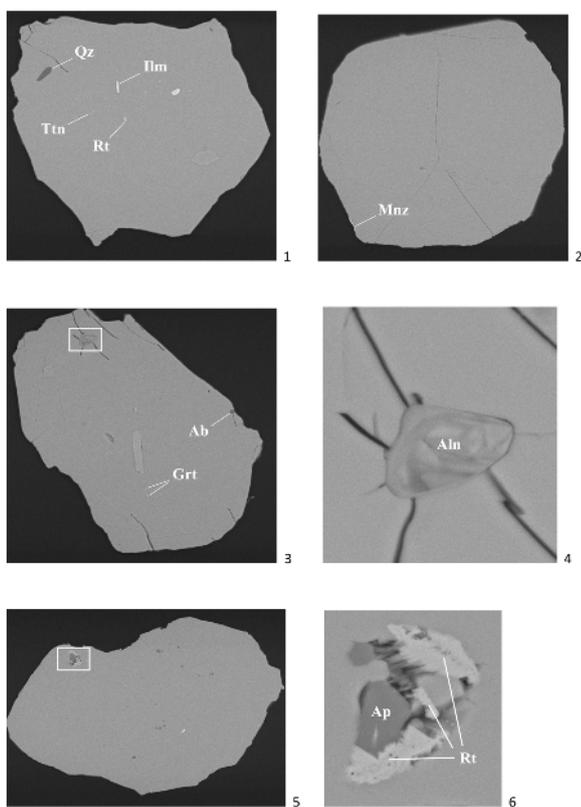


Рисунок 3. Включения в апатитах из пород: няртинского комплекса (1-2), шокурьюинской свиты (3), шокурьюинской свиты, фрагмент рис. 3,3 (4), пуйвинской свиты (5), пуйвинской свиты, фрагмент рис. 3,5 (6).

Figure 3. Inclusions in apatites from the rock: of the Nyartyn Complex (1-2) of the Shchokurya suite (3), of the Shchokurya suite, fragment fig. 3.3 (4), of the Puiva suite (5), of the Puiva suite fragment fig. 3.5 (6).

во всех установленных случаях располагается в виде мелких зерен по краю кристалла апатита. В апатитах с перламутровым блеском включения редки или отсутствуют.

Проведенные микрозондовые исследования показали, что все апатиты в гнейсах няртинского комплекса принадлежат к фтор-апатиту. Среднее содержание F – 3.17 %, Sr – 0.41, Ca – 38.9 %, отношение Ca/P – 2.16 (таблица).

Содержание редких TR, к сожалению, по данным микрозондового анализа, достоверно выявить не удалось, однако отдельные редкоземельные элементы, такие как Y, присутствуют в достаточном количестве и вполне могут быть использованы для корреляции апатитов из разных стратиграфических подразделений. В апатитах из гнейсов няртинского комплекса среднее содержание Y – 0.36 %, Ce отмечен в одном зерне – 0.02 %.

Апатиты из кристаллических сланцев шокурьюинской свиты (рис. 2,5-11) также представлены призматическими кристаллами с габитусными формами гексагональной призмы и дипирамиды, из граней обычно представлены призма {1010}, пинакоид {0001}, дипирамиды {1011}, {1121}, {2131}, и зернами бочоноковидной или неправильной формы размерами 40–60 мкм. Поверхность граней обычно неровная, шероховатая. Минерал бесцветный, иногда имеет легкий розоватый оттенок. Зерна с сильным перламутровым блеском и трещиноватой (сланцеватой) структурой (рис. 2, 7-10) преобладают над прозрачными не перламутровыми разновидностями минерала, включения в них практически

отсутствуют. В прозрачных не перламутровых разновидностях апатитов присутствуют включения циркона, кварца, альбита, алланита, граната и монацита (рис. 3, 2-4). Одновременно в одном зерне апатита отмечены включения альбита, граната и алланита, кварца и монацита. Монацит во всех отмеченных случаях располагается в виде мелких зерен по краю кристалла апатита.

Микрозондовые исследования показали, что все апатиты в кристаллических сланцах шокурьюинской свиты принадлежат к фтор-апатиту. Среднее содержание F – 3.43 %, Sr – 0.27, Ca – 39.2 %, отношение Ca/P – 2.15 (таблица). Среди редкоземельных элементов удалось установить только Y. Среднее содержание элемента – 0.21 % (таблица).

Апатиты из хлорит-мусковит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свиты (рис. 2,12-15) представлены в основном таблитчатыми и призматическими кристаллами с габитусными формами гексагональной призмы и дипирамиды. Из граней обычно представлены призма {1010}, пинакоид {0001}, дипирамиды {1011}, {1121}, и зернами неправильной формы. Размер минерала довольно сильно меняется – 30–80 мкм. Поверхность граней неровная, блестящая. Минерал бесцветный, иногда с коричневатым оттенком. Следует отметить, что в сланцах пуйвинской свиты не отмечены апатиты с перламутровым блеском, характерные для гнейсов няртинского комплекса и кристаллических сланцев шокурьюинской свиты. Среди включений отмечаются твердые, реже газовой-жидкие. Твердые включения представлены кальцитом, мусковитом, альбитом, цирконом, титанитом, кварцем. Одновременно встречаются включения мусковита и рутила (рис. 3,5-6), кальцита, альбита, мусковита и циркона, мусковита и кварца, кварца и циркона. Микрозондовые исследования показали, что все апатиты из пород пуйвинской свиты принадлежат к фтор-апатиту. Среднее содержание F – 3.46 %, Sr – 0.20, Ca – 38.89, P – 17.89 %, отношение Ca/P – 2.17 (таблица). Среди редкоземельных элементов удалось установить только Y – 0.60 % (таблица).

Обсуждение результатов

Результаты минералогических исследований показали сходство апатитов из пород няртинского комплекса и шокурьюинской свиты как по морфологическим признакам, так и составу и отличию их от апатитов из пород пуйвинской свиты. Учитывая, что все апатиты отобраны из первично-осадочных пород кислого состава, эти различия, скорее всего, связаны не с различиями в составе пород, а с особенностями их метаморфизма. Из многолетнего опыта изучения апатитов следует, что кислый субстрат обуславливает повышенное содержание в минерале фтора [17, 18 и др.]. Нашими данными эта эмпирически установленная закономерность подтверждается: исследованные нами минералы из всех трех стратиграфических подразделений представлены фтор-апатитами.

Известно, что морфология кристаллов апатита определяется как внутренними факторами (типом и направленностью химических связей в структуре кристалла), так и внешними (составом расплава или раствора и обстановкой

Состав апатитов из метаморфических пород няртинского комплекса, шокуринской и пуйвинской свит, мас.%

Composition of apatite from metamorphic rocks of Nyartin complex, Shchokurya and Puyva suites, wt.%

Номер пробы	Свита, комплекс	Название спектра	O	F	Si	P	Ca	Mn	Sr	Y	Ce	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1157	PR _{nr}	1_1 Ap	38.74	3.64	0.08	17.87	39.04	0	0	0	0	99.36
1157	PR _{nr}	2_1 Ap	39.33	3.02	0.08	18.09	39.40	0	0	0.57	0	100.48
1157	PR _{nr}	3_1 Ap	38.98	3.05	0.08	17.93	38.90	0	0.41	0.49	0	99.85
1157	PR _{nr}	4_1 Ap	39.19	2.42	0.10	17.99	39.00	0	0.37	0.73	0	99.81
1157	PR _{nr}	5_1 Ap	39.35	2.86	0.09	18.20	39.34	0	0.26	0	0	100.10
1157	PR _{nr}	6_1 Ap	38.85	3.38	0.09	17.89	38.76	0	0.28	0.49	0	99.74
1157	PR _{nr}	7_1 Ap	39.18	2.78	0.13	17.96	39.13	0	0.36	0.58	0	100.11
1157	PR _{nr}	8_1 Ap	39.22	2.65	0.10	18.05	38.97	0	0.35	0.69	0	100.02
1157	PR _{nr}	9_1 Ap	38.98	3.09	0.07	18.09	38.79	0	0.31	0	0	99.34
1157	PR _{nr}	10_2 Ap	39.07	2.96	0	18.05	38.99	0	0.30	0.54	0	99.91
1157	PR _{nr}	11_1 Ap	38.89	3.63	0.08	17.84	39.00	0	0.31	0.49	0	100.25
1157	PR _{nr}	12_1 Ap	39.07	2.82	0	18.19	39.06	0	0	0	0	99.14
1157	PR _{nr}	13_1 Ap	39.48	2.39	0.09	18.25	39.02	0	0.43	0.57	0	100.23
105	PR _{nr}	1_1 Ap*	39.00	3.35	0	18.04	39.08	0	0.52	0	0	100.00
105	PR _{nr}	2_1 Ap	38.38	3.28	0.08	17.64	38.10	0	0.51	0.80	0	98.78
105	PR _{nr}	3_1 Ap*	38.90	3.26	0.11	17.86	38.69	0	0.56	0.59	0	99.98
105	PR _{nr}	4_1 Ap*	39.00	3.29	0.08	18.05	38.77	0.1	0.38	0	0	99.87
105	PR _{nr}	5_1 Ap*	39.32	2.74	0.09	18.11	38.99	0	0.59	0.58	0	100.42
105	PR _{nr}	6_1 Ap*	38.93	3.06	0.09	18.05	38.70	0	0.37	0	0	99.20
105	PR _{nr}	7_1 Ap*	38.97	3.23	0.08	17.91	38.74	0	0.43	0.77	0	100.12
105	PR _{nr}	8_1 Ap*	39.05	3.08	0	18.11	39.08	0	0.40	0	0	99.72
105	PR _{nr}	9_1 Ap*	38.81	3.61	0	17.96	38.86	0.11	0.37	0	0	99.73
105	PR _{nr}	10_1 Ap*	38.84	3.22	0	17.97	38.55	0	0.53	0.56	0	99.67
105a	PR _{nr}	1_1 Ap	38.63	3.59	0.11	17.75	38.44	0	0.46	0.60	0	99.58
105a	PR _{nr}	2_1 Ap	39.15	3.20	0.14	18.00	38.70	0	0.60	0.56	0.23	100.4
105a	PR _{nr}	3_1 Ap*	38.89	3.10	0	17.93	38.77	0.11	0.46	0.53	0	99.79
105a	PR _{nr}	4_1 Ap	38.76	3.36	0.08	17.82	38.54	0	0.60	0.56	0	99.72
105a	PR _{nr}	5_1 Ap	38.97	3.03	0.08	17.93	38.55	0.10	0.61	0.74	0	100.01
105a	PR _{nr}	6_1 Ap	38.66	3.95	0.11	17.77	38.30	0	0.58	0.69	0	100.07
105a	PR _{nr}	7_1 Ap*	38.85	3.32	0.10	17.86	38.59	0.12	0.55	0.52	0	99.90
105a	PR _{nr}	8_1 Ap	39.17	3.14	0.09	18.12	39.00	0	0.51	0	0	100.03
105a	PR _{nr}	9_1 Ap*	39.10	3.14	0.09	18.00	38.83	0	0.57	0.54	0	100.27
105a	PR _{nr}	10_1 Ap*	38.49	4.13	0.09	17.75	38.75	0	0.44	0	0	99.46
1214	RF _{sk}	1 Ap	38.98	3.16	0.07	18.15	38.95	0	0.45	0.45	0	99.76
1214	RF _{sk}	2 Ap	38.98	4.82	0.09	18.18	38.84	0	0.39	0	0	101.30
1214	RF _{sk}	3 Ap	39.04	4.31	0.05	18.20	38.92	0	0.41	0.17	0	100.93
1214	RF _{sk}	4 Ap*	38.88	3.17	0.08	18.10	38.85	0	0.33	0.19	0	99.60
1214	RF _{sk}	5 Ap*	39.13	3.16	0	18.21	39.11	0	0	0.31	0	99.91
1214	RF _{sk}	6 Ap*	39.43	3.06	0.04	18.39	39.28	0	0.27	0	0	100.47
1214	RF _{sk}	7 Ap	39.20	3.21	0.09	18.23	39.24	0	0.44	0.15	0	100.56
1214	RF _{sk}	8 Ap*	39.31	3.17	0.04	18.28	39.34	0	0.51	0.35	0	100.65
1214	RF _{sk}	9 Ap*	39.17	3.37	0	18.22	39.07	0	0	0	0	99.87
1214	RF _{sk}	10 Ap	39.24	3.00	0.06	18.25	39.27	0	0.23	0.16	0	100.21
1214	RF _{sk}	11 Ap*	39.08	4.05	0.01	18.12	39.27	0	0	0.28	0	100.53
1214	RF _{sk}	12 Ap*	39.05	3.20	0.09	18.13	39.18	0	0	0.31	0	99.96
1214	RF _{sk}	13 Ap	39.41	2.85	0	18.27	39.63	0	0.57	0.23	0	99.81
1214	RF _{sk}	14 Ap*	39.00	3.56	0.07	18.12	39.06	0	0	0.41	0	99.81
1214	RF _{sk}	15 Ap	39.11	3.35	0.05	18.16	39.25	0	0.41	0	0	100.33
27_1	RF _{pv}	1_1 Ap	38.98	3.43	0.07	17.94	38.92	0	0	0.74	0	100.08
27_1	RF _{pv}	2_1 Ap	38.71	4.00	0.09	17.80	38.56	0	0.32	0.63	0	100.11
27_1	RF _{pv}	3_3 Ap	38.84	3.88	0.10	17.83	38.69	0	0.34	0.70	0	100.37
27_1	RF _{pv}	4_1 Ap	38.83	3.26	0.11	17.85	38.75	0	0.26	0.55	0	99.61

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27_1	RF ₂ pv	5_1 Ap	38.77	3.20	0	17.88	38.97	0	0	0.48	0	99.30
27_1	RF ₂ pv	6_1 Ap	38.89	3.30	0	17.85	39.24	0	0	0.67	0	99.95
27_1	RF ₂ pv	7_1 Ap	38.98	3.43	0.09	17.87	39.07	0	0.26	0.60	0	100.29
27_1	RF ₂ pv	8_1 Ap	39.13	4.00	0	18.03	39.18	0	0.25	0.58	0	101.16
27_1	RF ₂ pv	9_1 Ap	38.85	3.23	0.10	17.90	38.67	0	0.26	0.53	0	99.54
27_1	RF ₂ pv	10_1 Ap	38.93	3.31	0.09	17.96	38.86	0	0	0.47	0	99.62
27_1	RF ₂ pv	11_1 Ap	39.02	3.02	0	17.97	38.93	0	0.48	0.67	0	100.09

Примечание. * Отмечены зерна с перламутровым блеском.

Notes. * Grains with pearly sheen are marked.

его кристаллизации). Внутренние факторы определяют развитие у апатита только главных граней {1010}, {0001}, {1011}, {1120}. Внешние факторы приводят к ограниченному развитию главных граней, появлению граней {2021}, {1121}, {2131} и др. и существенно влияют на габитус кристаллов апатита [19]. Наличие в кристаллах апатитов из пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты кроме обычных граней призмы {1010}, пинакоида {0001}, дипирамиды {1011}, {1121}, дополнительных граней {2131}, {2021}, которые не обнаружены в апатитах из пород пуйвинской свиты, очевидно, связано с более высоким метаморфизмом пород.

Различными условиями метаморфизма может быть объяснена пониженная концентрация иттрия в апатитах из пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты в сравнении с апатитами из пород пуйвинской свиты. Влияние метаморфизма на распределение РЗЭ в апатитах отмечалось А.А. Краснобаевым и В.В. Холодным [20]. Ими установлено, что в гранулитах тараташского комплекса преобладают апатиты с содержанием цериевых РЗЭ (La), а в метаморфитах ильменогорской свиты (амфиболитовая фация) – иттриевых РЗЭ (Y).

Заслуживает внимания различие в содержании стронция в апатитах из пород няртинского комплекса (повышенные содержания), с одной стороны, и пуйвинской свиты (пониженные содержания) – с другой. Это также может быть связано с различиями в степени метаморфизма (особенно давления), с учетом того, что стронций, имеющий более высокий атомный вес в сравнении с кальцием, увеличивает удельный вес апатита. Промежуточные значения содержаний стронция в апатитах из пород щокурьинской свиты, возможно, связаны с диафторезом пород (уменьшение стронция при диафторезе).

В литературе приведены факты возрастания содержания галогенов в гидроксилсодержащих минералах с увеличением степени метаморфизма пород [18]. По полученным нами данным, четкой зависимости между содержанием галогенов в апатитах и фациальной принадлежности вмещающих их пород не установлено, а количество галогена (фтора) в минерале варьирует в широких пределах (2,39–4,82 %). Это может быть связано с полихронным характером проявления процессов метаморфизма пород. Вопрос требует дополнительного изучения на более представительном материале.

Наличие в апатитах из пород няртинского комплекса и щокурьинской свиты включений монацита, которые

располагаются в виде мелких зерен по краю кристалла, скорее всего, связано с гранитизацией. Подобная картина отмечается в апатитах из зон чарнокитизации гранулитов [21]. Этот факт объясняется инконгруэнтным растворением фтор-apatита в комплексных флюидах, что подтверждено в экспериментах по взаимодействию фтор-apatита с растворами H₂O-KCl, H₂O-HCl и H₂O-H₂SO₄ при температурах до 900° С и давлениях 500 и 1000 МПа [22–25, цитир. по 21].

Присутствие в породах няртинского комплекса и щокурьинской свиты двух разновидностей апатитов, очевидно, связано с полиметаморфизмом. При этом апатит с перламутровым отливом обязан своему появлению в породах процессам средне-низкотемпературного диафтореза. Такое предположение представляется наиболее предпочтительным, поскольку в сильно диафторированных породах щокурьинской свиты количество его значительно выше, чем в слабодиафторированных породах няртинского комплекса. В отдельных пробах из сланцев щокурьинской свиты такие апатиты составляют более 90 % от общего содержания этого минерала. Вероятно, с процессами диафтореза связано появление параллельной трещиноватости в зернах апатита с перламутровым оттенком, а также значительное уменьшение твердых и газовой-жидких включений. Во всяком случае декрипитация водно-солевых включений в минералах, вплоть до полного их исчезновения в породах, претерпевших регрессивный метаморфизм, – явление широко распространенное [21].

Проведенное ранее изучение спектроскопических свойств апатитов из пород няртинского комплекса, щокурьинской и пуйвинской свит [14] показывает, что апатиты из кристаллических сланцев няртинского комплекса, так же как и из пород щокурьинской свиты, характеризуются аномально высокой яркостью свечения Mn²⁺, что, вероятно, связано с широким проявлением в породах процессов гранитизации, так как именно породам, генетически связанным с гранитоидами, присущи минералы с ведущей ролью люминогена Mn²⁺ [26]. Другие ЦЛ характеризуются низкой яркостью. В ЭПР спектрах этих апатитов выделены ПЦ Mn²⁺, F-центр, F⁻ - O⁻ - F⁻. По интенсивности сигналов от всех ПЦ и характеру распределения отдельных ПЦ в спектрах изученные апатиты практически идентичны. В апатитах из хлорит-мусковит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свиты доминируют ЦЛ Ce³⁺ и Mn²⁺. В ЭПР спектрах выделяются ПЦ Mn²⁺, F-центр, F⁻ - O⁻ - F⁻. При этом интенсивность перечисленных ПЦ в разных пробах различна.

Заключение

Изучение апатитов из метаморфических образований Приполярного Урала показывает, что этот минерал может использоваться как индикатор условий метаморфизма пород. По типоморфным особенностям апатитов можно судить не только о сходстве или различии в степени метаморфизма сравниваемых породных ассоциаций, но и решать важную задачу по разделению моно- и полиметаморфических образований, в частности, отличия зеленосланцевых комплексов проградного метаморфизма от комплексов зеленосланцевых диафторитов. В качестве типоморфных признаков апатитов, связанных с метаморфизмом пород, могут использоваться морфологические особенности кристаллов, наличие, минеральный состав и количество твердых и газовой-жидких включений, химический состав самого минерала (содержание стронция, качественный состав и содержание РЗЭ), спектроскопические свойства. Отметим также имеющиеся в литературе данные о возрастании содержания галогенов в гидроксилсодержащих минералах с увеличением степени метаморфизма пород – вопрос, который требует дополнительных исследований.

Некоторые типоморфные особенности апатитов связаны с процессами гранитизации (мелкие включения монацита по периферии зерен апатита). Этот факт может быть полезен при диагностике низкотемпературных диафторитов, в которых признаки гранитизации пород, как и признаки ранее проявленного высокотемпературного метаморфизма, часто «затушеваны» и визуально не распознаются.

Результаты исследований подтверждают представление о принадлежности метаморфических пород няртинского комплекса (включающего зону низкотемпературных диафторитов, выделяемых ранее как маньхобейнская свита) и щокурьинской свиты к одному структурному этажу.

Литература

1. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). – Екатеринбург, 1994.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист Q-40, 41 – Воркута. Объяснительная записка / Н.Г. Берлянд, В.М. Богомазов, Г.В. Важенин [и др.]. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. – 342 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-41-XXV. Объяснительная записка / В.Н. Иванов, Т.Б. Жаркова, И.Ю. Курзанов [и др.]. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. – 210 с.
4. Пыстин, А.М. Базальные отложения верхнего докембрия в Тимано-Североуральском регионе / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Литосфера. – 2014. – № 3. – С. 41–50.
5. Пыстин, А.М. Докембрий Приполярного Урала: хроностратиграфический аспект / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Труды Карельского научного центра РАН, № 7. Серия Геология Докембрия. – 2019. – № 2. – С. 34–52.
6. Пыстина, Ю.И. Нижний докембрий в структуре палеозой на Приполярном Урале / Ю.И. Пыстина, А.М. Пыстин, В.Б. Хубанов // Докл. РАН. – 2019. – Т. 486, № 5. – С. 572–576.
7. Пыстин, А.М. Геологическая позиция и возраст маньхобейнской свиты (RF₁?) на Приполярном Урале / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 9. – С. 3–9.
8. Пыстин, А.М. Геологическая позиция и возраст щокурьинской свиты на Приполярном Урале / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 10. – С. 3–9.
9. Фишман, М.В. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала / М.В. Фишман, Б.А. Голдин. – Ленинград: Наука, 1963. – 105 с.
10. Пучков, В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении) / В.Н. Пучков – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
11. Пыстин, А.М. Первые результаты U-Pb датирования детритовых цирконов из базальных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина, В.Б. Хубанов // Докл. РАН. – 2019. – Т. 488, № 2. – С. 54–57.
12. Pystin, A.M. U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: Evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic Age / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina, N.S. Ulyasheva, O.V. Grakova // International Geology Review. – 2020. – Vol. 62, № 17. – P. 2189–2202.
13. Пыстина, Ю.И. Морфологические особенности цирконов из метаморфических пород и гранитоидов Тимано-Уральского региона / Ю.И. Пыстина, А.М. Пыстин // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2018. – № 3. – С. 74–82.
14. Пыстина, Ю.И. Минералогическая стратиграфия метаморфических образований Приполярного Урала // Ю.И. Пыстина. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 124 с.
15. Пыстина, Ю.И. Цирконовая летопись уральского докембрия / Ю.И. Пыстина, А.М. Пыстин. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. – 167 с.
16. Пыстин, А.М. Карта метаморфизма Приполярного и южной части Полярного Урала / А.М. Пыстин. – Сыктывкар, 1991. – 20 с. – (Серия препринтов «Научные доклады» Коми НЦ УрО АН СССР).
17. Бушляков, И.Н. Галогены в петрогенезисе и рудоносности гранитоидов / И.Н. Бушляков, В.В. Холоднов. – Москва: Наука, 1986. – 190 с.
18. Бушляков, И.Н. Галогены в эндогенном петрогенезисе: автореф. дис ... д-ра геол.-мин. наук / И.Н. Бушляков. – Свердловск, 1989. – 46 с.
19. Путивцева, Н.В. Морфология апатита / Н.В. Путивцева // Изв. вузов, геол. и разведка. – 1985. – № 2. – С. 31–37.
20. Краснобаев, А.А. Редкоземельные элементы в апатитах и цирконах из гранитоидов и метаморфитов гнейсово-мигматитовых комплексов Урала и их петрологическая информативность / А.А. Краснобаев, В.В. Холоднов // Кристаллохимические особенности силикатных минералов Урала. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. – С. 14–40.
21. Сафонов, О.Г. Минеральные индикаторы реакций с участием солевых компонентов флюидов в глубокой литосфере / О.Г. Сафонов, В.Г. Бутвина, Е.В. Лиманов, С.А. Косова // Петрология. – 2019. – Т. 27, № 5. – С. 525–556.

22. Harlov, D.E. High-grade fluid metasomatism on both a local and regional scale: the Seward Peninsula, Alaska and the Val Strona di Omegna, Ivrea-Verbano Zone, northern Italy. Part I: Petrography and silicate mineral chemistry / D.E. Harlov, H.J. Förster // *J. Petrol.* – 2002. – V. 43 – P. 769–799.
 23. Harlov, D.E. An experimental study of dissolution–reprecipitation in fluorapatite: fluid infiltration and the formation of monazite / D.E. Harlov, R. Wirth, H.J. Förster // *Contrib. Mineral. Petrol.* – 2005. – V. 150. – P. 268–286.
 24. Harlov, D.E. The potential role of fluids during regional granulite-facies dehydration in the lower crust / D.E. Harlov // *Geosci. Front.* – 2012. – V. 3 – P. 813–27.
 25. Harlov, D.E. Apatite: A fingerprint for metasomatic processes / D.E. Harlov // *Elements.* – 2015. – V. 11 – P. 171–176.
 26. Носырев, И.В. Петрогенетические особенности гранитоидов Украинского щита по данным изучения циркона и других акцессорных минералов / И.В. Носырев, В.М. Робул, И.Б. Щербаков // *Типоморфизм, синтез и использование цирконов.* – Киев, 1989. – С. 111–119.
- References**
1. StrStratigraficheskije shemy Urala (dokembrij, paleozoij) [Stratigraphic charts of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. – Yekaterinburg, 1994.
 2. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000. List Q-40, 41–Vorkuta. Obyasnitelnaya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. Sheet Q-40, 41 – Vorkuta. Explanatory note] / N.G. Berlyand, V.M. Bogomazov, G.V. Vazhenin [et al.]. – St. Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 2001. – 342 p.
 3. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. Masshtab 1:200 000. Seriya Severo-Uralskaya. List Q-41-XXV. Obyasnitelnaya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. The North-Ural Series. Sheet Q-41-XXV. Explanatory note]. / V.N. Ivanov, T.B. Zharkova, I.Yu. Kurzanov [et al.]. – St. Petersburg: Cartographic Factory VSEGEI, 2001. – 210 p.
 4. Pystin, A.M. Bazalnye otlozheniya verhnego dokembriya v Timano-Severouralskom regione [Basal deposits of the Upper Precambrian in the Timan-Northern Ural region] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina // *Litosphere.* – 2014. – No. 3. – P. 41–50.
 5. Pystin, A.M. Dokembrio Pripolyarnogo Urala: khronostratigraficheskio aspect [Precambrian of the Subpolar Urals: chronostratigraphic aspect] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina // *Proceedings of the Karelian Science Centre of the RAS, No. 7. Precambrian Geology Series.* – 2019. – No. 2. – P. 34–52.
 6. Pystina, Yu.I. Nizhnii dokembriy v strukture paleozoid pripolyarnogo Urala [The Lower Precambrian in the structure of paleozoids of the Subpolar Urals] / Yu.I. Pystina, A.M. Pystin, V.B. Khubanov // *Reports of the RAS.* – 2019. – Vol. 486, No. 5. – P. 609–612.
 7. Pystin, A.M. Geologicheskoye polozheniye i vozrast man-hobeyuskoj svity (RF1?) na Pripolyarnom Urale [Geological position and age of the Mankhobei Formation (RF1?) in the Subpolar Urals] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina // *Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS.* – 2018. – No. 9. – P. 3–9.
 8. Pystin, A.M. Geologicheskoye polozheniye i vozrast shchokurinskoy svity na Pripolyarnom Urale [Geological position and age of the Shchokurin Formation in the Subpolar Urals] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina // *Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS.* – 2018. – No. 10. – P. 3–9.
 9. Fishman, M.V. Granitoidy tsentralnoy chasti Pripolyarnogo Urala [Granitoids of the central part of the Subpolar Urals] / M.V. Fishman, B.A. Goldin. – Leningrad: Nauka, 1963. – 105 p.
 10. Puchkov, V.N. Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)] / V.N. Puchkov. – Ufa: DesignPolygraphService, 2010. – 280 p.
 11. Pystin, A.M. Pervyye rezultaty U-Pb datirovaniya detritovykh tsirkonov iz verkhnedokembriyskikh bazalnykh otlozheniy Pripolyarnogo Urala [First results of U-Pb dating of detrital zircons from the Upper Precambrian basal deposits of the Subpolar Urals] / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina, V.B. Khubanov // *Reports of the RAS.* – 2019. – Vol. 488, No. 2. – P. 1031–1034.
 12. Pystin, A.M. U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: Evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic Age / A.M. Pystin, Yu.I. Pystina, N.S. Ulyasheva, O.V. Grakova // *International Geology Review.* – 2020. – Vol. 62, No. 17. – P. 2189–2202.
 13. Pystina, Yu.I. Morfologicheskkiye osobennosti tsirkonov iz metamorficheskikh porod i granitoidov Timano-Uralskogo regiona [Morphological features of zircons from metamorphic rocks and granitoids of the Timan-Ural region] / Yu.I. Pystina, A.M. Pystin // *Vestnik of VSU. Series: Geology.* – 2018. – No. 3. – P. 74–82.
 14. Pystina, Yu. I. Mineralogicheskaya stratigrafiya metamorficheskikh obrazovaniy Pripolyarnogo Urala [Mineralogical stratigraphy of metamorphic formations of the Subpolar Urals] / Yu.I. Pystina. – Yekaterinburg: Ural Branch of the RAS, 1997. – 124 p.
 15. Pystina, Yu. I. Tsirkonovaya letopis Uralskogo dokembriya [Zircon chronicle of the Ural Precambrian] / Yu.I. Pystina, A.M. Pystin. – Yekaterinburg: Publishing house of the Ural Branch of the RAS, 2002. – 168 p.
 16. Pystin, A. M. Karta metamorfizma Pripolyarnogo i yuzhnoy chasti Polyarnogo Urala [Map of metamorphism of the Subpolar and southern part of the Polar Urals] / A.M. Pystin. – Syktyvkar, 1991. – 20 p. – (A series of preprints "Scientific reports" of the Komi Science Centre, Ural Branch of the USSR Academy of Sciences).
 17. Bushlyakov, I.N. Galogeny v petrogenезе i rudonosnosti granitoidov [Halogens in petrogenesis and ore content of granitoids] / I.N. Bushlyakov, V.V. Kholodnov. – Moscow: Nauka, 1986. – 190 p.
 18. Bushlyakov, I.N. Galogeny v endogenom petrogenезе: avtoref. dis... d-ra geol.-min. nauk [Halogens in endogenous petrogenesis: abstract of a dissertation of a doctor of geological and mineralogical sciences] / I.N. Bushlyakov. – Sverdlovsk, 1989. – 46 p.

19. Putivtseva, N.V. Morfologiya apatita [Morphology of apatite] / N.V. Putivtseva // Proceedings of higher educational institutions, geol. and exploration. – 1985. – No.2. – P. 31–37.
20. Krasnobayev, A.A. Redkozemelnye elementy v apatitah i tsirkonah iz granitoidov i metamorfитов gneissovo-migmatitovykh komplekсов Urala i ih petrologicheskaya informativnost [Rare earth elements in apatites and zircons from granitoids and metamorphites of gneiss-migmatite complexes of the Urals and their petrological information content] / A.A. Krasnobayev, V.V. Kholodnov // Crystal chemical features of silicate minerals of the Urals. – Sverdlovsk: USC of the USSR Academy of Sciences, 1981. – P. 14–40.
21. Safonov, O.G. Mineralnyye indikatory reaktsii s prisutstviyem solevykh komponentov flyuidov v glubokoy litosfere [Mineral reaction indicators with the presence of salt components of fluids in the deep lithosphere] / O.G. Safonov, V.G. Butvina, Ye.V. Limanov, S.A. Kosova. – Petrology. – 2019. – Vol. 27, No. 5. – P. 525–556.
22. Harlov, D.E. High-grade fluid metasomatism on both a local and regional scale: the Seward Peninsula, Alaska and the Val Strona di Omegna, Ivrea–Verbano Zone, northern Italy. Part I: Petrography and silicate mineral chemistry / D.E. Harlov, H.J. Förster // J. Petrol. – 2002. – Vol. 43. – P. 769–799.
23. Harlov, D.E. An experimental study of dissolution–reprecipitation in fluorapatite: fluid infiltration and the formation of monazite / D.E. Harlov, R. Wirth, H.J. Förster // Contrib. Mineral. Petrol. – 2005. – Vol. 150. – P. 268–286.
24. Harlov, D.E. The potential role of fluids during regional granulite-facies dehydration in the lower crust / D.E. Harlov // Geosci. Front. – 2012. – Vol. 3. – P. 813–27.
25. Harlov, D.E. Apatite: A fingerprint for metasomatic processes / D.E. Harlov // Elements. – 2015. – Vol. 11. – P. 171–176.
26. Nosyrev, I.V. Petrogeneticheskie osobennosti granitoidov Ukrainского shchita po dannym izucheniya tsirkona i drugikh aktsessornykh mineralov [Petrogenetic features of granitoids of the Ukrainian shield based on the study of zircon and other accessory minerals] / I.V. Nosyrev, V.M. Robul, I.B. Shcherbakov // Typomorphism, synthesis and use of zircons. – Kiev, 1989. – P. 111–119.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 102106221107-6-1.5.6; FUUU-2022-0085.

Информация об авторах:

Пыстина Юлия Ивановна – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; профессор Сыктывкарский Государственный Университет им. Питирима Сорокина (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский пр-т, д. 55; e-mail: yuliya_pystina@mail.ru).

About the authors:

Yulia I. Pystina – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor at Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; 55, Oktyabrsky Pros., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: yuliya_pystina@mail.ru).

Для цитирования:

Пыстина, Ю.И. Типоморфизм апатитов метаморфических пород Приполярного Урала (бассейна реки Кожим) / Ю.И. Пыстина // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 55–63. УДК 549:553.81.068.5:551.734.3 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-55-63

For citation:

Pystina, Yu.I. Typomorphism of apatites from metamorphic rocks of the Subpolar Urals (basin of the river Kozhim) / Yu.I. Pystina // Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – pp. 55–63. УДК 549:553.81.068.5:551.734.3 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-55-63

Дата поступления рукописи: 21.03.2022

Прошла рецензирование: 29.03.2022

Принято решение о публикации: 04.04.2022

Received: 21.03.2022

Reviewed: 29.03.2022

Accepted: 04.04.2022