

**Ю.В. Денисова**

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

## ГЕОХИМИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЦИРКОНЕ ИЗ ГРАНИТОВ КУЗЬПУАЮСКОГО МАССИВА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Многие вопросы генезиса магматических горных пород, гидротермально-метасоматических процессов, процессов рудообразования могут быть решены путем изучения акцессорных минералов, содержащих редкие земли. Одним из наиболее информативных акцессорных минералов является циркон, который в ходе роста фиксирует все изменения, происходящие в среде минералообразования, в своем составе, структуре и морфологии. Проведенный анализ содержания редких элементов в цирконах из гранитов Кузьпуаюского массива выявил отсутствие ряда элементов. Дефицит Tb, Ho, Tm указывает на образование изученных гранитов при высокой температуре и активной роли кислорода. Нормирование содержаний TR по хондриту McDonough и Sun для циркона выявило постепенное накопление этих элементов в течении всего периода формирования кузьпуаюских гранитов.

**Ключевые слова:** циркон, гранит, редкие земли, Кузьпуаюский массив, Приполярный Урал.

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2023.28**

В пределах изученного района Приполярного Урала, являющейся областью наиболее древней периферической части Уральского подвижного пояса, развиты магматические образования различного возраста, в том числе и средне- и позднерифейские интрузии, к которым относятся и исследованные породы (рис.1). Кузьпуаюский массив представляет собой гранитное тело штокообразной формы, прорывающее верхнерифейские отложения хобейнской и мороинской свит в бассейне руч. Кузьпуаю [6,7,8]. Породами массива являются среднезернистые граниты розово-зеленого цвета с массивной грубоплитчатой текстурой с хорошо выраженной тектонической гнейсоватостью. Минеральный состав гранитов представлен калиево-натриевым полевым шпатом (52 %), кварцем (32 %), плагиоклазом (11 %), мусковитом (1 %), биотитом (4 %) [4, 8]. Анализ среднего состава пород Кузьпуаюского массива ( $\text{SiO}_2 = 77,25 \%$ ,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7,67$ ) позволяет рассматривать эти образования как лейкогранит. Изучение геохимии гранитов выявило обогащение этих пород легкими редкоземельными элементами относительно хондрита по Sun [3, 9, 10].

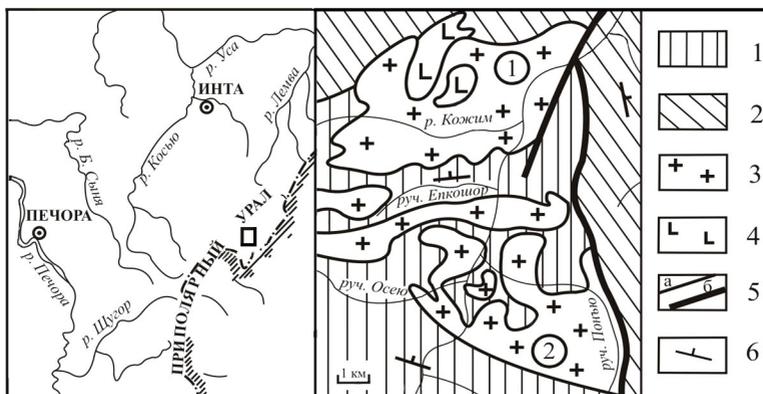


Рис. 1. Кузьпуаууский массив. 1 – слюдяно- кварцевые сланцы, зеленые ортосланцы, кварциты; 2 – слюдяно- кварцевые сланцы, порфиры, порфириты, прослои мраморов и кварцитов; 3 – граниты; 4 – габбро; 5 – геологические границы: а – стратиграфические и магматические, б – тектонические; б – элементы залегания плоскостных структур. Массивы (цифры в кружочках): 1 – Кузьпуаууский; 2 – Кожимский

Целью представленной работы является изучение распределения редкоземельных элементов в акцессорном цирконе из гранитов Кузьпуаууского массива (Приполярный Урал).

Циркон из гранитов Кузьпуаууского массива по морфологическим признакам разделяется на три типа. К первому морфологическому типу относятся прозрачные короткопризматические минералы светло-желтого цвета, облик которых обусловлен развитием призмы (110) и дипирамиды (111). Размер кристаллов 0,10 - 0,25 мм. Коэффициент удлинения 0,5 - 1,1. Содержание цирконов этого типа оставляет 70 % от общего объема минерала в породе. Второй морфологический тип – это прозрачные короткопризматические минерала коричневого цвета. У зерен типа II отмечаются призмы (100), (110) и дипирамида (111). Размер кристаллов 0,10 - 0,20 мм. Коэффициент удлинения 0,6 - 1,0. Содержание цирконов второго типа в среднем 10 % от общего объема минерала в породе. Третий морфологический тип составляют прозрачные длиннопризматические минералы светло-желтого цвета, габитус которых обусловлен развитием граней (100), (110). Размер кристаллов 0,5 – 1,1 мм, коэффициент удлинения 2,0 - 4,0 (в отдельных случаях достигает 6,0). Содержание циркона типа III составляет 20 % от общего состава содержания минерала в породе [1, 2].

Определение содержаний редких земель в цирконе Кузьпуйского массива проведено с помощью микрозондового анализа, выполненного в ЦКП Геонаука Института геологии Коми НЦ УрО РАН (комплекс Vega3 Tescan, аналитик Шевчук С. С.). Содержания TR определены как в центральной (ц), так и в краевой (к) зоне минерала (Таблица 1).

Таблица 1  
*Медальные содержания REE для циркона Кузьпуйского массива.*

Элемент, мас. %	Морфологический тип					
	I		II		III	
	ц	к	ц	к	ц	к
La	0,18	0,21	0,03	0,09	0,12	0,15
Ce	0,52	0,55	0,42	0,44	0,45	0,48
Pr	0,08	0,1	0,04	0,05	0,06	0,07
Nd	0,25	0,29	0,09	0,15	0,19	0,22
Sm	0,35	0,36	0,19	0,21	0,29	0,32
Eu	0,05	0,06	0,02	0,03	0,04	0,04
Gd	0,45	0,46	0,36	0,39	0,41	0,44
Tb	0	0	0	0	0	0
Dy	0,52	0,55	0,37	0,41	0,44	0,48
Ho	0	0	0	0	0	0
Er	0,51	0,52	0,38	0,41	0,43	0,47
Tm	0	0	0	0	0	0
Yb	0,82	0,84	0,55	0,65	0,71	0,75
Lu	0,59	0,62	0,46	0,49	0,56	0,58
Σ	4,32	4,56	2,91	3,32	3,70	4,00

Как мы видим, в составе цирконов Кузьпуйского массива отсутствуют три редкоземельных элемента, а именно Tb, Ho, Tm. Это указывает на формирование исследуемых пород при высоких температурах, что подтверждается ранними исследованиями автора, согласно которым температурный диапазон для этих пород составляет 700 °С - 900 °С. Потере этих элементов так же способствует активная роль кислорода при гранитогенезе: на начальном этапе формировались оксиды Tb<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Tm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, на поздней стадии кристаллизовался монацит [4, 5].

Прежде чем приступить к нормированию полученных данных по хондриту McDonough и Sun [12], определим последовательность

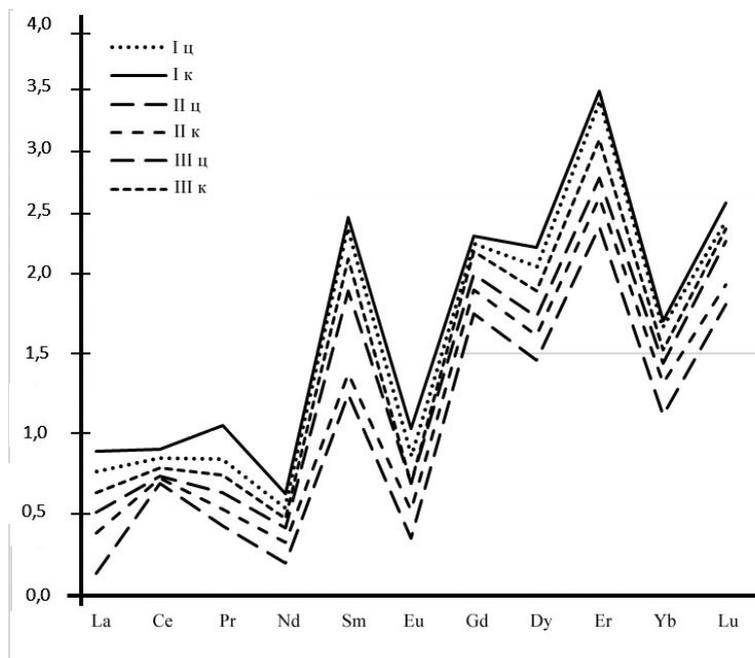


Рис. 2. Нормированные спектры распределения REE (по McDonough, Sun, 1989) для цирконов Кузьпуаюского гранитного массива

кристаллизации морфологических типов кузьпуаюского циркона на основании содержания гафния. Согласно данным микрозондового анализа, для циркона типа I содержание гафния в среднем составляет 1,41 мас. %, для циркона II типа - 1,13 мас. %, для циркона III типа - 1,28 мас. %). Это позволяет утверждать, что кристаллизация циркона началась с формирования коричневого короткопризматического циркона, позднее образовался светло-желтый длиннопризматический циркон и на завершающей стадии происходило формирование светло-желтого короткопризматического циркона.

Нормирование средних содержаний редких элементов циркона (за исключением Tb, Ho, Tm) по хондриту (Таблица 2) показало, что все выделенные морфологические типы минерала характеризуются повышенным содержанием TR, преимущественно насыщен тяжелыми редкоземельными элементами (в 1,5-2,9 раза относительно хондрита по McDonough и Sun). Наиболее насыщен редкими землями циркон I типа, образовавшийся в позднюю магматическую стадию. Как мы видим из графика (рис. 1) во время кристаллизации цирконов Кузьпуаюского

массива происходило постепенное накопление почти редких элементов. Накопление Sm, Pr резко усилилось к концу петрогенеза. Содержание Ce оставалось практически неизменным в период ранней магматической стадии.

Таблица 2

*Нормализация содержаний TR для циркона Кузьпуюского массива по хондриту*

Элемент	Cl, мас. %	Морфологический тип, мас. %					
		I		II		III	
		ц	к	ц	к	ц	к
La	237	0,76	0,89	0,13	0,38	0,51	0,63
Ce	612	0,85	0,90	0,69	0,72	0,74	0,78
Pr	95	0,84	1,05	0,42	0,53	0,63	0,74
Nd	467	0,54	0,62	0,19	0,32	0,41	0,47
Sm	153	2,29	2,35	1,24	1,37	1,90	2,09
Eu	58	0,86	1,03	0,34	0,52	0,69	0,69
Gd	205,5	2,19	2,24	1,75	1,90	2,00	2,14
Dy	254	2,05	2,17	1,46	1,61	1,73	1,89
Er	165,5	3,08	3,14	2,30	2,48	2,60	2,84
Yb	493	1,66	1,70	1,12	1,32	1,44	1,52
Lu	254	2,32	2,44	1,81	1,93	2,20	2,28

Все диаграммы характеризуется преобладанием редкоэлементной Y- группы над Ce- группой, а так же четко проявленными положительными Sm, Er (Ce для ранней стадии магматического этапа) и отрицательной Nd, Eu аномалии.

Более низкие содержания Ce- группы элементов по сравнению с содержаниями элементов Y- группы указывает на повышенное содержание плагиоклазов в цирконсодержащей породе, в состав которых породы часть редкоземельных элементов (преимущественно цериевой группы) входит в качестве изоморфной примеси. Элементы Ce- группы из остаточных расплавов образуют алланит. Элементы иттриевой группы в остаточных расплавах могут отмечаться в виде изоморфной примеси в ряде акцессорных минералов (циркон, апатит, гранат и др.). Положительная Ce- аномалия указывает на повышенную фугитивность кислорода. Увеличение содержания церия отмечает изменение степени окисления элементов в магматическом расплаве. Согласно полученному графику, высокая летучесть кислорода в материнском расплаве характерна для ранней стадии гранитогенеза, к поздней роль кислорода ослабевает. Несмотря на то, что в процессе роста минерала европий так же накапливался, но дефицит этого элемента отмечается во всех

морфологических типах кузьпуаюского циркона. Отмечаемая аномалия в цирконе является характерной для гранитов, что является следствием влияния кристаллизационной дифференциации на процессы преобразования расплавов, в результате которого в расплаве происходило активное удаление (фракционирование) полевых шпатов [11].

Анализ распределения редких элементов в цирконе Кузьпуаюского гранитного массива (Приполярный Урал) выявил отсутствие нескольких элементов (Ть, Но, Тм), что позволяет сделать вывод о высокой температуре и активной роли кислорода на всех этапах гранитообразования. Нормирование по хондриту содержаний TR выявило повышенные содержания TR, преимущественно тяжелыми редкоземельными элементами. Максимальная летучесть кислорода в расплаве определена по Се-аномалии для ранней стадии гранитогенеза в период формирования магнетита и ильменита, к поздней роль кислорода ослабевает и количество минералов железа снижается. Дефицит Eu сохраняется со временем, что указывает на практически неизменное влияние кристаллизационной дифференциации на процессы преобразования материнского расплава.

*Библиографический список:*

1. Денисова Ю.В. Типоморфические и типохимические особенности акцессорных цирконов гранитоидов Приполярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, № 5, 2014. С. 9 - 16.
2. Денисова Ю.В. Термометрия циркона из гранитоидов Приполярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, № 12, 2016. С. 37 - 44.
3. Денисова Ю.В. Геодинамические условия образования Кузьпуаюского гранитного массива (Приполярный Урал) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, № 19. Апатиты, 2022. С. 103-102. <https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.019>.
4. Краснобаев А.А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 152 с.
5. Ляхович В.В. Редкие элементы в акцессорных минералах гранитоидов. М.: Недра, 1973. 310 с.
6. Махлаев Л. В. Гранитоиды севера Центрально- Уральского поднятия (Полярный и Приполярный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 189 с.
7. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско- раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры // Литосфера. 2008. № 11.
8. Фишман М.В., Голдин Б. А. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала. М.- Л.: АН СССР, 1963. 105 с.
9. 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.
10. Фишман М.В., Юшкин Н.П., Голдин Б.А., Калинин Е.П. Основные черты магматизма и метаморфизма в центральной части Приполярного и Полярного Урала // Геохимия, минералогия и петрография севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1969. С. 7 – 25.

11. Шардакова Г.Ю., Шагалов Е.С. Распределение редких элементов в породообразующих и аксессуарных минералах гранитоидов урала / геохимия, 2004, № 3, с. 254-269.
12. Sun S.S., McDonough W. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications 1989; v. 42; p. 313-345 doi:10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19

GEOCHEMISTRY OF RARE ELEMENTS IN ZIRCON FROM  
GRANITES OF THE KUZPUAYU MASSIF (THE SUBPOLAR  
URALS)

**Yu. V. Denisova**

*yulden777@yandex.ru*

Many questions of the genesis of igneous rocks, hydrothermal-metasomatic processes, ore formation processes can be solved by studying accessory minerals containing rare earths. One of the most informative accessory minerals is zircon, which during growth records all the changes occurring in the mineral formation environment in its composition, structure and morphology. The analysis of the contents of rare elements in zircons from the granite of the Kuzpuayu massif revealed the absence of a number of elements. The deficiency of Tb, Ho, Tm indicates the formation of the studied granites at high temperature and the active role of oxygen. Normalization of TR contents by McDonough and Sun chondrite for zircon revealed a gradual accumulation of these elements during the entire period of formation of the Kuz'puayu granites.

*Keywords: zircon, granite, rare earths, the Kuzpuyu massif, the Subpolar Urals.*