

УДК: 550.4, 551.2, 552.3
DOI 10.19110/1994-5655-2020-1-80-87

Ю.В. ДЕНИСОВА

**ПЕТРОХИМИЯ ГРАНИТОВ
ЯРОТСКОГО МАССИВА
(ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ): НОВЫЕ ДАННЫЕ**

*Институт геологии им. акад. Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар*

yulden777@yandex.ru

YU.V. DENISOVA

**PETROCHEMISTRY
OF THE YAROT MASSIF GRANITES
(SUBPOLAR URALS): NEW DATA**

*N.P.Yushkin Institute of Geology,
Federal Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktyvkar*

Аннотация

В работе представлены результаты силикатного анализа гранитов Яротского массива (Приполярный Урал). В ходе исследования детально рассмотрен химический состав породы; содержания основных петрогенных компонентов (SiO_2 , K_2O , Na_2O) позволили определить ее как лейкогранит калиево-натриевого типа, обладающий признаками высококалийного образования. Маркер в виде отношений оксидов главных щелочных металлов показал, что начальным субстратом для формирования пород Яротского массива был магматический протолит. Данные ICP-MS метода позволили получить информацию не только об особенностях материнских расплавов, но и о геодинамических условиях образования Яротского массива. Индикаторные отношения (La/Lu , Eu/Eu^* , Th/U , Nb/Ta , Y/Nb) и нормализация по хондриту и плагиограниту COX показали, что рассматриваемые породы сформировались из TR обогащенных расплавов, относящихся к глубинному источнику корового типа. Классификационные диаграммы Дж. А. Пирса и Д. Папу подтвердили выводы Л. В. Махлаева, согласно которым яротские породы являются внутриплитовыми гранитами.

Ключевые слова:

гранит, Яротский массив, Приполярный Урал, С.С.Сан, плагиогранит COX, Дж.А.Пирс, Д. Папу

Abstract

The paper presents the results of silicate analysis of the Yarot granites massif (Subpolar Urals). During the study, the chemical composition of the rock was considered in detail; the contents of the main petrogenic components (SiO_2 , K_2O , Na_2O) made it possible to determine it as a potassium-sodium type leucogranite with signs of high-potassium formation. The marker in the form of ratios of oxides of the major alkaline metals showed that the initial substrate for the formation of rocks of the Yarot massif was magmatic protolith. The ICP-MS method data allowed to obtain information not only about the features of the parent melts, but also about the geodynamic conditions of the formation of the Yarot massif. Indicator relationships (La/Lu , Eu/Eu^* , Th/U , Nb/Ta , Y/Nb) and normalization by chondrite and plagiogranite MOR showed that the rocks in question were formed from TR enriched melts belonging to a deep crustal-type source. Classification diagram of J. A. Pierce and D. Papu confirmed L. V. Makhlaev's findings, according to which Yarot rocks are intraplate granites.

Keywords:

granite, Yarot massif, Subpolar Urals, S. S. Sun, plagiogranite MOR, J. A. Pierce, D. Papu

Введение

Западный склон Приполярного Урала находится в древней западной периферической части Уральской структуры, в области Центрально-Уральского антиклинория. Главной тектонической струк-

турой Приполярного Урала является Ляпинский антиклинорий, состоящий из нескольких более или менее параллельно простирающихся антиклиналей и синклиналей, который с запада ограничивается предгорным прогибом. Особенностью геологического строения Приполярного Урала является наличие перегиба в центральной части, что выражается в резком изменении простирания с почти меридионального на северо-восточное. В областях наибольшего воздымания структур обнажаются крупные интрузии, представленные главным образом гранитами, которые играют существенную роль в строении западного склона Приполярного Урала. Первая схема расчленения гранитоидов на разновозрастные комплексы была предложена М. В. Фишманом и Б. А. Голдиным [1], согласно которой исследователи выделяли два интрузивных комплекса – протерозойский и каледоно-герцинский. На сегодняшний день гранитные массивы Приполярного Урала на основе различий в возрасте гранитов, форме залегания, взаимоотношения гранитов с вмещающими породами принято относить к трем комплексам: раннепротерозойский николайшорский, предположительно среднерифейский кожимский и вендский (или вендско- раннекембрийский) сальнеро- маньхамбовский [2–4]. Яротский массив, представляющий собой секущие интрузии, прорывающие верхнерифейские отложения мороинской свиты, отнесен к сальнеро-маньхамбовскому комплексу.

Несмотря на то, что за прошедшие более чем полвека со времен появления первой схемы расчленения гранитоидов [1] гранитам Приполярного Урала были посвящены многочисленные исследования, в ходе которых получена обширнейшая информация по многим направлениям, в том числе и по конкретным проявлениям магматизма в регионе, вопрос об условиях формирования гранитов Приполярного Урала остается открытым.

Цель работы состояла в выявлении петрохимических особенностей гранитов и уточнении геодинамических условий формирования Яротского массива.

В структурном отношении участок, на котором расположен рассматриваемый массив, представляет собой западное крыло восточного антиклинального поднятия, круто падающего на восток. Яротский массив (рис. 1) определяется как узкое пластинообразное крутопадающее гранитное тело, которое протягивается в субмеридиональном направлении более чем на 6 км при ширине до 500 м. Массив пересекает долину р. Малая Ярота и приурочен к тому же протяженному дизъюнктиву, в зоне которого расположен Бадьяюский массив. Для яротских гранитов характерно практически повсеместное проявление наложенного динамоморфизма. Наиболее сохранившиеся граниты слагают не более 10 – 15 % от объема массива [5, 1, 6].

Методы исследования

Для определения петрографических и петрохимических особенностей Яротского гранитного мас-

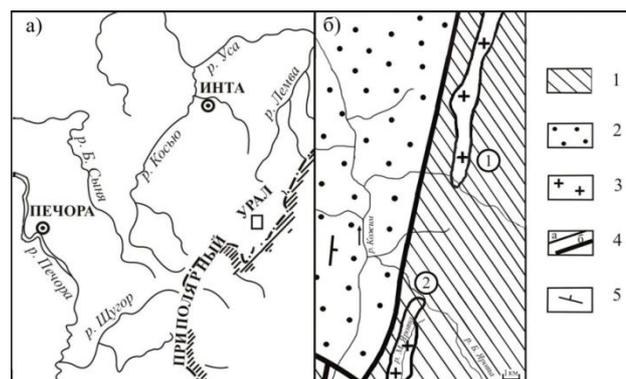


Рис. 1. а) Обзорная карта района Приполярного Урала (квадратом отмечена область исследования); б) Схема размещения гранитных массивов на правобережье р. Кожим (по Л. В. Махлаеву [5]).

1 – слюдяно-кварцевые сланцы, порфиры, порфириты, прослои мраморов и кварцитов; 2 – терригенно-карбонатные отложения; 3 – граниты; 4 – геологические границы: а – стратиграфические и магматические, б – тектонические; 5 – элементы залегания плоскостных структур.

Массивы: 1 – Бадьяюский; 2 – Яротский.

Fig. 1. a) Overview map of the Subpolar Urals (square marks the study area); b) Layout of granite massifs on the right bank of the Kozhim river (according to L. V. Makhlaev [5]): 1 – mica-quartz shales, porphyries, porphyrites, interlayers of marbles and quartzites; 2 – terrigenous-carbonate deposits; 3 – granites; 4 – geological boundaries: a – stratigraphic and magmatic, б – tectonic; 5 – elements of occurrence of planar structures.

Massifs: 1 – Badyayu; 2 – Yarot.

сива были отобраны штучные пробы в количестве 10 единиц. Каждая проба представляет собой образцы неизменной породы общим весом в среднем 10 – 15 кг. Изучение породообразующих минералов проводилось в шлифах под поляризационным микроскопом. Химические составы петрогенных элементов гранитов определены с помощью силикатного анализа в ЦКП «Геонаука» в ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, аналитик О.В.Кокшарова). Химические составы редких и редкоземельных компонентов получены с помощью ICP-MS метода в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург, аналитик Ю.Л.Ронкин).

Петрографические особенности гранитов Яротского массива

Наиболее сохранившиеся породы Яротского массива – это розоватые лейкократовые граниты, преимущественно бластокатакlastической структуры. Породы характеризуются массивной крупнопластчатой текстурой с хорошо выраженной тектонической гнейсоватостью. Минеральный состав гранитов представлен следующими минералами: щелочной полевой шпат (до 50 %), плагиоклаз (до 20 %), кварц (до 35 %), биотит (до 2 %), мусковит (до 3 %). Интенсивно катаклизированные граниты в свою очередь характеризуются повышенным содержанием мусковита (до 8 %) и альбита (до 20%) и изменением структуры на катакlastическую.

Преобладающим минералом является калиевый полевой шпат, образующий крупные (5–7 мм) субидiomорфные призматические зерна. Полевой шпат (около 30 % от общего объема минерала) интенсивно пертитизирован. Остальная часть породообразующего минерала является микроклином, который иногда замещается альбитом. Плаггиоклаз представлен двумя генерациями: плаггиоклаз первой генерации (преимущественно в виде идиоморфных призматических зерен) определяется как серицитизированный олигоклаз-альбит или кислый олигоклаз, вторая генерация плаггиоклаза формируется при катаклазе в процессе замещения плаггиоклаза I вида вторичным мусковитом и вторичным альбитом. Кварц образует округлые зерна, размер которых составляет 1–3 мм, а также различные жилки, линзы в областях наложенного окварцевания. При воздействии процессов катаклаза минерал претерпевает процесс гранулирования и отмечается в виде мелких зерен в составе породы. Биотит встречается в виде отдельных чешуек коричнево-зеленого цвета и локализуется вокруг зерен полевого шпата. На отдельных участках биотит замещается мусковитом. Акцессорные минералы представлены апатитом, гранатом, цирконом, титанитом и др. Среди рудных минералов преобладают пирит, молибденит, магнетит, ильменит [7, 8, 5].

Петрохимические особенности гранитов Яротского массива

Для выявления петрохимических особенностей пород были изучены содержания петрогенных (табл. 1), редких и редкоземельных (табл. 2) элементов.

Содержание SiO_2 изменяется от 74,59 до 75,89 мас. % и в среднем составляет 75,20 мас. %, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ – от 7,67 до 8,20 мас. % и в среднем – 7,99 мас. %, что соответствует лейкогранитам. По классификации С. Р. Тейлора [9] рассматриваемые граниты относятся к калиево-натриевому типу. Б. Чаппел и А. Уайт [10] ранее определили, что преобладание осадочной породы в гранитообразующем субстрате ведет к пониженному уровню $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (до 0,5). В нашем случае отношения оксидов главных щелочных металлов изменяются от 1,2 до 1,65 и в среднем составляют 1,46. Это позволяет говорить, что родоначальным субстратом для пород Яротского массива, вероятно, являлся магматический протолит [11]. По содержанию K_2O , которое в среднем составляет 4,59 мас. % (4,52–5,11 мас. %), изученные породы являются высококалиевыми. По величине коэффициента глиноземистости ($a_1' = 5,13$ (3,31–6,45)) граниты Яротского массива представляют собой высокоглиноземистые породы. Аггапто-

Таблица 1

Химический состав гранитов Яротского массива, мас. %

Table 1

Chemical composition of the Yarot massif granites, wt. %

Компонент	Номер пробы										Среднее	
	Я-1	Я-2	Я-3	Я-4	Я-5	Я-6	Я-7	Я-8	Я-9	Я-10		
SiO_2	75,52		75,02	74,59	74,89	74,86	75,69	75,89	75,27	75,48	74,77	75,52
TiO_2	0,14		0,37	0,16	0,22	0,29	0,18	0,19	0,21	0,16	0,31	0,14
Al_2O_3	12,35		11,59	13,27	12,08	11,78	12,57	12,35	12,25	12,39	12,89	12,35
FeO	1,62		1,63	1,69	1,55	1,49	1,01	1,29	1,04	1,81	1,01	1,62
Fe_2O_3	0,82		0,66	0,40	0,77	1,22	0,72	0,71	0,67	1,54	0,83	0,82
MnO	0,04		0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04
MgO	0,21		0,24	0,15	0,21	0,33	0,25	0,23	0,19	0,39	0,18	0,21
CaO	0,88		0,89	0,61	0,57	0,59	0,56	0,49	0,55	0,54	0,31	0,88
Na_2O	3,30		3,02	3,33	3,09	3,17	3,27	3,56	3,61	3,09	3,09	3,30
K_2O	4,59		4,65	4,52	4,93	4,91	4,62	4,56	4,52	5,11	4,99	4,59
P_2O_5	0,07		0,06	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,07
ппп	0,16		0,32	0,09	0,06	0,05	0,06	0,07	0,36	0,42	0,31	0,16
Σ	99,7		98,5	98,84	98,39	98,71	98,94	99,37	98,71	100,97	98,73	-
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	1,39		1,54	1,36	1,60	1,55	1,41	1,28	1,25	1,65	1,61	1,46
$\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$	7,89		7,67	7,85	8,02	8,08	7,89	8,12	8,13	8,20	8,08	-
$(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,64		0,66	0,59	0,66	0,69	0,63	0,66	0,66	0,66	0,63	0,65
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO})$	4,66		4,58	5,92	4,77	3,88	6,35	5,54	6,45	3,31	6,38	5,13

Таблица 2

Содержания редких и редкоземельных элементов в гранитах Яротского массива, г/т

Table 2

Content of rare and rare earth elements in the Yarot massif granites, g / t

Элемент	Номер пробы					Среднее	Гранит по COX	Гранит по Sun	Нормализованные средние данные	
	Я-2	Я-3	Я-5	Я-6	Я-8				по COX	по Sun
Sr	28,9	35,1	29,8	36,6	37,1	33,5	-	7,26	-	4,61
Rb	110,60	76,04	89,23	87,26	95,26	91,68	-	22,18	-	11,61
Ba	293,04	494,94	455,26	382,15	502,69	425,62	-	8,68	-	22,92
Th	17,02	11,80	9,88	10,26	13,78	12,55	-	6,36	-	8,51
Ta	2,92	2,81	2,15	2,26	1,95	2,42	-	2,68	-	15,69
Nb	22,46	18,18	35,26	24,23	38,25	27,68	-	2,49	-	3,45
Hf	5,28	3,92	1,23	1,59	2,56	2,92	-	0,23	-	1,60
Zr	94,6	80,43	120,36	135,26	112,89	108,71	-	0,39	-	0,32
Y	27,74	35,55	45,69	31,56	48,59	37,83	-	0,55	-	37,83
U	4,95	3,38	2,28	3,01	3,87	3,50	-	-	-	-
La	34,29	22,49	28,15	20,35	32,98	27,65	0,24	-	115,22	-
Ce	70,78	48,5	52,2	43,44	65,69	56,12	0,61	0,92	92,00	2,77
Pr	8,49	5,53	7,21	5,09	7,16	6,70	0,09	-	74,40	-
Nd	31,59	20,6	19,2	17,22	23,59	22,44	0,46	-	48,78	-
Sm	6,74	3,84	4,56	5,59	6,33	5,41	0,15	0,59	30,11	0,32
Eu	0,47	0,45	0,42	0,45	0,51	0,46	0,06	-	7,67	-
Gd	6,34	3,31	3,55	3,59	4,76	4,31	0,21	-	20,52	-
Tb	1,08	0,52	0,68	0,58	0,95	0,76	0,04	-	19,05	-
Dy	6,84	3,29	3,89	3,82	5,17	4,60	0,25	-	18,41	-
Ho	1,37	0,69	0,89	0,81	1,11	0,97	0,06	-	16,23	-
Er	4,13	2,2	2,87	2,52	3,23	2,99	0,17	-	17,59	-
Tm	0,63	0,35	0,48	0,42	0,55	0,49	0,03	-	16,20	-
Yb	4,25	3,39	3,77	3,59	3,18	3,64	0,17	0,05	21,39	0,54
Lu	0,62	0,36	0,44	0,37	0,52	0,46	0,03	-	15,40	-
La/Lu	55,31	62,47	63,98	55,00	63,42	60,11	8,00	-	-	-
Eu/Eu*	0,07	0,13	0,11	0,13	0,11	0,11	-	-	-	-
La/Yb	15,24	9,41	10,16	7,86	10,37	10,61	2,78	-	-	-
Th/U	3,44	3,49	4,33	3,41	3,56	3,65	-	-	-	-
Nb/Ta	11,70	5,62	13,27	11,29	13,52	11,08	-	-	-	-
Y/Nb	1,21	1,96	1,30	1,30	1,27	1,37	-	-	-	-

вый индекс ($K_a = 0,65$ (0,63-0,69)) указывает на преобладание Al_2O_3 над щелочами [12–14]. Для изученных гранитов характерно повышенное содержание бария и относительно невысокое количество стронция, все это является признаками гранитов А-типа по Б. Чаппелу, что подтверждает ранние выводы Л. В. Махлаева [5]. Кроме того, высококалийный состав породы и повышенное содержание литофильных элементов, таких как Rb, Ba, свидетельствуют об образовании расплавов, сформировавших яротские граниты, в континентальной коре [15].

По данным табл. 2 для пород Яротского массива характерно преобладание легких редкоземельных элементов над тяжелыми, что подтверждается отношением La/Lu, которое находится в диапазоне (55,00; 63,98) и в среднем составляет 60,11. Кроме того, отмечается наличие европиевого минимума. Дефицит Eu сравнительно небольшой, но достаточно четко выраженный (в среднем $Eu/Eu^* = 0,11$). Согласно Ю. А. Балашову [16] дефицит этого элемента является характерной особенностью фракционной кристаллизации, в которой участвуют полевые шпаты. Отношение Th/U, в среднем составляющее 3,65, указывает на проявление процессов метасоматоза [17]. Отношение La/Yb (в среднем 10,61) показывает, что изученные граниты относятся к среднедифференцированному типу пород [18]. Индикаторное отношение Y/Nb из-

меняется от 1,21 до 1,96, что позволяет сделать вывод, что яротские граниты являются коровыми ($Y/Nb > 1,2$). Высокие значения отношений Nb/Ta (в среднем 11,08) в свою очередь указывают на то, что источник материнских расплавов находится на значительной глубине [19].

Для определения насыщенности изученных пород редкими и редкоземельными элементами была проведена нормализация рассмотренных выше содержаний элементов относительно хондрита по С.С. Сан [20] и плагиограниту COX [21]. Породы Яротского массива обогащены крупноионными элементами (Rb, Ba) и имеют повышенное содержание высокозарядных элементов (Th, Ta, Y) по отношению к составу хондрита. Исследованные граниты в свою очередь обогащены редкоземельными элементами в 7–115 раз относительно плагиогранита COX, причем наиболее сильно увеличены содержания La, Ce и Pr. Спектры распределения элементов характеризуются отчетливо проявленными минимумами Ba, Sr, Ta, Eu, повышенными содержаниями TR (рис. 2), что является геохимическими особенностями внутриплитовых гранитоидов [22]. В кислых расплавах на тренды распределения элементов могут влиять и акцессорные фазы. В нашем случае гафниева аномалия, отмечаемая на спайдерграмме Яротского гранитного массива, говорит о присутствии в источнике расплава тортвейтита [23].

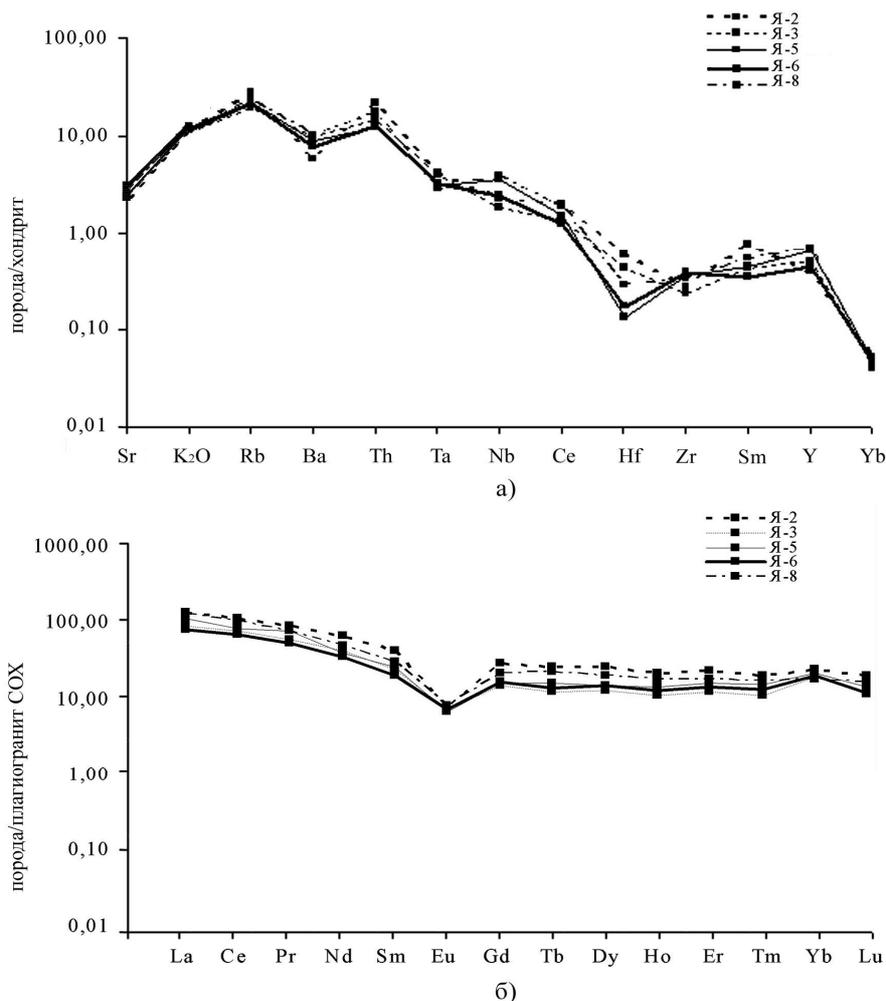


Рис. 2. Содержания редкоземельных элементов в гранитах, нормализованных относительно: а) хондрита; б) плаггиогранита COX.
 Fig. 2. The content of rare earth elements in granites normalized relative to: a) chondrite, b) plagiogranite COX.

**Геодинамическая обстановка
 образования пород
 Яротского гранитного массива**

Для выявления геодинамической обстановки формирования пород Яротского массива был про-

веден анализ распределения фигуративных точек составов изученных гранитов на диаграммах Дж. А. Пирса (рис. 3) [24] и Д. Папу (рис. 4) [25]. На графиках Nb-Y, Ta-Yb точки составов яротских гранитов попадают преимущественно в поле внутриплитовых гранитов. Диаграмма $Al_2O_3-SiO_2$ относит рассматри-

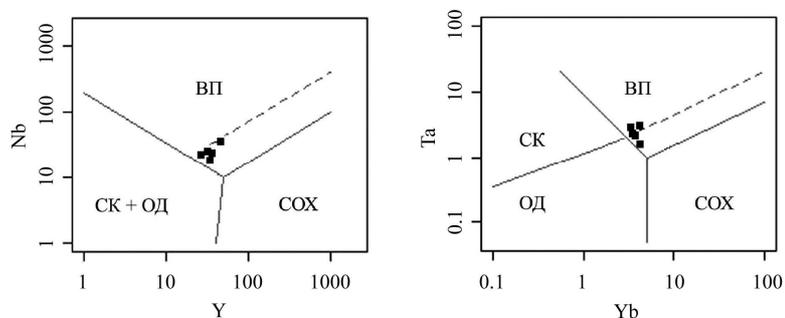


Рис. 3. Диаграммы Дж. А. Пирса для гранитов Яротского массива. Поля на диаграмме: СК – синколлизийные граниты; ВП – внутриплитовые граниты; ОД – островодужные граниты; COX – граниты срединно-океанических хребтов.
 Fig. 3. J.A.Pierce diagrams for the Yarot massif granites. Fields on the diagram: СК – syn-collisional granites; ВП – intraplate granites; ОД – island-arc granites; COX – granites of mid-ocean ridges.

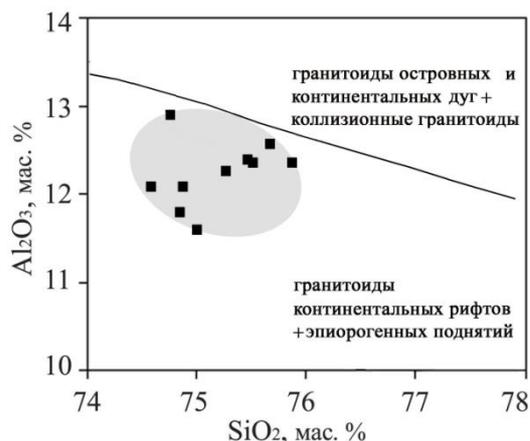


Рис. 4. Диаграмма Д. Папу для гранитов Яротского массива.
Fig. 4. D.Papu diagram for the Yarot massif granites.

мическую характеристику яротских гранитов и сведения о геодинамической обстановке формирования рассматриваемых пород.

На основе анализа содержаний петрогенных элементов гранитов автором установлено, что рассматриваемые породы представляют собой высококальциевые высокоглиноземистые лейкограниты, первичным субстратом которых, вероятно, являлся магматический протолит. Согласно изучению редких и редкоземельных элементов гранитов Яротского массива, можно утверждать, что исследованные граниты образовались из обогащенных редкими и редкоземельными элементами (особенно повышены содержания La, Ce и Pr) расплавов глубинного корового источника. Причем породы впоследствии претерпели метасоматические изменения. Анализ диагностических диаграмм Дж. А. Пирса и Д. Папу позволяет рассматривать эти породы как внутриплитовые граниты, что подтверждает данные, полученные Л. В. Махлаевым, относивший граниты А-типа

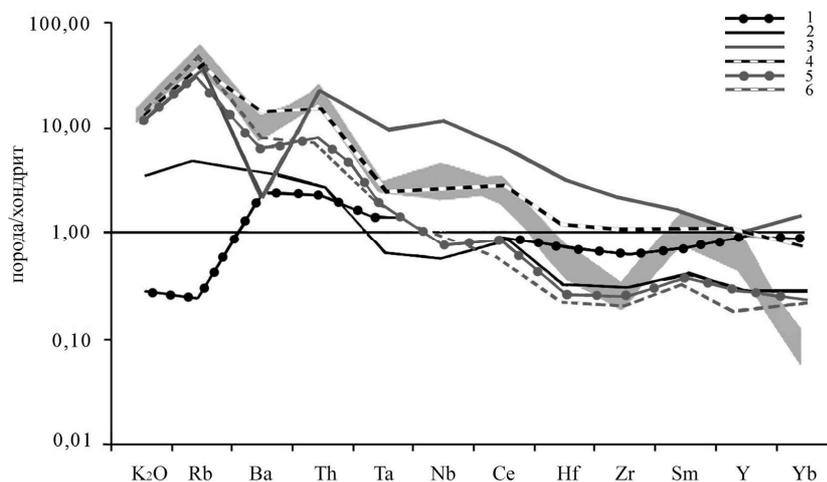


Рис. 5. Сравнение нормализованных содержаний TR по COX для яротских гранитов (рис 2 а) с усредненными составами гранитов нормализованные по COX, сформированных в различных геодинамических обстановках по Дж. А. Пирсу: 1 – граниты океанических хребтов; 2 – граниты вулканических дуг; 3 – внутриплитовые граниты; 4 – внутриплитовые граниты (ослабленная континентальная литосфера); 5 – синколлизонные граниты; 6 – постколлизонные граниты. Серым цветом показано поле составов гранитов Яротского массива.

Fig. 5. Comparison of the TR normalized contents by COX for the Yarot granites (Fig.2, a) with the averaged compositions of granites normalized by COX, formed in different geodynamic settings according to J.A.Pierce: 1 – granites of oceanic ridges; 2 – granites of volcanic arcs; 3 – intraplate granites; 6 – postcollisional granites. The granite composition field is shown in gray.

ваемые образования к гранитоидам континентальных рифтов и эпиорогенных поднятий.

Сравнивая рис. 2, а с диаграммой Дж. А. Пирса для гранитов, сформированных при различных геодинамических обстановках (рис. 5), видим, что граниты Яротского массива по распределению редких и редкоземельных элементов схожи (наличие четко выраженного Ta минимума и Nb максимума) с внутриплитовыми гранитами.

Заключение

Проведенные исследования Яротского массива позволили получить дополнительную петрохи-

Приполярного Урала, в число которых входит и Яротский массив, к типично внутриплитовым [5].

Исследования проведены в рамках темы НИР ГР №АААА-А17-117121270035-0, а также при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН №18-5-5-19.

Литература

1. Фишман М.В., Голдин Б.А. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала. М.-Л.: АН СССР, 1963. 105 с.
2. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-ран-

- непалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры // Литосфера. 2008. №11. С. 25 – 38.
3. *Пыстин А.М., Пыстина Ю.И.* Новые данные о возрасте гранитоидов Приполярного Урала в связи с проблемой выделения кожимской среднерифейской гранит-риолитовой формации // Известия Коми научного центра УрО РАН. Сыктывкар, 2011. Вып. 4 (8). С. 14 – 19.
 4. *Пыстина Ю.И., Денисова Ю.В., Пыстин А.М.* Типоморфные признаки цирконов как критерий для расчленения и корреляции гранитоидов (на примере северной части Приполярного Урала) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 12. С. 3 – 15. doi: 10.19110/2221-1381-2017-12-3-15.
 5. *Махлаев Л.В.* Гранитоиды севера Центрально-Уральского поднятия (Полярный и Приполярный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 189 с.
 6. *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.
 7. *Денисова Ю.В.* Условия формирования гранитов Яротского массива (Приполярный Урал) // Материалы XLVII тектонического совещания «Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты». М., 2015. С. 29 – 31.
 8. *Денисова Ю.В., Уляшева Н.С.* Петрохимические особенности гранитов Яротского массива // Материалы XXVI научной школы-конференции, посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца и акад. РАН Ф.П. Митрофанова «Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии». Петрозаводск, 2015. С. 49 – 53.
 9. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: её состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
 10. *Chappel B.W., Whitte A-J. R.* Two contrasting granite types // Pacif. Geol. 1974. Vol. 8. P. 173 – 174.
 11. *Кузнецов Н.Б., Соболева А.А., Удоротина О.В., Герцева М.В.* Доордовикские гранитоиды Тимано-Уральского региона и эволюция протуралит – тиманид. Сыктывкар: Геопринт, 2005. 100 с.
 12. *Ефремова С.В., Стафеев К.Г.* Петрохимические методы исследования горных пород. М.: Недра, 1985. 512 с.
 13. *Collins W.J., Beams S.D., White A-J. R., Chappell B.W.* Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia // Contr. Mineral. Petrol. 1982. Vol. 80. P. 189 – 200.
 14. *Creaser R.A., Price R.C., Wornmald R.J.* A-type granites revisited: assessment of a residual-source model // Geology. 1991. Vol. 19. P. 163 – 166.
 15. *Удоротина О.В., Соболева А.А., Дорохов Н.С. и др.* Петрология пород Ильязского массива (Северный Урал) // Труды Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2003. Вып. 113. С. 54 – 74.
 16. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
 17. *Гусев А.И.* Постколлизионные и орогенные гранитоиды Алтая. М.: Академия Естественных наук, 2013. 142 с.
 18. *Clemens J.D., Holloway J.R., White A. J. R.* Origin of an A-type granite: experimental constraints // Am. Mineralogist. 1986. Vol. 71. P. 317 – 324.
 19. *Eby G.N.* The A-type granitoids: a review of the occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis // Lithos. 1990 Vol. 26. P. 115 – 134.
 20. *Sun S.S.* Chemical composition and origin of the earth's primitive mantle // Geochim. Cosmochim. Acta. 1982. Vol.46. P. 179 – 192.
 21. *Cullers R.L., Medaris L.G., Haskin L.A.* Experimental studies of the distribution of rare earths as trace elements among silicate minerals and liquids and water // Geochim Cosmochim Acta. 1973. Vol. 37. P. 1499 – 1512.
 22. *Великославинский С.Д., Котов А.Б., Толмачева Е.В. и др.* Раннедокембрийские гранито-гнейсовые комплексы центральной части Алданского щита // Петрология. 2011. Т. 19. №4. С. 399 – 416.
 23. *Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В. и др.* Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
 24. *Pearce J.A., Harris V.B. W., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrol. 1984. Vol. 25. P. 956 – 983.
 25. *Papu D., Piccoli M., Piccoli P.* Tectonic discrimination of granitoids // Bull. 396. Geol. Soc. Amer. 1989. Vol.101. P.635 – 643.

References

1. *Fishman M.V., Goldin B.A.* Granitoidy central'noj chasti Pripolyarnogo Urala [Granitoids of the Central part of the Subpolar Urals]. Moscow-Leningrad: USSR Ac. Sci., 1963. 105 p.
2. *Pystin A.M., Pystina Yu.I.* Metamorfizm i granitooobrazovanie v proterozojsko-rannepaleozojskoj istorii formirovaniya Pripolyarnoural'skogo segmenta zemnoj kory [Metamorphism and granite formation in the Proterozoic-early Paleozoic history of the formation of the Circumpolar-Ural segment of the Earth's crust] // Lithosphere. 2008. № 11. P. 25 – 38.
3. *Pystin A.M., Pystina Yu.I.* Novye dannye o vozraste granitoidov Pripolyarnogo Urala v svyazi s problemoj vydelenii kozhimskoj srednerifejskoj granit-riolitovoj formacii [New data on the age of granitoids of the Subpolar Urals in connection with the problem of isolation of the Kozhim mid-Riphean granite-rhyolite formation] // Proc. of the Komi Sci.

- Centre, Ural Branch, RAS. Syktyvkar. 2011. Issue. 4 (8). P. 14 – 19.
4. *Pystina Yu.I., Denisova Yu.V., Pystin A.M.*, Tipomorfnye priznaki cirkonov kak kriterij dlya raschleneniya i korrelyacii granitoidov (na primere severnoj chasti Pripolyarnogo Urala) // Bull. of the Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2017. № 12..P. 3–15. doi: 10.19110/2221-1381-2017-12-3-15.
 5. *Mahlaev L.V.* Granitoidy severa Central'no-Ural'skogo podnyatiya (Polyarnyj i Pripolyarnyj Urals) [Granitoids of the North of the Central Urals uplift (Polar and Subpolar Urals)]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 1996. 189 p.
 6. *Fishman M.V., Yushkin N.P., Goldin B.A., Kalinin E.P.* Osnovnye cherty magmatizma i metamorfizma v central'noj chasti Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala // Geohimiya, mineralogiya i petrografiya severa Urala i Timana [The main features of magmatism and metamorphism in the Central part of the Subpolar and Polar Urals // Geochemistry, mineralogy and petrography of the Northern Urals and Timan]. Syktyvkar, 1969. P.7 – 25.
 7. *Denisova Yu.V.* Usloviya formirovaniya granitov YArotskogo massiva (Pripolyarnyj Ural) // Materialy XLVII Tektonicheskogo soveshchaniya «Tektonika i geodinamika kontinental'noj i okeanicheskoy litosfery: obshchie i regional'nye aspekty» [Conditions for the formation of granites of the Yarot massif (Subpolar Urals) // Materials of XLVII Tectonic conference "Tectonics and geodynamics of the continental and oceanic lithosphere: General and regional aspects"]. Moscow, 2015. P. 29 – 31.
 8. *Denisova Yu.V., Ulyasheva N.S.* Petrohimicheskie osobennosti granitov YArotskogo massiva // Materialy XXVI nauchnoj shkola-konferencii, posvyashchennoj pamyati chlenakorrespondenta AN SSSR K.O. Kratca i akademika RAN F. P. Mitrofanova «Aktual'nye problemy geologii dokembriya, geofiziki i geoekologii» [Petrochemical features of the Yarot massif granites // Materials of the XXVI scientific school-conference dedicated to the memory of K.O.Krats, corresponding member of the USSR Academy of Sciences, and F.P.Mitrofanov, RAS academician"Actual problems of the Precambrian Geology, Geophysics and Geocology"]. Petrozavodsk, 2015. P. 49 – 53.
 9. *Tejlor S.R., Mak-Lennan S.M.* Kontinental'naya kora: eyo sostav i evolyuciya [Continental crust: its composition and evolution]. Moscow: MIR, 1988. 384 p.
 10. *Chappel B W., Whitte A. J.R.* Two contrasting granite types // Pacif. Geol. 1974. Vol. 8. P. 173 – 174.
 11. *Kuznetsov N.B., Soboleva A.A., Udoratina O.V., Gertseva M.V.* Doordovikskie granitoidy Timano-Ural'skogo regiona i ehvolyuciya protiuralid – timanid [Pre-Ordovician granitoids of the Timan-Urals region and evolution of Protiuralides-Timanides]. Syktyvkar: Geoprint, 2005. 100 p.
 12. *Efremova S.V., Stafeev K.G.* Petrohimicheskie metody issledovaniya gornyh porod [Petrochemical methods of rock research]. Moscow: Nedra, 1985. 512 p.
 13. *Collins W.J., Beams S.D., White A-J.R., Chappell B.W.* Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia // Contr. Mineral. Petrol. 1982. Vol. 80. P. 189 – 200.
 14. *Creaser R.A., Price R.C., Wonrmald R.J.* A-type granites revisited: assessment of a residual-source model // Geology. 1991. Vol. 19. P. 163 – 166.
 15. *Udoratina O.V., Soboleva A.A., Dorokhov N.S. et al.* Petrologiya porod Il'yaizskogo massiva (Severnyj Ural) // Proc. of the Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. Syktyvkar, 2003. Issue 113. P. 54 – 74.
 16. *Balashov Yu.A.* Geohimiya redkozemel'nyh elementov [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow: Nauka, 1976. 267 p.
 17. *Gusev A.I.* Postkollizionnye i orogennye granitoidy Altaya [Post-collisional and orogenic granitoids of Altai]. Moscow: Akademiya Estestvoznaniya [Academy of Natural Sciences], 2013. 142 p.
 18. *Clemens J.D., Holloway J.R., White A. J.R.* Origin of an A-type granite: experimental constraints // Am. Mineralogist. 1986. Vol. 71. P. 317 – 324.
 19. *Eby G.N.* The A-type granitoids: a review of the iroccurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis // Lithos. 1990 Vol. 26. P. 115 – 134.
 20. *Sun S.S.* Chemical composition and origin of the earth' s primitive mantle // Geochim. Cosmochim. Acta. 1982. Vol. 46. P. 179 – 192.
 21. *Cullers R.L., Medaris L.G., Haskin L.A.* Experimental studies of the distribution of rare earths as trace elements among silicate minerals and liquids and water // Geochim Cosmochim Acta. 1973. Vol. 37. P. 1499 – 1512.
 22. *Velikoslavinsky S.D., Kotov A.B., Tolmacheva E.V. et al.* Rannedokembrijskie granitognejsovye komplekxy central'noj chasti Aldanskogo shchita [Early Cambrian granite-gneiss complexes of the Central part of the Aldan shield] // Petrology. 2011. Vol. 19. № 4. P. 399 – 416.
 23. *Sklyarov E.V. , Gladkochub D.P., Donskaya T.V. et al.* Interpretaciya geohimicheskikh dannyh [Interpretation of geochemical data]. Moscow: Intermet Inzhiniring, 2001. 288 p.
 24. *Papu D., Piccoli M., Piccoli P.* Tectonic discrimination of granitoids // Bull. 396. Geol. Soc. Amer. 1989. Vol.101. P.635 – 643.
 25. *Pearce J.A., Harris V.B. W., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrol. 1984. Vol. 25. P. 956 – 983.

Статья поступила в редакцию 25.12.2019.