

УДК 550.4, 551.2, 552.3  
DOI 10.19110/1994-5655-2021-3-32-40

**Ю.В. ДЕНИСОВА**

## **ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТО-ГНЕЙСОВ НИКОЛАЙШОРСКОГО МАССИВА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

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

*[yulden777@yandex.ru](mailto:yulden777@yandex.ru)*

**YU.V. DENISOVA**

## **PETROCHEMICAL FEATURES OF GRANITE-GNEISSES OF THE NIKOLAISHOR MASSIF (SUBPOLAR URALS)**

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

### **Аннотация**

В статье представлены результаты петрохимического изучения гранито-гнейсов Николайшорского массива. Согласно анализу основных петрогенных элементов, породы являются высокоглиноземистыми лейкогранитами калиево-натриевого типа. Особенности распределения редких и редкоземельных элементов указывают на формирование пород из глубинных коровых расплавов, обогащенных легкими редкоземельными элементами. Сравнительный анализ особенностей расположения фигуративных точек составов гранитогнейсов на диаграммах Дж.А. Пирса, Д. Папу, Н.Б. Харриса и данных, рассчитанных по методу С. Агравала, показал, что породы Николайшорского массива представляют собой синколлизийные граниты, сформированные на позднеорогенном этапе.

### **Ключевые слова:**

*гранито-гнейс, Николайшорский массив, Приполярный Урал, С. С. Сан, плагиогранит COX, Дж. А. Пирс, Д. Папу, Н. Б. Харрис*

### **Abstract**

The Nikolaishor massif is located within the heavily eroded gneisses of the Nyarta metamorphic complex and is an autochthonous massif composed of plagiogranites and kalispatic granites. The conducted petrochemical study of the least modified variety of granites of this massif made it possible to identify the petrochemical features of the studied rock, as well as to determine the geodynamic conditions for the formation of the Nikolaishor massif. According to the results of the silicate analysis, granites are high-alumina leucogranites of the potassium-sodium type. The initial substrate for the studied rocks was presumably magmatic protolith. Based on the ICP-MS analysis data, various indicator ratios were calculated for the granites. The obtained indicators allowed us to conclude that the rocks under consideration were formed from melts enriched mainly with light TR, which belong to a deep crustal type source. Comprehensive study of multivariate discriminant analysis indicators for the main elements of S. Agrawal, as well as diagrams of J.A. Pearce, D. Papu, N.B. Harris, showed that the rocks of the Nikolaishor massif are syncollisional granites formed in the Late Orogenic time.

### **Keywords:**

*granite-gneiss, Nikolaishor massif, Subpolar Urals, S.S. Sun, plagiogranite COX, J.A. Pearce, D. Papu, N.B. Harris*

**Введение**

В пределах Западного склона Приполярного Урала, представляющего собой область наиболее древней периферической части Уральского подвижного пояса, отмечаются гранитные образования различных возрастов (раннепротерозойского, средне- и позднерифейского, вендского или вендско-раннекембрийского). Раннепротерозойские интрузии, которые пространственно ассоциируются с гнейсами няртинского метаморфического комплекса, представлены гнейсовидными гранитами николайшорского комплекса (Николайшорский массив, Балашорский массив и др.). К среднерифейским интрузиям относятся граниты кожимского комплекса. Примером таких гранитов является Кожимский массив, расположенный среди отложений пуйвинской свиты. Вендские (или вендско-раннекембрийские) интрузии – это граниты сальнеро-маньхамбовского комплекса, прорывающие отложения хобеинской, мороинской и саблегорской свит (Народинский, Хаталамба-Лапчинский, Яротский массивы и др.) [1, 2].

В представленной работе в качестве объекта исследования был выбран Николайшорский массив. Целью проведенных изысканий является изучение петрохимических особенностей гранито-гнейсов и на их основе выявление геодинамических условий формирования Николайшорского массива.

Николайшорский массив приурочен к Няртинскому блоку и образует вытянутое в северо-северо-западном направлении узкое согласное пла-

стовое тело длиной 4 км при средней ширине 1,5 км, расположенное в бассейне руч. Николайшор (рис. 1). К Николайшорскому массиву также относят гранитоидное тело, расположенное южнее. Среди гранитов Николайшорского массива выделяются две основные разновидности: плагиограниты и нормальные калишпатовые граниты. Эти граниты в основном имеют гнейсовидный облик и взаимные переходы к гнейсам и кристаллическим сланцам, что позволило А.М. Пыстину [3] рассматривать данные породы как плагиогранито-гнейсы и гранито-гнейсы. Развиваются гранито-гнейсы преимущественно за счет плагиогранито-гнейсов и пространственно тесно связаны с ними. Кроме пород гранитного ряда, составляющих основной объем Николайшорского гранитного массива, в его составе встречаются в различной степени гранитизированные метаморфиты няртинского комплекса [5].

Переходы от гранито-гнейсов и плагиогранито-гнейсов к вмещающим породам (гнейсам, кристаллическим сланцам и амфиболитам) обычно плавные через зоны гранитизации и мигматизации. Вблизи контактов гнейсы становятся более светлыми за счет альбитизации и окварцевания, амфиболиты преобразовываются в кварц-эпидот-полево-шпатовые сланцы. Также встречаются микроклинизированные породы, небольшие тела пегматитов и аплитов, мусковитосодержащие кварцевые жилы [6].

Для петрографического и петрохимического изучения пород Николайшорского массива были отобраны частные пробы в количестве 10 единиц

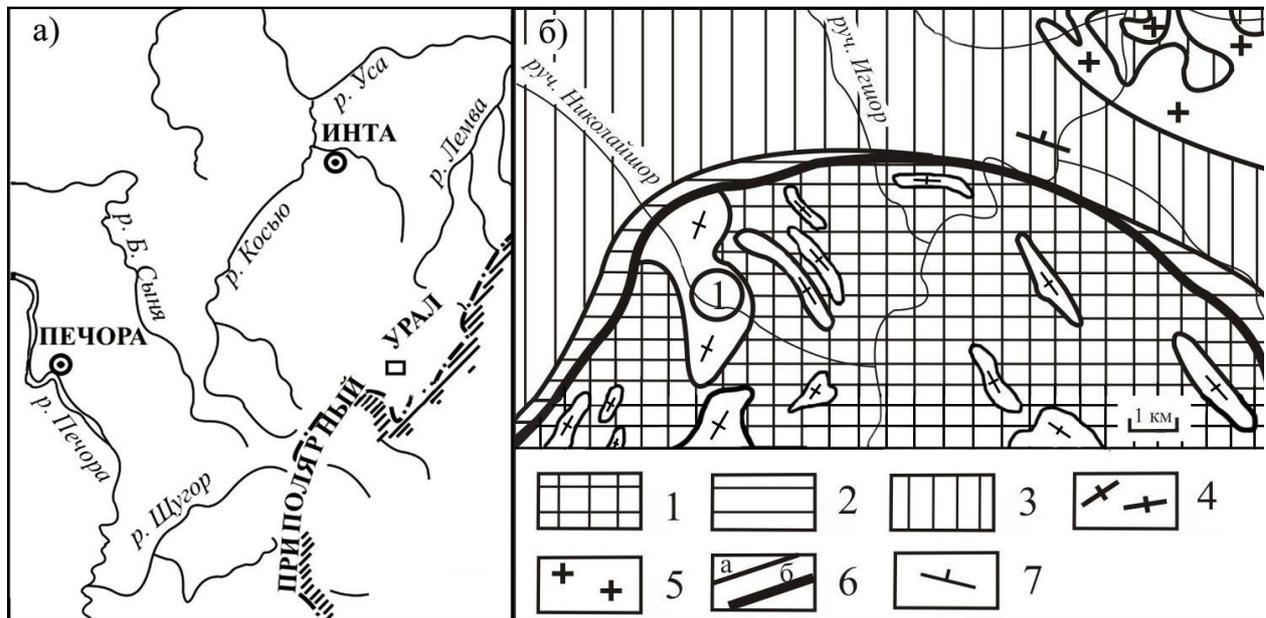


Рис. 1. а) Обзорная карта района Приполярного Урала (прямоугольником отмечена область исследования). б) Николайшорский массив (по А.М. Пыстину и Ю.И. Пыстиной [4] с дополнениями). 1 – биотитовые и двуслюдяные гнейсы с прослоями амфиболитов; 2 – известковистые кристаллические сланцы, мраморы, кварциты, амфиболовые сланцы; 3 – слюдяно-кварцевые сланцы, зеленые ортосланцы, метапорфиры, кварциты; 4 – гранито-гнейсы; 5 – граниты; 6 – геологические границы: а – стратиграфические и магматические, б – тектонические; 7 – элементы залегания плоскостных структур.  
 Fig. 1. a) Overview map of the area of the SubPolar Urals (rectangle marks the area of study). б) Nikolaishor massif (according to A.M. Pystin and Yu.I. Pystina [4] with additions). 1 – biotite and double-mica gneisses with interlayers of amphibolites; 2 – calcareous crystalline schists, marbles, quartzites, amphibole schists; 3 – mica-quartz schists, green orthoshales, metaporphyres, quartzites; 4 – granite-gneisses; 5 – granites; 6 – geological boundaries: a – stratigraphic and magmatic, b – tectonic; 7 – elements of occurrence of planar structures.

точечным методом. Каждая проба представляет собой куски неизменной породы (гранито-гнейсы) общим весом в среднем 10 – 15 кг.

### **Петрографические особенности гранито-гнейсов Николайшорского массива**

Проведенное петрографическое исследование показало, что граниты Николайшорского массива представляют собой серовато-зеленые и серые среднезернистые породы, иногда порфириовидные. Отмечаются преимущественно породы гнейсовидного облика, но встречаются и массивные разновидности. Причем все разновидности гранитов изученного массива сильно катаклазированы. Для этих пород характерны лепидогранобластовая и гранобластовая структуры. Породы Николайшорского массива состоят из: калиевого полевого шпата (25%), плагиоклаза (35%), кварца (35%), биотита (4%), мусковита (1%).

Калиевый полевой шпат, представленный преимущественно микроклином, реже анортклязом, встречается в виде округлых изометричных зерен размером до 5 см. Плагиоклаз отмечается как в форме вкрапленников, так и в составе основной массы. У этого минерала выявлено две генерации: первая – протоматическая, вторая – метасоматическая. Плагиоклаз первой генерации – это новообразования альбита и альбит-ортотлаза. Альбит, развивающийся как по полевому шпату, так и по плагиоклазу первой генерации, относится к плагиоклазу второй генерации. Кварц образует ксеноморфные и овальные зерна. Повсеместно присутствуют биотит и реже мусковит, которые концентрируются в виде тонких пластинчатых скоплений. Между содержаниями слюд установлена обратная зависимость: увеличение содержания мусковита влечет за собой уменьшение количества биотита в породе. Причем для гранито-гнейса с повышенным содержанием мусковита характерна более выраженная сланцеватая структура.

Среди аксессуарных минералов Николайшорского массива отмечаются циркон, апатит, гранат, титанит и др. Циркон встречается в виде хорошо ограненных, обычно прозрачных светло-желтых кристаллов короткопризматического и длиннопризматического облика. Кроме того, наблюдается незначительное количество светло-желтых полупрозрачных окатанных кристаллов. Циркон присутствует в виде включений во всех породообразующих минералах, но чаще в плагиоклазе и биотите. Апатит отмечается в виде молочно-белых полупрозрачных минералов гексагонального призматического габитуса и желтоватых полупрозрачных кристаллов гексагонального дипирамидально-призматического габитуса. Минерал образует включения в плагиоклазе, биотите, кварце, микроклине. Гранат – это чаще розовые полупрозрачные изометричные зерна ромбододекаэдрического габитуса. Обычно ассоциируется с поздним микроклином, причем чаще всего определяется на границах микроклин-плагиоклаз и микроклин-кварц. Титанит встречается преимущественно в виде бесцветных прозрачных

идiomорфных кристаллов с неровными сглаженными гранями. Минерал обычно приурочен к трещинам в самих породообразующих минералах (биотит, кварц, мусковит) и к границам их зерен. Из рудных минералов установлены пирит, ильменит, магнетит, молибденит и др. Пирит представлен правильными, хорошо ограненными кристаллами желтого цвета с буроватым оттенком и металлическим блеском. Чаще всего кристаллы имеют кубический габитус. Ильменит встречается в виде железно-черных зерен неправильной формы с металлическим блеском. Магнетит образует черные зерна с металлическим блеском преимущественно неправильной формы. Молибденит присутствует в виде серых чешуек неправильной листоватой формы с сильным металлическим блеском.

### **Петрохимические особенности гранито-гнейсов Николайшорского массива**

На основе химического состава петрогенных элементов (табл. 1) можно утверждать, что Николайшорские гранито-гнейсы представляют собой лейкограниты калиево-натриевого типа, так как содержание  $\text{SiO}_2$  находится в диапазоне от 74,20 до 76,20 мас. % и в среднем составляет 75,61 мас. %,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  – от 6,81 до 8,47 мас. % и в среднем – 7,88 мас. %,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  – от 0,59 до 1,75 и в среднем – 1,26 [7 – 9]. Согласно Б. Чаппелу и А. Уайту, пониженный уровень  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \sim 0,5$  указывает на преобладание в составе гранитообразующего субстрата осадочных пород [10]. По коэффициенту глиноземистости, который изменяется от 5,47 до 8,44 и в среднем составляет 6,33, граниты Николайшорского массива характеризуются как высокоглиноземистые породы. Аггаитовый индекс, находящийся в диапазоне от 0,50 до 0,65 и в среднем составляющий 0,60, указывает на преобладание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  над щелочами [11, 12].

В свою очередь были изучены особенности распределения редких и редкоземельных элементов в гранито-гнейсах Николайшорского массива (табл. 2). Индикаторное отношение  $\text{La}/\text{Lu}$  (в среднем 60,11) показывает, что для рассматриваемых пород характерно значительное преобладание легких редкоземельных элементов над тяжелыми. Этому способствовало включение ряда редкоземельных элементов (преимущественно цериевой группы) в виде изоморфной примеси в состав плагиоклазов на начальных этапах формирования породы. В рассматриваемых породах отмечается и характерный для гранитов дефицит  $\text{Eu}$  (в среднем  $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,16$ ). Причиной появления такой потери, согласно Ю. А. Балашову [13], считается влияние фракционной кристаллизации на процессы преобразования гранитообразующих расплавов, в результате которого происходило активное удаление полевых шпатов. Отношение  $\text{La}/\text{Yb}$  (в среднем 16,30) позволяет говорить, что гранито-гнейсы относятся к среднедифференцированному типу пород. Маркерное отношение  $\text{Th}/\text{U}$  (в среднем 2,72) указывает на сильное проявление метасоматических процессов [14, 15]. Граниты Николайшорского массива

Таблица 1

*Химический состав гранитов Николайшорского массива, мас. %*

Table 1

*Chemical composition of granites of the Nikolaishor massif, wt. %*

Компонент	Номер пробы										Среднее
	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9	H-10	
SiO <sub>2</sub>	74,20	75,50	75,04	76,11	76,14	75,40	75,76	76,20	75,66	76,12	75,61
TiO <sub>2</sub>	0,13	0,16	0,23	0,05	0,10	0,13	0,10	0,11	0,17	0,22	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,53	13,72	13,48	13,67	12,57	13,01	13,14	12,58	12,86	13,88	13,24
FeO	1,65	1,21	1,43	0,48	0,42	1,05	0,75	0,61	0,81	0,94	0,94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,61	0,72	0,54	1,01	0,89	1,16	0,97	1,23	1,08	0,89	0,91
MnO	0,03	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03
MgO	0,05	0,30	0,24	0,35	0,18	0,17	0,42	0,29	0,39	0,41	0,28
CaO	2,01	1,55	0,86	0,46	1,22	0,67	0,59	0,52	0,38	0,29	0,86
Na <sub>2</sub> O	4,28	3,84	3,75	3,11	3,28	3,48	3,33	4,29	3,02	3,11	3,55
K <sub>2</sub> O	2,53	3,53	3,83	4,89	4,31	4,78	5,14	3,79	5,29	5,18	4,33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	0,01	0,12	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03
ппп	0,74	0,32	0,68	0,23	1,08	0,49	0,62	0,59	0,49	0,58	0,58
Σ	99,80	100,87	100,23	100,39	100,25	100,4	100,86	100,27	100,19	101,68	-
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,07	0,05	0,05	0,12	0,09	0,02	0,08	0,15	0,11	0,12	0,09
CO <sub>2</sub>	0,11	0,09	0,05	0,10	0,35	0,32	0,19	0,17	0,11	0,09	0,16
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0,59	0,92	1,02	1,57	1,31	1,37	1,54	0,88	1,75	1,67	1,26
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	6,81	7,37	7,58	8,00	7,59	8,26	8,47	8,08	8,31	8,29	7,88
(K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O) / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,50	0,54	0,56	0,59	0,60	0,63	0,64	0,64	0,65	0,60	0,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO+MgO)	5,87	6,15	6,10	7,43	8,44	5,47	6,14	5,91	5,64	6,20	6,33

Примечание. Петрогенные элементы получены с помощью силикатного метода в ЦКП «Наука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, аналитик О. В. Кокшарова).

Таблица 2

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

Table 2

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

Элемент	Номер пробы					Среднее	Гранит по Sun	Гранит по COX	Нормализованные средние данные	
	H-1	H-2	H-4	H-5	H-7				по Sun	по COX
Rb	183,93	196,88	187,64	205,89	187,89	192,45	-	4,0	-	48,11
Ba	331,28	214,12	201,19	351,26	400,12	299,60	-	50,0	-	5,99
Th	4,56	2,93	2,33	5,26	3,69	3,75	-	8,0	-	0,47
Ta	1,06	1,11	1,07	1,25	1,39	1,18	-	7,0	-	0,17
Nb	6,1	5,2	16,75	14,59	9,12	10,35	-	10,0	-	1,04
Hf	2,52	2,21	2,91	2,63	2,74	2,60	-	9,0	-	0,29
Zr	26,37	19,87	11,65	15,69	14,59	17,63	-	340,0	-	0,05
Y	19,41	21,83	21,51	32,56	35,89	26,24	-	70,0	-	0,37
U	1,01	1,90	1,23	2,01	1,22	1,47	-	-	-	-
La	18,91	15,30	16,70	24,12	14,48	17,90	0,24	-	115,22	-
Ce	28,21	22,97	33,57	43,15	21,59	29,90	0,61	35,0	92,00	0,85
Pr	3,34	2,68	3,87	4,48	2,11	3,30	0,09	-	74,40	-
Nd	9,35	7,42	11,9	14,59	6,15	9,88	0,46	-	48,78	-
Sm	2,25	1,84	4,79	6,69	3,59	3,83	0,15	9,0	30,11	0,43
Eu	0,41	0,33	0,41	0,52	0,29	0,39	0,06	-	7,67	-
Gd	2,19	1,91	2,85	3,38	1,85	2,44	0,21	-	20,52	-
Tb	0,39	0,32	0,49	0,59	0,28	0,41	0,04	-	19,05	-
Dy	2,42	1,92	2,88	3,68	1,73	2,53	0,25	-	18,41	-
Ho	0,53	0,39	0,63	0,77	0,35	0,53	0,06	-	16,23	-
Er	1,54	1,14	1,64	1,92	1,05	1,46	0,17	-	17,59	-
Tm	0,23	0,17	0,28	0,35	0,15	0,24	0,03	-	16,20	-
Yb	1,01	0,83	1,29	1,65	0,87	1,13	0,17	80,0	21,39	0,01
Lu	0,20	0,15	0,28	0,33	0,17	0,23	0,03	-	15,40	-
La/Lu	94,55	102,00	59,64	73,09	85,18	82,89	8,00	-	-	-
Eu/Eu*	0,18	0,18	0,14	0,14	0,17	0,16	-	-	-	-
La/Yb	18,72	18,43	12,95	14,62	16,64	16,30	2,78	-	-	-
Th/U	4,51	1,54	1,89	2,62	3,02	2,72	-	-	-	-
Y/Nb	3,18	4,20	1,28	2,23	3,94	2,97	-	-	-	-

Примечание. Содержания элементов получены с помощью ICP- MS метода в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург, аналитик Ю. Л. Ронкин).

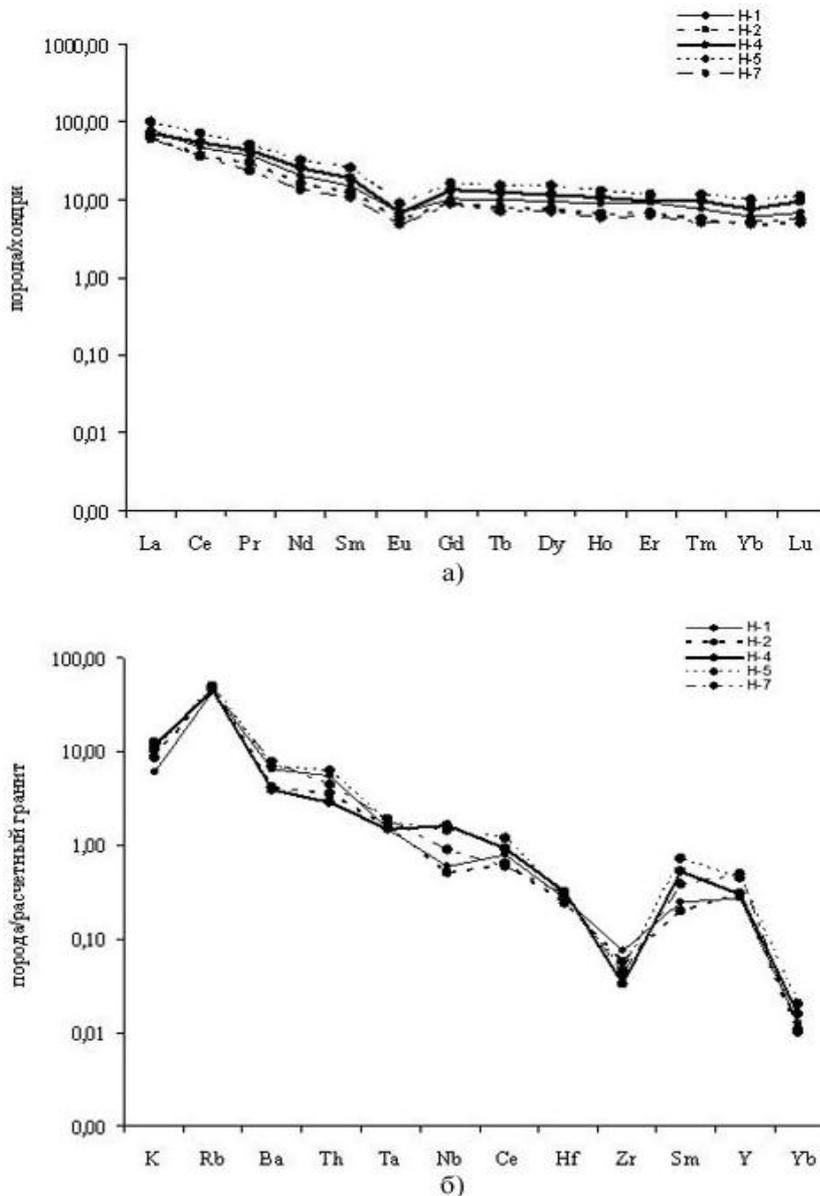


Рис. 2. Содержания редких и редкоземельных элементов в гранито-гнейсах Николайшорского массива, нормализованных относительно: а) хондрита по Сан, б) плагиогранита COX.

Fig. 2. The contents of rare and rare-earth elements in the granite-gneisses of the Nikolaishor massif, normalized relative to: а) chondrite according to Sun, б) plagiogranite COX.

можно назвать коровыми, так как все полученные индикаторные отношения  $Y/Nb$  выполняют неравенство  $Y/Nb > 1,2$  [16].

Для определения степени насыщения редкими и редкоземельными элементами гранито-гнейсов Николайшорского массива была проведена нормализация содержаний элементов относительно хондрита по Сан (рис. 2, а) и по гипотетическому плагиограниту COX (рис. 2, б) [17].

Граниты обогащены легкими редкоземельными элементами в 7 – 115 раз относительно хондрита, причем наиболее сильно увеличены содержания La, Ce, Pr. Содержание тяжелых элементов превышает хондритовый стандарт в 15 – 21 раз. Наиболее сильное повышение отмечается у Gd, Tb, Yb. Нормированный по плагиограниту COX состав рассеянных элементов на спайдерграмме показы-

вает, что изученные породы обогащены крупноионными элементами (Rb, Ba), а также высокозарядным элементом – Nb. Отмечаемая на этом графике циркониевая аномалия может указывать на присутствие какой-то доли акцессорного циркона в источнике расплава.

### Геодинамическая обстановка образования пород Николайшорского массива

Особенности геодинамических условий образования гранито-гнейсов Николайшорского массива были определены с помощью дискриминационных диаграмм Дж. А. Пирса [18], Д. Папу [19], Н. Б. Харриса [20] и мультивариативного дискриминантного анализа по главным элементам С. Агравала [21]. Сравнение спайдерграмм Дж. А. Пирса усредненных нормализованных составов для гранитов, сформированных при различных геодинамических обстановках, с полученным ранее графиком (рис. 2, б) показывает, что николайшорские гранито-гнейсы по распределению редких и редкоземельных элементов близки к синколлизийным и постколлизийным гранитам (рис. 3).

Изучение распределения точек составов рассмотренных пород на диаграммах Дж. А. Пирса (рис. 4) не дает однозначного ответа. Рассмотренные породы попадают и в поле синколлизийных гранитов, и в поле островодужных гранитов. Только график Rb-Ta-Y четко указывает на принадлежность николайшорских гранито-гнейсов к синколлизийным гранитам. Диаграмма Д. Папу (см.

рис. 5.) относит рассмотренные граниты к островодужным и коллизийным гранитоидам.

Данные спайдерграммы Дж. А. Пирса подтверждаются диаграммой Н. Б. Харриса, на которой тоже отмечается граничное положение точек составов гранитов Николайшорского массива, что позволяет относить рассматриваемые породы к синколлизийным и постколлизийным гранитам (см. рис. 6). Все представленные диаграммы в сумме указывают, что геодинамическая обстановка формирования гранито-гнейсов, вероятнее всего, была коллизийной.

Рассмотренные диаграммы дают неоднозначный ответ по геодинамической обстановке формирования гранито-гнейсов Николайшорского массива. Вероятно, это является результатом воздейст-

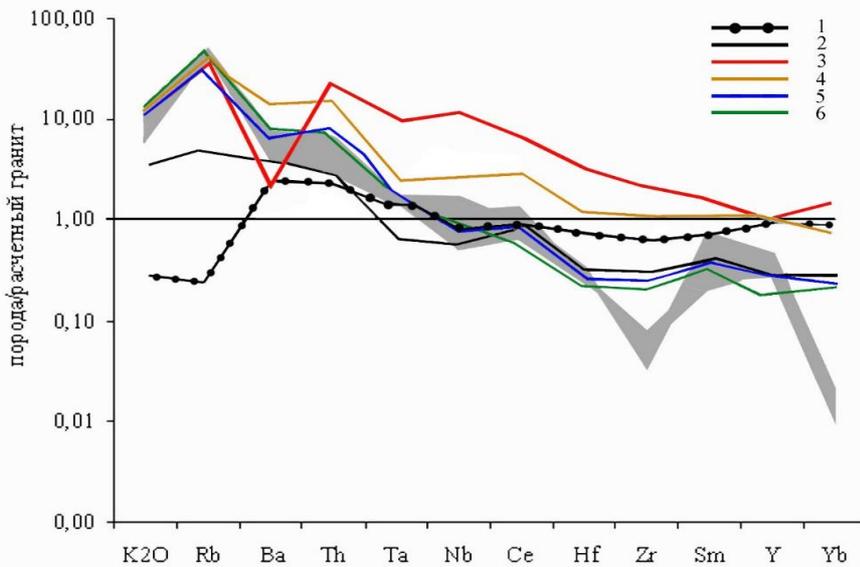


Рис. 3. Сравнение нормированной диаграммы (рис. 2, б) с характеристической диаграммой по Дж. А. Пирсу. 1 – граниты океанического хребта; 2 – граниты вулканических дуг; 3 – внутриплитовые граниты; 4 – внутриплитовые граниты (ослабленная континентальная литосфера); 5 – синколлизийные граниты; 6 – постколлизийные граниты.

Fig. 3. Comparison of the normalized diagram (Fig. 2, б) with the characteristic diagram according to J.A. Pearce. 1 – oceanic ridge granites; 2 – volcanic arc granites; 3 – intraplate granites; 4 – intraplate granites (weakened continental lithosphere); 5 – syncollisional granites; 6 – postcollisional granites.

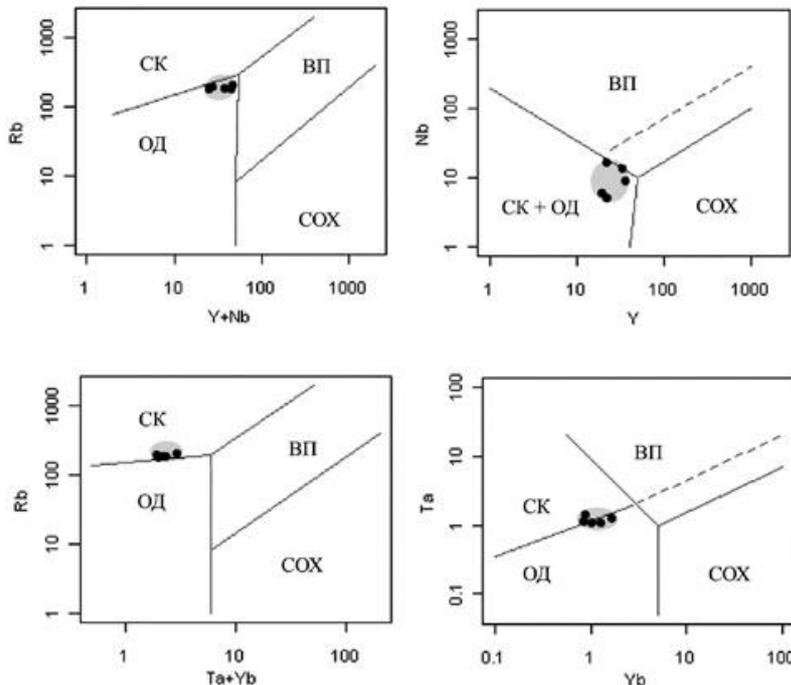


Рис. 4. Характеристические диаграммы Дж. А. Пирса для пород Николайшорского массива. Поля на диаграмме: СК – синколлизийные граниты, ВП – внутриплитовые граниты, ОД – островодужные граниты, СОХ – граниты срединно-океанических хребтов.

Fig. 4. Characteristic diagrams of J.A. Pearce for rocks of the Nikolaishor massif. Fields in the diagram: СК – syncollisional granites; ВП – intraplate granites, ОД – island-arc granites, СОХ – granites of mid-ocean ridges.

вия наложенных процессов, которые могли способствовать частичной потере того или иного индикаторного элемента, используемого в примененных выше диагностических диаграммах. Вследствие чего

породах указывают на формирование гранитов из глубинных коровых расплавов ( $Y/Nb > 1,2$ ), обогащенных преимущественно легкими редкоземель-

для окончательного уточнения геодинамических условий формирования изученной породы автором был использован мультивариативный анализ по главным элементам С. Агравала (см. табл. 3). Проведенные расчеты по методу С. Агравала показали, что исследованные граниты принадлежат к типу орогенных образований (для всех рассмотренных проб параметр  $R_1 > 0$ ). При этом дальнейшее изучение главных элементов четко указывает ( $R_2 > 0$ ), что породы Николайшорского массива образованы в позднеорогенное время и представляют собой синколлизийные граниты.

### Заключение

При изучении пород Николайшорского массива выявлено, что его строение неоднородно и представлено двумя разновидностями: плагиогранитами и калишпатовыми гранитами. Граниты, названные А.М. Пыстиним гранито-гнейсами за их преимущественно гнейсовидный облик, пространственно связаны с первой вариацией породы. Поскольку гранито-гнейсы являются наименее измененными образованиями в пределах рассматриваемого массива, поэтому они были выбраны автором для петрографического и петрохимического исследований, а также выявления геодинамических условий формирования Николайшорского массива.

Анализ основных петрогенных элементов позволил установить, что гранито-гнейсы представляют собой высокоглиноземистые лейкограниты калиево-натриевого типа ( $SiO_2$  – в среднем 75,61 мас. %,  $K_2O+Na_2O$  – в среднем 7,88 мас. %,  $K_2O/Na_2O$  – в среднем 1,26,  $Al_2O_3/(Fe_2O_3+FeO+MgO)$  – в среднем 0,60). Особенности распределения редких и редкоземельных элементов в этих

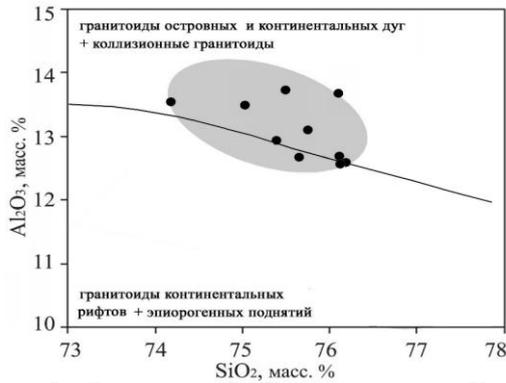


Рис. 5. Диаграмма Д. Папу для пород Николайшорского массива.  
Fig. 5. D.Papu diagram for rocks of the Nikolaishor massif.

ными элементами (La/Lu – в среднем 60,11). Кроме того, для этих гранито-гнейсов характерно сильное влияние метасоматических процессов (Th/U – в среднем 2,72). Проведенная нормализация содержаний TR элементов относительно хондрита по Сан подтверждает сильную концентрацию легких редкоземельных элементов в гранито-гнейсах, особенно La, Ce, Pr. Нормирование по плагиограниту COX выявило при этом насыщенность породы Rb и Ba.

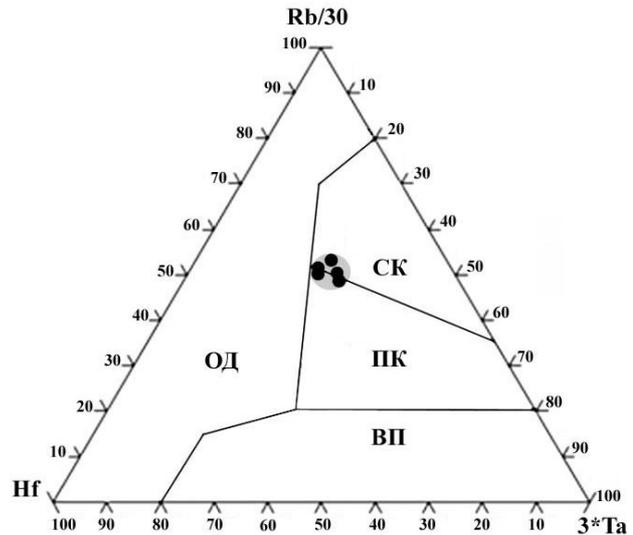


Рис. 6. Диаграмма Н.Б. Харриса для пород Николайшорского массива.

Поля на диаграмме: СК – синколлизонные граниты; ВП – внутриплитовые граниты; ОД – островодужные граниты; ПК – постколлизонные граниты.  
Fig. 6. N.B.Harris diagram for rocks of the Nikolaishor massif. Fields in the diagram: СК – syn-collisional granites; ВП – intraplate granites, ОД – island-arc granites, ПК – postcollisional granites.

Численный метод разделения гранито-гнейсов Николайшорского массива

Таблица 3

Numerical method of separation of granite-gneisses of the Nikolaishor massif

Table 3

Окислы	Номер пробы										Сред нее
	Н-1	Н-2	Н-3	Н-4	Н-5	Н-6	Н-7	Н-8	Н-9	Н-10	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.53	13.72	13.48	13.67	12.57	13.01	13.14	12.58	12.86	13.88	13.24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.65	1.21	1.43	0.48	0.42	1.05	0.75	0.61	0.81	0.94	0.94
MgO	0.05	0.3	0.24	0.35	0.18	0.17	0.42	0.29	0.39	0.41	0.28
Na <sub>2</sub> O	4.28	3.84	3.75	3.11	3.28	3.48	3.33	4.29	3.02	3.11	3.55
K <sub>2</sub> O	2.53	3.53	3.83	4.89	4.31	4.78	5.14	3.79	5.29	5.18	4.33
D <sub>1</sub>	-1.81	-2.14	-1.52	-2.14	-2.28	-0.82	-1.48	-1.79	-1.54	-1.50	-
R <sub>1</sub>	2.69	3.12	2.32	3.11	3.29	1.43	2.26	2.66	2.34	2.29	2.55
D <sub>2</sub>	-2.64	-2.25	-1.52	-1.83	-1.59	-0.24	-0.25	-0.33	-0.32	-1.14	-
R <sub>2</sub>	2.26	1.90	1.20	1.50	1.27	0.01	0.02	0.09	0.08	0.85	0.92

Для оценки геодинамических условий образования гранито-гнейсов Николайшорского массива был использован ряд характеристических диаграмм Дж. А. Пирса, Д. Папу, Н. Б. Харриса. Однако в силу особенностей составления этих диаграмм, вывод по характеру геодинамической обстановки формирования изученных пород получился неоднозначный. Согласно Дж. А. Пирсу и Д. Папу, николайшорские гранито-гнейсы относятся как к синколлизонным, так и к островодужным гранитам. Диаграмма Н. Б. Харриса причисляет эти породы к синколлизонным и постколлизонным гранитам. Полученные расчеты лишь косвенно указывают на коллизонный характер геодинамической обстановки образования гранитов. Этот предварительный вывод полностью был подтвержден мультивариативным дискриминантным анализом по главным элементам С. Агравала, согласно которому породы Николайшорского массива представляют собой синколлизонные граниты, сформированные в позднеорогенное время.

Литература

1. Махлаев Л.В. Гранитоиды севера Центрально-Уральского поднятия (Полярный и Приполярный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 189 с.
2. Фишман М.В., Голдин Б.А. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала. М.-Л.: АН СССР, 1963. 105 с.
3. Пыстин А. М. Полиморфические комплексы западного склона Урала. СПб.: Наука, 1994. 208 с.
4. 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 НЦ УрО РАН. 2011. Вып. 4 (8). С. 73–78.
5. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования

- Приполярноуральского сегмента земной коры // Литосфера. 2008. № 11. С. 25 – 38.
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. *Ефремова С.В., Стафеев К.Г.* Петрохимические методы исследования горных пород. М.: Недра, 1985. 512 с.
  8. *Денисова Ю.В.* Петрохимия гранитов Яротского массива (Приполярный Урал): новые данные // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2020. № 1(41). С. 80–87. DOI: [10.19110/1994-5655-2020-1-80-87](https://doi.org/10.19110/1994-5655-2020-1-80-87).
  9. *Удоратина О.В., Кобл М.А., Шуйский А.С., Капитанова В.А.* Гранитоиды няртинского блока (Приполярный Урал): новые данные // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 9. С. 23 – 32. DOI: [10.19110/2221-1381-2019-9-23-32](https://doi.org/10.19110/2221-1381-2019-9-23-32).
  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., Удоратина О.В., Герцева М.В.* Доордовикские гранитоиды Тимано-Уральского региона и эволюция протоуралид – тиманид. Сыктывкар: Геопринт, 2005. 100 с.
  12. *Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В. и др.* Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
  13. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
  14. *Гусев А.И.* Постколлизийные и орогенные гранитоиды Алтая. М.: Академия Естествознания, 2013. 142 с.
  15. *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.
  16. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: её состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
  17. *Sun S.S.* Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1982. Vol. 46. P. 179 – 192.
  18. *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.
  19. *Papu D., Piccoli M., Piccoli P.* Tectonic discrimination of granitoids // *Bull.* 396. *Geol. Soc. Amer.* 1989. Vol. 101. P. 635 – 643.
  20. *Harris N.B., Pearce J.A., Tindle A.G.* Geochemical characteristics of collision-zone magmatism // *Geol. Soc. Sp. Publ.* 1986. Vol. 19. P. 67 – 81.
  21. *Agrawal S., Guevara M., Verma S.* Discriminant analysis applied to establish major-element field boundaries for tectonic varieties of basic rocks // *J. Geology.* 2004. Vol. 46. P. 575–594. DOI: [10.2747/0020-6814.46.7.575](https://doi.org/10.2747/0020-6814.46.7.575)

## References

1. *Makhlaev L.V.* Granitoidy severa Central'no-Ural'skogo podnyatiya (Polyarnyj i Pripolyarnyj Ural) [Granitoids of the north of the Central Ural uplift (Polar and SubPolar Urals)]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 1996. 189 p.
2. *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.
3. *Pystin A.M.* Polimorficheskie komplekсы zapadnogo sklona Urala [Polymorphic complexes of the western slope of the Urals]. St.Petersburg: Nauka, 1994. 208 p.
4. *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 Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS.* 2011. Issue 4 (8). P. 73–78.
5. *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 SubPolar-Ural segment of the Earth's crust] // *Lithosphere.* 2008. № 11. P. 25–38.
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 Timmana* [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. *Efremova S.V., Stafeev K.G.* Petrohimicheskie metody issledovaniya gornyh porod [Petrochemical methods of rock research]. Moscow: Nedra, 1985. 512 p.
8. *Denisova Yu.V.* Petrohimiya granitov Yarotskogo massiva (Pripolyarnyj Ural): novye dannye [Petrochemistry of granites of the Yarot massif (SubPolar Urals): new data] // *Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS.* 2020. № 1(41). P. 80–87. DOI: [10.19110/1994-5655-2020-1-80-87](https://doi.org/10.19110/1994-5655-2020-1-80-87).
9. *Udoratina O.V., Kobl M.A., Shuisky A.S., Kapitanova V.A.* Granitoidy nyartinskogo bloka (Pripolyarnyj Ural): novye dannye [Granitoids of the Nyarta block (SubPolar Urals): new data] // *Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS.* 2019. № 9. P. 23–32. DOI: [10.19110/2221-1381-2019-9-23-32](https://doi.org/10.19110/2221-1381-2019-9-23-32)
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 [Preordovician granitoids of the Timan-Urals region and the evolution of protiuralid-timanids]. Syktyvkar: Geoprint, 2005. 100 p.
12. *Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.V. et al.* Interpretaciya geohimicheskikh dannyh [Interpretation of geochemical data]. Moscow: Internet Inzhiniring, 2001. 288 p.
13. *Balashov Yu.A.* Geohimiya redkozemel'nyh elementov [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow: Nauka, 1976. 267 p.
14. *Gusev A.I.* Postkollizionnye i orogennye granitoidy Altaya [Post-collisional and orogenic granitoids of Altai]. Moscow: Academy of Natural Sciences, 2013. 142 p.
15. *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.
16. *Teilor S.R., Mc-Lennan S.M.* Kontinental'naya kora: eyo sostav i evolyuciya [Continental crust: its composition and evolution]. Moscow: MIR, 1988. 384 p.
17. *Sun S.S.* Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1982. Vol. 46. P. 179–192.
18. *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.
19. *Papu D., Piccoli M., Piccoli P.* Tectonic discrimination of granitoids // *Bull. 396. Geol. Soc. Amer.* 1989. Vol. 101. P. 635–643.
20. *Harris N.B., Pearce J.A., Tindle A.G.* Geochemical characteristics of collision-zone magmatism // *Geol. Soc. Sp. Publ.* 1986. Vol. 19. P. 67–81.
21. *Agrawal S., Guevara M., Verma S.* Discriminant analysis applied to establish major-element field boundaries for tectonic varieties of basic rocks // *J. Geology.* 2004. Vol. 46. P. 575–594. DOI: 10.2747/0020-6814.46.7.575

Статья поступила в редакцию 11.03.2021