

Петрология гранитов Кожимского массива (Приполярный Урал)

Ю. В. Денисова

Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина
Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
г. Сыктывкар
yulden777@yandex.ru

Аннотация

В работе приводятся результаты исследования гранитов Кожимского массива (Приполярный Урал), ранее объединяемого вместе с лежащим севернее Кузьпуаюским гранитным телом в общий Кожимский массив, вследствие чего многие выводы являлись обобщенными. Детальное изучение пород, включавшее анализы шлифов, аксессуарной и рудной минерализации, петрогенных и редких элементов, проведенное на базе «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН, позволило уточнить и дополнить информацию о гранитогенезе рассмотренного массива. Согласно полученным данным, исследованные породы представляют собой высококалиевые высокоглиноземистые лейкограниты нормальной и умеренной щелочности с повышенным содержанием ортоклаза, наличием плагиоклаза двух генераций. Их формирование проходило во внутриплитных геодинамических условиях с сильным воздействием постмагматических процессов в постколлизийное время из обогащенных лантаном и церием коровых материнских расплавов, для которых характерна зависимость концентраций калия и титана от изменений содержания кремнезема.

Ключевые слова:

гранит, петрохимия, геодинамические условия образования, Кожимский массив, Приполярный Урал

Введение

В пределах северной части Приполярного Урала развиты многочисленные магматические образования разнообразных возрастов (от раннепротерозойского до предположительно кембрийского). В частности, к рифейским интрузиям относятся пуйвинские и мороинские субвулканические образования, представленные метадолеритами и метагаббро-долеритами, а также граниты кожимского комплекса, представителем которого является Кожимский гранитный массив [1]. Кроме того, существуют предположения, что возраст массива может быть как вендским [2], так и поздневендско-раннекембрийским [3], что позволяет некоторым исследователям рассматривать породы массива как лейкограниты второй фазы сальнерско-маньхамбовского комплекса [4]. Ранее в состав Ко-

Petrology of granites of the Kozhim massif (Subpolar Urals)

Yu. V. Denisova

Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin,
Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar
yulden777@yandex.ru

Abstract

The paper presents the study results on granites of the Kozhim massif (the Subpolar Urals). The joint Kozhim massif earlier included the Kuzpuayu granite body. It lies to the north of the Kozhim massif. For this reason, many previously obtained conclusions were summarizing. The detailed study on rocks that included analyses of cuts, accessory and ore mineralization, petrogenic and rare elements was conducted in the Geoscience subdivision at the Institute of Geology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. This study helped to clarify and supplement the information about the granitogenesis of the considered massif. According to the obtained data, the granites under study are high-potassium high-alumina leucogranites of normal and moderate alkalinity with high content of orthoclase and the presence of plagioclase of two generations. The rocks were formed under intraplate and post-collision geodynamic conditions from crustal parent melts enriched with lanthanum and cerium. These melts are characterized by the dependence of potassium and titanium concentrations on changes in silica content.

Keywords:

granite, petrochemistry, geodynamic conditions of formation, Kozhim massif, Subpolar Urals

жимского массива включали лежащее севернее гранитное тело [5]. Однако А. М. Пыстин и Ю. И. Пыстина [6] на основе данных геохронологического исследования установили, что северное тело, получившее название Кузьпуаюский массив, породы которого прорывают верхнерифейские отложения хобеинской и мороинской свит, является самостоятельным интрузивом и не может рассматриваться как составная часть Кожимского массива, залегающего среди отложений пуйвинской свиты среднего рифея. Учитывая, что ранее полученные выводы по петрохимии и геохимии были сделаны для разновозрастных массивов, возникла необходимость получить информацию именно для кожимских гранитов.

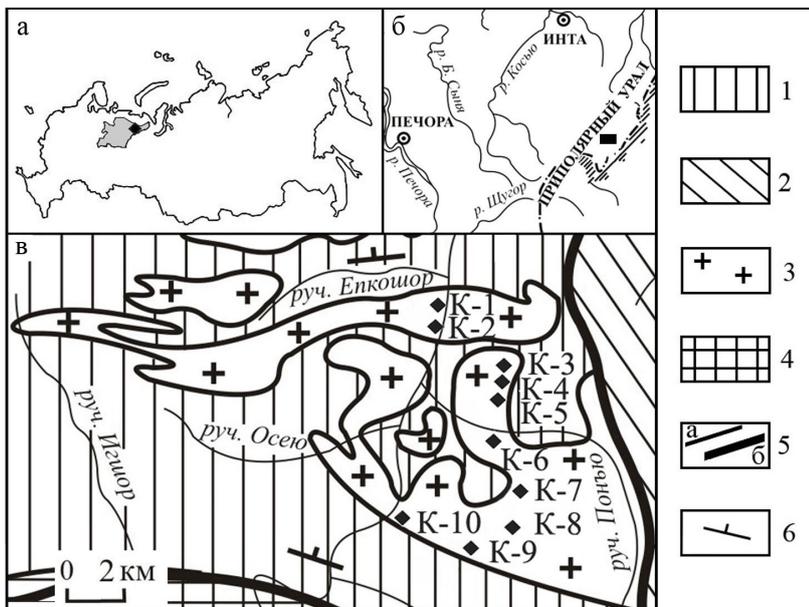


Рисунок 1. а) Карта России (выделенный регион – Республика Коми, квадрат – район исследования); б) Карта района исследований (квадрат – изученный массив); в) Кожимский гранитный массив (по [2]): 1 – слюдяно-кварцевые сланцы, ортосланцы, кварциты; 2 – слюдяно-кварцевые сланцы, порфириды, прослои мраморов и кварцитов; 3 – граниты; 4 – биотитовые и двуслюдяные гнейсы с прослоями амфиболитов; 5 – геологические границы: а – стратиграфические и магматические, б – тектонические; 6 – элементы залегания плоскостных структур. К-п (п – 1-10) – точки отбора образцов.

Figure 1. а) Map of Russia (the highlighted region is the Komi Republic (the square indicates the research area). б) Map of the research area (the square is the studied massif). в) Kozhim granite massif (according to [2]): 1 – mica-quartz shales, orthostanes, quartzites; 2 – mica-quartz shales, porphyrites, interlayers of marbles and quartzites; 3 – granites; 4 – biotite and double-mica gneisses with layers of amphibolites; 5 – geological boundaries: а – stratigraphic and magmatic, б – tectonic; 6 – elements of occurrence of planar structures. К-п (п – 1-10) – sampling points.

В настоящее время к Кожимскому массиву (рис. 1) отнесена группа изолированных гранитных тел, расположенных на левом и правом берегах Кожима в бассейнах рек Осейо и Понью. Массив рассечен с севера на юг зоной субмеридионального Кожимского надвига, граниты вблизи которого интенсивно катаклазированы, рассланцованы. Зоны рассланцевания, пересекающие граниты, ориентированы субгоризонтально, параллельно поверхности Кожимского надвига. В зоне свода Кожимской антиклинали наиболее интенсивные самые поздние смещения происходят вдоль контакта, в районе которого степень рассланцевания изученных гранитов увеличивается. Массив представляет собой межпластовую интрузию, залегающую среди зеленовато-серых мусковит-хлорит-альбит-кварцевых сланцев пуйвинской свиты, дополнительно обрамляемую ореолом маломощных согласных тел светло-серых мусковит-альбит-кварцевых сланцев.

Цель проведенного исследования гранитов Кожимского массива – выявление петрогеохимических особенностей пород и уточнение геодинамической обстановки их формирования.

Материалы и методы

В ходе комплексного изучения гранитов Кожимского массива (Приполярный Урал), выполненного на основе 10 проб, были выявлены петрографические и петрохимические особенности породы. Изучение шлифов под

поляризационным микроскопом БиОптик СР-400 позволило провести оптическую диагностику породообразующих минералов (полевых шпатов, кварца, биотита, мусковита). Анализ акцессорной и рудной минерализации осуществляли с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 (аналитик А. С. Шуйский), содержание петрогенных и редких элементов определяли силикатным и ICP-MS методами соответственно (аналитики О. В. Кокшарова, Г. В. Игнатьев) на базе «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН.

Петрографические особенности гранитов Кожимского массива

Кожимские граниты представляют собой среднезернистые породы розово-серого цвета с зеленовато-серым оттенком (рис. 2), основными породообразующими минералами которых являются калиевый полевой шпат (45 %), плагиоклаз (15); кварц (35); слюды – биотит (4) и мусковит (1 %).

Согласно исследованиям Л. В. Махлаева [7], отличительной особенностью рассматриваемых пород является разнообразие структур, среди которых отмечаются как неравномерно-зернистая гипидиоморфная, характеризующаяся присутствием крупных субидиоморфных вкрапленников полевых шпатов, окруженных средне- или мелкозернистыми скоплениями преимущественно неограниченных зерен кварца, полевых шпатов и чешуек слюд, так и среднезернистая аллотриоморфная, выделяющаяся наличием в среднезернистом цементе зерен минералов в несвойственной им кристаллографической форме. Необходимо также отметить, что рассмотренные граниты претерпели в той или иной степени влияние процессов катаклаза. Для некатаклазированных и умеренно катаклазированных разновидностей отмечается грубозернистая порфиридовидная структура, при которой крупные (более 10 мм) слегка уплощенные вкрапленники калиевого шпата погружены в среднезернистую слюди-кварц-полевошпатовую основную массу. В случае катаклазированных и сильно катаклазированных разновидностей устанавливаются элементы очковой структуры в виде линзовидных зерен полевого шпата в мелкозернистом кварц-биотит-полевошпатовом агрегате. Кроме того, этот исследователь установил, что массив сложен породами, относящимися, согласно классификации Б. Чаппела и А. Уайта, к гранитам А-типа.

В изучаемых автором шлифах основным породообразующим минералом, занимающим почти половину от всего объема породы, является калиевый полевой шпат, представленный ортоклазом, который может быть как оптически однородным, так и пронизан пертитовыми вростками. Трещины в минерале, проявившиеся при воздействии ка-

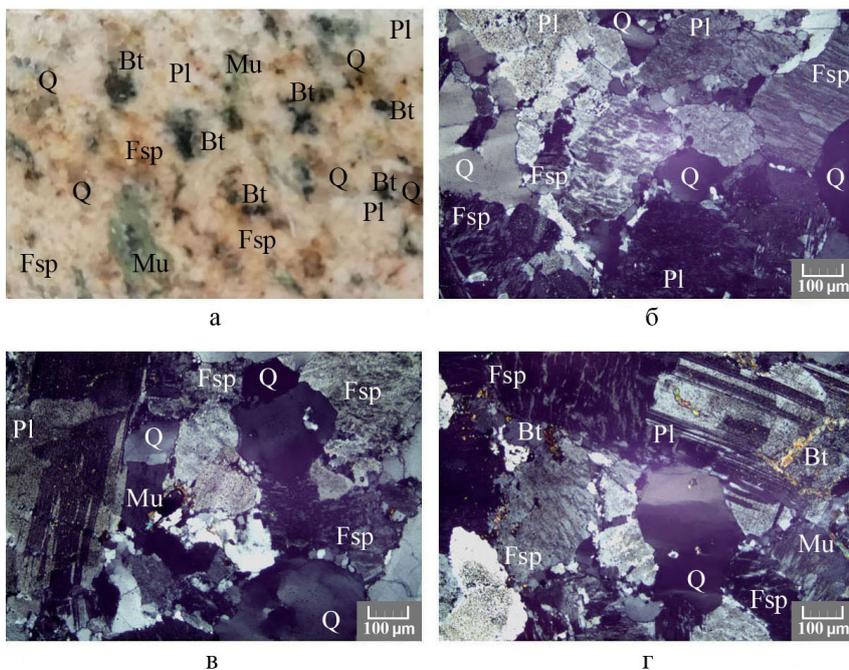


Рисунок 2. Фотографии аншлифа (а) и шлифов (б-г, с анализатором) гранитов Кожимского массива. Породообразующие минералы: Pl – плагиоклаз, Fsp – щелочной полевой шпат, Q – кварц, Bt – биотит. Figure 2. Photos of anisole (a) and sections (б-г, with analyzer) of granites of the Kozhim massif. Rock-forming minerals: Pl – plagioclase, Fsp – alkaline feldspar, Q – quartz, Bt – biotite.

таклаза, обычно заполнены вторичным альбитом. Вторая разновидность полевого шпата характеризуется наличием двух генераций минерала. Плагиоклаз первого типа, отнесенный к магматической стадии развития породы, встречается в виде вкрапленников и гипидиоморфных зерен, которые по анортитовому компоненту (от 8 до 15 %) относятся к альбиту и олигоклазу. Плагиоклаз второго типа, рассматриваемый как метасоматический, наблюдается в виде альбитовых жилок, секущих порфировых вкрапленников, линз в зоне наложенной перекристаллизации. Кварц, кристаллизующийся после основной массы полевого шпата, заполняет оставшиеся пространства в породе, что приводит к образованию ксеноморфных зерен минерала, размером, не превышающим 2 мм. Главный слюдястый минерал рассматриваемой породы – биотит, отмечаемый преимущественно в виде небольших (до 0.5 мм) скоплений темно-зеленых пластинок в основной массе породы. Ко вторичной разновидности слюды относится мусковит, светло-зеленые чешуйки которого можно наблюдать в виде включений во вкрапленниках ортоклаза. Исследование аншлифов породы выявило наличие ряда аксессуарных минералов, наиболее типичными среди них являются циркон, апатит и титанит. Так, можно наблюдать алланит, флюорит, гранат и монацит. Циркон, являющийся наиболее распространенным аксессуарным минералом для кожимских гранитов, отмечен преимущественно в виде прозрачных бесцветных короткопризматических кристаллов с размером зерен до 0.15 мм и коэффициентом удлинения до 2.0. Апатит представлен обычно светло-желтыми полупрозрачными удлиненными кристаллами гексагонального дипирамидально-призматического габитуса, размер которых не превышает 0.4 мм при коэффициенте удлинения до 3.5. Титанит наблюдает-

ся в виде полупрозрачных желтоватых кристаллов (размером до 0.3 мм) с неровными сглаженными гранями. Рудные минералы представлены преимущественно магнетитом, ильменитом, пиритом, молибденитом, также отмечаются пирротин, халькопирит, галенит и сфалерит. Магнетит представлен обломками (до 0.4 мм) кристаллов черного цвета с металлическим блеском. Ильменит встречается в виде коричневатых-черных зерен (до 0.6 мм) неправильной формы с металлическим блеском и раковистым изломом. Пирит образует правильные хорошо ограненные кристаллы (до 0.3 мм) кубического габитуса характерного золотого цвета. Молибденит присутствует в виде темно-серых чешуек (до 0.3 мм) с металлическим блеском неправильной формы.

Петрогеохимические особенности гранитов Кожимского массива

Изучение данных силикатного анализа, проведенного для гранитов Кожимского массива (табл. 1), показало, что содержание маркерных петрогенных элементов (SiO_2 – от 75.89 до 78.12 мас. %, $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ – от 7.17 до 8.32 мас. %) указывает на лейкократовую разновидность породы. Это подтверждается TAS-диаграммой [8], на которой видно, что рассмотренные породы относятся к двум типам лейкогранитов: нормальной и умеренной щелочности (рис. 3).

Анализ содержаний главных щелочных металлов с учетом диаграмм щелочности С. Р. Тейлора [9] (рис. 4, а, б) позволил сделать вывод, что рассмотренные породы по содержанию K_2O являются преимущественно высококалиевыми образованиями. Между кремнеземом и калием отмечена умеренная прямая линейная связь (коэффициент корреляции составляет 0.56). Установленное уравнение парной линейной регрессии указывает, что повышение концентрации содержания SiO_2 в материнском расплаве на 1 мас. % приводит к увеличению содержания K_2O на 0.42 мас. %. Согласно индикаторному отношению $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ граниты Кожимского массива относятся к калиево-натриевому типу пород. Между маркерным отношением и кремнеземом также отмечается умеренная прямая линейная связь (коэффициент корреляции составляет 0.66). В этом случае увеличение содержания SiO_2 на 1 мас. % приведет к увеличению $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ в среднем на 0.26 мас. %. Анализ закономерностей взаимосвязи между петрогенными компонентами и кремнеземом выявил единственную сильную линейную связь между кремнеземом и оксидом титана (коэффициент корреляции составляет -0.80). Диаграмма А. Харкера [10] наглядно демонстрирует, что большая часть фигуративных точек составов гранитов сконцентрировалась вдоль расчетной линии регрессии (рис. 4, в), согласно уравнению которой при увеличении содержания SiO_2 на 1 мас. % содержание

Содержания петрогенных элементов в гранитах Кожимского массива, мас. %

Table 1

Contents of petrogenic elements in granites of the Kozhim massif, wt. %

Компонент	Номер пробы										Среднее
	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10	
SiO ₂	77.78	76.89	75.95	75.89	76.49	78.12	77.54	76.26	77.48	76.95	76.94
TiO ₂	0.16	0.22	0.48	0.52	0.48	0.11	0.24	0.42	0.31	0.59	0.35
Al ₂ O ₃	11.88	11.95	12.69	12.52	10.05	11.34	11.78	12.22	11.09	10.92	11.64
FeO	1.72	1.29	1.15	1.24	0.56	0.50	0.59	0.62	0.61	1.03	0.93
Fe ₂ O ₃	0.84	1.12	0.52	1.05	0.92	1.21	0.87	1.02	0.89	0.56	0.90
MnO	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02
MgO	0.16	0.25	0.17	0.33	0.38	0.39	0.18	0.29	0.19	0.18	0.25
CaO	0.31	0.29	0.22	0.38	0.59	0.28	0.45	0.42	0.37	0.51	0.38
Na ₂ O	3.65	3.33	4.22	4.02	3.08	3.15	3.22	4.51	3.01	3.89	3.61
K ₂ O	3.88	4.51	4.09	3.89	4.15	5.17	4.99	3.78	4.65	3.28	4.24
P ₂ O ₅	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02
ппп	0.05	0.29	0.59	0.15	0.75	0.62	0.39	0.98	1.02	1.23	0.61
Σ	100.46	100.17	100.10	100.02	97.50	100.92	100.28	100.57	99.68	99.19	-
H ₂ O ⁻	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.09	0.02	0.05	0.06	0.08
K ₂ O/Na ₂ O	1.06	1.35	0.97	0.97	1.35	1.64	1.55	0.84	1.54	0.84	-
K ₂ O+Na ₂ O	7.53	7.84	8.31	7.91	7.23	8.32	8.21	8.29	7.66	7.17	-
Ka	0.63	0.66	0.65	0.63	0.72	0.73	0.70	0.68	0.69	0.66	0.68
al'	4.37	4.49	6.90	4.78	5.40	5.40	7.18	6.33	6.56	6.16	5.76
Kf	0.91	0.84	0.87	0.79	0.60	0.56	0.77	0.68	0.76	0.85	0.76

Примечание. Содержания элементов получены силикатным методом в «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (аналитик О. В. Кожшарова).

Note. Petrogenic elements were isolated using the silicate method in the Centre for Collective Use "Science" at the Institute of Geology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (analyst O. V. Koksharova).

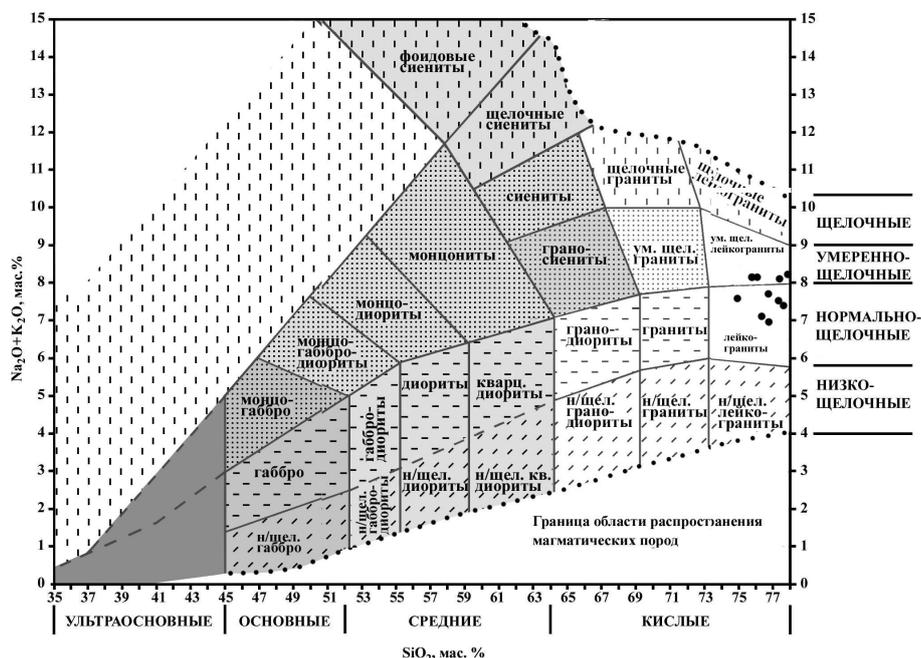


Рисунок 3. TAS-диаграмма для химической классификации плутонических горных пород с позицией точек состава гранитов Кожимского массива.

Figure 3. TAS diagram for the chemical classification of plutonic rocks with the position of composition points of granites of the Kozhim massif.

TiO₂ в гранитах уменьшится на 0.17 мас. %. Коэффициенты корреляции, определяющие взаимосвязь между кремнеземом и другими главными элементами, значительно меньше ($r(\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3) = -0.36$; $r(\text{SiO}_2, \text{MgO}) = 0.12$; $r(\text{SiO}_2, \text{CaO}) = -0.12$; $r(\text{SiO}_2, \text{MnO}) = -0.12$; $r(\text{SiO}_2, \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) = 0$).

о наибольшем количестве безводных силикатов, сформировавшихся на завершающей стадии магматического этапа [11–13].

Анализ данных ICP-MS метода (табл. 2) с использованием индикаторных отношений и нормирования содержания редких элементов по хондриту [14] и по примитивной

По величине коэффициента глиноземистости ($al' = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$: 5.76 (4.37–7.18)) граниты Кожимского массива представляют собой весьма высокоглиноземистые породы, так как все коэффициенты находятся в диапазоне от 2 до 10. Для точки отбора пробы K-7 отмечается наибольшее значение $al' = 7.18$. Коэффициент агаитности ($Ka = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$: 0.68 (0.63–0.73)), значения которого не превышают 1, указывает не только на преобладание глинозема над общим количеством щелочных металлов, но и на концентрацию всего количества калия и натрия в полевых шпатах при образовании породы. Максимальный коэффициент железистости ($Kf = \text{FeO} / (\text{FeO} + \text{MgO})$: 0.76 (0.56–0.91)), наблюдаемый в пробе K-1, позволяет говорить

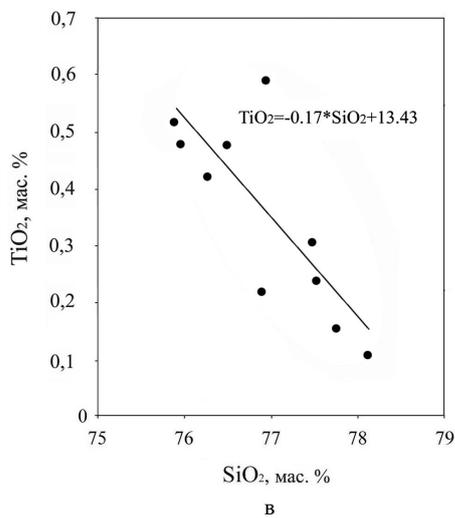
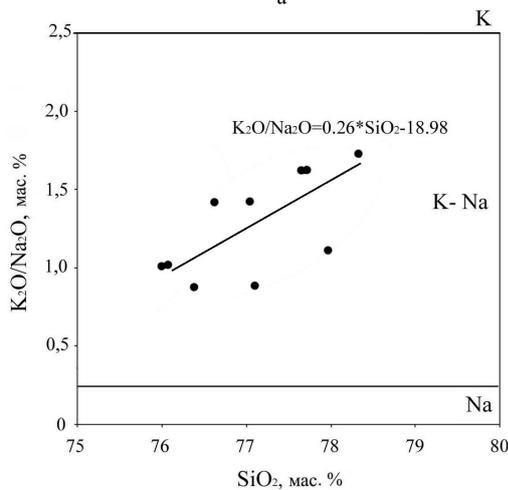
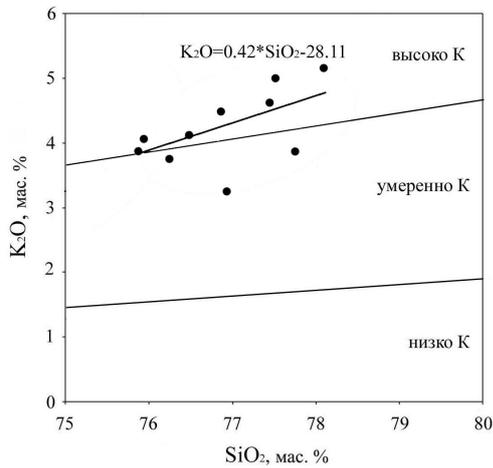


Рисунок 4. Выборочные диаграммы С. Р. Тейлора (а, б) и А. Харкера (в) для гранитов Кожимского массива.

Условные обозначения: а) высоко К – высококалиевый, умеренно К – умеренно калиевый, низко К – низкокалиевый тип; б) К-Na – калиево-натриевый, Na – натриевый тип.

Figure 4. Sample diagrams of S. R. Taylor (a, b) and A. Harker (v) for granites of the Kozhim massif.

Keys: а) высоко К – high potassium; умеренно К – moderate potassium; низко К – low potassium type; б) К-Na – potassium-sodium; Na – sodium type.

мантии [15] (табл. 3) позволил выявить геохимические особенности гранитов Кожимского массива.

Для всех изучаемых образцов характерно преобладание легких редкоземельных элементов над тяжелыми, причем наиболее явно это выражено в образце К-1, характеризующем особенности северо-восточной части Кожимского массива, что подтверждается индикаторным отношением La/Yb, отклоняющимся от среднего значения на +76.06 %. Европиевый дефицит, характеризующий активное удаление полевых шпатов в процессе преобразования материнского расплава в результате фракционной кристаллизации [16], равномерен по всему объему рассмотренного массива, что подтверждается достаточно узким диапазоном значений от 0.7 до 0.12 и в среднем 0.09. Наименьшая величина отношения Eu/Eu* наблюдается для образца К-1 (превышение от среднего на 33.33 %).

В работе Л. П. Рихванова с коллегами [17] показано, что с помощью торий-уранового отношения можно определить степень воздействия (высокая при Th/U<1) процессов метасоматоза на породу. В случае же магматических

Таблица 2

Содержания редких элементов в гранитах Кожимского массива, г/т

Table 2

Contents of rare elements in granites of the Kozhim massif, ppm

Элемент	Номер пробы					Среднее
	К-1	К-2	К-4	К-6	К-9	
Rb	113.47	149.22	146.78	152.56	148.52	142.11
Ba	448.17	348.98	321.88	352.56	322.56	358.83
Th	13.73	13.89	11.78	14.23	11.26	12.98
Ta	1.56	1.79	1.45	1.86	1.43	1.62
Nb	18.58	22.44	30.87	22.36	31.75	25.20
Hf	3.38	4.88	3.67	3.78	4.45	4.03
Zr	60.62	99.77	82.23	102.23	88.15	86.60
Y	27.89	35.22	39.02	35.11	38.89	35.23
U	1.86	2.87	2.89	2.89	3.01	2.70
Sr	42.52	45.12	38.11	39.15	43.02	41.58
La	36.08	33.02	33.92	32.59	33.58	33.84
Ce	74.95	62.15	59.16	64.89	58.88	64.01
Pr	8.56	7.22	6.89	7.59	6.59	7.37
Nd	32.86	30.05	27.15	29.58	25.48	29.02
Sm	6.66	8.02	9.45	7.91	9.89	8.39
Eu	0.77	0.71	0.62	0.68	0.59	0.67
Gd	6.4	7.77	7.12	7.89	7.16	7.27
Tb	1.11	1.39	1.31	1.46	1.29	1.31
Dy	7.17	8.78	8.06	8.89	7.89	8.16
Ho	1.5	1.72	1.59	1.73	1.45	1.60
Er	4.65	5.88	5.11	5.71	4.89	5.25
Tm	0.71	0.88	0.72	0.85	0.68	0.77
Yb	4.77	5.22	7.89	5.02	8.29	6.24
Lu	0.69	0.69	0.65	0.75	0.62	0.68
Eu/Eu*	0.12	0.09	0.08	0.09	0.07	0.09
La/Yb	7.56	6.33	4.30	6.49	4.05	5.75
Th/U	7.38	4.84	4.08	4.92	3.74	4.99
Y/Nb	1.50	1.57	1.26	1.57	1.22	1.43

Примечание. Содержания элементов определены методом ICP-MS в «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (аналитик Г. В. Игнатьев).
Note. Contents of elements were evaluated by the ICP-MS method in the Centre for Collective Use "Science" at the Institute of Geology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (analyst G. V. Ignatyev).

Таблица 3
 Нормирование по хондриту и примитивной мантии, г/т
 Table 3
 Normalization by chondrite and primitive mantle, ppm

Элемент	Среднее	Хондрит [14]	Примитивная мантия [15]	Нормализованные средние данные	
				по [14]	по [15]
Rb	142.11	-	0.635	-	223.80
Ba	358.83	-	6.989	-	51.34
Th	12.98	-	0.085	-	152.71
Ta	1.62	-	0.041	-	39.51
Nb	25.2	-	0.713	-	35.34
Hf	4.03	-	0.309	-	13.04
Zr	86.6	-	11.2	-	7.73
Y	35.23	-	4.55	-	7.74
U	2.7	-	0.021	-	128.57
Sr	41.58	-	21.1	-	1.97
La	33.84	0.24	0.687	141.00	49.26
Ce	64.01	0.61	1.775	104.93	36.06
Pr	7.37	0.09	0.276	81.89	26.70
Nd	29.02	0.46	1.354	63.09	21.43
Sm	8.39	0.15	0.444	55.93	18.90
Eu	0.67	0.06	0.168	11.17	3.99
Gd	7.27	0.21	0.596	34.62	12.20
Tb	1.31	0.04	0.108	32.75	12.13
Dy	8.16	0.25	0.737	32.64	11.07
Ho	1.6	0.06	0.0566	26.67	28.27
Er	5.25	0.17	0.1655	30.88	31.72
Tm	0.77	0.03	0.0255	25.67	30.20
Yb	6.24	0.17	0.17	36.71	36.71
Lu	0.68	0.03	0.0254	22.67	26.77

пород индикаторный диапазон этого отношения будет составлять 2.5–5. Хотя существуют и другие примеры [18, 19]. Величины Th/U-отношения для всех проб гранитов Кожимского массива превышают значение 3.74, что является свидетельством очень слабого процесса метасоматоза на изученную породу. В образце К-1 отмечается самое высокое значение Th/U=7.38, что значительно превышает верхнюю планку характерного диапазона (отклонение от среднего значения данного отношения составляет 67.61%). Содержание урана в этой точке наименьшее по массиву (отклонение от среднего содержания U по массиву – 45.16%). Вынос некоторого количества более подвижного урана может быть связан с воздействием гидротермальных флюидов. Иттрий-ниобиевое отношение позволяет установить тип материнского источника, который можно рассматривать как коровый при Y/Nb>1.2 [20]. В нашем случае все значения, полученные при расчете маркерного отношения, выполняют данное неравенство, что указывает на коровый тип кожимских гранитов.

Нормализация по хондриту подтверждает, что изученные граниты обогащены редкоземельными элементами (преимущественно легкой группы). Наиболее повышенные концентрации характерны для элементов

La и Ce, максимальные значения которых наблюдаются в точке К-1. Нормирование избранных элементов относительно примитивной мантии указывает на высокие содержания Rb и Th, отмечается в виде положительных аномалий не только этих элементов, но и урана на соответствующем графике (рис. 5).

Геодинамические условия образования гранитов Кожимского массива

Имеющиеся данные по содержаниям петрогенных и редких элементов также позволяют оценить предполагаемую геодинамическую обстановку формирования кожимских гранитов. Одной из основных петрохимических диаграмм, по мнению автора, является диаграмма Д. Папу [21]. Потери главных элементов при воздействии наложенных процессов минимальны, что позволяет рассматривать схему, базирующуюся на содержаниях кремнезема и глинозема, как информативную. На данной диаграмме (рис. 6, а) фигуративные точки гранитов Кожимского массива лежат в поле пород континентальных рифтов или внутриплитных образований. Это согласуется с предположением Л. В. Махлаева [7] об образовании массива при внутриплитной обстановке. Диаграмма Н. Б. Харриса [22] (рис. 6, б) указывает на иной геодинамический режим при становлении массива. По содержаниям Rb, Та и Hf кожимские граниты отвечают постколлизонным образованиям. Положение на диаграммах Дж. А. Пирса [23] (рис. 7) указывает на внутриплитовую природу гранитов. Незначительное отклонение фигуративных точек в поле островодужных гранитов может свидетельствовать об аккумуляции плагиоклаза.

Несколько позже Дж. А. Пирсом [24] в диаграмму, основанную на содержаниях Rb, Y и Nb, было предложено добавить область постколлизонных гранитов, в которой, согласно обновленной диаграмме, оказались наши фигуративные точки. Это несколько изменило наши представления. Такое положение точек составов кожимских гранитов может указывать на сильное влияние постмагматических процессов, что подтверждает предположение А. М. Пыстина [6] о процессах ремобилизации в исходных гранитах.

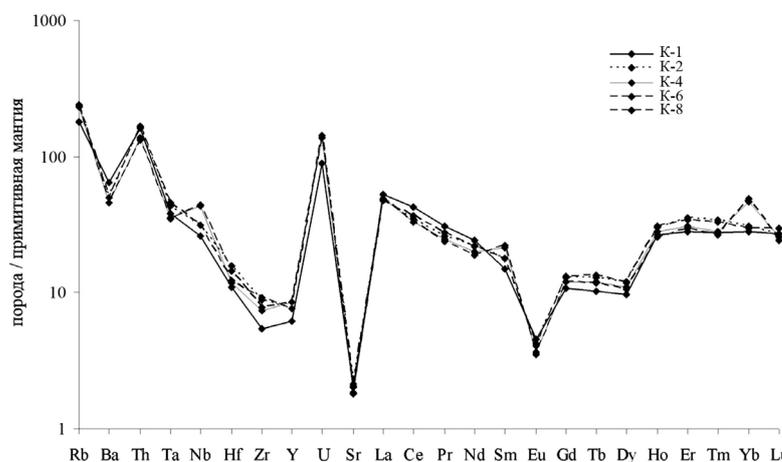


Рисунок 5. Содержания редких элементов в гранитах Кожимского массива, нормализованных по примитивной мантии.
 Figure 5. Contents of rare elements in granites of the Kozhim massif normalized by the primitive mantle.

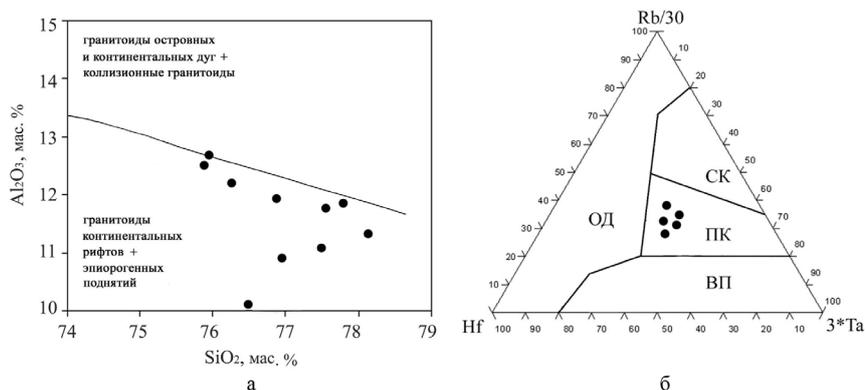


Рисунок 6. Диаграммы Д. Папу (а) и Н. Б. Харриса (б) для гранитов Кожимского массива: СК – синколлизийные, ВП – внутриплитовые, ОД – островодужные, ПК – постколлизийные граниты.
Figure 6. Diagrams by D. Papu (a) and N. B. Harris (b) for granites of the Kozhim massif: СК – syncollisional granites, ВП – intraplate granites, ОД – island-arc granites, ПК – postcollisional granites.

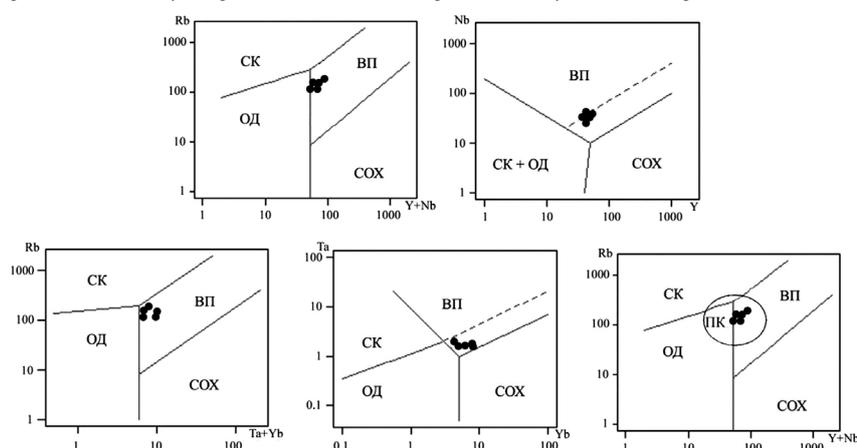


Рисунок 7. Диаграммы Дж. А. Пирса для гранитов Кожимского массива: СК – синколлизийные, ПК – постколлизийные, ВП – внутриплитовые, ОД – островодужные, СОХ – граниты срединно-океанических хребтов.
Figure 7. Diagrams by J. A. Pearce for granites of the Kozhim massif: СК – syncollisional; ПК – postcollisional, ВП – intraplate, ОД – island-arc, СОХ – granites of mid-oceanic ridges.

Заключение

Комплексное изучение пород Кожимского массива (Приполярный Урал), включающее в себя петрографические, петрохимические и геохимические исследования, показало, что граниты представляют собой среднезернистые породы розово-серого цвета с зеленовато-серым оттенком, характеризующиеся повышенным содержанием ортоклаза, наличием плагиоклаза как в виде альбитовых и олигоклазовых вкрапленников, так и в виде поздних прожилков вторичного альбита. По соотношению SiO_2 , щелочей и глинозема породы данного массива являются высококалиевыми высокоглиноземистыми лейкогранитами нормальной и умеренной щелочности, относящимися к калиево-натриево-титановому типу. Граниты образовались из обогащенных преимущественно лантаном и церием коровых материнских расплавов, для которых характерна зависимость концентраций калия и титана от изменений содержания кремнезема.

Становление Кожимского массива проходило при внутриплитных геодинамических условиях одновременно с процессами континентального рифтогенеза на начальных стадиях заложения Протоуралид-Тиманид [1]. Впоследствии в ходе субдукционно-коллизийного

и постколлизийного этапов Протоуралид-Тиманид породы изученного массива претерпели сильное воздействие постмагматических процессов, что указывает на более сложную историю образования массива, чем предполагалось М. В. Фишманом, его коллегами и Л. В. Махлаевым [5, 7].

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Голдин, Б. А. Магматические формации западного склона севера Урала и их минерагения / Б. А. Голдин, Е. П. Калинин, В. Н. Пучков. – Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 1999. – 213 с.
2. Пыстин, А. М. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры / А. М. Пыстин, Ю. И. Пыстина // Литосфера. – 2008. – № 11. – С. 25-38.
3. Иванов, В. Н. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 2 000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-41-XXV. Объяснительная записка / В. Н. Иванов, Т. Б. Жаркова, И. Ю. Курзанов [и др.]. – Москва : МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 252 с.
4. Удоратина, О. В. Гранитоиды Кожимского массива (Приполярный Урал): U-Pb, Lu-Hf данные / О. В. Удоратина, А. С. Шуйский, В. А. Капитанова // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2020. – № 1 (41). – С. 96-105. DOI: 10.19110/1994-5655-2020-1-96-105.
5. Фишман, М. В. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала / М. В. Фишман, Б. А. Голдин. – Москва-Ленинград : АН СССР, 1963. – 105 с.
6. Пыстин, А. М. Новые данные о возрасте гранитоидов Приполярного Урала в связи с проблемой выделения кожимской среднерифейской гранит-риолитовой формации / А. М. Пыстин, Ю. И. Пыстина // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2011. – № 4 (8). – С. 73-78.
7. Махлаев, Л. В. Гранитоиды севера Центрально-Уральского поднятия (Полярный и Приполярный Урал) / Л. В. Махлаев. – Екатеринбург : УрО РАН, 1996. – 189 с.
8. Шарпенко, Л. Н. TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород / Л. Н. Шарпенко, А. Е. Костин, Е. А. Кухаренко // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 40-50.
9. Taylor, S. R. The continental crust : Its composition and evolution / S. R. Taylor, S. M. McLennan // Blackwell, Oxford, 1985. – P. 1-312.

10. Harker, A. The natural history of igneous rocks / A. Harker. – Methuen. London, 1909. – 452 p. DOI: 10.1017/CBO9780511920424.
11. Ефремова, С. В. Петрохимические методы исследования горных пород / С. В. Ефремова, К. Г. Стафеев. – Москва : Недра, 1985. – 512 с.
12. Кузнецов, Н. Б. Доордовикские гранитоиды Тимано-Уральского региона и эволюция протииуралитид – тиманид / Н. Б. Кузнецов, А. А. Соболева, О. В. Удоратина, М. В. Герцева. – Сыктывкар : Геопринт, 2005. – 100 с.
13. Удоратина, О. В. Гранитоиды севера Урала: геохронология, эволюция, источники / О. В. Удоратина, К. В. Куликова, А. С. Шуйский, А. А. Соболева, В. Л. Андреичев [и др.]. – Сыктывкар : ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2022. – 120 с.
14. Sun, S. S. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle / S. S. Sun // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1982. – Vol. 46. – P. 179–192.
15. McDonough, W. F. The composition of the Earth / W. F. McDonough, S. S. Sun // *Chemical Geology*. – 1995. – Vol. 120. – P. 223–253. DOI: 10.1016/0009-2541(94)00140-4.
16. Балашов, Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов / Ю. А. Балашов. – Москва : Наука, 1976. – 267 с.
17. Рихванов, Л. П. Радиогеохимические методы поисков месторождений нефти и газа / Л. П. Рихванов, И. С. Соболев, Н. Г. Лященко // *Прикладная геохимия*. – 2002. – № 3. – С. 383–394.
18. Hoskin, P. W. O. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis / P. W. O. Hoskin, U. Schaltegger // *Rev Mineral Geochem*. – 2003. – Vol. 53. – P. 27–62.
19. Rubatto, D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U–Pb ages and metamorphism / D. Rubatto // *Chemical Geology*. – 2002. – Vol. 184. – P. 123–138, DOI : 10.1016/S0009-2541(01)00355-2.
20. Eby, G. N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications / G. N. Eby // *Geology*. – 1992. – Vol. 20. – P. 641–644.
21. Papu, D. Tectonic discrimination of granitoids / D. Papu, M. Piccoli, P. Piccoli // *Bull. 396. Geol. Soc. Amer.* – 1989. – Vol. 101. – P. 635–643.
22. Harris, N. B. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism / N. B. Harris, J. A. Pearce, A. G. Tindle // *Geol. Soc. Sp. Publ.* – 1986. – Vol. 19. – P. 67–81.
23. Pearce, J. A. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks / J. A. Pearce, V. B. W. Harris, A. G. Tindle // *J. Petrol.* – 1984. – Vol. 25. – P. 956–983.
24. Pearce, J. A. Sources and settings of granitic rocks / J. A. Pearce // *Episodes Journal of International Geoscience*. – 1996. – Vol. 19 (4). – P. 120–125.
3. Ivanov, V. N. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 2 000. North Ural series. List Q-41-XXV. Explanatory note. – V. N. Ivanov, T. B. Zharkova, I. Yu. Kurzanov [et al.]. – Moscow : MF VSEGEI, 2013. – 252 p.
4. Udoratina, O. V. Granitoidy Kozhimskogo massiva (Pripolyarnyj Ural) : U-Pb, Lu- Hf dannye [Granitoids of the Kozhim massif (Subpolar Urals): U-Pb, Lu-Hf data] / O. V. Udoratina, A. S. Shuyskiy, V. A. Kapitanova // *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. – 2020. – № 1 (41). – P. 96–105. DOI: 10.19110/1994-5655-2020-1-96-105.
5. Fishman, M. V. Granitoidy central'noj chasti Pripolyarnogo Urala [Granitoids of the central part of the Subpolar Urals] / M. V. Fishman, B. A. Goldin. – Moscow; Leningrad : AS USSR, 1963. – 105 p.
6. Pystin, A. M. Novye dannye o vozraste granitoidov Pripolyarnogo Urala v svyazi s problemoj vydeleniya kozhimskoj srednerifejskoj granit-riolitovoj formacii [New data on the age of granitoids of the Subpolar Urals in view of the identification problem of the Kozhim Middle Riphaean granite-rhyolite formation] / A. M. Pystin, Yu. I. Pystina // *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. – 2011. – № 4(8). – P. 73–78.
7. 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)]. – L. V. Makhlaev. – Ekaterinburg : UB RAS, 1996. – 189 p.
8. Sharpenok, L. N. TAS-diagramma summa shchelochej – kremnezem dlya himicheskoy klassifikacii i diagnostiki plutonicheskikh porod [TAS-diagram sum of alkali - silica for chemical classification and diagnostics of plutonic rocks] / L. N. Sharpenok, A. E. Kostin, E. A. Kukharensko // *Regional'naya geologiya i metallogeniya [Regional Geology and Metallogeny]*. – 2013. – № 56. – P. 40–50.
9. Taylor, S. R. The continental crust : Its composition and evolution / S. R. Taylor, S. M. McLennan // *Blackwell, Oxford*, 1985. – P. 1–312.
10. Harker, A. The natural history of igneous rocks / A. Harker. – Methuen. London, 1909. – 452 p. DOI: 10.1017/CBO9780511920424.
11. Ефремова, С. В. Петрохимические методы исследования горных пород [Petrochemical study methods of rocks] / С. В. Ефремова, К. Г. Стафеев. – Москва : Недра, 1985. – 512 с.
12. Кuznetsov, N. B. Doordovikskie granitoidy Timano-Ural'skogo regiona i evolyuciya protiiurallid-timanid [Pre-Ordovician granitoids of the Timan-Ural region and the evolution of protiiurallids-timanids] / N. B. Kuznetsov, A. A. Soboлева, O. V. Udoratina, M. V. Gertseva. – Сыктывкар : Геопринт, 2005. – 100 p.
13. Udoratina, O. V. Granitoidy severa Urala: geohronologiya, evolyuciya, istochniki [Granitoids of the Northern Urals: geochronology, evolution, sources] / O. V. Udoratina, K. V. Kulikova, A. S. Shuisky, A. A. Soboлева, V. L. Andreichev

References

1. Goldin, B. A. Magmatichekie formacii zapadnogo sklona severa Urala i ih minerageniya [Magmatic formations of the western slope of the Northern Urals and their minerageny] / B. A. Goldin, E. P. Kalinin, V. N. Puchkov. – Сыктывкар, Komi SC UB RAS, 1999. – 213 p.
2. Pystin, A. M. Metamorfizm i granitoobrazovanie v prote-rozojsko- rannepaleozojskoj istorii formirovaniya Pripol-

- [et al.]. – Syktyvkar : Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2022. – 120 p.
14. Sun, S. S. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle / S. S. Sun // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1982. – Vol. 46. – P. 179–192.
 15. McDonough, W. F. The composition of the Earth / W. F. McDonough, S. S. Sun // *Chemical Geology*. – 1995. – Vol. 120. – P. 223–253. DOI: 10.1016/0009-2541(94)00140-4.
 16. Balashov, Yu. A. Geohimiya redkozemel'nyh elementov [Geochemistry of rare earth elements] / Yu. A. Balashov. – Moscow : Nauka, 1976. – 267 p.
 17. Rikhvanov, L. P. Radiogeohimicheskie metody poiskov mestorozhdenij nefiti i gaza [Radiogeochemical methods of prospecting oil and gas deposits] / L. P. Rikhvanov, I. S. Sobolev, N. G. Lyashchenko // *Prikladnaya geohimiya [Applied Geochemistry]*. – 2002. – № 3. – P. 383–394.
 18. Hoskin, P. W. O. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis / P. W. O. Hoskin, U. Schaltegger // *Rev Mineral Geochem*. – 2003. – Vol. 53. – P. 27–62.
 19. Rubatto, D. Zircon trace element geochemistry : Partitioning with garnet and the link between U–Pb ages and metamorphism / D. Rubatto // *Chemical Geology*. – 2002. – Vol. 184. – P. 123–138, DOI : 10.1016/S0009-2541(01)00355-2.
 20. Eby, G. N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications / G. N. Eby // *Geology*. – 1992. – Vol. 20. – P. 641–644.
 21. Papu, D. Tectonic discrimination of granitoids / D. Papu, M. Piccoli, P. Piccoli // *Bull. 396. Geol. Soc. Amer.* – 1989. – Vol. 101. – P. 635–643.
 22. Harris, N. B. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism / N. B. Harris, J. A. Pearce, A. G. Tindle // *Geol. Soc. Sp. Publ.* – 1986. – Vol. 19. – P. 67–81.
 23. Pearce, J. A. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks / J. A. Pearce, V. B. W. Harris, A. G. Tindle // *J. Petrol.* – 1984. – Vol. 25. – P. 956–983.
 24. Pearce, J. A. Sources and settings of granitic rocks / J. A. Pearce // *Episodes Journal of International Geoscience*. – 1996. – Vol. 19 (4). – P. 120–125.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского сегмента литосферы», ГР № 122040600012-2.

Acknowledgements (state task)

The work was carried out within the frames of the state task of the Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS “Deep structure, geodynamic evolution, interaction of geospheres, magmatism, metamorphism and isotopic geochronology of the Timan-North Ural segment of the lithosphere”, state registration № 122040600012-2.

Информация об авторе:

Денисова Юлия Вячеславовна – младший научный сотрудник лаборатории региональной геологии Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: yulden777@yandex.ru).

About the author:

Yulia V. Denisova – Junior Researcher at the Laboratory of Regional Geology of the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, 167982 Russian Federation; e-mail: yulden777@yandex.ru).

Для цитирования:

Денисова, Ю. В. Петрология гранитов Кожимского массива (Приполярный Урал) / Ю. В. Денисова // *Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле»*. – 2024. – № 3 (69). – С. 18–26.

For citation:

Denisova, Yu. V. Petrologiya granitov Kozhimskogo massiva (Pripolyarnyj Ural) [Petrology of granites of the Kozhim massif (Subpolar Urals)] / Yu. V. Denisova // *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series “Earth Sciences”*. – 2024. – № 3 (69). – P. 18–26.

Дата поступления статьи: 06.03.2024

Прошла рецензирование: 10.04.2024

Принято решение о публикации: 27.03.2024

Received: 06.03.2024

Reviewed: 10.04.2024

Accepted: 27.03.2024