

Петрохимические особенности гранитов Приполярного Урала

Денисова Ю. В. 

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, yulden777@yandex.ru

Аннотация. Среди большого разнообразия типизации гранитов, обнажающихся в северной части Приполярного Урала, в качестве рабочей была принята схема под авторством А. М. Пыстина. На основе типичной формы интрузий, их взаимодействию с вмещающими породами и геохронологических датировок граниты рассмотренного района разделяются на три комплекса (николайшорский, кожимский, сальнеро-маньхамбовский). Выбранные в качестве объектов изучения гранитные массивы представляют не только все выделенные комплексы, но и все типы гранитов по Б. Чаппеле, установленные в пределах Приполярного Урала. Изучение петрогенных оксидов и взаимосвязей между ними позволили подтвердить правомерность отнесения этих массивов к разным комплексам, выявив для рассмотренных массивов петрохимические особенности. Для гранитов Николайшорского массива установлено, что повышение уровня кремнезема ведет к увеличению доли калиевого полевого шпата относительно плагиоклаза (с заменой олигоклаза на альбит) и уменьшению содержания минералов железа в породе. В гранитах Кожимского массива при увеличении содержания кремнезема на 1 мас. %, доля калиевого шпата относительно альбита увеличивается на 26 % и значительно снижается количество минералов титана в породе. Граниты Малдинского массива характеризуются уменьшением суммарной доли полевых шпатов с заменой калиевой разновидности на натриевую при увеличении уровня кремнезема и максимальной концентрацией минералов железа в породе. В гранитах Бадьяюского и Яротского массивов отмечается максимальное количество калиевого полевого шпата, доля которого может в два раза превышать содержание плагиоклаза.

Ключевые слова: гранит, николайшорский комплекс, кожимский комплекс, сальнеро-маньхамбовский комплекс, Приполярный Урал.

Petrogeochemical features of granites of the Subpolar Urals

Denisova Yu. V. 

Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar, yulden777@yandex.ru

Abstract. Among the wide variety of granite types exposed in the northern part of the Circumpolar Urals, the scheme authored by A.M. Pystin was adopted as a working one. Based on the typical shape of the intrusions, their interaction with the host rocks, and geochronological dating, the granites of the area under consideration are divided into three complexes (nikolaishorsky, kozhimsky, and salnero-mankhambovsky). The granite massifs selected as objects of study represent not only all the identified complexes, but also all types of granites according to B. Chapeil, established within the Subpolar Urals. The study of petrogenic oxides and the interrelationships between them made it possible to confirm the validity of attributing these arrays to different complexes, revealing petrochemical features for the considered arrays. For granites of the Nikolaishor massif, it was found that an increase in the silica level leads to an increase in the proportion of potassium feldspar relative to plagioclase (with the replacement of oligoclase by albite) and a decrease in the content of iron minerals in the rock. In the granite of the Kozhim massif with an increase in the silica content by 1 wt. %. The proportion of potassium spar relative to albite increases by 26 % and the amount of titanium minerals in the rock significantly decreases. The granites of the Maldin massif are characterized by a decrease in the total proportion of feldspar with the replacement of the potassium variety with sodium with an increase in the level of silica and the maximum concentration of iron minerals in the rock. The granites of the Badyai and Yarot massifs contain the maximum amount of potassium feldspar, the proportion of which can be twice as high as the content of plagioclase.

Keywords: granite, nikolaishorsky complex, kozhimsky complex, salnero-mankhambovsky complex, the Subpolar Urals.

Введение

В пределах западного склона Приполярного Урала отмечается множество гранитных массивов. Различие в возрасте, форме залегания и взаимодействии с вмещающими породами позволи-

ли некоторым исследователями предложить свою систематизацию гранитов изученного района. Первая типизация была предложена М. В. Фишманом и Б. А. Голдиным (Фишман, Голдин, 1963), при которой все граниты северной части Приполярного Урал на основе их геохронологических датировок были распределены по эпохам складчатости. На завершающем этапе байкальской складчатости (545–490 млн лет) сформировался сальнерско-маньхамбовский интрузивный гранодиорит-гранитный комплекс, к которому были отнесены Сальнерский, Маньхамбовский, Ильяизский, Яротский, Бадьяюский, Малдинский и др. массивы. В период с 400 по 225 млн лет при завершении каледонского и в течении герцинского периода повышенной магматической активности происходило становление кожимского интрузивно-метасоматического гранитного комплекса, который составляли такие массивы, как Водораздельный, Вангырский, Хаталамба-Лапчинский Кожимский, Николайшорский и др. Б. А. Голдин с коллегами (Голдин и др., 1999), изучив контакты гранитов с прорываемыми породами, предложили распределить граниты рассматриваемого района по периодам геологической истории Земли. Исследователи не согласились с очень молодым возрастом риолит-гранитной кожимской формации, предлагая радикальное изменение возрастной характеристики, заменив ее на средний рифей. Далее в периоды позднего рифея и венда происходило образование гранитной сальнерско-маньхамбовской формации, чуть позже (венд-кембрий) сформировалась третья дополнительная гранитная формация, включавшая Малдинский, Ильяизский, Малопотоцкий и другие массивы, названная как малопотоцко-ильязская. С развитием геохронологической методологии произошло увеличение точности получаемых возрастных характеристик, что позволило впоследствии другим исследователям предложить другие классификации гранитов Приполярного Урала. В. Л. Андреичев (Андреичев, 2010) разделял граниты по этапам тектогенеза рассматриваемого района: 1 – закрытие Протоуральского океана (640–580 млн лет) – становление синколлизонных гранитов (Николайшорский, Кожимский и др. массивы); 2 – переходный этап (560–550 млн лет) – формирование гранитов при разных геотектонических условиях (от синколлизонных до внутриплитных) (Народинский, Лавкашорский и др. массивы); 3 – эпиконтинентальный рифтинг (520–490 млн лет) – образование внутриплитных гранитов (Маньхамбовский, Тынагодский и др. массивы). О. В. Удоратина с коллегами (Удоратина и др., 2022) посчитала, что в выделении переходного этапа нет необходимости, распределив все гранитные массивы так же по циклам тектонического развития Уральского орогена: коллизонный магматизм (650–520 млн лет) – Николайшорский, Лапчавожский и др. массивы; рифтогенный магматизм (520–480 млн лет) – Кожимский, Народинский и другие массивы.

А. М. Пыстин (Пыстин, 1994; Пыстин, Пыстина, 2011) предложил свою корреляцию гранитов Западного склона Приполярного Урала, распределив их по трем комплексам: раннепротерозойский николайшорский (Николайшорский, Лавкашорский, Хальмерьюский и др. массивы); позднерифейский кожимский (Кожимский, южная часть Хаталамба-Лапчинского массива); венд-раннекембрийский сальнеро-маньхамбовской (Малдинский, Бадьяюский, Яротский массивы и др.). Эта схема в нашем исследовании будет рассматриваться как основная.

В качестве объектов изучения были выбраны представители каждого комплекса: николайшорский комплекс Николайшорский массив, обнажающийся в бассейне ручья Николай-Шор, кожимский комплекс – Кожимский массив, представляющий собой группу гранитных тел, наблюдаемых на берегах реки Кожим, а также несколько гранитных массивов, относимых к сальнеро-маньхамбовскому комплексу: I фаза – Малдинский массив, отмечаемый между юго-западным окончанием хребта Малдынырд и водоразделом рек Лимбеко-Ю и Балбан-Ю; II фаза – Бадьяюский и Яротский массивы, первый из которых пересекает долины рек Малая и Большая Бадьяю, второй – реку Малая Ярота.

Целью проведенного изучения гранитных массивов Приполярного Урала, относящихся к разным комплексам, является выявление особенностей распределения петрогенных оксидов.

Материалы и методы

Пробы (в размере 10 единиц) были отобраны из серо-зеленых (Николайшорский, Малдинский массивы) и розово-серых (Кожимский, Бадьяюский, Яротский массивы) среднезернистых пород,

согласно Л. В. Махлаеву (Махлаев, 1996) представляющих весь спектр типов гранитов (за исключением М-типа гранитов, которые не обнаружены на этой территории) по классификации Б. Чаппе-ла (Chappeil, 1984), выявленных в пределах Западного склона Приполярного Урала: S-тип (Николайшорский массив), I-тип (Малдинский массив), А-тип (Кожимский, Бадьяюский, Яротский массивы).

Содержание главных и редких элементов в гранитах Николайшорского, Кожимского, Бадьяюского и Яротского массивов выявлено с помощью рентгено-спектрального флюоресцентного анализа и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ЦКП «Наука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН, аналитики О. В. Кокшарова, Г. В. Игнатьев). Химический состав гранитов этих массивов представлен в работах автора (Денисова, 2020, 2021, 2023, 2024). Необходимые данные для Малдинского массива взяты в работах М. В. Фишмана, Б. А. Голдина (Фишман, Голдин, 1963), А. А. Соболевой (Соболева, 2004).

Результаты и обсуждение

Анализ содержаний суммарного значения щелочных металлов и кремнезема на базе квалификационной диаграммы TAS (Шарпенко и др., 2008), выявил, что рассмотренные породы всех массивов относятся к породам нормальной и умеренной щелочности. При этом в случае Малдинского массива – это граниты, остальные массивы сложены лейкогранитами, что подтверждает данные других исследователей (рис. 1.).

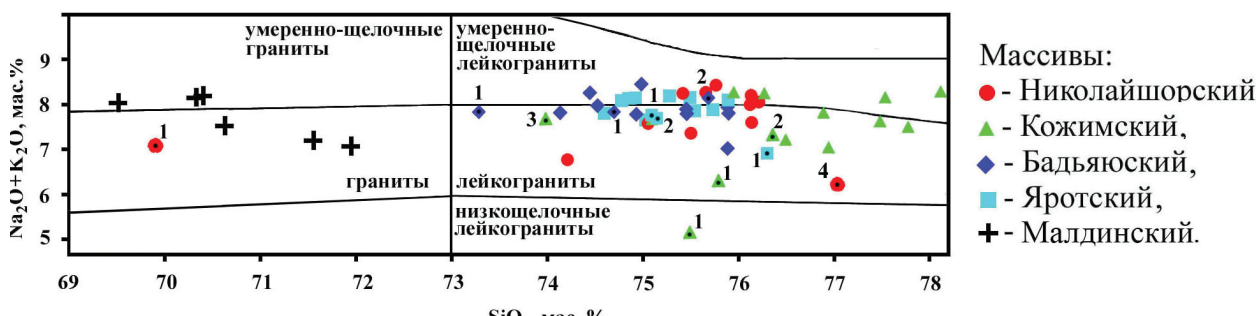


Рис. 1. Химическая классификация пород гранитных массивов Приполярного Урала согласно TAS-диаграмме. Петрохимические данные других исследователей: 1 – Фишман М. В., Голдин Б. А. (1963); 2 – Махлаев Л. В. (1996) (сз – средние значения); 3 – Удоратина О. В., Шуйский А. С., Капитанова В. А. (Удоратина и др., 2020); 4 – Удоратина О. В., Кобл М. А., Шуйский А. С., Капитанова В. А. (Удоратина и др., 2019). Малдинский массив – по данным: Фишман М. В., Голдин Б. А. (1963); Соболева А. А. (2004)

Fig. 1. Chemical classification of granite rocks in the Subpolar Urals according to the TAS diagram. Petrochemical data from other researchers: 1]– Fishman M. V., Goldin B. A. (1963); 2 – Makhlaev L. V. (1996) (nw – average values); 3 – Udoratina O. V., Shuisky A. S., Kapitanova V. A. (Udoratina et al., 2020); 4 – Udoratina O. V., Koble M. A., Shuisky A. S., Kapitanova V. A. (Udoratina et al., 2019). The Malkin massif is analyzed according to the data of: Fishman M. V., Goldin B. A. (1963); Soboleva A. A. (2004)

Дальнейшее изучение этих оксидов с помощью диагностических диаграмм С. Р. Тейлора (Taylor, McLennan, 1985) позволило дополнить ранее полученную информацию по общей щелочности пород (рис. 2). Кроме того, для каждой пары оксидов (кремнезем и оксидом калия или вариацией щелочных металлов) был определен коэффициент корреляции (r) для выявления степени взаимосвязи между ними (табл. 1). Наличие очень сильной прямой ($r > 0$) или обратной ($r < 0$) линейной взаимосвязи между оксидами и их вариациями подтверждается при $r \geq 0.7$. В случае, если маркерный коэффициент принимает значения (0.3; 0.5) связь рассматривается как слабая, при попадании в диапазон (0.5; 0.7) имеет смысл говорить о присутствии тенденции (связь между оксидами средняя) (Горяинов и др., 2001).

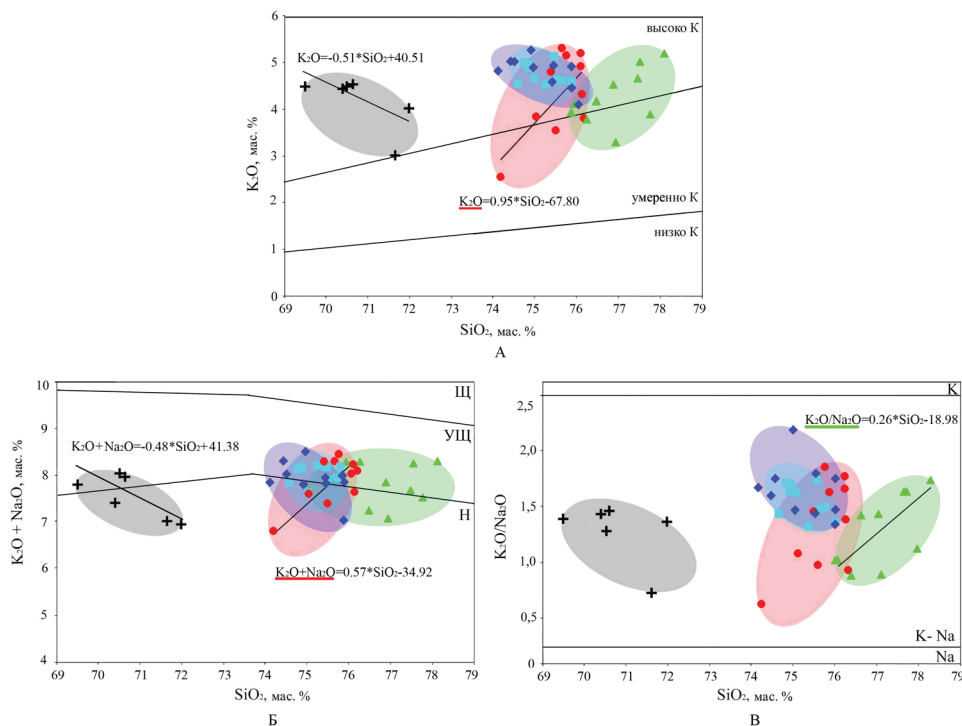


Рис. 2. Диаграммы щелочности по С. Р. Тейлору: точки составов на рис. 1. Тип породы: А. высоко К – высоко-калиевый; умеренно К – умеренно-калиевый; низко К – низко-калиевый. Б. Щ – щелочной; УЩ – умеренно щелочной; Н – нормальный. В. К – калиевый; К-На – калиево-натриевый; Na – натриевый

Fig. 2. Diagrams of alkalinity according to S. R. Taylor. 1. Rock type: A. high K – high-potassium; moderate K – moderate-potassium; low K – low-potassium. B. Sch – alkaline; USch – moderately alkaline; H – normal. B. K – potassium; K-Na – potassium-sodium; Na – sodium

Таблица 1. Коэффициенты корреляции к диаграммам С. Р. Тейлора
Table 1. Correlation coefficients for S. R. Taylor diagram

Окислы, их вариации	SiO ₂				
	1	2	3	4	5
K ₂ O	0.7	0.6	-0.6	-0.3	-0.7
K ₂ O+Na ₂ O	0.7	0.1	-0.5	-0.2	-0.9
K ₂ O/Na ₂ O /Na ₂ O	0.6	0.7	-0.3	-0.4	-0.5

Примечание. Массив: 1 – Николайшорский; 2 – Кожимский; 3 – Бадьяюский; 4 – Яротский; 5 – Малдинский.

Все рассмотренные породы относятся к калиево-натриевой разновидности. По содержанию оксида калия, только граниты сальнеро-маньхамбовского комплекса (Малдинский, Бадьяюский, Яротский массивы) – высоко-калиевые породы, точки составов гранитов Николайшорского и Кожимского массивов занимают промежуточное положение между высоко- и умеренно-калиевыми образованиями.

Породы Николайшорского массива характеризуются прямой взаимосвязью между кремнеземом и щелочными металлами, которая сильно проявлена в случае оксида калия и суммарного рассмотрения его с натрием. Расчетные уравнения линейной регрессии (рис. 2 А, 2В) показывают, что с увеличением содержания SiO₂ в породе на 1 мас. % содержание K₂O увеличиться практически на такой же процент (0.97 мас. %), т. е. увеличение кремнезема в породе пропорционально повышает степень насыщения калием породы, преобразуя умеренно-калиевые породы в высоко-калиевые. Добавление в рассмотрение оксида натрия показывает, что изменение щелочности породы с нормальной на умеренную происходит в более медленном режиме: при повышении кон-

концентрации кремнезема на 1 мас. % накопление суммарного содержания щелочных оксидов составит 0.57 мас. %. Учитывая, что отношение K_2O/Na_2O характеризует соотношение калиевого полевого шпата и плагиоклаза в породе (Остапенко, 1995), видим, что для гранитов отмечается положительная тенденция: при повышении кремнеземности породы в 60 % точек отбора произойдет увеличение процентного содержания калиевого шпата относительно натриевого.

Выявленная в граните Кожимского массива прямая линейная взаимосвязь между содержанием кремнезема и отношением K_2O/Na_2O показывает, что при повышении уровня SiO_2 количество калиевого полевого шпата относительно плагиоклаза увеличивается на 26 % (рис. 2 Б). Так же в этом случае отмечается рост содержания оксида калия. При этом количество кремнезема никак не влияет на общее количество плагиоклазов.

Наиболее сильные связи установлены для гранитов Малдинского массива: при повышении концентрации SiO_2 на 1 мас. % содержание K_2O уменьшится на 0.51 мас. % (рис. 2 А). Однако, этот факт не влияет на изменение типа породы, оставляя малдинские граниты высоко-калийными за счет изначально меньшего содержания кремнезема по сравнению с другими рассмотренными породами. При повышении содержания кремнезема на 1 мас. % так же снижается сумма щелочных металлов на 0.48 мас. %, что ведет к изменению степени щелочности гранитов до нормальной (рис. 2 Б). Так же это может свидетельствовать об увеличении количества кварца в породе при снижении суммарного количества плагиоклазов. При этом происходит изменение видового состава полевых шпатов с калиевого на натровый (отрицательная тенденция K_2O/Na_2O при увеличении содержания кремнезема). Это подтверждает наблюдения Л. В. Махлаева, согласно которым в отдельных участках массива можно наблюдать более высокое содержание плагиоклаза в породе по сравнению с калиевым полевым шпатом.

Для гранитов Бадьяюского и Яротского массивов отмечаются усредненные составы рассмотренных оксидов, при этом точки составов этих гранитов компонуется вместе (рис. 1, 2), что указывает на их сходство, что свидетельствует о формировании пород из одних материнских расплавов. Это согласуется с предположением Л. В. Махлаева о едином Лемвинско-Яротском плутоне, в состав которого вероятно входят эти массивы. Наиболее сильно обратные тенденции отмечаются для гранитов Бадьяюского массива: при увеличении концентрации кремнезема в породе уменьшается как количество оксида калия, так и суммы щелочных металлов. Кроме того, рассмотренные граниты характеризуются максимальными значениями K_2O/Na_2O отношений, которые указывают, что в отдельных точках массивов содержание калиевого полевого шпата может превышать содержание плагиоклаза в два раза.

В породах сальнеро-маньхамбовского комплекса как первой фазы (Малдинский массив), так и второй фазы (Бадьяюский и Яротский массивы) при изучении влияния содержания кремнезема на содержания оксидов щелочных металлов в разных комбинациях во всех случаях отмечается отрицательная зависимость той или иной степени. Это полностью противоположно особенностям, наблюдаемым для пород Николайшорского и Кожимского массивов. Это позволяет определить общие характеристики для гранитов сальнеро-маньхамбовского комплекса. При увеличении концентрации SiO_2 уменьшается содержание K_2O , что влечет за собой уменьшение степени щелочности гранитов (с умеренно щелочных до нормальных пород) и увеличение процентного содержания плагиоклаза в породе относительно калиевого полевого шпата.

Анализируя остальные петрогенные оксиды с помощью диаграмм А. Харкера (Harker, 1909) (рис. 3) и коэффициентов корреляции (табл. 2), отмечаем, характерные содержания для изученных массивов:

- Николайшорский массив – широкий диапазон значений (CaO), сильная линейная связь (SiO_2 и CaO , MgO , $FeO+Fe_2O_3$);
- Кожимский массив – максимальное (SiO_2) и минимальные (Al_2O_3 , CaO). широкий диапазон значений (TiO_2), сильная линейная связь (SiO_2 и TiO_2);
- Малдинский массив – максимальные (Al_2O_3 , TiO_2 , MgO , $FeO+Fe_2O_3$).

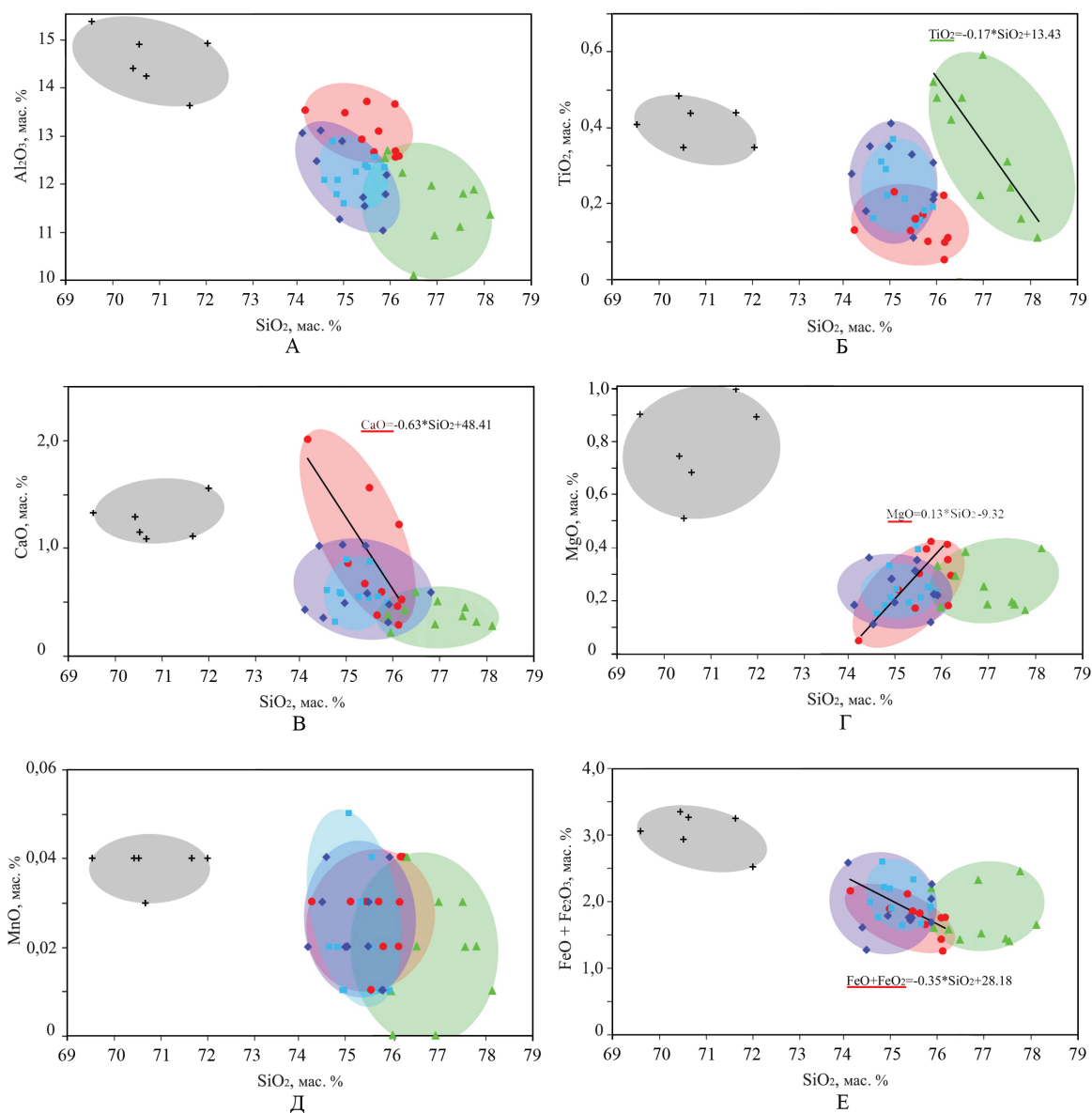


Рис. 3. Диаграммы А. Харкера для гранитов Приполярного Урала: точки составов на рис. 1
Fig. 3. A. Harker diagrams for granites of the Subpolar Urals: The points of the trains in Fig. 1

Для гранитов Николайшорского массива отмечается самый большой разброс содержания оксида кальция (0.29–2.01 мас. %), что не является типичным для S-гранитов, характеризующихся обычно минимальными значениями этого оксида. Вероятно, в процессе формирования пород в отдельных точках массива прорываемые породы оказались с высоким содержанием кальция (мрамора), вследствие чего произошло насыщение материнского расплава нужным элементом. Для этого оксида и кремнезема установлена обратная линейная связь: увеличение содержания кремнезема в породе на 1 мас. % приводит к уменьшению концентрации оксида кальция на 0.65 мас. %. Учитывая, что CaO входит в анортитовую составляющую плагиоклаза (Буланов, Сизых, 2005), которая разделяет плагиоклазы на подвиды (альбит (An 0–10), олигоклаз (An 10–30) и др.), т. е. при увеличении концентрации кремнезема уменьшается анортитовая составляющая плагиоклаза. Так же отмечается обратная линейная связь между кремнеземом и суммой оксидов железа: при увеличении содержания кремнезема на 1 мас. % уровень FeO+Fe₂O₃ снижается на 0.35 мас. %, т. е. степень насыщенности породы железом уменьшается, что является типичным для гранитов. Учитывая, что большая

часть железа аккумулируется в магнетите, происходит снижение концентрации магнетита в породе. Кроме того, выявлена прямая линейная связь между SiO_2 и MgO : при увеличении содержания кремнезема на десятую долю (0.13 мас. %) увеличивается содержание оксида магния. В магматическом процессе магний обычно при повышении кремнезема понижает свои концентрации и становится малым элементом, который отмечается главным образом в темных слюдах (Макрыгина, 2011). Это позволяет предположить, что повышение SiO_2 в николайшорских гранитах ведет к повышению магния в биотите.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции к диаграммам Харкера
Table 2. Correlation coefficients to the Harker diagram

Окислы	SiO_2				
	1	2	3	4	5
TiO_2	0.3	-0.8	-0.2	-0.5	-0.3
Al_2O_3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.1	-0.5
MgO	0.7	-0.1	0.4	0.3	0.4
CaO	-0.7	-0.1	-0.2	0.1	0.1
MnO	0.1	0.1	-0.3	-0.1	0.1
$\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$	-0.8	0	-0.1	0	-0.4

Примечание. Массив: 1 – Николайшорский; 2 – Кожимский; 3 – Бадьяюский; 4 – Яротский; 5 – Малдинский.

Граниты Кожимского массива характеризуются максимальным содержанием кремнезема, что свидетельствует о высоких содержания кварца в породе. Минимальные содержания кальция указывают на то, что плагиоклаз представлен преимущественно альбитом. Отмечаемые минимальные концентрации алюминия типичны для А-гранитов, к которым и относятся кожимские породы. Для рассмотренных пород так же характерен достаточно широкий диапазон содержаний оксида титана. При этом отмечается взаимосвязь этого оксида с кремнеземом: при увеличении содержания SiO_2 на 1 мас. % величина TiO_2 уменьшается на 0.17 мас. %, что влечет за собой уменьшение количества в породе минералов титана (ильменита, титанита, рутила).

Породы Малдинского массива обладают повышенными значениями Al_2O_3 , $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$, MgO . Высокие содержания оксида алюминия можно рассматривать как аномалию для малдинских I-гранитов, которые обычно относятся к метааллюминиевым образованиям. Нетипичные концентрации алюминия в материнском расплаве могли возникнуть вследствие плавления метабазитов при активном участии воды (Макрыгина, 2011). При этом для оксида алюминия отмечается отрицательная тенденция (увеличение кремнезема влечет уменьшение этого петрогенного оксида в 50 % отобранных образцов), что может быть связано с уменьшением общего количества плагиоклазов при насыщении расплава кремнеземом. В случае оксидов магния, суммарного железа поля распределения точек составов так же имеют наклон в сторону уменьшения концентрации. Это в некоторых случаях (в 40 % отобранных образцов) может быть связано с уменьшением количества биотита и магнетита в малдинских гранитах при повышении содержания кремнезема.

Точки составов для гранитов Бадьяюского и Яротского массивов так же группируются и на диаграммах А. Харкера, что подтверждает подобие этих пород. Рассматривая их петрохимические особенности в совокупности, можем утверждать, что в этих гранитах отмечаются обратные тенденции для оксидов титана (Яротский массив), алюминия (Бадьяюский массив) при повышении содержания SiO_2 . При этом содержание магния в породе (в 40 % образцах для Бадьяюского массива и 30 % образцах для Яротского массива) может повышаться. Аналогичное поведение этих оксидов можно наблюдать и в породах Малдинского массива. Это позволяет предположить, что для гранитов сальнеро-маньхамбовского массива вероятнее всего будет отмечаться снижение процентного содержания плагиоклазов, биотита (Al_2O_3 , TiO_2 , MgO) при повышении содержания SiO_2 в породе.

Заключение

Изучение петрогенных оксидов и их взаимосвязей позволило выявить характерные особенности гранитов рассмотренных массивов.

В породах Николайшорского массива при увеличении содержания SiO_2 в породе на 1 мас. % повышаются содержания оксида калия на 0.97 мас. %, щелочных металлов на 0.57 мас. %, уменьшаются концентрации оксида кальция на 0.65 мас. %, суммарного железа на 0.35 мас. %, что соответствует повышению количества калиевого полевого шпата относительно плагиоклаза и уменьшению содержания магнетита в породе.

Аналогичная взаимосвязь отмечается и для гранитов Кожимского массива, для которого установлено, что повышение содержания кремнезема в породе на 1 мас. % приводит к увеличению количества калиевого полевого шпата на 26 % относительно натриевого, а так же к снижению доли минералов титана в породе.

Противоположная ситуация наблюдается при изучении гранитов сальнеро-маньхамбовского комплекса: увеличение содержания кремнезема сопровождается уменьшением содержания щелочных металлов и, в частности, калия, уменьшением концентрации Al_2O_3 , TiO_2 , MgO , что ведет к снижению процентного содержания плагиоклазов, биотита при повышении содержания кварца (SiO_2) в породе.

Наиболее сильно зависимость между этими оксидами выявлена для гранитов Малдинского массива: повышение уровня SiO_2 на 1 мас. % снижает насыщенность породы K_2O и щелочными металлами на 0.51 мас. %, 0.48 мас. %, соответственно. Увеличивается доля кварца в граните при снижении общего количества плагиоклазов и замены калиевого полевого шпата натриевым. Характерны повышенные содержания магнетита.

Граниты Бадьяюского и Яротского массивов характеризуются максимальным количеством калиевого полевого шпата в породе, количество которого может составлять 207 % от содержания плагиоклаза.

Благодарности

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

Литература

1. Андреичев В. Л. Геохронология гранитоидного магматизма Приполярного Урала / Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 11. С. 7–12.
2. Буланов В. А., Сизых А. И. Кристаллохимизм породообразующих минералов. Иркутск. Изд-во: Иркутского университета, 2005. 220 с.
3. Голдин Б. А., Калинин Е. П., Пучков В. Н. Магматические формации западного склонов севера Урала и их минералогения. Сыктывкар. Изд-во: ГеоПринт, 1999. 214 с.
4. Горяинов В. Б., Павлов И. В., Цветкова Г. М., Тескин О. И. Математическая статистика, Математика в техническом университете. Вып. XVII. М. Изд-во: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 424 с.
5. Денисова Ю. В. Петрохимия гранитов Яротского массива (Приполярный Урал): новые данные // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2020. № 1(41). Сыктывкар. С. 80–87. DOI:10.19110/1994-5655-2020-1-80-87.
6. Денисова Ю. В. Петрохимические особенности гранито-гнейсов Николайшорского массива (Приполярный Урал) / Известия Коми НЦ УрО РАН. 2021. № 3. Сыктывкар. С. 32–40. DOI: 10.19110/1994-5655-2021-3-32-40.
7. Денисова Ю. В. Петрогеохимия гранитов Бадьяюского массива (Приполярный Урал) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Наука о Земле. 2023. Т. 45. С. 39–54. DOI: 10.26516/2073-3402.2023.45.39.
8. Денисова Ю. В. Петрология гранитов Кожимского массива (Приполярный Урал) / Известия Коми НЦ УрО РАН. 2024. № 3 (69). Сыктывкар. С. 108–116. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-3-18-26.
9. Макрыгина В. А. Геохимия отдельных элементов. Новосибирск. Академическое изд-во: «Гео», 2011. 195 с.

10. Махлаев Л. В. Гранитоиды севера Центрально- Уральского поднятия (Полярный и Приполярный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 189 с.
11. Остапенко П. Е. Технологическая оценка минерального сырья, нерудное сырьё. СПб. Изд-во: Наука, 1995. 261 с.
12. Пыстин А. М. Полиморфические комплексы западного склона Урала. СПб. Изд-во: Наука, 1994. 208 с.
13. 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. 14–19.
14. Соболева А. А. Вулканы и ассоциирующиеся с ними гранитоиды Приполярного Урала. Екатеринбург. Изд-во: УрО РАН, 2004. 145 с.
15. 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.
16. Удоратина О. В., Шуйский А. С., Капитанова В. А. Гранитоиды Кожимского массива (Приполярный Урал): U-Pb, Lu-Hf данные / Известия Коми НЦ УрО РАН. 2020. № 1. С. 96–105. DOI: 10.19110/1994-5655-2020-1-96-105.
17. Удоратина О. В., Куликова К. В., Шуйский А. С., Соболева А. А., Андреичев В. Л., Голубева И. И., Капитанова В. А. Гранитоиды севера Урала: геохронология, эволюция, источники. Сыктывкар. Изд-во: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2022. 120 с.
18. Фишман М. В., Голдин Б. А. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала. М.-Л. Изд-во: АН СССР, 1963. 105 с.
19. Шарпенко Л. Н., Костин А. Е., Кухаренко Е. А. TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород // Региональная геология и металлогения. 2013. № 56. С. 40–50.
20. Chappel B. W. Source rocks of I- and S- type granites in the Lachlan Fold Belt / Phil. Trans. Roy. Soc. L. 1984. V. 310. P. 693–707.
21. Taylor S. R., McLennan S. M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell, Oxford. 1985. P. 1–312.
22. Harker A. The natural history of igneous rocks. Methuen. London. 1909. 452 p. DOI: 10.1017/CBO9780511920424.