



Минералого-петрогеохимические особенности субщелочных порфировых пород зоны ГУР (балбукский комплекс, Магнитогорская мегазона Южного Урала)

А. А. Самигуллин, И. Р. Рахимов

Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия, samigullinaidar85@gmail.com

В статье впервые даётся детальное минералого-петрогеохимическое описание порфировых пород шариповской группы балбукского комплекса зоны Главного Уральского разлома Южного Урала. Они визуально разделяются на 4 основных типа по окраске, количеству и составу вкрапленников, но в целом обладают близким минеральным составом, являясь членами единой трахиандезит-трахитовой ассоциации. Важнейшим минералом, определяющим условия образования пород, является амфибол, соответствующий паргаситу и магнезиогастингситу ($Mg\#$ варьирует от 0.80 до 0.35). Кристаллизация амфибола началась при температуре около 842–973 °С. Фракционирование амфибола в трахитовой магме обусловило петрогеохимические вариации пород, выраженные в распределении главных петрохимических компонентов и ряда несовместимых элементов. Геохимически шариповские порфировые породы близки к адакитам (высокие Sr/Y , La/Yb -отношения), а их источниками могли быть породы нижней коры Южного Урала (включающие ультрабазит-базиты Главного Уральского разлома и рифейские осадочно-метаморфические образования).

Ключевые слова: шариповская группа, балбукский комплекс, минералогия, амфибол, геохимия, адакитоподобные порфировые породы

Mineralogical and petrogeochemical features of subalkaline porphyries (Balbuk complex, Southern Urals)

A. A. Samigullin, I. R. Rakhimov

Institute of geology UFRS RAS, Ufa, Russia

The article provides a novel detailed mineralogical and petrogeochemical description of the Sharip group porphyries. They are visually divided into 4 main type by color, quantity and composition of inclusions, but in general have a similar mineral composition, being members of a single trachyandesite-trachyte association. The most important mineral determining the conditions of rock formation is amphibole, corresponding to pargasite and magnesiohastingsite ($Mg\#$ varies from 0.80 to 0.35). Amphibole crystallization began at a temperature of about 842–973 °C. Amphibole fractionation in trachyte magma caused petrogeochemical variations in the rocks, expressed in the distribution of the main petrochemical components and the level of accumulation of a number of incompatible elements. Geochemically, the Sharip porphyries are close to adakites (high Sr/Y , La/Yb ratios), and their sources could have been rocks of the lower crust of the Southern Urals (including ultramafic-mafic rocks of the Main Ural Fault and Riphean sedimentary-metamorphic formations).

Keywords: Sharipovo group, Balbuk complex, mineralogy, amphibole, geochemistry, adakite-like porphyries

Введение

Магнитогорская мегазона (ММ) представляет собой реликт хорошо сохранившейся девонской островной дуги, включающий в себя разнообразные по составу и металлогеническому потенциалу магматические образования как субдукционной, так и постсубдукционной стадий (Салихов, Митрофанов, 1994; Салихов и др., 2019; Ферштатер, 2013). Мегазона вытянута с севера на юг на 400 км и находится в центральной части Южного Урала между двумя сутурными зонами — зоной Главного Уральского разлома (ГУР) на западе и Уйско-Новооренбургской шовной зоной на востоке (Пучков, 2010). ММ вмещает уникальные медно-цинково-колчеданные и различные по генезису и запасам золоторудные месторождения. Часть месторождений золота связывается с монцитонитовым магматизмом балбукского комплекса (т. н. балбукидами), расположенного внутри одноимённого гранитоидно-

го ареала в северной части ММ (Салихов, Бердников, 1985; Знаменский, 2009). Происхождение этого комплекса весьма дискуссионно, что связано и с его сложным геолого-структурным положением, и со слабой минералого-геохимической изученностью (Салихов и др., 2019). Чаще всего его формирование связывается с коллизионными обстановками (Рахимов и др., 2024). В составе балбукского комплекса выделяется группа массивов, состоящих из порфировых пород среднего состава и локализованных в зоне Главного Уральского разлома. Она названа нами шариповской группой, а её изучение даёт возможность уточнить не только развитие балбукского комплекса, но и проследить тектоно-магматическую эволюцию пограничной зоны ММ и ГУР. Статья освещает результаты минералого-петрографического и геохимического изучения пород шариповской группы балбукского комплекса в петрогенетическом контексте. Целью данной рабо-

Для цитирования: Самигуллин А. А., Рахимов И. Р. Минералого-петрогеохимические особенности субщелочных порфировых пород зоны ГУР (балбукский комплекс, Магнитогорская мегазона Южного Урала) // Вестник геонаук. 2025. 2(362). С. 3–16. DOI: 10.19110/geov.2025.2.1

For citation: Samigullin A. A., Rakhimov I. R. Mineralogical and petrogeochemical features of subalkaline porphyries (Balbuk complex, Southern Urals). Vestnik of Geosciences, 2025, 2(362), pp. 3–16. DOI: 10.19110/geov.2025.2.1

ты является вещественная характеристика субщелочных порфировых пород шариповской группы, поскольку такие породы ранее не описывались в составе балбукского комплекса.

Геологическое строение района

Вдоль границы ММ и ГУР (рис. 1, а), имеющей сложные геолого-структурные очертания, развиты блоки разнообразных по составу, условиям происхождения

и возрасту пород: фрагменты мантийной и коровой частей разреза офиолитов, включая осадочные породы, океанические(?) базальты и туфобазальты, кремни, глубоководные известняки, а также вулканогенно-осадочные толщи островодужной стадии. Кроме того, вдоль этой границы развиты габбро-монзонит-гранитовые ассоциации пород, объединяемые в самостоятельные краснохтинский и балбукский комплексы. Если возраст первого определен $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом в 357 ± 8 млн лет (Рязанцев и др., 2019), то с изотопными датировками

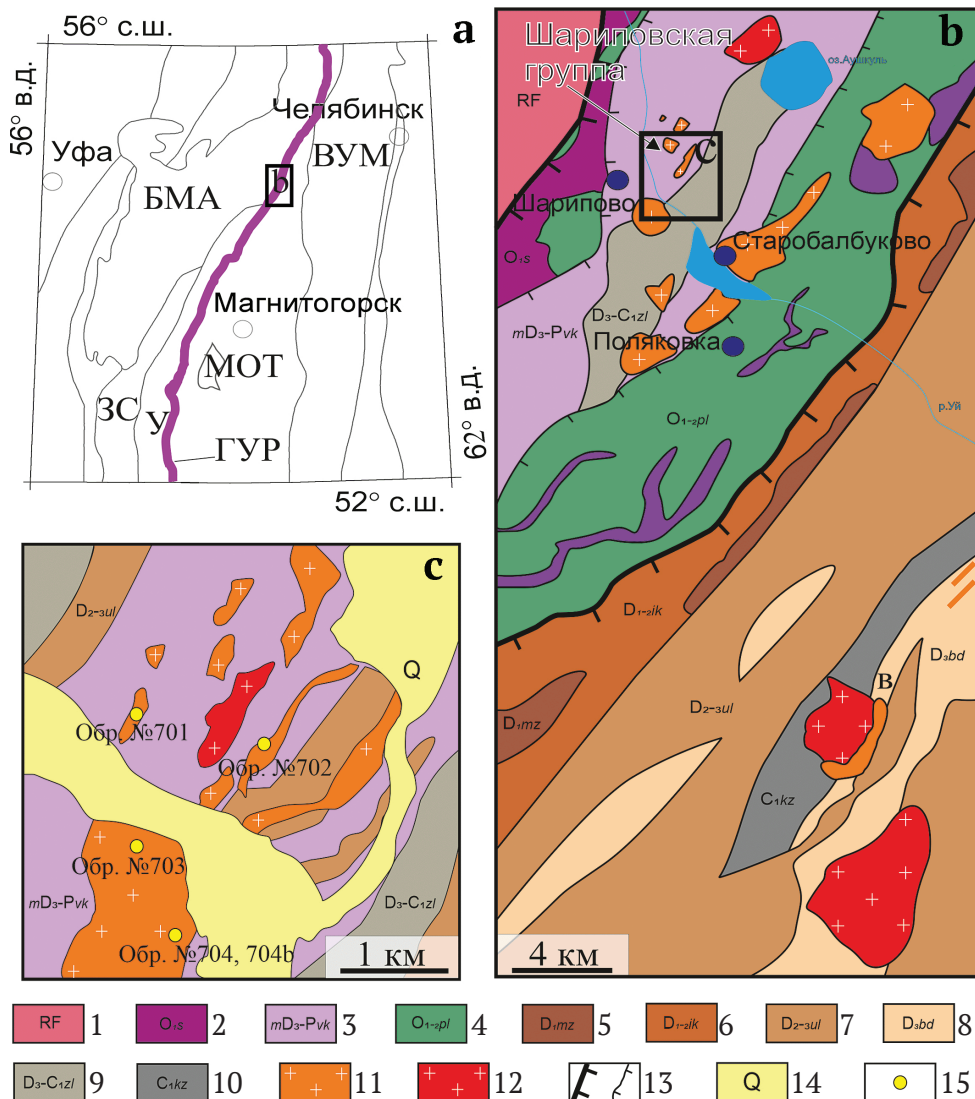


Рис. 1. Геологическое строение района: а — схематическое строение Южного Урала, б — геологическое строение зоны ГУР и прилегающих территорий (Жданов и др., 2015), с — шариповская группа массивов в зоне ГУР (Анисимов и др., 1983).

Условные обозначения: 1 — рифей, 2 — сакмарский дунит-гарцбургитовый комплекс, 3 — войкаро-кемпирсайский меланжевый комплекс, 4 — поляковская свита, 5 — мазовская свита, 6 — ирендыкская свита, 7 — улутауская свита, 8 — бугодакская толща, 9 — зилайская свита, 10 — кизильская свита, 11 — балбукский комплекс (преимущественно монзониты), 12 — риолит-порфиры, 13 — надвиги, 14 — четвертичные образования, 15 — места пробоотбора

Примечание: БМА — Башкирский мегантиклинорий, ЗСУ — Зилайский синклиний, У — антиклинорий Уралтау, МОТ — Магнитогорский островодужный террейн (Магнитогорская мегазона), ВУМ — Восточно-Уральская мегазона, ГУР — Главный Уральский разлом (Вознесенско-Присакмарская зона)

Fig. 1. Geological structure of the area: а — schematic structure of the Southern Urals, б — geological structure of GYP zone and adjacent territories (Zhdanov et al., 2015), с — Sharipovskaya group of massifs in GYP zone (Anisimov et al., 1983).

Legend: 1 — Riphean, 2 — Sakmara dunite-harzburgite complex, 3 — Voikaro-Kempirsai melange complex, 4 — Polyakov formation, 5 — Mazovskaya formation, 6 — Irendyk formation, 7 — Ulutau formation, 8 — Bugodak sequence, 9 — Zilair formation, 10 — Kizil formation, 11 — Balbuk complex (mainly monzonites), 12 — rhyolite-porphys, 13 — thrusts, 14 — Quaternary formations, 15 — sampling sites

Note: БМА — Bashkir meganticlinorium, ЗСУ — Zilair synclinorium, У — Uraltau anticlinorium, МОТ — Magnitogorsk island-arc terrane (Magnitogorsk megazone), ВУМ — East Ural megazone, ГУР — Main Uralian fault (Voznesensk-Prisakmara zone)



второго существуют многолетние сложности, связанные с широким диапазоном изотопных определений — от ~360 до ~280 млн лет (Жданов и др., 2003; Салихов и др., 2019). Недавно авторами настоящей работы по результатам Rb-Sr-изохронных датировок сделан вывод о том, что к балбукскому комплексу следует относить лишь монцонитоиды с раннекаменноугольным возрастом, тогда как гранитоиды имеют позднекаменноугольный возраст и должны быть отделены от «балбукид» (Рахимов и др., 2024). В частности, нами датирован образец монцонит-порфира шариповской группы массивов — 354.2 ± 1.4 млн лет (Rb-Sr).

Шариповская группа массивов (ШГМ) включает более десятка мелких тел, локализованных к северо-востоку от с. Шарипово в серпентинитовом меланже войкаро-кемпирсайского комплекса тектонитов (рис. 1, b, c) с блоками известняков и туфогенных пород вулканогенных и осадочных пород девона и карбона. Массивы, крупнейший из которых имеет размеры 1.2×1 км, сложены субвулканитами — порфиrowыми породами с трахиандезитовой или микромонцонитовой основной массой. Многие тела ШГМ имеют субизометричную ($\sim 50 \times 50$ м) и продолговатую ($\sim 50 \times 100$ м) форму на плане, на местности они выражены как небольшие сопки размером до 100×100 м и высотой до 20 м. Контакты с вмещающими породами задернованы. С монцонит-порфирами ШГМ ассоциируют линзовидные тела риолит-порфиrow аушкульского типа (Самигуллин, Рахимов, 2023), имеющие тектонические контакты с породами серпентинитового меланжа, что видно в местах задира экскаватора. Таким образом, тектонические контакты можно предположить и для монцонитоидных тел.

Материалы и методы исследований

Объект исследования — шариповская группа массивов, расположенная к юго-западу от озера Аушкуль в пределах Главного Уральского разлома, представленная субизометричными и вытянутыми сопками, которые сложены порфиrowыми субвулканитами. Полевые геологические исследования с отбором штучных проб (рис. 1) проведены авторами в 2012 и 2022—2024 гг. Отобрано 9 образцов, из которых 4 пробы по 5 кг — для характеристики их минералогического и химического состава. Из 9 отобранных образцов ШГМ было изготовлено 15 шлифов и пластин, изученных с помощью оптической и сканирующей электронной микроскопии. В статье приводится описание 4 проб (№ 701, 702, 703, 704), характеризующих самые распространенные типы пород. Состав минералов определен с помощью энергодисперсионного спектрометра Xplorer 15 Oxford Instruments, установленного на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact (ИГ УФИЦ РАН, Уфа). Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с методикой TrueQ. При съемке использованы следующие параметры: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3—4 нА, время накопления спектра 20 с в режиме Point&ID.

Химический состав пород определен методами рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Методом РФА определены содержания петроген-

ных элементов на спектрометре X-Calibur (Израиль) в ИГ УФИЦ РАН. Пределы обнаружений для элементов составляли от 0.01 до 0.02 мас. %, для V, Ni и Cr — в диапазоне 5—10 г/т. Для построения калибровочных графиков использовались аттестованные государственные образцы магматических пород. Определение микроэлементного состава выполнено на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7500cx, Agilent Technologies (США) в ТРЦКП (Томск).

Результаты

Петрографическая характеристика порфиrowых пород

Изучаемые породы обладают массивной текстурой и имеют разнообразную цветовую окраску (от зеленоватой до красноватой) (рис. 2). Среди образцов по окраске и ряду отличительных петрографических признаков (состав, размеры и количество порфиrowых вкрапленников) нами выделены 4 типа порфиrowых пород.

Породы первого типа (обр. 701) наиболее распространены в массивах. Фенокристы занимают 42 % от объема породы (рис. 2, а; 3, а). Они представлены амфиболом размерами от 1×1.1 до 8×3.5 мм с таблитчатым и субизометричным обликом зёрен и плагиоклазом размерами от 1.5×0.5 до 4.4×4 мм. Амфибол частично или почти полностью хлоритизирован, плагиоклаз нацело сосюритизирован. Тонкокristаллическая основная масса сложена альбитом, КПШ, амфиболом и эпидотом с размером зёрен от 0.03 до 0.11 мм. Акцессорные минералы представлены титанитом, цирконом, апатитом и манганопатитом.

Породы второго типа (обр. 702) обладают красноватой окраской (рис. 2, b; 3, b). Фенокристы занимают 45 % от объема породы. Они представлены амфиболом, размерами от 0.5×0.7 до 4.2×4 мм с таблитчатым и шестоватым обликом зёрен и плагиоклазом размерами от 0.3×0.5 до 1.8×3 мм с таблитчатым и субизометричным обликом. Амфибол слабо затронут вторичными изменениями (хлоритизацией), плагиоклаз сосюритизирован. Тонкокristаллическая основная масса представлена зёрнами альбита, КПШ, амфибола, эпидота размером от 0.02 до 0.09 мм. Акцессорные минералы представлены титанитом, апатитом и баритом.

Породы третьего типа (обр. 703) имеют розовато-серую окраску (рис. 2, c; 3, c). Фенокристы занимают 30 % объема породы. В данном типе отсутствуют порфиrowые вкрапленники амфибола, но присутствуют фенокристы кварца размерами от 0.6×0.8 до 2×1.5 мм, имеющие субизометричный облик, а также плагиоклаза (размер от 1×1 до 7×2.2 мм) и КПШ (размер от 2×3.8 до 2.2×4.5 мм). Тонкозернистая основная масса с размерами зёрен от 0.02 до 0.12 мм представлена альбитом, КПШ и кварцем. Акцессорные минералы представлены цирконом, титаном, рутилом и апатитом.

Породы четвертого типа (обр. 704) имеют синевато-серую окраску (рис. 2, d; 3, d). Фенокристы занимают 40 % объема породы. Они представлены призматическим амфиболом размерами от 0.3×0.5 до 1×1.7 мм, таблитчатым плагиоклазом размерами от 2×2.2 до 7×3 мм, КПШ с размером от 3×5 до 6×7 мм. Тонко-

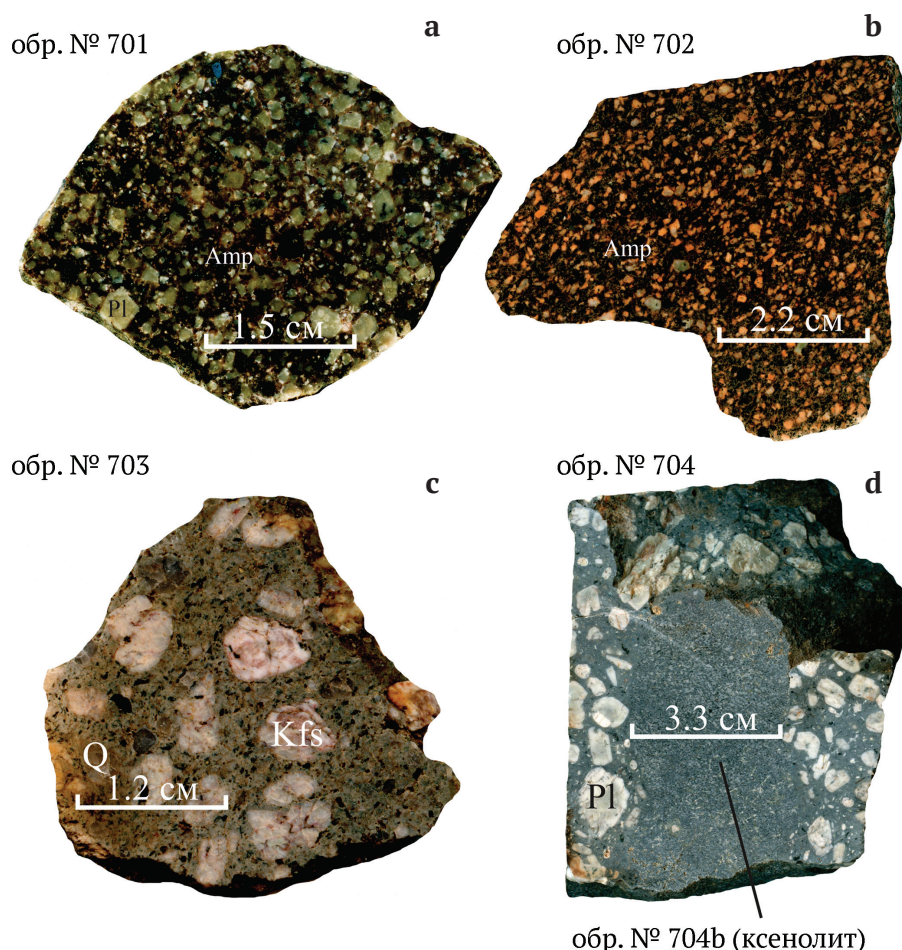


Рис. 2. Пришлифовки образцов порфировых пород шариповской группы: а — первого типа, б — второго типа, с — третьего типа, d — четвёртого типа
Fig. 2. Polishing of morphological types of rocks of the Sharip group:

a — porphyries of the first type, b — porphyries of the second type, c — porphyries of the third type, d — porphyries of the fourth type

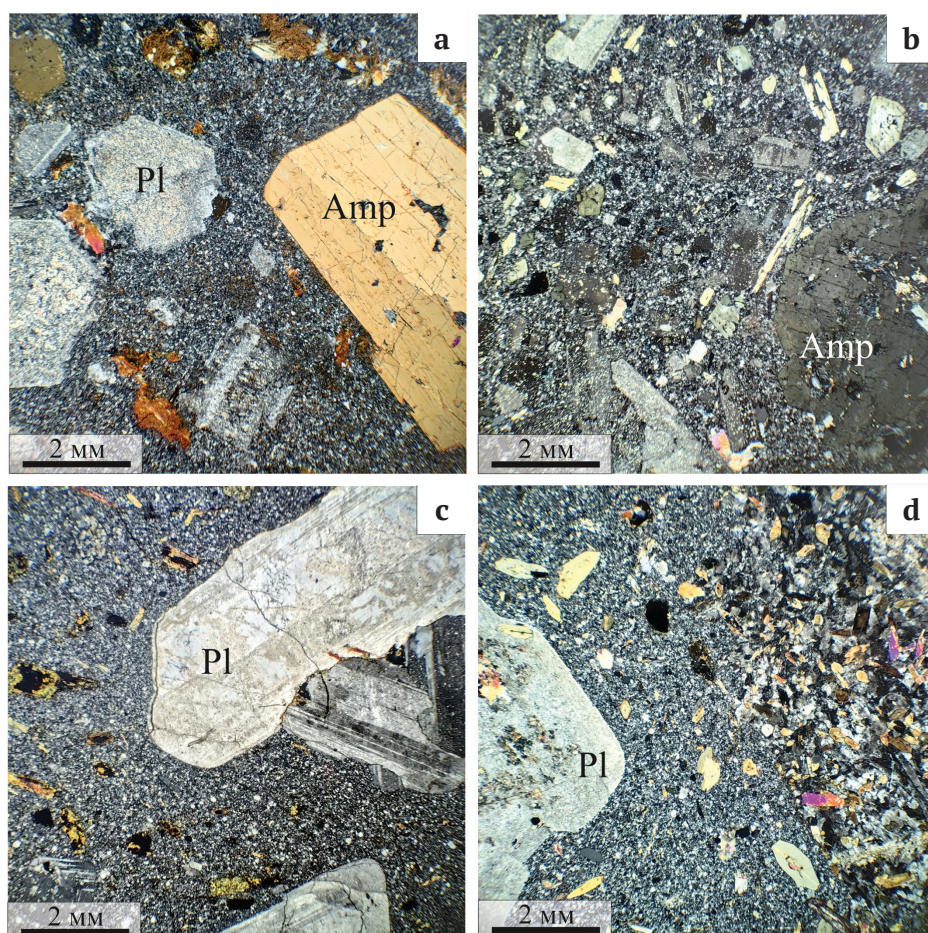


Рис. 3. Петрографические особенности образцов порфировых пород шариповской группы:

а — № 701, б — № 702, с — № 703, d — № 704 с ксенолитом в правой части снимка (образец № 704b). Изображения получены на поляризационном микроскопе с анализатором.

Примечание: Pl — плагиоклаз, Amp — амфибол

Fig. 3. Petrographic features of samples porphyries of the Sharip group: a — 701, b — 702, c — 703, d — 704 with xenolith (sample 704b). Images were obtained using a polarizing microscope with an analyzer.

Note: Pl — plagioclase, Amp — amphibole



зернистая основная масса сложена альбитом, КППШ и амфиболом размером от 0.01 до 0.15 мм. Рудные минералы представлены цирконом, титанитом, баритом и апатитом. В образце присутствует ксенолит с гипидиоморфнозернистой структурой (обр. 704b), в котором амфибол представлен зёрнами размером от 0.1×0.2 до 1.5×0.5 мм, обладающими большим идиоморфизмом по отношению к плагиоклазу. Плагиоклаз имеет размеры кристаллов от 0.1×0.15 до 0.35×0.45 мм. Акцессорные минералы представлены титанитом, апатитом и баритом. Ксенолит петрографически отвечает порфировидному монцодиориту.

Минералогическая характеристика порфировых пород

В изученных породах амфибол является важнейшим темноцветным минералом. В порфировых породах первого типа по трещинам в амфиболе встречается актинолит, пренит развит в виде гнёзд размером до 70 микрон (рис. 4, а). В порфировой породе второго типа обнаружены как однородные, так и зональные фенокристы. Первые отвечают магнезиогастингситу, вторые сложены паргаситом с тонкой каймой из магнезиогастингсита (рис. 4, б). Внутри фенокристов присутствуют мелкие включения альбита, барита и апатита, хлорита (рис. 4, б, с). В образце № 704b, который является ксенолитом в порфировых породах четвёртого типа обнаружены зональные зёрна амфибола, ядра которых сложены феррипаргаситом, а краевые части — магнезиогастингситом. Иногда наблюдается рекуррентная химическая зональность (рис. 4, d). В целом содержание железа снижается от центра к периферии.

Состав изученного амфибола (90 % анализов) в основном демонстрирует $(Na + K) > 0.5$ форм. ед., малая часть имеет $(Na + K) < 0.5$ форм. ед. (рис. 5, а, б). Практически все пробы на рис. 5, а представлены амфиболом из порфировых пород первого типа, попадающего в область чермакита и в меньшей степени в область магнезиогорнблендита, один анализ — обр. № 704. Более распространённый амфибол попадает в области ферропаргасита, магнезиогастингсита, паргасита и эденита, один анализ — в поле саданагаита. Пробы из обр. 701 расположены в зоне паргасита. Порфировые породы второго типа занимают более обширную площадь и представлены паргаситом и магнезиогастингситом. Амфибол из порфировых пород четвёртого типа находится в областях магнезиогастингсита и эденита. Амфибол из ксенолита обр. № 704b представлен ферропаргаситом, магнезиогастингситом, эденитом и саданагаитом.

Величина магнезиальности в амфиболе $(Mg/(Mg + Fe) \text{ ф. е.})$ широко варьируется, но в целом в порфировых породах первого и второго типа развит наиболее магнезиальный амфибол ($Mg\# = 0.64–0.80$ и $0.65–0.81$ соответственно), тогда как в порфировых породах четвёртого типа амфибол имеет $Mg\# = 0.35–0.73$, а в обр. 704b $Mg\# = 0.48–0.65$. Обратная ситуация с содержанием TiO_2 — амфибол богаче титаном в двух последних образцах, чем в двух первых. На бинарных диаграммах для всех изученных образцов наблюдаются единые тренды изменения пород амфибола: увеличение количества Si (ф. е.) и уменьшение Al^{iv} при уменьшении Ti (рис. 6, а, с), а также увеличение содержания MgO и уменьшение Na_2O при снижении концентрации TiO_2 (рис. 6, б, d).

Рис. 4. Фенокристы амфиболов из порфировых пород шариповской группы: зональность, включения и взаимоотношения с другими минералами. Изображения в режиме BSE:

а — образец № 701, б, с — образец № 702, d — образец образец № 704b.

Примечание: Ab — альбит, Act — актинолит, Ap — апатит, Brt — барит, Chl — хлорит, Prg — паргасит, Fe-Prg — ферропаргасит, Kfs — калиевый полевой шпат, Mg-Hst — магнезиогастингсит, Prh — пренит, Tsr — чермакит

Fig. 4. Amphibole phenocrysts from Sharip group porphyries: zoning, inclusions and relationships with other minerals. BSE images:

a — sample 701, b, c — sample 702, d — sample 704b.

Note: Ab — albite, Act — actinolite, Ap — apatite, Brt — barite, Chl — chlorite, Prg — pargasite, Fe-Prg — ferropargasite, Kfs — potassium feldspar, Mg-Hst — magnesiohastingsite, Prh — prehnite, Tsr — tschermakite

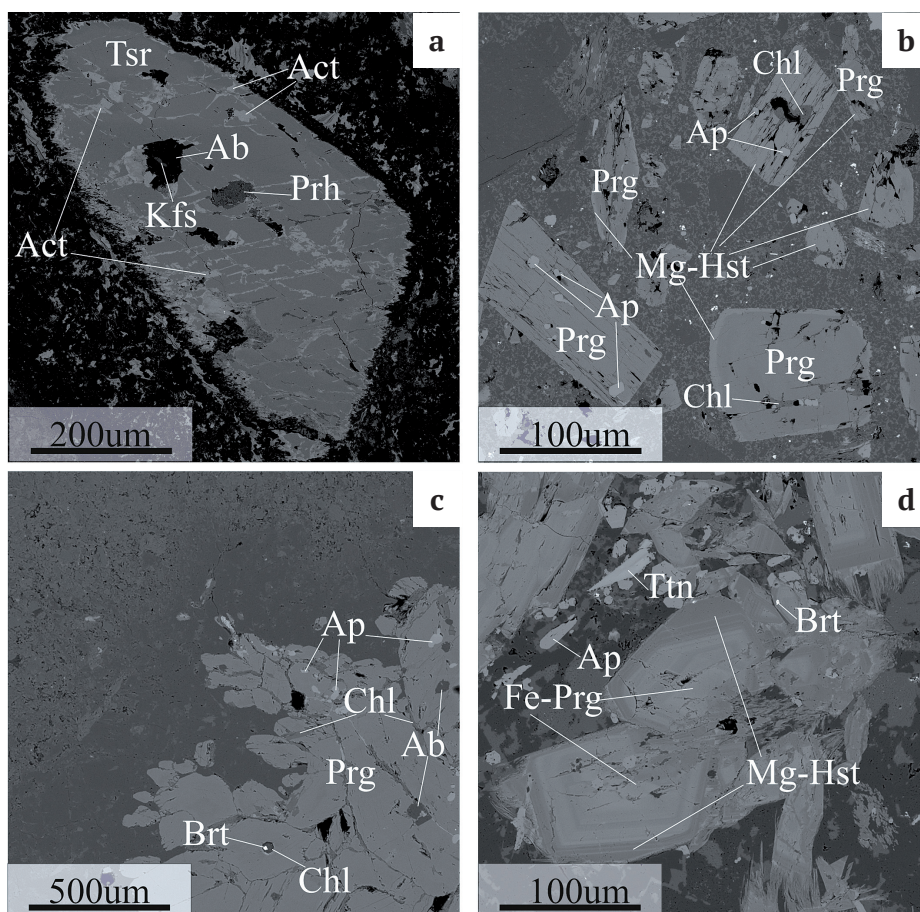




Таблица 1. Состав амфибола из порфировых пород шариповской группы

Table 1. Amphibole composition from Sharip group porphyries

№ п/п		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^t	MnO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Bcero Total
Обр. № 701 Sample 701	1	43.34	0.77	12.77	16.42	0.64	11.86	10.54	1.46	0.07	97.88
	2	43.7	0.79	12.28	17.22	0.62	11.77	9.3	1.41	0.07	97.17
	3	42.84	0.86	11.49	18.48	0.66	11.16	8.32	1.19	0.00	95.00
	4	44.12	0.77	12.72	17.38	0.60	11.84	9.42	1.44	0.00	98.28
	5	43.68	0.81	12.67	17.38	0.56	11.85	9.26	1.45	0.08	97.76
	6	41.62	0.78	16.26	10.98	0.00	14.43	12.41	1.94	0.29	98.71
	7	41.84	0.71	16.45	9.79	0.00	15.06	12.38	1.93	0.34	98.48
Обр. № 702 Sample 702	8	43.63	1.62	12.39	9.91	0.24	15.58	12.12	2.04	1.25	98.78
	9	42.24	1.27	10.68	16.16	0.54	12.04	11.36	2.04	1.22	97.55
	10	41.63	1.47	10.29	16.77	0.51	11.49	11.22	2.05	1.23	96.66
	11	44.6	1.30	11.37	9.98	0.23	15.75	12.04	1.93	1.08	98.28
	12	41.61	1.12	13.68	12.27	0.25	13.47	11.81	2.33	1.03	97.57
	13	41.87	1.42	10.85	15.95	0.46	11.96	11.38	2.11	1.29	97.29
	14	41.10	1.24	13.16	11.78	0.27	13.36	11.73	2.14	1.38	96.16
Обр. № 704 Sample 704	15	43.50	0.91	9.47	16.47	0.53	11.41	11.39	1.85	1.22	96.75
	16	42.31	1.30	12.19	12.28	0.50	12.73	11.19	2.32	1.29	96.11
	17	43.51	0.90	9.62	17.00	0.63	10.96	11.24	1.91	1.26	97.03
	18	37.36	2.94	14.17	21.81	0.59	6.14	11.00	2.36	1.77	98.14
	19	37.10	2.99	14.26	22.05	0.57	5.99	11.05	2.29	1.89	98.19
	20	38.90	2.78	13.46	19.30	0.51	8.39	11.30	2.4	1.57	98.61
	21	37.54	2.77	14.22	22.72	0.63	5.30	10.92	2.32	1.77	98.19
	22	37.98	2.38	13.90	19.32	0.54	7.94	11.16	2.34	1.57	97.13
Обр. № 704b Sample 704b	23	38.58	2.22	14.13	18.90	0.64	8.05	11.33	2.39	1.71	97.95
	24	40.35	1.62	13.79	14.32	0.42	11.07	11.67	2.41	1.70	97.35
	25	37.68	2.57	14.8	18.46	0.48	8.07	11.16	2.28	1.82	97.32
	26	39.46	2.16	14.63	15.54	0.32	9.94	11.42	2.44	1.76	97.67
	27	38.02	2.59	13.42	20.6	0.31	8.10	11.07	2.38	1.49	97.98
	28	37.34	2.30	14.77	19.55	0.57	7.47	11.30	2.07	1.74	97.11

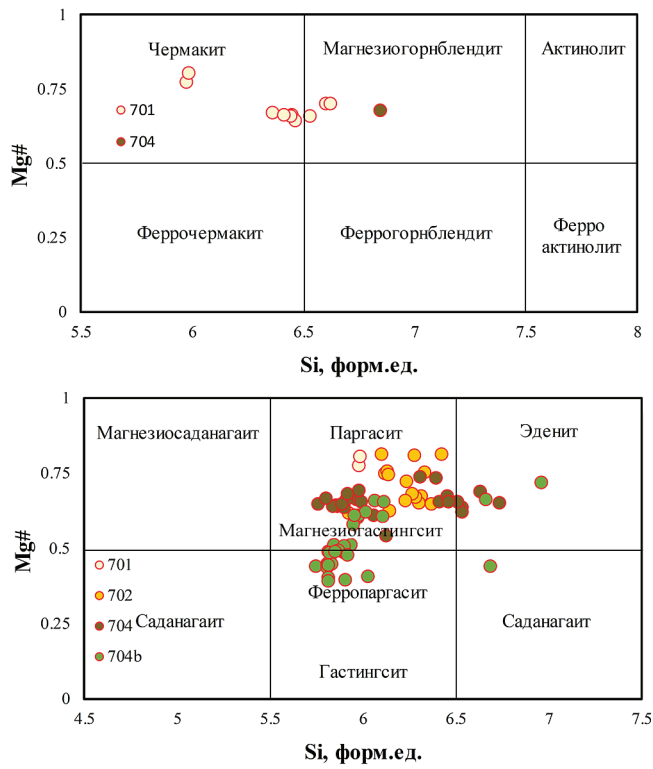
Таблица 2. Формульные коэффициенты амфибола из табл. 1

Table 2. Amphibole formula coefficients from table 1

№ п/п		T.Si	T.Al	T.Ti	C.Al	C.Ti	C.Fe ³	C.Mn ²	C.Mg	C.Fe ²	B.Mn ²	B.Fe ²	B.Mg	B.Ca	B.Na	A.Ca	A.Na	A.K	W.OH	W.O ²⁻
Обр. № 701 Sample 701	1	6.36	1.69	0.00	0.52	0.15	0.72	0.04	2.48	1.07	0.03	0.23	0.12	1.66	0.00	0.00	0.42	0.02	1.65	0.35
	2	6.45	1.61	0.00	0.53	0.16	0.80	0.03	2.42	1.02	0.03	0.30	0.17	1.48	0.00	0.00	0.40	0.02	1.58	0.42
	3	6.47	1.61	0.00	0.44	0.19	0.92	0.03	2.30	1.05	0.04	0.37	0.21	1.37	0.00	0.00	0.35	0.00	1.53	0.47
	4	6.44	1.61	0.00	0.58	0.15	0.78	0.03	2.41	1.02	0.03	0.32	0.17	1.48	0.00	0.00	0.41	0.00	1.55	0.45
	5	6.42	1.64	0.00	0.55	0.16	0.79	0.03	2.42	1.01	0.03	0.33	0.17	1.47	0.00	0.00	0.41	0.02	1.54	0.46
	6	5.98	2.07	0.00	0.68	0.13	0.40	0.00	3.06	0.71	0.00	0.20	0.03	1.92	0.00	0.00	0.54	0.05	1.71	0.29
	7	5.98	2.06	0.00	0.71	0.12	0.38	0.00	3.19	0.58	0.00	0.21	0.02	1.91	0.00	0.00	0.54	0.06	1.73	0.27
Обр. № 702 Sample 702	8	6.28	1.72	0.00	0.38	0.18	0.39	0.02	3.32	0.69	0.01	0.12	0.02	1.87	0.00	0.00	0.57	0.23	1.71	0.29
	9	6.31	1.71	0.00	0.18	0.17	0.70	0.05	2.63	1.24	0.02	0.08	0.05	1.82	0.03	0.00	0.56	0.24	1.74	0.26
	10	6.31	1.72	0.00	0.12	0.20	0.71	0.05	2.54	1.34	0.02	0.08	0.05	1.82	0.04	0.00	0.56	0.24	1.73	0.27
	11	6.42	1.58	0.00	0.35	0.15	0.41	0.02	3.37	0.69	0.01	0.10	0.01	1.87	0.01	0.00	0.53	0.20	1.78	0.22
	12	6.12	1.91	0.00	0.46	0.15	0.50	0.02	2.93	0.92	0.01	0.09	0.03	1.86	0.01	0.00	0.65	0.20	1.77	0.23
	13	6.28	1.74	0.00	0.18	0.18	0.66	0.04	2.63	1.26	0.01	0.08	0.05	1.83	0.04	0.00	0.57	0.25	1.73	0.27
	14	6.13	1.89	0.00	0.42	0.16	0.49	0.02	2.95	0.92	0.01	0.05	0.02	1.87	0.04	0.00	0.57	0.26	1.81	0.19
Обр. № 704 Sample 704	15	6.53	1.48	0.00	0.19	0.12	0.59	0.04	2.53	1.46	0.01	0.01	0.02	1.84	0.13	0.00	0.41	0.24	1.89	0.11
	16	6.31	1.71	0.00	0.43	0.16	0.50	0.04	2.82	1.02	0.01	0.02	0.01	1.79	0.17	0.00	0.50	0.25	1.84	0.16
	17	6.53	1.48	0.00	0.22	0.12	0.62	0.05	2.43	1.51	0.01	0.01	0.02	1.81	0.15	0.00	0.41	0.24	1.88	0.12
	18	5.86	2.15	0.00	0.47	0.35	0.67	0.06	1.44	2.02	0.01	0.17	0.00	1.83	0.06	0.02	0.66	0.35	1.43	0.57
	19	5.84	2.17	0.00	0.47	0.36	0.67	0.06	1.40	2.05	0.01	0.18	0.00	1.84	0.04	0.03	0.65	0.37	1.41	0.59
	20	5.96	2.04	0.00	0.39	0.33	0.62	0.05	1.90	1.73	0.01	0.13	0.01	1.84	0.03	0.01	0.68	0.31	1.46	0.54
	21	5.90	2.11	0.00	0.53	0.33	0.67	0.06	1.24	2.16	0.01	0.16	0.00	1.82	0.09	0.02	0.61	0.35	1.47	0.53
	22	5.91	2.11	0.00	0.44	0.30	0.65	0.05	1.84	1.73	0.01	0.13	0.00	1.84	0.05	0.02	0.66	0.31	1.55	0.45
Обр. № 704b Sample 704b	23	5.94	2.07	0.00	0.49	0.27	0.63	0.06	1.85	1.71	0.01	0.09	0.00	1.85	0.08	0.02	0.63	0.33	1.59	0.41
	24	6.07	1.94	0.00	0.51	0.19	0.49	0.04	2.48	1.29	0.01	0.02	0.00	1.87	0.11	0.01	0.59	0.32	1.76	0.24
	25	5.85	2.16	0.00	0.54	0.31	0.60	0.04	1.86	1.67	0.01	0.13	0.00	1.84	0.05	0.02	0.63	0.35	1.51	0.49
	26	5.98	2.03	0.00	0.59	0.25	0.47	0.03	2.24	1.44	0.00	0.07	0.00	1.84	0.10	0.01	0.61	0.34	1.63	0.37
	27	5.90	2.12	0.00	0.34	0.32	0.67	0.03	1.84	1.81	0.01	0.19	0.03	1.82	0.00	0.02	0.72	0.29	1.45	0.55
	28	5.83	2.19	0.00	0.53	0.29	0.65	0.05	1.74	1.76	0.01	0.14	0.00	1.87	0.02	0.03	0.61	0.34	1.54	0.46

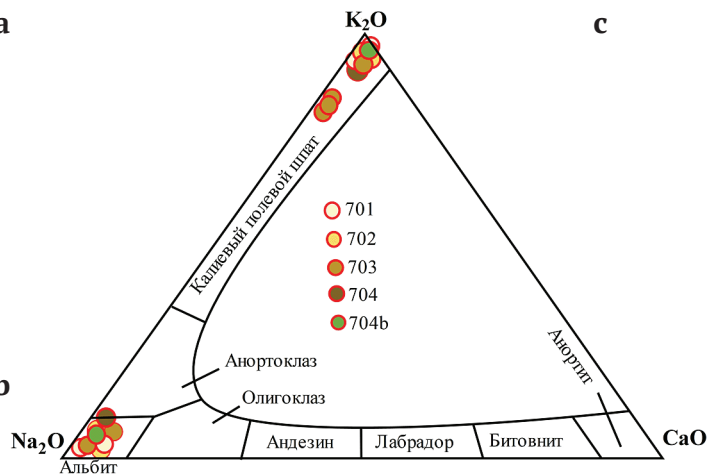
Примечание. Формульные коэффициенты амфибола были рассчитаны на 24 аниона.

Note: Formula coefficients for amphibole were calculated for 24 anions.



a

b



c

Рис. 5. Минералогические классификационные диаграммы для порфировых пород шариповской группы:

a, b — для амфибола (Leake et al., 1997), c — для полевых шпатов (Deer et al., 1992)

Fig. 5. Mineralogical classification diagrams for Sharip group porphyries:

a, b — for amphibole (Leake et al., 1997), c — for feldspars (Deer et al., 1992)

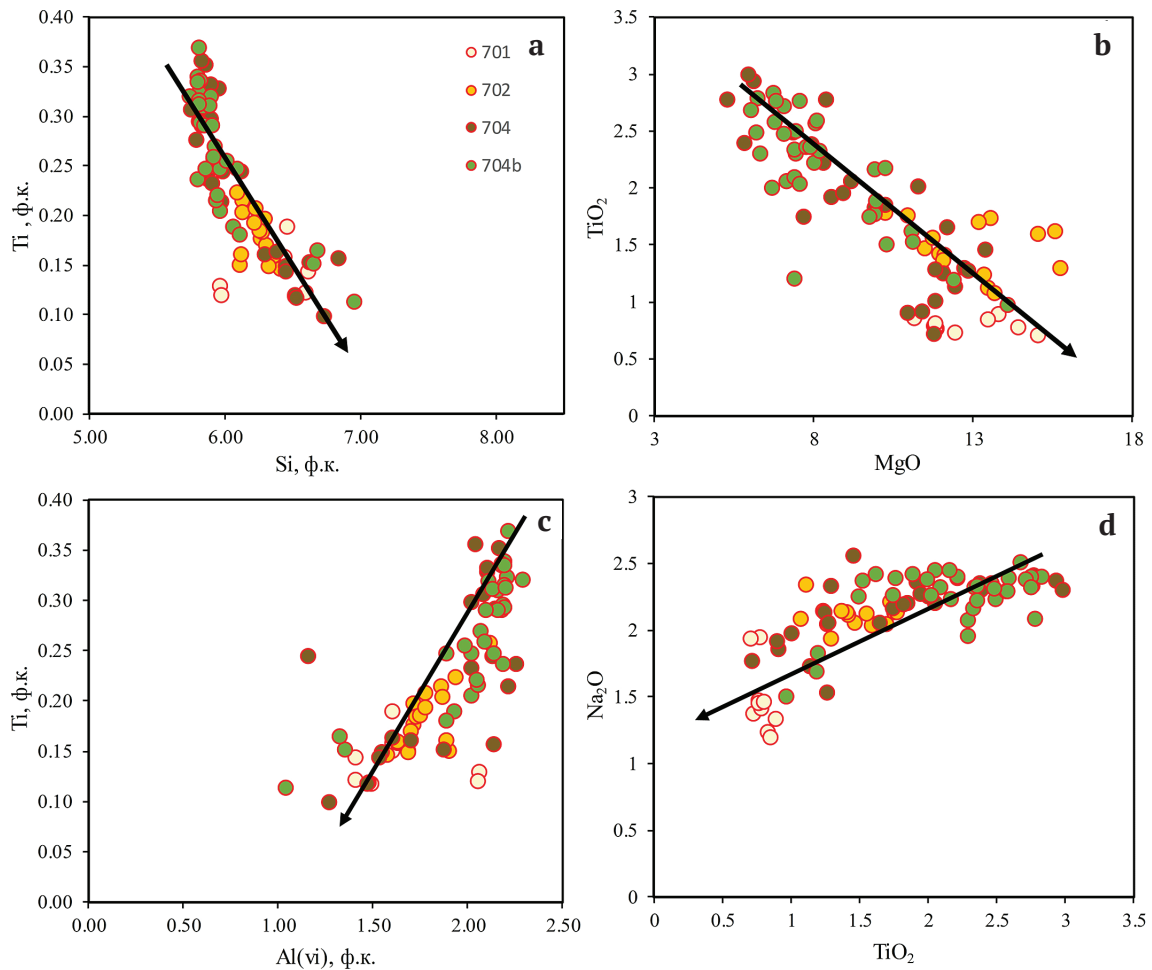


Рис. 6. Бинарные диаграммы для амфибола из порфировых пород шариповской группы

Fig. 6. Binary diagrams for amphiboles from the Sharip group porphyries

Для оценки температуры (Т) кристаллизации амфибола использовались мономинеральные геотермометры (Otten, 1984 и Liao, 2022) — для краткости О и L. Оба метода основаны на содержании Ti в минерале. Для чермакита и магнезиогорнблендита из порфировой породы первого типа получены значения 636–662 °С (О) и 638–678 °С (L). Паргасит из порфировых пород второго типа образовался при Т 654–754 °С (О), 715–801 °С (L), а магнезиогастингсит — при 685–744 °С (О), 743–819 °С (L). Магнезиогастингсит из порфировых пород четвёртого типа сформировался при Т 773–842 °С (О), 886–943 °С (L). Ферропаргасит и магнезиогастингсит из ксенолита (обр. 704b) образовались при Т 692–789 °С (О), 791–904 °С (L).

Полевые шпаты представлены альбитом и калиевым полевым шпатом (рис. 5, с), обладающими однородным строением, без включений ранних минералов. По всем признакам альбит является вторичным после раннего, более кальциевого плагиоклаза, поскольку развит совместно с серицитом, эпидотом, хлоритом и др. вторичными минералами. Калиевый полевой шпат имеет примесь BaO до 0.69 (мас. %).

Слюда представлена мусковитом, где содержание Fe_2O_3^t максимально в образце № 703 (до 4.08 мас. %), а в остальных образцах — до 1.62 (мас. %). Хлорит представлен брунсвигом и пикнохлоритом (Heu, 1954). Согласно термодинамическим вычислениям, брунсвигом образовался при температуре 253–284 °С, пикнохлорит — при 311–319 °С (Lanari et al., 2014). В брунсвигите содержание Fe_2O_3^t до 31.8 (мас. %).

Петрогеохимия порфировых пород

Исследуемые породы на TAS-диаграмме попадают в поля трахита, трахиандезита и трахиандезибазальта (рис. 7, а). Содержания SiO_2 варьируют от 54.76 до 65.66 мас. %, а суммы $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ — от 7.24 до 10.82 мас. %. Отношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ находится в диапазоне 0.26–0.61. На рис. 7, b фигуративные точки в основном попадают в область высококальциевых пород. По содержанию SiO_2 и Fe_2O_3^t можно выделить две подгруппы: обр. 701 и 702 — с пониженным количеством кремнезёма (59.17–60.86 мас. %) и высоким количеством триоксида железа (4.21–5.37 мас. %) и обр. 703 и 704 — с обратным соотношением (62.47–65.66

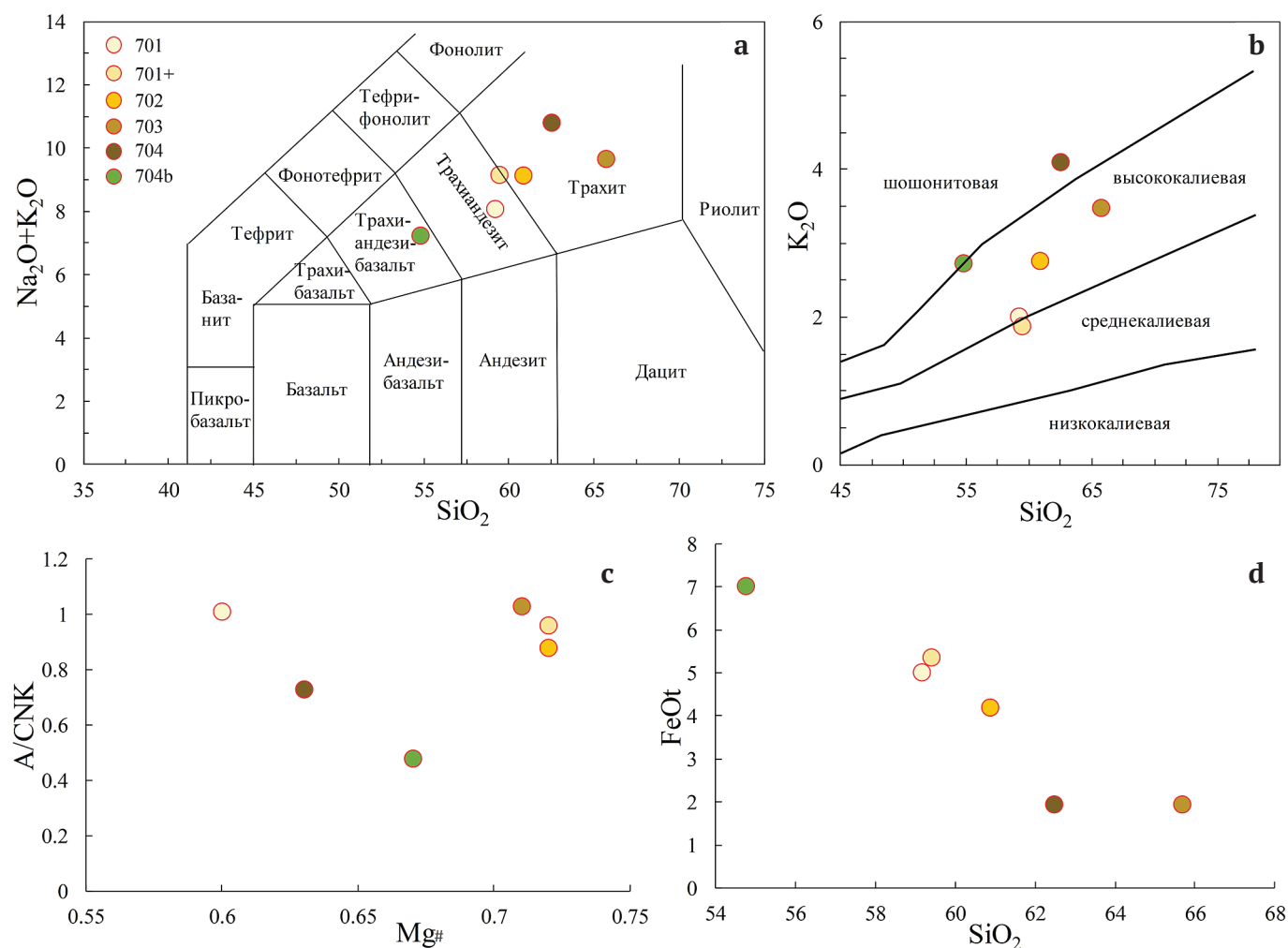


Рис. 7. Петрохимические диаграммы для порфировых пород шариповской группы:

а — бинарная TAS-диаграмма для вулканитов (Le Maitre, 2002), b — диаграмма SiO_2 – K_2O (Peccherillo, Taylor, 1976), c — вариационная диаграмма Mg\# – A/CNK , d — вариационная диаграмма SiO_2 – Fe_2O_3^t

Fig. 7. Petrochemical diagrams the Sharip group porphyries:

a — binary TAS-diagram for volcanic rocks after (Le Maitre, 2002), b — SiO_2 – K_2O plot after (Peccherillo, Taylor, 1976), c — variation plot Mg\# – A/CNK , d — variation plot SiO_2 – Fe_2O_3^t



и 1.95 мас. % соответственно). Породы первой подгруппы обладают индексом глинозёмистости al' от 0.88 до 1.01, магнезиальный номер $Mg\#$ находится в диапазоне 0.60–0.72; у пород второй подгруппы al' варьируется от 0.73 до 1.03, $Mg\#$ находится в диапазоне 0.63–0.71. Сопоставляя между собой обр. 701 и 701+, можно

отметить незначительно повышенное содержание железа и натрия, а также пониженное значение магния и калия во втором образце, представляющем собой более метасоматически проработанную разность той же породы. Ксенолит из обр. № 704b отделяется от всех остальных пониженным содержанием кремнезёма

Таблица 3. Химический состав порфировых пород шариповской группы

Table 3. Chemical composition of Sharip group porphyries

Компонент Component	Породообразующие элементы (мас. %) / Rock-forming elements (wt. %)					
	701	701+	702	703	704	704b
SiO ₂	59.17	59.41	60.86	65.66	62.47	54.76
TiO ₂	0.24	0.26	0.48	0.35	0.33	0.68
Al ₂ O ₃	19.41	19.05	16.82	17.51	16.81	12.91
Fe ₂ O ₃ ^t	5.03	5.37	4.21	1.95	1.95	7.03
MnO	0.19	0.20	0.09	0.05	0.06	0.18
MgO	2.70	2.26	4.26	2.20	2.13	5.04
CaO	3.89	3.17	3.08	1.66	4.18	8.96
Na ₂ O	6.09	7.28	6.38	6.19	6.72	4.50
K ₂ O	2.02	1.88	2.76	3.48	4.10	2.74
P ₂ O ₅	0.12	0.13	0.30	0.21	0.20	0.99
S ^t	0.03	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.08
ППП / LOI	1.86	1.88	1.33	1.33	1.70	2.33
Сумма / Sum	100.76	100.89	100.59	100.60	100.65	100.20
Na ₂ O + K ₂ O	8.11	9.16	9.14	9.67	10.82	7.24
K ₂ O/Na ₂ O	0.33	0.26	0.43	0.56	0.61	0.61
Mg#	0.60	0.72	0.72	0.71	0.63	0.67
A/CNK	1.01	0.96	0.88	1.03	0.73	0.48
Микроэлементы (г/т) / Microelements (g/t)						
Li	21	29	10.9	15.6	6.3	9.4
Be	0.41	0.45	3.2	4.1	4	8.7
Sc	2	2.2	4.1	1.7	2.1	7.6
V	32	38	72	35	40	150
Cr	4	3	12.8	6.1	8.7	25
Co	6.8	7.2	11.9	5.4	6.3	21
Ni	7.1	5.1	12.7	5.5	7.2	10.5
Cu	5.8	20	12.3	5.6	11	16.2
Zn	29	37	67	52	48	68
Ga	4.8	5.7	17.6	15.2	13.8	11.3
Rb	44	42	58	95	78	52
Sr	358	310	988	722	840	1282
Y	7.4	8	11.4	6.7	8.8	22
Zr	35	35	131	100	125	235
Nb	2.2	1.7	8.7	7.3	9	8.4
Mo	0.008	0.007	0.006	0.004	0.010	0.009
Cs	3	2.6	1.5	3.4	0.6	0.84
Ba	184	228	1588	1149	954	757
La	3.3	3.9	46	28	36	113
Ce	7.3	8.1	78	58	62	207
Pr	1.03	1.3	9	5.8	7.1	25
Nd	4.7	5.4	35	22	27	100
Sm	1.3	1.4	6.1	4.1	4.7	17.5
Eu	0.48	0.63	1.6	1.01	1.21	0.29
Gd	1.1	1.3	4.3	2.6	3.2	11.3
Tb	0.2	0.22	0.53	0.34	0.41	1.3
Dy	1.09	1.3	2.3	1.4	1.7	4.8
Ho	0.26	0.36	0.4	0.25	0.31	0.75
Er	0.82	0.96	1.11	0.69	0.83	1.9
Tm	0.124	0.2	0.14	0.087	0.111	0.2
Yb	1.2	1.4	1.14	0.74	0.86	1.6
Lu	0.17	0.25	0.15	0.094	0.118	0.19
Hf	0.95	0.93	3.1	2.6	3	4.7
Ta	0.024	0.022	0.25	0.23	0.27	0.19
Tl	0.1	0.14	0.37	0.68	0.23	0.17
Pb	1.8	2.3	16.6	27	38	18.5
Th	0.43	1.13	13.8	13.5	12.7	17.9
U	0.29	0.26	3.3	3.4	2.7	3.6

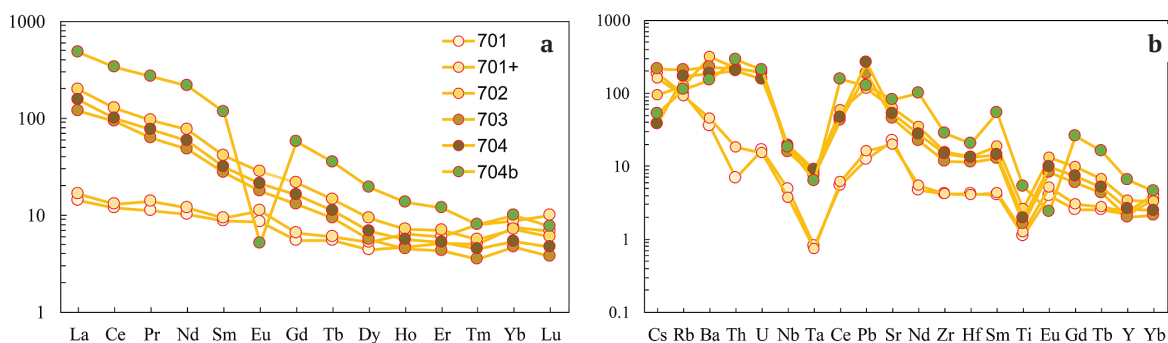


Рис. 8. Спектры нормированного распределения микроэлементов в порфировых породах шариповской группы: а — спайдерграмма РЗЭ, нормированная по хондриту CI (Lubetskaya, Korenaga, 2007), б — мультиэлементная спайдерграмма, нормированная по примитивной мантии (Lubetskaya, Korenaga, 2007)

Fig. 8. Geochemical patterns of Sharip group porphyries:

а — REE normalized to chondrite CI (Lubetskaya, Korenaga, 2007), б — multi-element normalized to the primitive mantle (Lubetskaya, Korenaga, 2007)

54.76 мас. % и высоким P_2O_5 (0.99 мас. %), тогда как у других образцов содержание пентаоксида фосфора варьируется в пределах 0.12–0.30 мас. %. Также ксенолит (обр. № 704b) обладает самым низким al' — 0.48, магнезиальный номер $Mg\#$ равен 0.67.

Образцы двух подгрупп и ксенолита довольно отчётливо различаются между собой по особенностям распределения редкоземельных элементов (РЗЭ). Так, графики нормированного распределения РЗЭ демонстрируют относительно плоские спектры для обр. 701 и 701+, но для остальных наблюдается явный отрицательный уклон (рис. 8, а). Соотношения для первой подгруппы (обр. 701 и 701+): $(La/Yb)_n = 1.87–1.89$, $(Gd/Yb)_n = 0.73–0.74$. Соотношения для второй подгруппы (п): $(La/Yb)_n = 25.76–28.50$, $(Gd/Yb)_n = 2.81–3.01$. Ксенолит (обр. № 704b) обладает более крутым уклоном: $(La/Yb)_n = 48.08$, $(Gd/Yb)_n = 5.65$. Европиевая аномалия либо не выражена, либо слаболожительная ($Eu/Eu^* = 0.91–1.39$), однако в образце ксенолита 704b выявлена резкая отрицательная аномалия Eu ($Eu/Eu^* = 0.05$).

На мультиэлементной диаграмме (рис. 8, б) ярко выражены положительные аномалии LILE (крупно-ионных литофилов) — Cs, Rb, Ba, Th, U, Pb. Характерна отрицательная аномалия для HFSE (высокозарядных элементов), особенно для Nb, Ta, Ti. В ксенолите проявлена отчётливая отрицательная аномалия для Zr и Hf, хотя в целом эта порода наиболее богата микроэлементами.

Обсуждение результатов и выводы

Таким образом, ареал развития монцонитов балбукского комплекса включает субвулканические аналоги порфирового строения. Основная масса их имеет микрогранитовый облик (рис. 3) и сложена амфиболом, калиевым полевым шпатом, эпидотом и альбитом. Фенокристаллы представлены кварцем, КППШ, плагиоклазом и амфиболом. Акцессорными минералами являются апатит, титанит, циркон и барит.

Порфировые породы в различной степени подвержены вторичным преобразованиям. Наиболее изменёнными являются породы первого типа, наименее — второго типа. Вторичные образования представлены в основном хлоритом, серицитом, эпидотом.

Порфировые породы первого типа имеют зеленоватую окраску, но с пятнами коричневого цвета (обр. 701+), вероятно обусловленную неравномерной метасоматической проработкой породы, поскольку каких-либо принципиальных различий в минералогии и геохимии не наблюдается (рис. 2, а; 3, а).

Полученные данные по порфировым породам шариповской группы отражают закономерные для единой породной ассоциации вариации минерального и химического состава. Порфировидный монцодиорит, обнаруженный в виде ксенолита в порфировой породе массива Шарип, по всем признакам является продуктом кристаллизации другого расплава. Об этом свидетельствуют его петрографический облик, а также обогащённость микроэлементами при наиболее низкой кремнезёмистости и высокой магнезиальности, и резкая отрицательная европиевая аномалия — (у порфировых пород она отсутствует). Вероятно, эта порода является производной от остаточного высокофракционированного базитового расплава, обогащённого несовместимыми элементами и обеднённого Eu после фракционирования плагиоклаза. Напротив, порфировые породы не несут признаков связи с фракционированием базитового расплава и, вероятно, являются продуктами кристаллизации магмы среднего (трахитового) состава.

Состав породы обычно определяется составом основной массы и реже вкрапленников. В нашем случае фенокристы определяют и петрографический, и петрохимический облик пород. В обр. 701 методом ЭДС в пластинке нами был определён усреднённый состав основной массы: SiO_2 — 62, TiO_2 — 0.17, Al_2O_3 — 18.6, FeO — 2.8, MgO — 0.7, MnO — 0.14, Na_2O — 9.4, а K_2O — 0.46 мас. %. Это значительно отличает её от состава валовой пробы, что свидетельствует о том, что вкрапленники и матрица кристаллизовались из магмы близкого состава. Тем не менее наличие зональных кристаллов амфибола с тонкими каймами более железистого состава свидетельствует о неравновесных условиях между некоторыми фенокристами и расплавом. Так, в обр. 702 присутствуют фенокристы магнетитогастингсита и паргасита с каймой магнезиогастингсита, что предполагает более раннюю и более позднюю генерации амфибола, кристаллизовавшиеся на разных этапах остывания единого расплава. Исходя



из классических представлений об эволюции расплавов часть порфировых пород (обр. 701 и 701+) отвечает более раннему этапу с низким $(La/Yb)_n$ и пониженными концентрациями несовместимых элементов, тогда как другая часть (обр. 702, 704, и особенно 703) — продукты более позднего этапа кристаллизации, имеющие высокие величины $(La/Yb)_n$ и повышенные содержания микроэлементов. В пользу этого свидетельствует и состав вкрапленников амфибола с трендом уменьшения $Mg\#$. С другой стороны, этому противоречат оценки температур кристаллизации амфибола (см. раздел «Минералогическая характеристика порфировых пород»). Это можно объяснить метасоматическими изменениями, обусловившими вынос титана, на концентрациях которого основаны использованные нами геотермометры (Otten, 1984; Liao, 2021). Известно, что при гидротермальном метасоматозе первичная титанистая бурая роговая обманка переходит в зелёную роговую обманку с выносом титана, а далее — в актинолит, практически не содержащий титан (Рахимов, Вишневыский, 2023). Содержание Mg при этом не меняется. Таким образом, оценки температур кристаллизации амфибола из вкрапленников в обр. 704 можно считать наиболее достоверными (842–973 °C), тогда как в обр. 701 получены заниженные температуры (662–678 °C) вследствие метасоматоза.

Несмотря на влияние метасоматических процессов, амфибол является важнейшим минералом пород и немногим из удовлетворительно сохранившихся. Более того, ведущим процессом эволюции расплава было именно фракционирование амфибола, а не полевых шпатов (рис. 9, а, б). С этим согласуется, в частности, отсутствие Eu -аномалии на спайдерграмме (рис. 8, а) и высокое валовое содержание Sr . Первичный плагиоклаз, вероятно отвечавший олигоклазу или кислому андезину, не сохранился ни в одной пробе и полностью замещён ассоциацией вторичных силикатов — альбитом, серицитом, эпидотом, хлоритом. Появление вкрапленников кварца в обр. 703 свидетельствует о пересыщении расплава кремнезёмом уже на ранней стадии кристаллизации, т. е. этот порфировый образец — представитель наиболее поздней части породной ассоциации.

В настоящее время популярны представления о происхождении монцонитов из расплавов при частичном плавлении метасоматизированной литосферной мантии или ультрабазит-базитов нижней части коры (Conceicao, Green, 2004; Jung et al., 2020). Геохимические особенности шариповских порфировых пород демонстрируют адакитоподобные характеристики (рис. 10, а, б). Адакиты — специфичные вулканы среднего состава, часто ассоциирующие с щелочным над- или постсубдукционным магматизмом, их происхождение дискуссионно, однако признаётся их важная металлогеническая роль для порфировых систем (Richards, Kerrich, 2007; Karshi et al., 2019; Castillo, 2012). Примечательно, что монцодиорит из ксенолита (обр. 704b) не попадает в поле адакитов. Ранний дифференциат порфировой ассоциации (обр. 701, 701+) отличается пониженным La/Yb -отношением и в целом низкими концентрациями Sr (<360 г/т), что отличает его от типичных адакитов, хотя некоторые другие ключевые характеристики адакитам не противоречат (высокое Sr/Y -отношение, низкая концентрация Yb). Положение фигуративных точек (рис. 10 а, б) подтверждает ведущую роль фракционирования амфибола в расплаве. Соотношения петрогенных компонентов показывают, что изученные адакитоподобные порфировые породы могут быть производными от расплава, источником которого является нижняя кора (рис. 10 с, d). Полученные ранее $Rb-Sr$ -датировки (354.2 ± 1.4 млн лет) для монцонит-порфира МШГ предполагают син- или постколлизийную обстановку (Пучков, 2010). В ходе позднедевонско-раннекаменноугольной коллизии ММ и Лавруссии западный борт ММ надвинулся на окраину палеоконтинента по зоне ГУР (Пучков, 2000). Таким образом, источниками магматизма для порфировой ассоциации шариповской группы могли быть подстилающие ММ ультрабазит-базитовые массивы офиолитовой ассоциации ГУР, а также рифейские осадочно-метаморфогенные толщ континентальной окраины, обнажённые в настоящее время в Башкирском мегантиклинории Южного Урала (западнее ГУР).

Изложенные результаты позволяют сделать следующие главные выводы:

— исследуемые образования шариповской группы являются монцонит-порфирами единой ассоци-

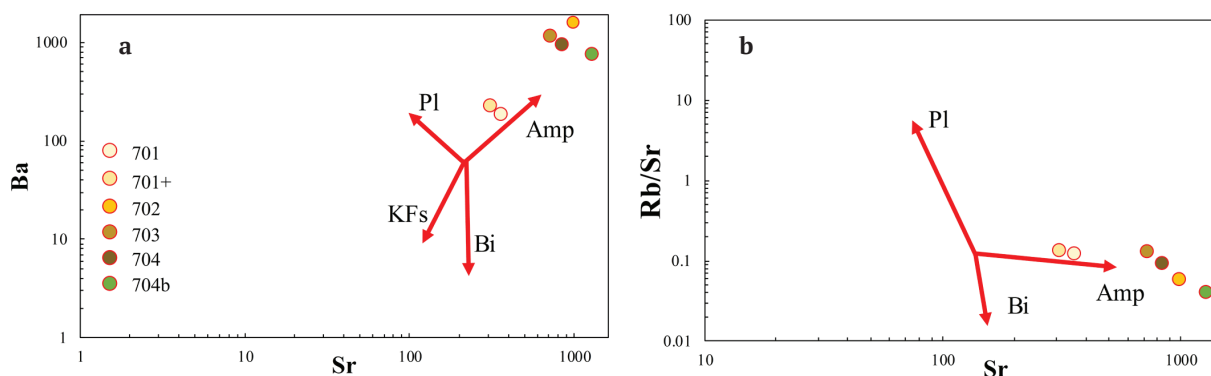


Рис. 9. Дискриминационные геохимические диаграммы для порфировых пород шариповской группы по (Solomovich, Trifonov, 2014):

а — Ba–Sr, б — Rb/Sr–Ba

Fig. 9. Geochemical discriminant diagrams for the Sharip group porphyries (Solomovich, Trifonov, 2014):

а — Ba–Sr, б — Rb/Sr–Ba

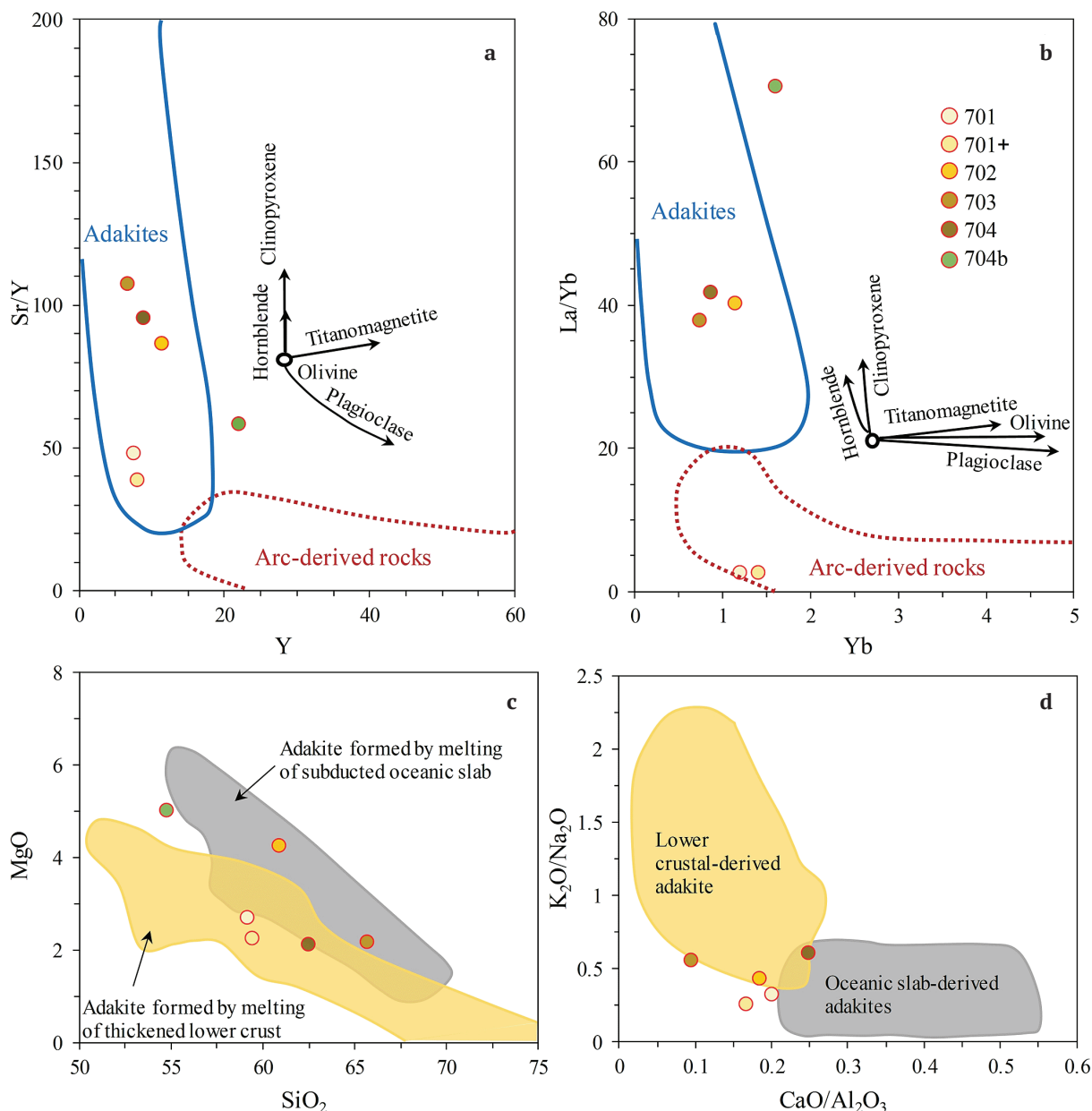


Рис. 10. Точки составов порфировых пород шариповской группы на дискриминационных диаграммах для адакитов по (Castillo, 2012) — а и б, по (Karshi et al., 2019) — с и д

Fig. 10. The composition points of the Sharip group porphyries at the discriminant diagrams for adakites after (Castillo, 2012) — a and b after (Karshi et al., 2019) — c and d

ции и отвечают по химическому составу высококалийным трахиандезитам и трахитам;

— минералого-геохимические характеристики монзонит-порфиров, несмотря на интенсивные метасоматические изменения, отражают процессы фракционной кристаллизации, связанные с фракционированием амфибола в трахитовом расплаве;

— кристаллизация фенокристов амфибола (паргасита, магнезиогастингсита) происходила в диапазоне температур 842—973 °C;

— геохимические характеристики монзонит-порфиров демонстрируют близость к адакитам (высокие отношения Sr/Y и La/Yb), а их источником могла быть нижняя кора, представленная ультрабазит-базитами офиолитов Главного Уральского разлома и осадочно-метаморфическими комплексами рифейского возраста.

Авторы выражают благодарность Д. Н. Салихову за ценные консультации по геологии Балбукского ареала.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 2022-77-10049.

Литература / References

Анисимов И. С., Сопко Л. Н., Ямаев Ф. А., Калташева И. И., Козлов В. И., Петров Ю. М. Отчёт по геологическому доизучению масштаба 1:50000 Северо-Учалинской площади (планшеты: N-40-48-B-6, в, г; N-40-59-B-6, г; N-40-60-A; N-40-72-A) за 1978—1983 годы, 1983.
Anisimov I. S., Sopko L. N., Yamaev F. A., Kaltasheva I. I., Kozlov V. I., Petrov Yu. M. Report on geological additional study on a scale of 1:50000 of the North-Uchalinskaya area (plates: N-40-48 V-b, c, d; N-40- 59



- B-b, d; N-40-60 A; N-40-72 A) for 1978—1983, 1983. (in Russian)
- Жданов А. В., Ободов В. А., Макарьев Л. Б., Матюшков А. Д., Молчанова Е. В., Стромов В. А., Полянская Т. Л., Калташев А. П. Геологическое доизучение масштаба 1:200000 и подготовка к изданию госгеолкарты-200 территории листа N-40-XXVIII (Учалинская площадь) / Отчёт по темам № 608 и № 140 в 2 кн. СПб., 2003. Кн. 1. 284 с.
- Zhdanov A. V., Obodov V. A., Makariev L. B., Matyushkov A. D., Molchanova E. V., Stromov V. A., Polyanskaya T. L., Kaltashev A. P. Geological additional study on a scale of 1:200000 and preparation for publication of the state geological map-200 of the territory, sheet N-40-XXVIII (Uchalinskaya area). Report on topics No. 608 and No. 140 in 2 books. St. Petersburg, Book 1, 2003, 284 p. (in Russian)
- Знаменский С. Е. Роль сдвиговых дуплексов в региональном структурном контроле позднепалеозойского золотого оруденения Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Литосфера. 2009. № 4. С. 83—92.
- Znamensky S. E. The role of strike-slip duplexes in the regional structural control of the late Paleozoic gold mineralization of the Magnitogorsk megazone (Southern Urals). Lithosphere, 2009, No. 4, pp. 83—92. (in Russian)
- Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПресс, 2010. 280 с.
- Puchkov V. N. Geology of the Urals and the Cis-Urals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: DesignPress, 2010, 280 p. (in Russian)
- Пучков В. Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Гилем, 2000. 146 с.
- Puchkov V. N. Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals. Ufa: Gilem, 2000, 146 p. (in Russian)
- Рахимов И. Р., Вишневецкий А. В. Роговая обманка в ультрамафит-мафитах худолазовского комплекса Южного Урала: условия кристаллизации и петрологические следствия // Литосфера. 2023. № 5. С. 766—784. DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-5-766-784
- Rakhimov I. R., Vishnevsky A. V. Hornblende in ultramafic-mafites of the Khulozovsky complex of the Southern Urals: crystallization conditions and petrological consequences. Lithosphere, 2023, No. 5, pp. 766—784. (in Russian)
- Рахимов И. Р., Самигуллин А. А., Холоднов В. В., Шагалов Е. С. Этапы проявления монзонитового и гранитового магматизма Балбукского ареала (Южный урал) по данным Rb-Sr-геохронологии // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. 2024. № 15. С. 184—187.
- Rakhimov I. R., Samigullin A. A., Kholodnov V. V., Shagalov E. S. Stages of manifestation of monzonite and granite magmatism of the Balbuk area (Southern Urals) according to Rb-Sr geochronology. Geology, mineral resources and problems of geoecology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories, 2024, No. 15, pp. 184—187. (in Russian)
- Рязанцев А. В., Новиков И. А., Разумовский А. А. Каменноугольный окраинно-континентальный мафит-ультрамафитовый комплекс параллельных даек Западно-Магнитогорской зоны (Южный Урал) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2019. № 3. С. 42—50. DOI: 10.32454/0016-7762-2019-3-42-50
- Ryazantsev A. V., Novikov I. A., Razumovsky A. A. Carboniferous continental marginal mafic-ultramafic complex of parallel dikes of the West Magnitogorsk zone (Southern Urals). Bulletin of Higher Educational Institutions. Geology and Exploration, 2019, No. 3, pp. 42—50. (in Russian)
- Салихов Д. Н., Холоднов В. В., Пучков В. Н., Рахимов И. Р. Магнитогорская зона Южного Урала в позднем палеозое: магматизм, флюидный режим, металлогения, геодинамика. М.: Наука, 2019. 392 с.
- Salikhov D. N., Kholodnov V. V., Puchkov V. N., Rakhimov I. R. Magnitogorsk zone of the Southern Urals in the Late Paleozoic: magmatism, fluid regime, metallogeny, geodynamics. Moscow: Nauka, 2019, 392 p. (in Russian)
- Салихов Д. Н. Магматизм и оруденение позднего палеозоя Магнитогорского мегасинклиория. Уфа: БФАН СССР, 1985. 96 с.
- Salikhov D. N. Magmatism and mineralization of the late Paleozoic Magnitogorsk megasyntclorium. Ufa: BB USSR AS, 1985, 96 p. (in Russian)
- Салихов Д. Н., Бердников П. Г. Магматизм и оруденение позднего палеозоя Магнитогорского мегасинклиория. Уфа, 1985. 94 с.
- Salikhov D. N., Berdnikov P. G. Magmatism and ore mineralization of The Late Paleozoic of Magnitogorsk megasyntclorium. Ufa, 1985, 94 p. (in Russian)
- Салихов Д. Н., Митрофанов В. А. Интрузивный магматизм верхнего девона — нижнего карбона Магнитогорского мегасинклиория (Южный Урал). Уфа: УНЦ РАН, 1994. 142 с.
- Salikhov D. N., Mitrofanov V. A. Intrusive magmatism of the Upper Devonian — Lower Carboniferous of the Magnitogorsk megasyntclorium (Southern Urals). Ufa: USC RAS, 1994, 142 p. (in Russian)
- Самигуллин А. А., Рахимов И. Р. Минералого-геохимические особенности гранитных массивов Аушкуль, Каматал и Шартым (балбукский комплекс, Южный Урал) // Геологический вестник. 2023. № 3. С. 74—86. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-7
- Samigullin A. A., Rakhimov I. R. Mineralogical and geochemical features of the Aushkul, Kamatal and Shartym granite massifs (Balbuk complex, Southern Urals). Geological Bulletin. 2023, No. 3, pp. 74—86. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-7. (in Russian)
- Ферштатер Г. Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 368 с.
- Fershtater G. B. Paleozoic intrusive magmatism of the Middle and Southern Urals. Yekaterinburg: UB RAS, 2013, 368 p. (in Russian)
- Castillo P. R. Adakite Petrogenesis // Lithos. 2012. V. 134. P. 304—316. DOI: 10.1016/j.lithos.2011.09.013.
- Conceicao R. V., Green D. H. Derivation of potassic (shoshonitic) magmas by decompression melting of phlogopite + pargasite lherzolite // Journal of Geology. 2004. V. 72. P. 209—229.
- Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. 2nd Edition, Prentice Hall, Harlow. 1992.
- Hey M. H. A new review of the chlorites // Min. Mag, 1954. V. 30. P. 277—292.
- Jung S., Romer R. L., Pfänder J. A., Berndt J. Petrogenesis of early syn-tectonic monzonite-granodiorite complexes —

- Crustal reprocessing versus crustal growth // Precambrian Research. 2020. V. 351. P. 105967. DOI: 10.1016/j.precamres.2020.105957.
- Karsli O., Dokuz A., Kandemir R., Aydin F., Schmitt A. K., Ersoy E. Y., Alyildiz C. Adakite-Like Parental Melt Generation by Partial Fusion of Juvenile Lower Crust, Sakarya Zone, Ne Turkey: A Far-Field Response to Break-Off of the Southern Neotethyan Oceanic Lithosphere // Lithos. 2019. V. 338–339. P. 58–72. DOI: 10.1016/j.lithos.2019.03.029
- Lanari P., Wagner T., Vidal O. A thermodynamic model for ditrioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system $\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$: applications to P–T sections and geothermometry // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2014. V. 167. P. 268–287.
- Le Maitre R. W. Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, 2nd ed. 2002. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press // Geological Magazine. 2003. V. 140(3). P. 367–367. DOI:10.1017/S0016756803388028
- Leake B. E., Wooley A. R., Arps C. E. S. et al. Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names // Mineral. Mag. 1997. V. 61. P. 295–321.
- Liao Y., Wei C., Rehman H. U. Titanium in calcium amphibole: Behavior and thermometry // Amer. Miner. 2021. V. 106(2). P. 180–191.
- Lyubetskaya T., Korenaga J. Chemical composition of earth's primitive mantle and its variance // Journal of geophysical research. 2007. V. 112. P. 1–21. DOI: 10.1029/2005JB004224
- Otten M. T. The origin of brown hornblende in the Artfjället gabbro and dolerites // Contrib. Mineral. Petrol. 1984. V. 86. P. 189–199.
- Peccerillo A., Taylor S. R. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1976. V. 58. P. 63–81.
- Richards J. P., Kerrich R. Special Paper: Adakite-Like Rocks: Their Diverse Origins and Questionable Role in Metallogenesis // Economic Geology. 2007. V. 102 (4). P. 537–576. DOI: 10.2113/gsecongeo.102.4.537
- Solomovich L. I., Trifonov B. A. Rapakivi granites within Phanerozoic collisional orogens as a possible consequence of continental subduction and following exhumation of the Precambrian crust: Evidences from the Permian Jangart rapakivi in South Tien Shan collisional belt, Eastern Kyrgyzstan // Journal of Asian Earth Sciences. 2014. V. 96. P. 332–343. DOI: 10.1016/j.jseas.2014.09.028.

Поступила в редакцию / Received 29.11.2024