

Научная статья

УДК 552.111

DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-7

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТНЫХ МАССИВОВ АУШКУЛЬ, КАМАТАЛ И ШАРТЫМ (БАЛБУКСКИЙ КОМПЛЕКС, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А. А. Самигуллин, И. Р. Рахимов

Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450077, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2, samigullinaidar85@gmail.com

В статье рассматриваются петрографические, минералогические и петрогеохимические особенности щелочных гранитов балбукского комплекса в трёх массивах — Аушкуль, Каматал и Шартым. Породы массивов схожи по структурно-текстурным особенностям и минеральному составу: они сложены кислым плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, кварцем и мусковитом. В Аушкульском массиве встречены фенокристаллы калиевого полевого шпата, плагиоклаза, кварца и первичный олигоклаз в основной массе, тогда как в массивах Каматал и Шартым развиты лишь вкрапленники изменённого плагиоклаза и кварца, в основной массе присутствует вторичный альбит. Существующие различия в геохимии пород массива Аушкуль в сравнении с Каматалом и Шартымом (обеднённость барием и обогащённость ниобием) могут быть связаны с незначительными различиями в составе магм и с особенностями их фракционирования в промежуточных камерах (фракционирование калиевого полевого шпата и Nb-содержащих фаз).

Ключевые слова: балбукский комплекс, гранитоиды, магматизм

Благодарности: Работа выполнена в рамках Госзадания ИГ УФИЦ РАН FMRS-2022–0012 при частичной финансовой поддержке гранта РФФ № 22-77-10049.

Original article

MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE AUSHKUL, KAMATAL AND SHARTYM GRANITE MASSIFS (BALBUK COMPLEX, SOUTHERN URALS)

A. A. Samigullin, I. R. Rakhimov

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Karl Marx str. 16/2, Ufa, 450077, Russia; samigullinaidar85@gmail.com

The article discusses the petrographic, mineralogical and petrogeochemical features of alkaline granites of the Balbuk complex in three massifs — Aushkul, Kamatal and Shartym. The rocks of the massifs are similar in structural and textural features and mineral composition: they are composed of acidic plagioclase, potassium feldspar, quartz and muscovite. In the Aushkul massif, phenocrysts of potassium feldspar, plagioclase, quartz and primary oligoclase are found in the groundmass, while in the Kamatal and Shartym massifs only phenocrysts of altered plagioclase and quartz are developed, and secondary albite is present in the groundmass. The existing differences in the geochemistry of the rocks of the

Для цитирования: А. А. Самигуллин, И. Р. Рахимов. 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

For citation: A. A. Samigullin, I. R. Rakhimov. (2023) Mineralogy and geochemistry of the Aushkul, Kamatal and Shartym granite massifs (Balbuk complex, Southern Urals). *Geologicheskii vestnik*. 2023. No. 3. P. 74–86. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-7

© А. А. Самигуллин, И. Р. Рахимов, 2023

Aushkul massif in comparison with Kamatal and Shartym (depleted in barium and enriched in niobium) may be associated with minor differences in the composition of magmas and with the peculiarities of their fractionation in intermediate chambers (fractionation of alkali feldspar and Nb-containing phases).

Keywords: balbuk complex, granitoids, magmatism

Acknowledgements: The article was made by state task IG UFRC RAS FMRS-2022–0012 with partial financial support from a grant РФФ № 22-77-10049.

Введение

В настоящее время, согласно ГДП-200 (N-40-XVIII) [Жданов и др., 2018] и ряду публикаций в открытой печати [Холоднов и др., 2009; Салихов и др., 2019 и др.], к балбукскому комплексу отнесены многочисленные мелкие и средние по размеру в плане интрузии монзонит-диорит-сиенит-гранитового состава, расположенные в северной выклинивающейся части Магнитогорской мегазоны (рис. 1). Имеющиеся сведения об этом комплексе не позволяют составить единую картину о его происхождении и о его месте в геологической истории Южного Урала вообще. Одной из важнейших проблем является возраст комплекса — различными радиоизотопными методами породы датированы в диапазоне 337–293 млн лет [Жданов и др., 2018]. При этом с телами балбукского комплекса пространственно и генетически связаны многочисленные золоторудные месторождения и проявления [Знаменский и др., 2014; Знаменский и др., 2014]. На сегодняшний день в составе комплекса условно выделяются две фазы: первая фаза представлена монзонитами и сиенитами, образующими как самостоятельные тела, так и краевые петрозоны; вторая фаза представлена микрогранитами, слагающими довольно крупные массивы. Однако происхождение более кислых пород второй фазы сложно объяснить только процессами дифференциации единой магмы из-за соотношений объёмов изверженного материала первой и второй фазы и разнообразия геохимических особенностей пород [Салихов и др., 2019].

Начатые нами в 2018 г. комплексные геологические исследования направлены на петрогенетическую реконструкцию петротипа балбукского комплекса, наведение таксономического порядка в отношении разнообразных по составу интрузий, отнесённых к балбукскому комплексу, а также установление их геотектонической позиции. В настоящей статье рассматриваются минералого-геохимические особенности гранитов из трёх массивов (Аушкуль, Каматал и Шартым), являющихся одними из наиболее крупных и типичных для балбукского комплекса.

Наиболее полные сведения о геологическом строении массивов Аушкуль, Каматал и Шартым содержатся в геологических отчётах [Анисимов и др., 1983]. Массив Аушкуль расположен в зоне Главного Уральского разлома, размеры в плане 1×1.5 км. Вмещающие породы представлены трещиноватыми серпентинитами раннепалеозойского возраста и карбонатно-терригенными отложениями улутауской свиты (D₂₋₃). Массив Каматал, а вмещающими породами являются карбонатные отложения кизильской свиты (C₁) и вулканогенно-осадочные

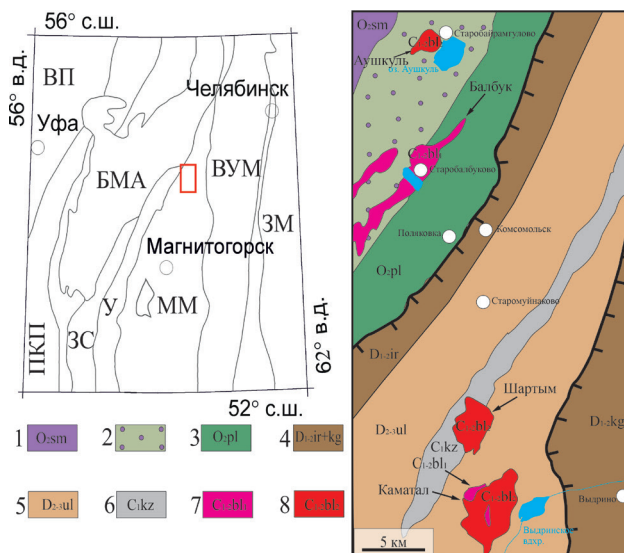


Рис. 1. Геологическое строение района развития гранитных массивов балбукского комплекса.

Условные обозначения: 1 — сакмарский дунит-гарцбургитовый комплекс, 2 — породы зоны главного уральского разлома, 3 — поляковская свита ордовика, 4 — ирендыкская свита и карагайская толща нижнего-среднего девона, 5 — свиты среднего-верхнего девона нерасчленённые, 6 — кизильская свита нижнего карбона, 7 — сиениты, монзониты и порфириты 1 фазы балбукского комплекса, 8 — субщелочные гранитоиды 2 фазы балбукского комплекса.

Fig. 1. Geological structure of the area of development of granite massifs of the Balbuk complex.

Legend: 1 — sakmarsky dunite-harzburgite complex, 2 — rocks of main Uralian fault, 3 — Polyakov formation of Ordovician, 4 — Irendyk and Karagay formations of lower-middle Devonian, 5 — formations of Middle-Upper Devonian, 6 — Kizil formation of Lower Carboniferous, 7 — syenites, monzonites and porphyrites of the 1 phase of Balbuk complex, 8 — subalkali granitoids of the 2 phase of Balbuk complex.

образования бугодакской свиты (D_3). Массив Каматал является наиболее крупным из изучаемых, имеет размеры 4×5 км, вмещающие породы представлены вулканогенно-осадочными образованиями бугодакской и улутауской свит. Массивы Шартым и Каматал расположены в Западномагнитогорской СФЗ, в Узункыро-Сибайской подзоне.

Методика исследований

Полевое геологическое изучение гранитных массивов балбукского комплекса проводилось в 2018–2022 гг. Во время полевых работ нами были определены формы и размеры интрузивных тел, сделаны замеры элементов залегания и отобраны образцы для исследований. Петрографическое описание пород проводилось на поляризационном микроскопе Carl Zeiss Axioskop 40 A в ИГ УФИЦ РАН.

Детальные минералогические исследования с определением состава минералов проведены на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments (ИГ УФИЦ РАН, Уфа). Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с использованием методики TrueQ. При съемке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3–4 нА, время накопления спектра в точке 20 секунд в режиме «Point&ID».

Методом рентгенофлуоресцентного анализа в порошковых пробах определялся химический состав пород (спектрометры Carl Zeiss VRA-30 и X-Calibur) в ИГ УФИЦ РАН.

Результаты

Петрография и минералогия

Массив Аушкуль. Массив сложен микрогранит-порфирами (рис. 2 а) с гранитовой структурой основной массы. Фенокристаллы представлены кварцем (см. рис. 2 а), калиевым полевым шпатом и олигоклазом, размеры которых варьируют от 0.5 мм до 3 мм. Основная масса состоит из зёрен размером 0.10–0.15 мм и представлена кварцем, олигоклазом, калиевым полевым шпатом и микровключениями мусковита с размером до 0.05 мм. Кварц ксеноморфный с субизометричным и неправильным обликом. Калиевый полевой

шпат ксеноморфный, неправильного облика, обладает примесью Na_2O до 0.71 (мас. %) (табл. 1). Плагиоклаз представлен олигоклазом, анортитовый минал равен 12.6–12.8%, субидiomорфный, обладает примесями FeO до 0.14 (мас. %) и K_2O до 0.92 (мас. %) (табл. 2). Слюда представлена мусковитом и обладает примесью MnO до 0.19 (мас.%) (табл. 3). На треугольной классификационной диаграмме породы попадают в поле гранитов и субщелочных гранитов (рис. 3). Акцессорные минералы представлены цирконом, ильменитом, манганоильменитом, пиррофанитом, рутилом и флюоритом. Породы массива неравномерно метасоматизированы. Фенокристаллы и основная масса изучаемого образца слабо затронуты вторичными изменениями.

Массив Каматал. Массив сложен порфировидными микрогранитами с гранитовой структурой основной массы (см. рис. 2 б). Порфировые вкрапленники представлены идиоморфным альбитизированным плагиоклазом и изометричным кварцем размером 0.5–1.2 мм. Основная масса состоит из ксеноморфных зёрен кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклаза и мусковита со средним размером 0.20–0.25 мм. Кварц ксеноморфный, неправильного облика. Калиевый полевой шпат ксеноморфный, неправильного облика, с примесью Na_2O до 0.19 (мас. %) (см. табл. 1). Плагиоклаз субидiomорфный, с примесью K_2O до 0.12 (мас. %) (см. табл. 2). Мусковит представлен таблитчатыми зёрнами размером до 0.6 мм и обладает примесью MnO до 0.36 (мас.%) (см. табл. 3). На треугольной классификационной диаграмме породы массива расположены в поле гранитов и субщелочных гранитов (см. рис. 3). Акцессорные минералы: рутил, магнетит, апатит, магнетит, циркон, монацит. Породы подвержены метасоматическим изменениям: широко проявлена серицитизация, мусковит является продуктом замещения биотита [Рахимов, 2021].

Массив Шартым. Массив сложен микрогранит-порфирами с гранитовой структурой основной массы (см. рис. 2 в). Фенокристаллы представлены кварцем и изменённым плагиоклазом идиоморфного облика с размером 0.6–2.2 мм. Основная масса выполнена кварцем, плагиоклазом, калиевым полевым шпатом и мусковитом со средним размером 0.2–0.3 мм. Кварц ксеноморфный, неправильного облика. Калиевый полевой шпат ксеноморфный, неправильного облика, с примесью MnO до 0.27 (мас.%), FeO до 0.43 (мас.%) и BaO до 0.86 (мас.%) (см. табл. 1). Плагиоклаз субидiomорфный, с при-

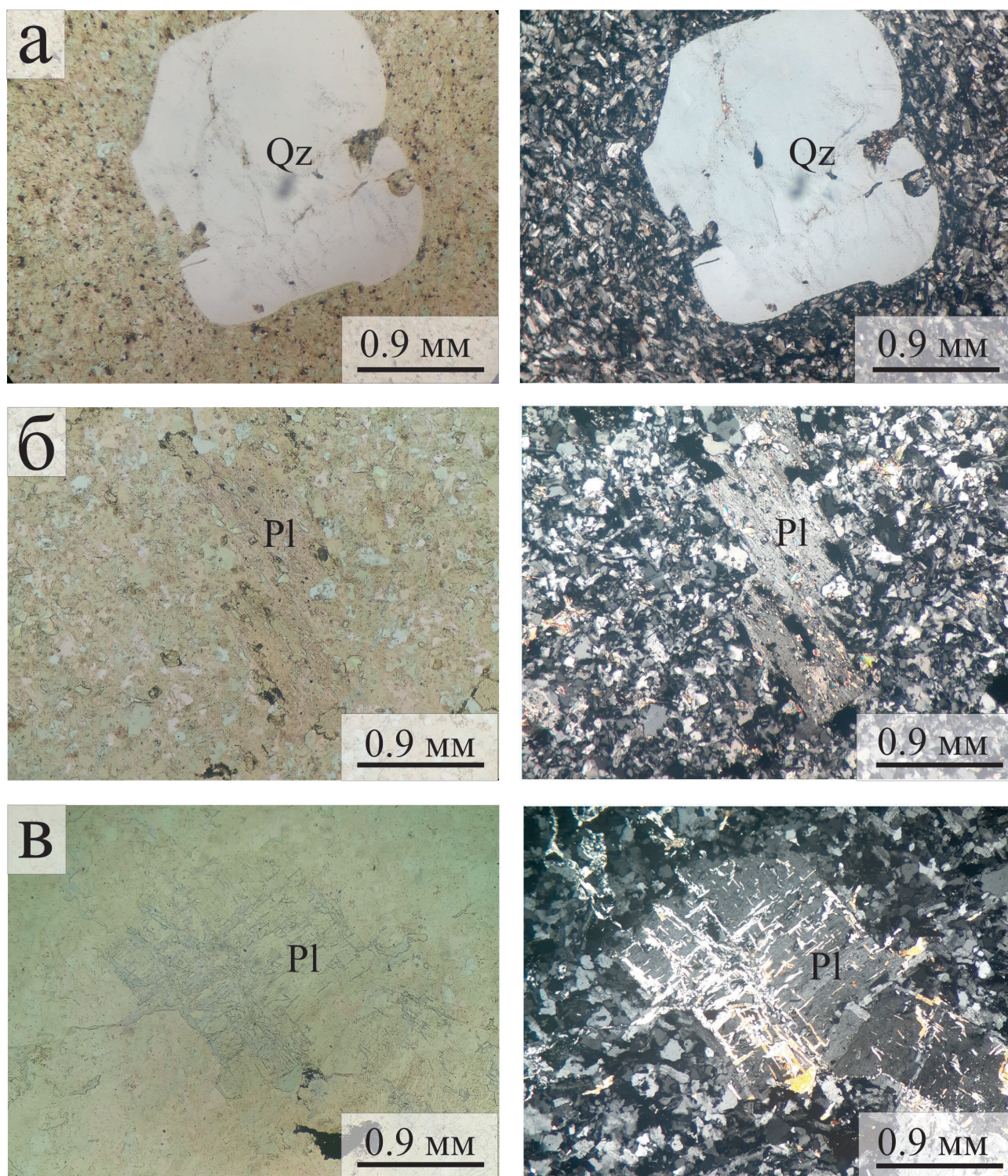


Рис. 2. Микрофотографии гранитов балбукского комплекса (слева один николь, справа два николя)
Условные обозначения: а — массив Аушкуль, б — Каматал, в — массив Шартым. Pl = плагиоклаз, Qz = кварц.

Fig. 2. Photomicrographs of Balbuk complex granites (left plane polarized light, on right cross polarized light)
Legend: a — Aushkul massif, б — Kamatal massif, в — Shartym massif. Pl = plagioclase, Qz = quartz.

месью K₂O до 0.76 (мас.%), CaO до 0.51 (мас.%) и FeO до 0.18 (мас.%) (см. табл. 2). Зёрна мусковита достигают 0.6 мм и обладают примесью MgO до 0.94 (мас.%) (см. табл. 3). На треугольной классификационной диаграмме породы локализованы в поле гранитов и субщелочных гранитов (см. рис. 3). Акцессорные минералы представлены: ильменитом, манганоильменитом, пирофанитом, монацитом, алланитом, цирконом и апатитом. Породы подвержены вторичным изменениям, выраженным альбитизацией и серицитизацией плагиоклаза.

Соотношение кварца, калиевого полевого шпата и плагиоклаза во всех трёх массивах одинаковое. На QAPF диаграмме породы попадают в поле гранитов и субщелочных гранитов (см. рис. 3).

Состав светлой слюды всех массивов полностью отвечает мусковиту (рис. 4 а). На треугольной диаграмме плагиоклаз Аушкульского массива попадает в поле олигоклаза, а Шартымского и Каматальского — в поле альбита (см. рис. 4 б).

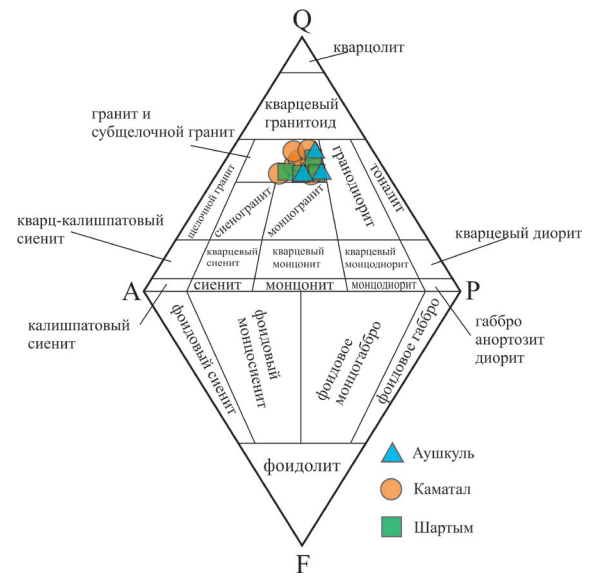


Рис. 3. QAPF-диаграмма [Streckeisen, 1976] для гранитов балбукского комплекса

Условные обозначения: Q — кварц, А — калиевый полевой шпат, P — плагиоклаз, F — фельдшпатоиды.

Fig. 3. QAPF-diagram [Streckeisen, 1976] for granites of balbuk complex

Legend: Q — quartz, A — alkali feldspar, P — plagioclase, F — feldspatoids.

Таблица 1. Химический состав калиевого полевого шпата из гранитов балбукского комплекса (мас. %) Table 1. Chemical composition of alkali feldspar from granites of Balbuk complex (wt. %)

№ п/п	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	MnO	FeO	BaO	Всего
1	0.53	19.17	65.47	14.99	0.00	0.00	0.00	100.16
2	0.71	18.9	65.4	15.25	0.00	0.00	0.00	100.27
3	0.24	18.66	64.43	16.77	0.00	0.00	0.00	100.09
4	0.25	18.77	63.55	16.36	0.00	0.18	0.47	99.58
5	0.21	19.56	65.52	15.28	0.00	0.00	0.00	100.57
6	0.35	19.61	64.10	15.11	0.27	0.43	0.86	100.73
7	0.18	18.78	65.51	15.15	0.00	0.00	0.00	99.62
8	0.19	19.15	65.38	15.05	0.00	0.00	0.00	99.77

Кристаллохимические формулы:

1. [K_{0.87}Na_{0.05}]_{0.92} (Al_{1.03}Si_{2.99})_{4.02}O₈
2. [K_{0.89}Na_{0.06}]_{0.95} (Al_{1.02}Si_{2.99})_{4.01}O₈
3. [K_{0.98}Na_{0.02}]_{1.0} (Al_{1.01}Si_{2.97})_{3.98}O₈
4. [K_{0.97}Na_{0.02}Ba_{0.01}]_{1.0} (Al_{1.03}Fe⁺_{0.01}Si_{2.96})_{4.0}O₈
5. [K_{0.88}Na_{0.02}]_{0.90} (Al_{1.05}Si_{2.98})_{4.03}O₈
6. [K_{0.88}Na_{0.03}Ba_{0.02}Fe⁺_{0.02}Mn_{0.01}]_{0.96} (Al_{1.06}Si_{2.95})_{4.01}O₈
7. [K_{0.88}Na_{0.02}]_{0.9} (Al_{1.01}Si_{3.01})_{4.02}O₈
8. [K_{0.88}Na_{0.02}]_{0.9} (Al_{1.03}Si_{2.99})_{4.02}O₈

Примечание. 1–3 — Аушкуль. 4–6 — Шартым. 7–8 — Каматал.
Note. 1–3 — Aushkul. 4–6 — Shartym. 7–8 — Kamatal.

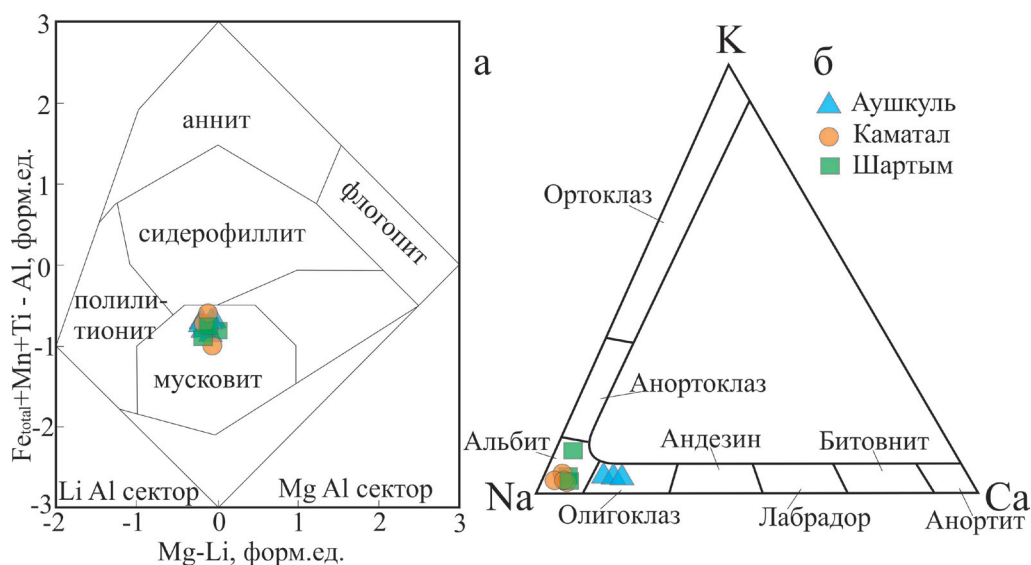


Рис. 4. Диаграммы
Условные обозначения: а — классификационная диаграмма для слюд [Tischendorf et al, 2007], б — классификационная диаграмма для полевых шпатов [Wittke, 1990; Deer et al, 1992] из гранитов балбукского комплекса.

Fig. 4. Diagrams
Legend: а — discrimination diagrams for micas [Tischendorf et al, 2007], б — discrimination diagrams for feldspars [Wittke, 1990; Deer et al, 1992] from granites of balbuk complex.

Таблица 2. Химический состав плагиоклаза из гранитов балбукского комплекса (мас. %)
 Table 2. Chemical composition of plagioclase from granites of Balbuk complex (wt. %)

№ п/п	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	FeO	Всего
1	9.20	21.98	64.89	0.82	2.64	0.14	99.67
2	9.54	22.15	65.46	0.72	2.57	0.13	100.57
3	9.32	21.92	65.45	0.84	2.68	0.00	100.21
4	9.45	21.95	65.26	0.92	2.43	0.00	100.01
5	9.66	21.43	66.16	0.81	2.68	0.00	100.74
6	11.07	20.92	67.42	0.00	0.36	0.00	99.77
7	10.74	20.67	67.92	0.76	0.51	0.18	100.78
8	11.34	20.52	66.65	0.12	0.41	0.13	99.17
9	11.27	20.26	68.69	0.11	0.32	0.00	100.65
10	11.49	19.88	69.12	0.05	0.00	0.00	100.54
11	11.12	19.95	68.97	0.11	0.00	0.00	100.15
12	11.65	20.11	69.05	0.12	0.00	0.00	100.93

Кристаллохимические формулы:

- $[Na_{0.79}Ca_{0.12}K_{0.04}Fe^{2+}_{0.01}]_{0.96}(Al_{1.14}Si_{2.87})_{4.10}O_8$
- $[Na_{0.81}Ca_{0.12}K_{0.04}Fe^{2+}_{0.01}]_{0.98}(Al_{1.14}Si_{2.86})_{4.00}O_8$
- $[Na_{0.79}Ca_{0.12}K_{0.05}]_{0.96}(Al_{1.13}Si_{2.87})_{4.00}O_8$
- $[Na_{0.80}Ca_{0.11}K_{0.05}]_{0.96}(Al_{1.14}Si_{2.87})_{4.01}O_8$
- $[Na_{0.82}Ca_{0.12}K_{0.04}]_{0.98}(Al_{1.10}Si_{2.89})_{3.99}O_8$
- $[Na_{0.94}Ca_{0.02}]_{0.96}(Al_{1.08}Si_{2.95})_{4.03}O_8$
- $[Na_{0.90}K_{0.04}Ca_{0.02}Fe^{2+}_{0.01}]_{0.97}(Al_{1.06}Si_{2.95})_{4.01}O_8$
- $[Na_{0.97}Ca_{0.02}K_{0.01}]_{1.0}(Al_{1.06}Fe^{3+}_{0.01}Si_{2.93})_{4.00}O_8$
- $[Na_{0.95}Ca_{0.02}K_{0.01}]_{0.98}(Al_{1.03}Si_{2.98})_{4.01}O_8$
- $[Na_{0.96}K_{0.01}]_{0.97}(Al_{1.02}Si_{2.99})_{4.01}O_8$
- $[Na_{0.94}K_{0.01}]_{0.95}(Al_{1.02}Si_{2.99})_{4.01}O_8$
- $[Na_{0.98}K_{0.01}]_{0.99}(Al_{1.02}Si_{2.98})_{4.00}O_8$

Примечание. 1–5 — Аушкуль. 6–8 — Шартым. 9–12 — Каматал.
Note. 1–5 — Aushkul. 6–8 — Shartym. 9–12 — Kamatal.

Петрогеохимическая характеристика

Химический состав изученных проб гранитов из массивов Аушкуль, Каматал и Шартым сходен (табл. 4). По содержанию SiO₂ (70.6–72.4%) и TiO₂ (0.03–0.14%) они относятся к низкокремневым и низкотитанистым гранитам. На TAS-диаграмме все пробы ложатся в поле умереннощелочных гранитов (рис. 5), сумма Na₂O+K₂O составляет 8.8–10.7 мас. %. Отношение Na₂O/K₂O варьирует в пределах 1.08–1.46. На диаграмме SiO₂ — K₂O все составы попадают в поле гранитов из высококальциевых известково-щелочных серий (рис. 6 а), а на диаграмме A/CNK — A/NK — в поле пералюминиевых пород, образуя при этом тренд вдоль границы с полем (см. рис. 6 б). Агпайтовый индекс NK/A составляет 0.73–0.89. Коэффициент насыщения глинозёмом (ASI) Al/Ca+Na+K составляет 1.08–1.34. Граниты обеднены

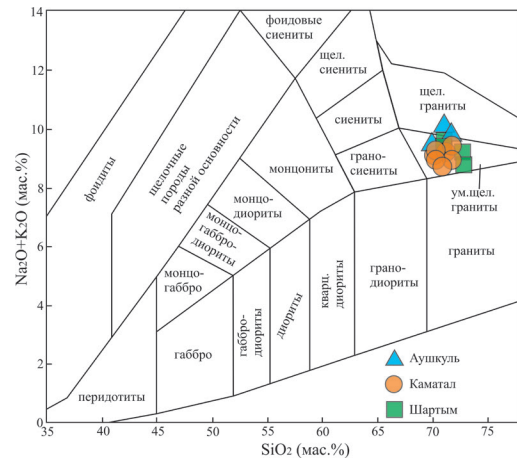


Рис. 5. TAS-диаграмма для гранитов балбукского комплекса по [Middlemost, 1994]

Fig. 5. TAS-diagram for plutonic rocks [Middlemost, 1994]

Таблица 3. Химический состав мусковита из гранитов балбукского комплекса (мас. %) / Table 3. Chemical composition of muscovite from granites Balbuk complex (wt. %)

Метка спектра	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂	MnO	FeO	Сумма
1	0.00	0.00	30.91	43.09	10.66	0.00	0.00	7.97	92.63
2	0.00	0.00	29.93	43.22	10.75	0.00	0.00	9.38	93.28
3	0.00	1.16	28.14	43.98	10.31	0.00	0.19	5.12	88.9
4	0.00	0.94	27	41.49	9.93	0.13	0.00	7.45	86.94
5	0.00	0.00	31.77	46.55	11.04	0.00	0.00	7.26	96.62
6	0.47	1.04	28.66	48.79	11.12	0.00	0.36	6.63	97.07
7	0.59	1.08	30.57	46.96	9.7	0.35	0.14	2.68	92.07
8	0.13	0.78	31.88	49.1	10.15	0.00	0.00	2.95	94.99
9	1.12	0.53	31.12	50.36	9.35	0.00	0.00	2.46	94.94
10	0.00	1.87	28.64	50.02	9.99	0.25	0.00	3.68	94.45
11	0.00	0.94	27.45	41.79	10.11	0.00	0.00	7.51	87.80
12	0.00	0.00	27.15	43.12	10.16	0.00	0.00	6.55	86.98
13	0.00	0.00	27.55	42.95	10.05	0.00	0.00	6.15	86.70

Кристаллохимические формулы:

- $\{K_{0.97}\} [Fe^{2+}_{0.47}Al^{VI}_{1.67}]_{2.14} (Si_{3.07}Al^{IV}_{0.93})_{4.00} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.98}\} [Fe^{2+}_{0.56}Al^{VI}_{1.60}]_{2.16} (Si_{3.08}Al^{IV}_{0.91})_{3.99} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.96}\} [Fe^{2+}_{0.31}Mn_{0.01}Mg_{0.12}Al^{VI}_{1.64}]_{2.08} (Si_{3.21}Al^{IV}_{0.78})_{3.99} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.96}\} [Fe^{2+}_{0.47}Mg_{0.10}Al^{VI}_{1.56}Ti_{0.01}]_{2.14} (Si_{3.15}Al^{IV}_{0.85})_{4.00} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.91}\} [Fe^{2+}_{0.39}Al^{VI}_{1.72}]_{2.11} (Si_{3.14}Al^{IV}_{0.86})_{4.00} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.95}Na_{0.06}\} 1.01 [Fe^{2+}_{0.37}Mn_{0.02}Mg_{0.10}Al^{VI}_{1.56}]_{2.05} (Si_{3.29}Al^{IV}_{0.71})_{4.00} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.85}Na_{0.08}\} 0.93 [Fe^{2+}_{0.15}Mn_{0.01}Mg_{0.11}Al^{VI}_{1.73}Ti_{0.02}]_{2.02} (Si_{3.24}Al^{IV}_{0.76})_{4.00} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.86}Na_{0.02}\} 0.88 [Fe^{2+}_{0.16}Mg_{0.08}Al^{VI}_{1.78}]_{2.02} (Si_{3.28}Al^{IV}_{0.72})_{4.00} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.79}Na_{0.14}\} 0.93 [Fe^{2+}_{0.14}Mg_{0.05}Al^{VI}_{1.78}]_{1.97} (Si_{3.35}Al^{IV}_{0.65})_{4.00} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.86}\} [Fe^{2+}_{0.20}Mg_{0.19}Al^{VI}_{1.64}Ti_{0.01}]_{2.04} (Si_{3.37}Al^{IV}_{0.63})_{4.00} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.97}\} [Fe^{2+}_{0.47}Mg_{0.10}Al^{VI}_{1.57}]_{2.2} (Si_{3.14}Al^{IV}_{0.86})_{4.0} O_{10} (OH)_2$
- $\{K_{0.97}\} [Fe^{2+}_{0.41}Al^{VI}_{1.65}]_{2.06} (Si_{3.24}Al^{IV}_{0.75})_{3.99} O_{10} (OH)_2, 0$
- $\{K_{0.96}\} [Fe^{2+}_{0.39}Al^{VI}_{1.67}]_{2.06} (Si_{3.23}Al^{IV}_{0.77})_{4.00} O_{10} (OH)_2, 0$

Примечание. 1–6 — Аушкуль. 7–10 — Каматал. 11–13 — Шартым. Содержание P₂O₅ практически во всех пробах ниже предела обнаружения (<0.05 мас. %).

Note. 1–6 — Aushkul. 7–10 — Kamatal. 11–13 — Shartym. The P₂O₅ content in almost all samples is below the detection limit (<0.05 wt. %).

Таблица 4. Химический состав гранитов балбукского комплекса
 (петрогенные оксиды в мас. %. микроэлементы в г/т)

Table 4. Chemical composition of Balbuk complex granites (oxides in wt. % and microelements in ppm)

№	№ обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ППП	Сумма	
1	U ₂₂ -2	71.43	0.04	16.29	1.27	0.06	0.14	0.40	5.97	4.08	0.60	100.28	
2	U ₂₂ -3	70.97	0.03	17.05	1.03	0.01	0.009	0.27	6.20	4.49	0.72	100.78	
3	U ₂₂ -4	70.64	0.05	16.59	1.16	0.03	0.009	0.34	5.72	4.05	0.58	99.17	
4	U ₂₁ -4	71.66	0.10	16.28	1.13	0.03	0.09	0.55	5.23	4.03	0.69	99.79	
5	U ₂₁ -5	71.59	0.12	16.60	1.07	0.01	0.05	0.30	5.12	4.19	0.75	99.81	
6	U ₂₁ -6	70.91	0.08	17.19	0.79	0.01	0.02	0.04	5.46	3.97	0.71	99.18	
7	U ₂₁ -7	71.43	0.10	17.33	1.00	0.01	0.02	0.04	5.32	4.17	0.89	100.32	
8	U ₂₁ -8	71.21	0.08	16.65	0.89	0.01	0.02	0.04	5.46	4.05	0.71	99.13	
9	U ₂₁ -9	71.10	0.07	17.51	1.04	0.02	0.15	0.26	5.68	4.23	0.79	100.84	
10	U ₂₁ -10	70.81	0.09	17.43	0.89	0.01	0.01	0.04	5.44	4.21	0.85	99.79	
11	U ₂₁ -11	71.73	0.14	16.17	1.06	0.01	0.05	0.04	5.46	4.01	0.63	99.30	
12	U ₂₁ -12	71.25	0.09	17.41	0.80	0.01	0.04	0.04	5.16	4.03	0.96	99.80	
13	U ₂₁ -13	71.36	0.13	17.32	0.93	0.01	0.04	0.33	5.57	4.09	0.90	100.69	
14	U ₂₂ -13	70.80	0.08	17.33	0.84	0.009	0.21	0.04	5.10	4.06	0.93	99.39	
15	U ₂₂ -16	72.44	0.12	15.59	1.20	0.02	0.009	0.50	5.18	3.79	0.50	99.34	
16	U ₂₂ -17	70.96	0.10	17.15	1.14	0.05	0.02	0.54	5.58	4.10	0.79	100.41	
17	U ₂₂ -21	72.43	0.09	15.41	1.20	0.04	0.06	0.75	5.00	3.84	0.43	99.26	
18	U ₂₂ -22	71.35	0.08	15.89	1.06	0.009	0.009	0.38	5.03	4.64	0.92	99.35	
Микроэлементы													
№	№ обр.	Cr	Pb	Nb	Zr	Y	Sr	Rb	Ga	Zn	Cu	V	Ba
1	U ₂₂ -2	37	71	24	51	19	96	199	29	52	27	<5	56
2	U ₂₂ -3	33	45	30	49	20	93	197	24	42	16	<5	122
3	U ₂₂ -4	47	51	22	47	21	96	197	28	45	24	<5	77
4	U ₂₁ -4	26	37	5	37	9	167	116	22	38	19	17	1047
5	U ₂₁ -5	13	29	4	27	10	89	126	21	38	17	15	1091
6	U ₂₁ -6	11	14	4	26	8	67	115	22	20	11	19	839
7	U ₂₁ -7	26	9	6	32	11	85	121	23	35	13	13	845
8	U ₂₁ -8	27	17	5	23	10	63	117	22	34	17	7	788
9	U ₂₁ -9	37	25	7	19	9	62	120	23	23	19	19	772
10	U ₂₁ -10	16	12	5	23	9	64	113	23	25	17	<5	671
11	U ₂₁ -11	38	29	4	25	7	80	116	21	28	24	24	1583
12	U ₂₁ -12	11	14	5	19	9	57	121	25	24	18	0	715
13	U ₂₁ -13	22	15	6	27	8	73	125	23	33	7	19	918
14	U ₂₂ -13	275	5	5	16	8	43	111	22	23	12	<5	616
15	U ₂₂ -16	18	34	4	49	8	217	112	23	36	15	16	917
16	U ₂₂ -17	28	38	6	46	8	180	119	20	46	29	18	966
17	U ₂₂ -21	95	29	5	50	8	201	116	22	32	22	22	1017
18	U ₂₂ -22	27	31	4	38	13	118	151	22	22	31	<5	960

Примечание. 1–3 — массив Аушкуль. 4–14 — Каматал. 15–18 — Шартым. * всё железо представлено в виде Fe₂O₃.
 Note. 1–3 — Aushkul intrusion. 4–14 — Kamatal. 15–18 — Shartym. All iron is in the form of Fe₂O₃.

кальцием (CaO 0.04–0.75 мас. %), магнием (MgO 0.01–0.21 мас. %) и фосфором (P_2O_5 <0.05 мас. %), содержат умеренное пониженное количество железа (Fe_2O_3^* 0.79–1.27 мас. %). Индекс магнезиальности Mg\# в породах массива Каматал варьирует от 10

до 53 мол. %, в Аушкуль — 3–26, в Шартыме 2–15. Отношение $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ в гранитах Каматала составляет в среднем 1.12, в Аушкуль 0.81, в Шартыме 0.80.

Изучаемые граниты характеризуются относительно низкими концентрациями некогерент-

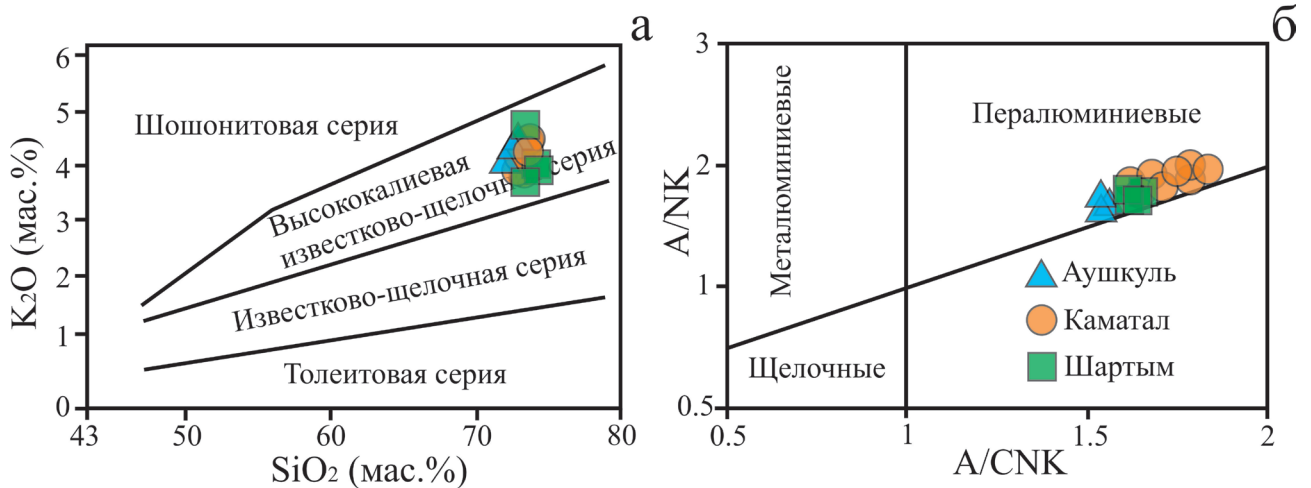


Рис. 6. Диаграммы

Условные обозначения: а — $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ по [Peccerillo, Taylor, 1976], б — $(\text{A}/\text{NK})/(\text{A}/\text{CNK})$ по [Shand, 1943] для гранитов балбукского комплекса

Fig. 6. Diagrams

Legend: а — $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ [Peccerillo, Taylor, 1976], б — $(\text{A}/\text{NK})/(\text{A}/\text{CNK})$ [Shand, 1943] for granites of balbuk complex.

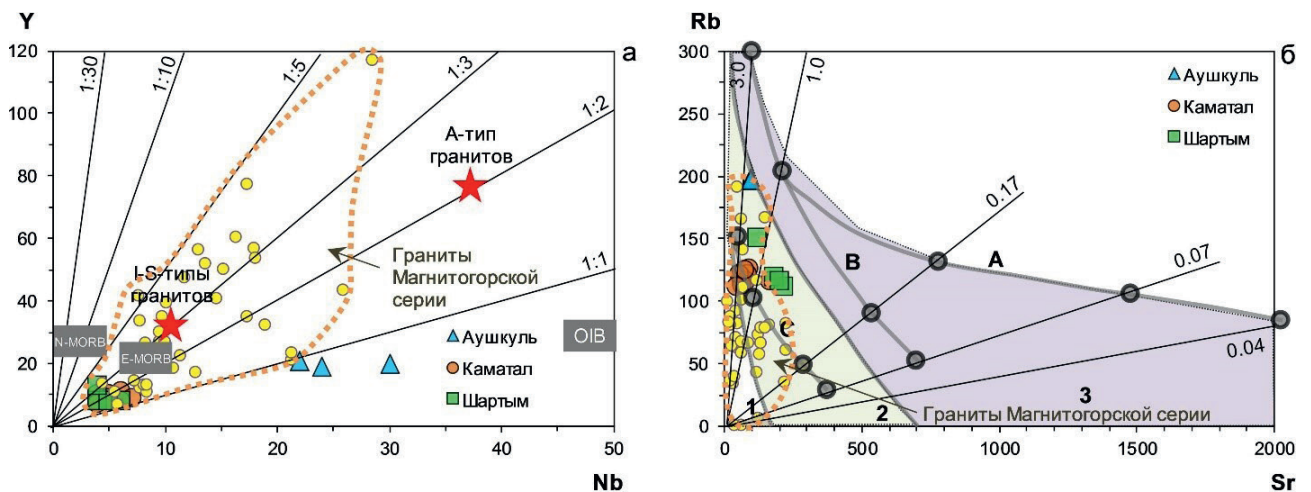


Рис. 7. Диаграммы $\text{Nb} - \text{Y}$ (а) по [Холоднов и др., 2021; Холоднов и др., 2022] и $\text{Sr} - \text{Rb}$ (б) по [Ферштатер и др., 1984] для гранитов балбукского комплекса

Поля составов пород, производных из разных магм: 1 — толеитовой океанической, 2 — толеитовой континентальной и островодужной, 3 — толеитовой щелочной, андезитовой, латитовой. Средние тренды эволюции разных магм: А — латитовой, В — андезитовой, С — континентальной и островодужной толеитовой. Составы гранитоидов Магнитогорской серии взяты из [Салихов и др., 2019].

Fig. 7. Diagrams $\text{Nb} - \text{Y}$ (а) for [Kholodnov et al, 2021; Kholodnov et al, 2022] and $\text{Sr} - \text{Rb}$ (б) [Fershtater et al, 1984] for granites of balbuk complex

Fields of rock compositions derived from different magmas: 1 — oceanic tholeiitic, 2 — continental and island arc tholeiitic, 3 — alkaline tolitic, andesitic, latitic. Average trends in the evolution of different magmas: А — latitic, В — andesitic, С — continental and island-arc tholeiitic. The compositions of granitoids of the Magnitogorsk series are taken from (Salikhov et al., 2019).

ных микроэлементов (Zr, Nb, Y, Sr, Ba), кроме гранитов Аушкуль, отличающихся повышенным содержанием Nb, а также экстремально низким содержанием Ba. На диаграмме Nb — Y (рис. 7 а) точки составов гранитов балбукского комплекса образуют два ряда: первый ложится вдоль линии Nb-Y отношения 1:2 (породы массивов Каматал

и Шартым); второй ложится вдоль линии Nb-Y отношения 1:1. Первый частично пересекается с полем составов гранитоидов Магнитогорской серии, а второй — обособляется от него. Также изученные породы обогащены Rb, так что Rb/Sr отношение в среднем составляет 1.6. На диаграмме Sr — Rb (см. рис. 7 б) пробы балбукских гранитов попадают в поле толетовых гранитоидов континентального или островодужного происхождения, демонстрируя близость к гранитоидам Магнитогорской серии. На классификационных диаграммах все изученные составы относятся к гранитам А-типа (рис. 8).

Обсуждение результатов и выводы

Сходство петрографических характеристик/минерального состава и химического состава породообразующих минералов подразумевает единый источник магм для всех трёх массивов. Наличие фенокристов КПШ в гранитах Аушкуль возможно связано с их кристаллизацией из менее глинозёмистой порции магмы, о чём свидетельствует их распределение на диаграмме (A/NK) — (A/CNK) (см. рис. 6 б). Слюда во всех массивах выдержана по составу и представлена мусковитом, вероятно вторичным по биотиту. В Аушкульском массиве сохранился первичный олигоклаз, тогда как в Шартымском и Каматальском массивах весь плагиоклаз представлен вторичным альбитом.

По химическому составу изученные граниты балбукского комплекса сходны между собой (см. рис. 5, 6), хотя и имеют некоторые различия. Так, граниты Аушкульского массива отличаются от пород Каматала и Шартыма низким содержанием бария и высоким — ниобия. Это свидетельствует о некоторых различиях в составе источника магм для Аушкуль и для Каматала с Шартымом, и/или в механизмах дифференциации единой магмы в промежуточных камерах. Для аушкульских гранитов более явно прослеживается привнос компонента внутриплитного типа (см. рис. 7 а), характеризующийся низким Nb-Y отношением и в целом повышенными концентрациями Nb и Y. На диаграмме Sr — Rb граниты отвечают тренду кристаллизации толеитовой магмы островодужного или континентального происхождения, как и гранитоиды Магнитогорской серии (см. рис. 7 б). Пониженные содержания Sr в породах могут быть связаны с фракционированием Sr-обогащённого плагиоклаза в более глубинных

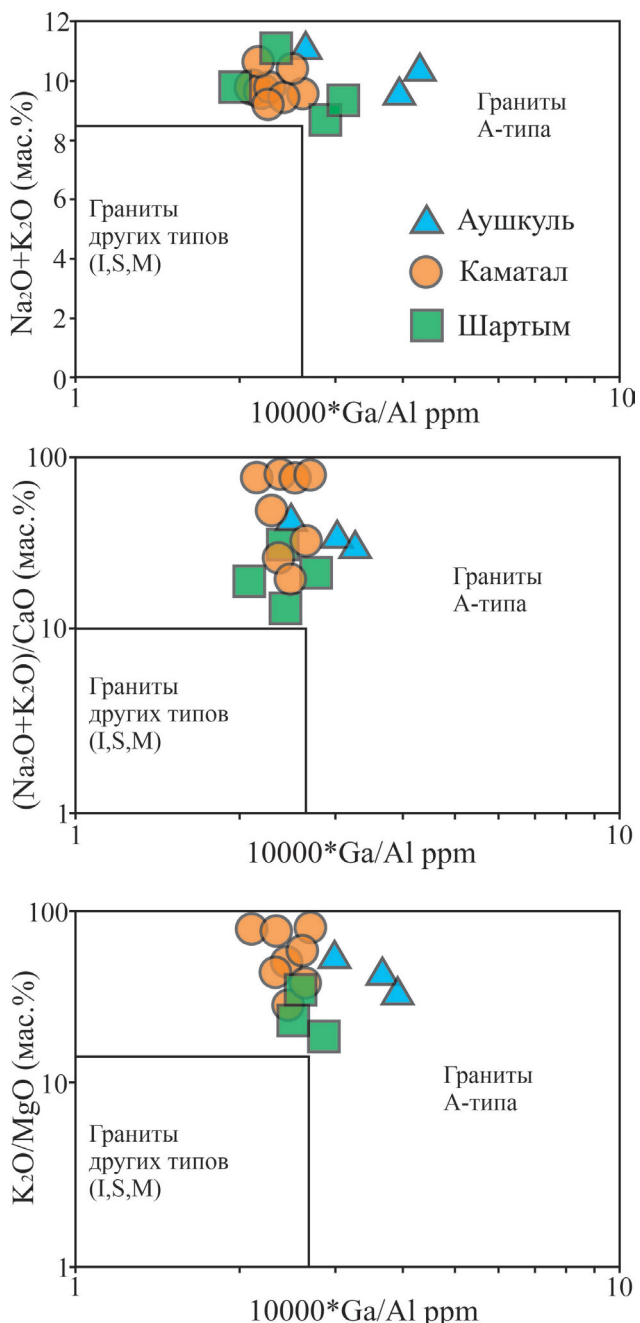


Рис. 8. Классификационная диаграмма для гранитов балбукского комплекса по [Whalen et al. 1987]

Fig. 8. Classification diagram for granites of balbuk complex [Whalen et al. 1987]

уровнях коры. Дополнительно для пород Аушкуль прослеживаются признаки фракционирования КПШ, как главного носителя бария. Относительный дефицит Nb в породах Каматала и Шартыма также может быть обусловлен отсадкой значительного количества Nb-содержащих фаз в промежуточной камере, например рутила. Породы Аушкульского массива представлены в геохимическом плане переходных типом от умереннощелочных к щелочным внутриплитным гранитам.

На дискриминационных диаграммах Пирса и соавторов [Pearce et al., 1984] граниты балбукского комплекса попадают в поля вулканических дуг и коллизионных обстановок, как и гранитоиды Магнитогорской серии. Отметим, что формирование Магнитогорской габбро-гранитной серии одни исследователи связывали с надсубдукционным рифтингом [Ферштатер, 2013], а другие — с трансформным рифтингом [Салихов и др., 2019], т. е. уже с постостроводужным этапом. В целом, многие исследователи Урала придерживаются той позиции, что к началу карбона в Магнитогорской мегазоне зона субдукции прекратила своё существование [Пучков, 2010], о чём свидетельствует структурно-геологическое строение мегазоны и вещественный состав слагающих её комплексов. На дискриминационной диаграмме $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} — \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 5 — (\text{CaO}+\text{MgO}) \times 5$ А. Гребенникова и соавторов [Гребенников и др., 2014] изученные граниты попадают в поле A_2 -гранитов с явными характеристиками континентальных ассоциаций (рис. 9). Таким образом, в качестве источников магматизма гранитоидов балбукского комплекса мы можем предположить либо нижнюю кору островодужного террейна, либо продукт фракционирования магм, выплавленных из преобразованного вещества мантийного клина.

Список литературы

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-б, в, г; N-40–59-B-б, г; N-40–60-A; N-40–72-A) за 1978–1983 годы, 1983.

Гребенников А. В. Гранитоиды А-типа: проблемы диагностики, формирования и систематики // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. №9. С. 1356–1373.

Жданов А. В., Ободов В. А., Макарьев Л. Б., Матюшков А. Д., Молчанова Е. В., Стромов В. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XVIII (Учалы).

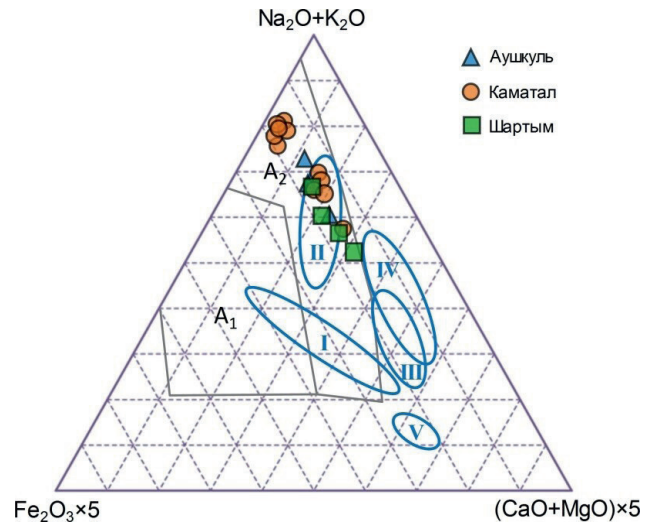


Рис. 9. Дискриминационная диаграмма $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} — \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 5 — (\text{CaO}+\text{MgO}) \times 5$ (в мол. кол.) для гранитов балбукского комплекса по [Гребенников и др., 2014]

Условные обозначения: A_1 — кислые породы внутриплитных океанических и континентальных обстановок, A_2 — кислые породы внутри- и окраинно-континентальных обстановок; I — обстановки внутриокеанических плюмов, II — обстановки внутриконтинентальных рифтов и континентальных плюмов, III — обстановки островных дуг, IV — обстановки активных континентальных окраин, V — обстановки задугового спрединга.

Fig. 9. Discrimination diagram $\text{Na}^2\text{O}+\text{K}2\text{O} — \text{Fe}^2\text{O}3 \times 5 — (\text{CaO}+\text{MgO}) \times 5$ (in mole counts) for granites of the Balbuk complex according to [Grebennikov et al., 2014]

Legend: A_1 — acidic rocks of intraplate oceanic and continental settings, A_2 — acidic rocks of intra- and continental-margin settings; I — settings of intra-oceanic plumes, II — settings of intracontinental rifts and continental plumes, III — settings of island arcs, IV — settings of active continental margins, V — settings of back-arc spreading.

Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. 386 с.

Знаменский С. Е. Мичурин С. В., Знаменская Н. М. Источники минералообразующих флюидов месторождений золота в углеродсодержащих вулканогенно-осадочных комплексах зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале // Геологический сборник. 2014 (а). № 11. С. 206–213.

Знаменский С. Е. Холоднов В. В., Даниленко С. А. Rb-Sr данные по околорудным метасоматитам месторождения золота Малый Каран (Южный Урал) // Геологический сборник. 2014 (б). № 11. С. 202–205.

Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Издательство ДизайнПресс, 2010. 280 с.

Рахимов И. Р. Минералогия метасоматизированных гранитов массива Каматал (северная часть Магнитогорской

мегазоны) // Геологический вестник. 2021. №2. С. 106–121. DOI: 10.31084/2619–0087/2021-2-8

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.

Ферштатер Г. Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.

Ферштатер Г. Б., Малахова Л. В., Бородина Н. С., Рапопорт М. С., Смирнов В. Н. Эвгеосинклиальные габбро-гранитоидные серии. М.: Наука, 1984. 264 с.

Холоднов В. В., Шагалов Е. С., Бородина Н. С. Гранитоидный магматизм северной части Магнитогорской мегазоны: петрогенезис, геохимическая и металлогеническая эволюция (Au, Mo, W и др.). // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества. 2009. №6. С. 124–142.

Холоднов В. В., Шардакова Г. Ю., Душин В. А., Коровко А. В., Шагалов Е. С. Рифей-венд-кембрийский магматизм маньхамбовского блока (Приполярный Урал): геохимическая типизация, корректировка геодинамических представлений, роль плюм-литосферного взаимодействия // Петрология. 2022. Т. 30. №4. С. 404–431.

Холоднов В. В., Шардакова Г. Ю., Пучков В. Н., Петров Г. А., Шагалов Е. С., Салихов Д. Н., Коровко А. В., Прибавкин С. В., Рахимов И. Р., Бородина Н. С. Палеозойский гранитоидный магматизм Урала как отражение этапов геодинамической и геохимической эволюции коллизионного орогена // Геодинамика и тектонофизика. 2021. №2. С. 225–245. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0522>

Deer W. A., Howie R. A., and Zussman J. An introduction to the rock-forming minerals, 2nd edition. London (Longman Scientific & Technical), 1992. xvi + 696 pp. Price £21.99 // Mineralogical Magazine. 1992. 56 (385). P. 617–619. DOI: 10.1180/minmag. 1992.056.385.20

Middlemost E. A. K. Naming materials in the magma/igneous rock system // Earth-Science Reviews. 1994. V. 37, issue 3–4. P. 215–224. DOI: 10.1016/0012–8252 (94) 90029–9

Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Petrology. 1984. V. 25 (4). P. 956–983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>

Peccerillo A., Taylor S. R., Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey // Contrib. Mineral. Petrol. 1976. 58 (1). P. 63–81. <https://doi.org/10.1007/bf00384745>

Shand S. J., Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, and Classification, with a Chapter on Meteorites. Wiley & sons, Incorporated. 1943. https://archive.org/details/eruptive_rocksthe0000sjam_t6y9

Streckeisen A. To each plutonic rock its proper name // Earth-Science Reviews. 1976. V. 12. P. 1–33. [https://doi.org/10.1016/0012–8252 \(76\) 90052–0](https://doi.org/10.1016/0012–8252 (76) 90052–0)

Tischendorf G., Forster H.-J., Gottesmann B. & Rieder M. True and brittle micas: composition and solid-

solution series // Mineral. Mag. 2007. V. 71 (3). P. 285–320. <https://doi.org/10.1180/minmag. 2007.071.3.285>

Whalen J. B., Currie K. L., and Chappell B. W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1987. V. 95 (4). P. 407–419. <https://doi.org/10.1007/bf00402202>

Wittke W. Rock mechanics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1990. 1086 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88109-1>

References

Anisimov I. S., Sopko L. N., Yamaev F. A., Kaltasheva I. I., Kozlov V. I., Petrov YU. M. (1983). Otchyot po geologicheskomu doizucheniyu masshtaba 1:50000 Severo-Uchalinskoy ploschadi (planshety: N-40–48-V-b, v, g; N-40–59-B-b, g; N-40–60-A; N-40–72-A) za 1978–1983 gody [Report on geological additional study on a scale of 1:50000 of the North-Uchalinskaya area (tablets: N-40–48-B-6, v, d; N-40–59-B-6, r; N-40–60-A; N -40–72-A) for 1978–1983]. (In Russian).

Grebennikov A. V. (2014). Granitoidy A-tipa: problemy diagnostiki, formirovaniya i sistematiki [A-type granitoids: problems of diagnostics, formation and systematics] // Geologiya i geofizika. 55 (9). P. 1356–1373. (In Russian).

Zhdanov A. V., Obodov V. A., Makar'ev L. B., Matyushkov A. D., Molchanova E. V., Stromov V. A. (2018). Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya YUzhno-Ural'skaya. List N-40-XVIII (Uchaly). Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000. Second edition. South Ural series. Sheet N-40-XVIII (Uchaly). Explanatory letter]. M.: Moskovskij filial FGBU «VSEGEI». 386 p. (In Russian).

Znamenskij S. E., Michurin S. V., Znamenskaya N. M. (2014). Istochniki mineraloobrazuyushchih flyuidov mestorozhdenij zolota v uglerodsoderzhashchih vulkanogenno-osadochnyh kompleksah zony Glavnogo Ural'skogo razloma na Yuzhnom Urale [Sources of mineral-forming fluids of gold deposits in carbon-containing volcanic-sedimentary complexes of the Main Ural Fault zone in the Southern Urals]. Geologicheskij sbornik. № 11. P. 206–213. (In Russian).

Znamenskij S. E., Holodnov V. V., Danilenko S. A. (2014). Rb-Sr dannye po okolorudnym metasomatitam mestorozhdeniya zolota Malyj Karan (Yuzhnyj Ural) [Rb-Sr data on wall-ore metasomatites of the Maly Karan gold deposit (Southern Urals)]. Geologicheskij sbornik. № 11. P. 202–205. (In Russian).

Puchkov V. N. (2010). Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and the Preurals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: Izdatel'stvo DizajnPress. 280 p. (In Russian).

Rakhimov I. R. (2021). Mineralogiya metasomatizirovannyh granitov massiva Kamatal (severnaya chast' Magnitogorskoj megazon) [Mineralogy of metasomatized granites of the Kamatal massif (northern part of the Magnitogorsk megazone)]. Geologicheskij vestnik. № 2. P. 106–121. (In Russian). DOI: 10.31084/2619–0087/2021-2-8

- Salikhov D. N., Kholodnov V. V., Puchkov V. N., Rahimov I. R. (2019). Magnitogorskaya zona Yuzhnogo Urala v pozdnem paleozoe: magmatizm, flyuidnyj rezhim, metallogeniya, geodinamika [Magnitogorsk zone of the Southern Urals in the Late Paleozoic: magmatism, fluid regime, metallogeny, geodynamics]. M.: Nauka. 392 p. (In Russian).
- Fershtater G. B. (2013). Paleozojskij intruzivnyj magmatizm Srednego i Yuzhnogo Urala [Paleozoic intrusive magmatism of the Middle and Southern Urals]. Ekaterinburg: RIO UrO RAN. 368 p. (In Russian).
- Fershtater G. B., Malahova L. V., Borodina N. S. (1984). Evgeosinklinal'nye gabbro-granitoidnye serii [Eugeosynclinal gabbro-granitoid series]. M.: Nauka, 264 p. (In Russian).
- Kholodnov V. V., Shagalov E. S., Borodina N. S. (2009). Granitoidnyj magmatizm severnoj chasti Magnitogorskoj megazony: petrogenезis, geohimicheskaya i metallogenicheskaya evolyuciya (Au, Mo, W i dr.) [Granitoid magmatism of the northern part of the Magnitogorsk megazone: petrogenesis, geochemical and metallogenic evolution (Au, Mo, W, etc.)]. Vestnik Ural'skogo otdeleniya Rossijskogo mineralogicheskogo obshchestva. № 6. P. 124–142.
- Kholodnov V. V., Shardakova G. Yu., Dushin V. A., Korovko A. V., Shagalov E. S. (2022). Rifej-Vend-Kembrijskij Magmatizm Man'hambovskogo Bloka (Pripolyarnyj Ural): Geohimicheskaya Tipizaciya, Korrektirovka Geodinamicheskij Predstavlenij, Rol' Plyum-Litosfernogo Vzaimodejstviya [Riphean-Vendian-Cambrian Magmatism Of The Mankhamb Block (Suptipolar Ural): Geochemical Typication, Correction Of Geodynamic Representations, Role Of Plume-Lithospheric Interaction]. Petrologiya. 30 (4). P. 404–431. (In Russian).
- Kholodnov V. V., Shardakova G. YU., Puchkov V. N., Petrov G. A., Shagalov E. S., Salihov D. N., Korovko A. V., Pribavkin S. V., Rahimov I. R., Borodina N. S. (2021). Paleozojskij Granitoidnyj Magmatizm Urala Kak Otrazhenie Etapov Geodinamicheskoy I Geohimicheskoy Evolyucii Kollizionnogo Orogena [Paleozoic Granitoid Magmatism Of The Ural As A Reflection Of The Stages Of Geodynamic And Geochemical Evolution Of A Collision Orogen]. Geodinamika i tektonofizika. № 2. P. 225–245. <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-2-0522>
- Deer W. A., Howie R. A., and Zussman J.: An introduction to the rock-forming minerals, 2nd edition. London (Longman Scientific & Technical), 1992. xvi + 696 pp. Price £21.99 // Mineralogical Magazine. 1992. 56 (385). P. 617–619. Doi: 10.1180/minmag.1992.056.385.20
- Middlemost E. A. K. Naming materials in the magma/igneous rock system // Earth-Science Reviews. 1994. V. 37, issue 3–4. P. 215–224. Doi: 10.1016/0012–8252 (94) 90029–9
- Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Petrology. 1984. V. 25 (4). P. 956–983. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- Peccerillo A., Taylor S. R., Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey // Contrib. Mineral. Petrol. 1976. 58 (1). P. 63–81. <https://doi.org/10.1007/bf00384745>
- Shand S. J., Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, and Classification, with a Chapter on Meteorites. Wiley & sons, Incorporated. 1943. https://archive.org/details/eruptiverocksthe0000sjam_t6y9
- Streckeisen, A. To each plutonic rock its proper name // Earth-Science Reviews. 1976. V. 12. P. 1–33. [https://doi.org/10.1016/0012–8252 \(76\) 90052–0](https://doi.org/10.1016/0012–8252 (76) 90052–0)
- Tischendorf G., Forster H.-J., Gottesmann B. & Rieder M. True and brittle micas: composition and solid-solution series // Mineral. Mag. 2007. V. 71 (3). P. 285–320. <https://doi.org/10.1180/minmag.2007.071.3.285>
- Whalen J. B., Currie K. L., and Chappell B. W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1987. V. 95 (4). P. 407–419. <https://doi.org/10.1007/bf00402220>
- Wittke W. Rock mechanics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1990. 1086 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88109-1>

Сведения об авторах:

Самигуллин Айдар Альфридович, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. Samigullinaidar85@gmail.com.

Рахимов Ильдар Рашитович, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. Rigel92@mail.ru

About the authors:

Samigullin Aida Alfridovich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. Samigullinaidar85@gmail.com.

Rakhimov Ildar Rashitovich, PhD, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. Rigel92@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.10.2023; одобрена после рецензирования 09.10.2023; принята к публикации 10.11.2023

The article was submitted 04.10.2023; approved after reviewing 09.10.2023; accepted for publication 10.11.2023