

УДК 55(47+57)

DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-1-6>

МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ТЕРРИТОРИИ ГЕОПАРКА «ТОРАТАУ»

© 2020 г. С. Г. Ковалев, В. М. Горожанин, Е. А. Тимофеева

Реферат. В статье приводятся новые данные по магматическим породам, распространенным на территории проектируемого геопарка «Торатау». Дана детальная характеристика петрографического состава и петрогеохимии пород, объединяемых в два комплекса: инзерский габбро-долеритовый и авашлинский меланократовых сиенитов–калиевых трахибазальтов. Рассмотрены вопросы генезиса пород и возраст их образования.

Ключевые слова: Южный Урал, хребет Алатау, габбро-долериты, щелочные габброиды, оливиновые трахибазальты, эруптивные брекчии

MAGMATIC ROCKS OF THE «TORATAU» GEOPARK

© 2020 S. G. Kovalev, V. M. Gorozhdanin, E. A. Timofeeva

Abstract. The article provides new data on igneous rocks developed in the territory of the projected “Toratau” geopark. A detailed description of the petrographic composition and petrochemistry of rocks included into the Inzer gabbro-dolerite and Avashlya melanocratic syenites–potassium trachybasalt complexes is given. The issues of the genesis of rocks and the age of their formation are considered.

Key words: Southern Urals, Alatau Range, gabbro-dolerites, alkaline gabbroids, olivine trachybasalts, eruptive breccias

Введение

Магматические породы на территории проектируемого геопарка «Торатау» представлены двумя комплексами — инзерским габбро-долеритовым и авашлинским меланократовых сиенитов–калиевых трахибазальтов (рис. 1), выделенными А.А. Алексеевым [1984]. Распространение этих магматических комплексов охватывает более широкую территорию в западной части Башкирского мегантиклинория: авашлинский комплекс описан южнее — на руч. Авашля — притоке р. Белой в Бурзянском районе Республики Башкортостан (РБ), а инзерский — севернее, в бассейнах рек Инзер и Лемеза в Белорецком районе РБ. На территории будущего геопарка «Торатау» оба этих магматических комплекса можно наблюдать одновременно на хребте Алатау в районе д. Кулгунино (см. рис. 1), где они образуют отдельные небольшие выходы в бассейне р. Баталалма (авашлинский комплекс)

или протяженные дайковые тела на вершине хребта Алатау (инзерский комплекс). Оба магматических комплекса подсечены также глубокой параметрической скважиной Кулгунино-1, пробуренной ПАО АНК «Башнефть» специально для уточнения геологического строения района Алатауского взбросо-надвига — крупного тектонического разлома, который, возможно, также контролирует и положение магматических тел.

Методы исследования

Определение химического состава пород выполнено по стандартной методике в Институте геологии УФИЦ РАН. Концентрации редких и рассеянных элементов (Li, Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, PЗЭ, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U) определены методом ICP-MS в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

Для цитирования: Ковалев С. Г., Горожанин В. М., Тимофеева Е. А. Магматические породы территории геопарка «Торатау» // Геологический вестник. 2020. № 1. С. 83–94. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-1-6>.

For citation: Kovalev S. G., Gorozhdanin V. M., Timofeeva E. A. Magmatic rocks of the “Toratau” geopark // *Geologicheskii vestnik*. 2020. No. 1. P. 83–94. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-1-6>.

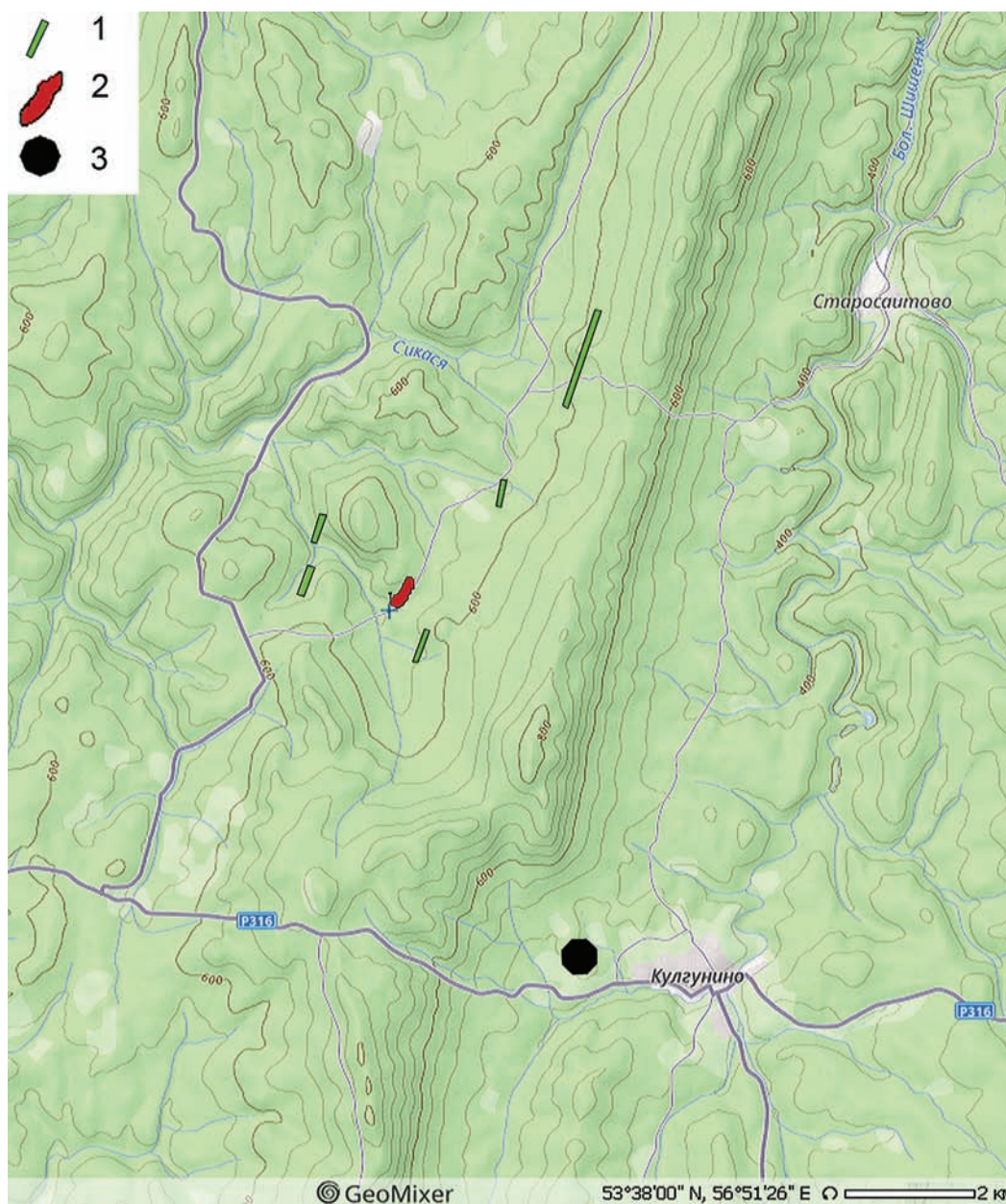


Рис. 1. Положение магматических тел инзерского и авашлинского комплексов на хр. Алатау
 Условные обозначения: 1 — инзерский комплекс, 2 — авашлинский комплекс, 3 — положение глубокой скважины Кулгунино-1.

Fig. 1. The position of the igneous bodies of the Inzer and Avashlya complexes on the Alatau ridge
 Legend: 1 — Inzer complex, 2 — Avashlya complex, 3 — position of the deep well Kulgunino-1.

Геолого-петрогеохимическая характеристика пород

В **инзерский комплекс** объединены габбро-долеритовые дайки, прорывающие отложения верхнего рифея. Породы комплекса широко развиты западнее осевой части Ямантауского антиклинория

и образуют два субмеридиональных дайковых пояса — сравнительно узкий Алатауский и более широкий и крупный — Инзерско-Туканский. Мощность даек варьирует от первых метров до 30–35 м, протяженность изменяется от 1–15 км до 25–30 км (редко). Тела имеют симметрично-зональное строение, сложены мелко-, средне- и крупнокристаллическими габбро-долеритами, пегматитовыми

долеритами, долеритовыми порфиридами и имеют близкий к кайнотипному облик. Структура пород офитовая и пойкилоофитовая с элементами микропегматитовой. Петрографический состав довольно однороден: клинопироксен, плагиоклаз, роговая обманка, изредка биотит. Акцессорные минералы также относятся к типичным для пород основного состава: апатит, циркон, титанит, титаномагнетит, магнетит, изредка сульфиды. Плагиоклаз по составу соответствует лабрадору или битовниту, а в фенокристаллах — битовниту № 75–80.

Клинопироксен представлен авгитом с содержанием 33–37% *Wo*, 24–27% *Fs* и 38–42% *En*, в порфиридных разностях установлен пижонит [Алексеев, 1984]. Рудный минерал — титаномагнетит присутствует повсеместно, иногда в кристаллах наблюдаются структуры распада. Изредка встречается бурая роговая обманка; более типичны зеленая роговая обманка и биотит в количествах не более 1–2% от объема породы. Довольно часто в долеритах и габбро наблюдаются гломеропорфировые мономинеральные сростки пироксена и биминеральные — пироксена с плагиоклазом.

По химизму долериты и габбро-долериты комплекса характеризуются повышенной кремнеземистостью, титанистостью и высокой известковистостью. На классификационной диаграмме $SiO_2 - Na_2O + K_2O$ фигуративные точки пород располагаются в поле базальтов нормальной щелочности (рис. 2). По модальному минеральному составу они близки к кварцевым толеитам и траппам древних платформ, от которых их отличает пониженная глиноземистость и железистость.

Геохимические характеристики магматических пород комплекса близки к типичным представителям габбро-долеритовой формации, распространенной в пределах всего Южного Урала (табл. 1, рис. 3а). Для них характерна значительная дифференциация редкоземельных элементов (РЗЭ) (La/Lu — от 24.17 до 65.58; Ce/Yb — от 9.05 до 22.58; La/Sm — от 2.14 до 3.56; Sm/Yb — от 1.58 до 2.69).

Для распределения редких, рассеянных и некогерентных элементов в габбро-долеритах инзерского комплекса характерны общие тенденции, которые заключаются в переменном высоких нормализованных содержаниях крупноионных (Cs, Rb, Ba, K) и высокозарядных элементов Th, U , отчасти Zr , а также P, Sr, Nd и Pb (см. рис. 3б).

Авашинский комплекс меланократовых сиенитов объединяет калиевые разности и их своеобразные высококалиевые и титанистые

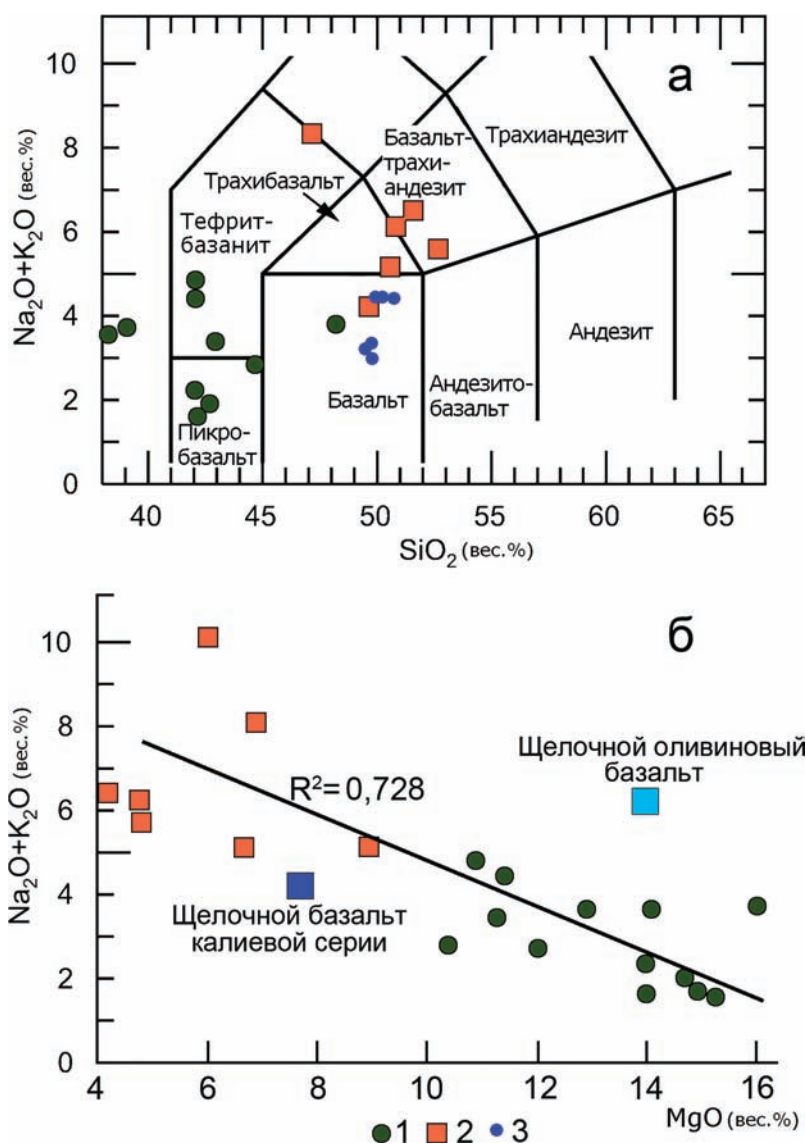


Рис. 2. Петрохимические диаграммы $SiO_2 - Na_2O + K_2O$ (а) и $MgO - Na_2O + K_2O$ (б) для оливиновых трахибазальтов (1), калиевых щелочных габброидов (2) и габбро-долеритов инзерского комплекса (3)

Fig. 2. Petrochemical diagrams of (a) $SiO_2 - Na_2O + K_2O$ and (б) $MgO - Na_2O + K_2O$ for olivine trachybasalts (1), potassic alkaline gabbroids (2), and gabbro-dolerites of the Inzer complex (3)

Таблица 1

Содержания микроэлементов в габбро-долеритах, калиевых щелочных габброидах и оливиновых трахибазальтах (г/т)

Table 1

Trace elements in gabbro-dolerites, potash alkaline gabbroids and olivine trachybasalts (g/t)

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Be	1.15	0.54	0.9	4.9	0	1.28	3.97	0.09	0.71
Sc	26.26	27.92	32.67	10	3.79	11.14	9.07	8.97	29.07
Ti	13292.5	6468.2	7801.8	7980	3522	3230	4538	2492	11403.2
Cr	12.63	56.25	20.12	0	109	68.5	225	109	743.78
Mn	1079.6	947.6	1100.3	367.8	373.7	352.6	572	552.8	0
Co	42.41	40.16	41.85	33	19.6	17.5	3678	74.35	77.28
Ni	31.88	64.07	36.92	56	155	201	531	606.9	749.11
Cu	121.62	119.04	128.65	8.3	7.3	17	39.34	13.7	6.78
Zn	98.22	79.97	89.17	71.2	28.6	83.7	172.8	227	179.32
Ga	22.22	19.17	20.02	15.3	11.6	6.5	10.51	10.95	33.01
Rb	42.77	76.72	41.02	124.5	77.3	62.85	23	29.5	51.98
Sr	354.78	488.7	269.33	170.8	20.1	20.2	44.07	69.43	28.21
Y	20.41	19.26	26.24	14.7	39.2	17.5	15.6	14.14	16.68
Zr	126.6	81.62	128.16	12.1	7	7.2	5.76	5.4	129.43
Nb	17.59	5.69	9.33	7.6	5	5.5	4.07	3.86	5.9
Mo	0.81	0.31	0.62	0.13	0.31	0	0.17	0.56	2.37
Cd	0.08	0.07	0.09	0	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04
Sn	1.37	1.04	1.41	1.6	0.88	0.66	1.34	0.09	0
Te	0.005	0.016	0.01	0.08	0	0.58	0.05	0.2	0
Cs	0.58	0.21	0.94	0.41	0.41	0.77	0.99	0.77	0.93
Ba	290.77	393.37	278.08	619	648	706	553	430	448.9
La	18.64	6.95	11.76	11.5	18.1	24.5	12.7	15.25	15.56
Ce	43.93	17.87	28.99	34.1	43.6	53.2	39.2	37.72	33.54
Pr	5.53	2.42	3.79	4.3	4.3	5.7	3.52	4.88	5.1
Nd	24.44	11.78	17.5	16.9	16	20.2	15.43	19.58	18.77
Sm	5.23	3.25	4.49	4.1	3.3	4	3.63	3.57	4.53
Eu	1.78	1.14	1.44	1.3	0.72	0.94	1.19	1.3	1.53
Gd	5.15	3.86	5.19	4	2.4	3.97	3.88	4.23	4.21
Tb	0.72	0.61	0.82	0.76	0.45	0.53	0.56	0.67	0.75
Dy	4.31	3.94	5.26	4.3	3.4	3.7	3.58	4.06	3.36
Ho	0.84	0.8	1.07	0.73	0.59	0.69	0.71	0.6	0.71
Er	2.26	2.2	3.01	1.9	1.6	2	1.42	1.89	1.6
Tm	0.31	0.31	0.43	0.44	0.3	0.31	0.23	0.38	0.24
Yb	1.94	1.97	2.84	1.7	1.6	1.65	0.93	1.38	1.43
Lu	0.28	0.28	0.41	0.29	0.23	0.23	0.13	0.17	0.17
Hf	3.39	2.27	3.53	6.2	3.4	3.34	2.47	3.49	2.75
Ta	2.35	0.81	1.36	0.71	0	0.79	0.37	0.21	1.43
Tl	0.13	0.41	0.21	0	0	0	0	0	0.53
Bi	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.025	0.02	0.01	0.14
Th	2.58	1.28	2.78	5.2	7.8	6.8	1.92	2.29	4.21
U	0.65	0.34	0.73	1.78	2.7	2	0.71	0.82	0.1

Примечание: 1–3 — габбро-долериты инзерского комплекса; 4–6 — калиевые щелочные габброиды; 7–9 — оливиновые трахибазальты.

Note: 1–3 — gabbro-dolerites of the Inzer complex; 4–6 — potassic alkaline gabbroids; 7–9 — olivine trachybasalts.

калишпатовые меланократовые породы, развитые в юго-западной части Башкирского мегантиклинория. В данной работе рассматриваются породы, расположенные в бассейне р. Сикася (верховья ручья Баталалма). Здесь обнажены калиевые щелочные габброиды в виде дайки мощностью до 12 м, а также тела оливиновых трахибазальтов и их эруптивные брекчии с многочисленными обломками песчаников и алевролитов (рис. 4).

Калиевые щелочные габброиды представляют собой среднезернистые породы буро-розоватой, красновато-оранжевой окраски. Структура пород офитовая, габбро-офитовая. Сложены они таблитчатым альбитизированным и серицитизированным плагиоклазом (25–30%), калиевым полевым шпатом (ортоклаз, 30–35%), корродирующим и обрастающим плагиоклаз и заполняющим интерстиции, хлоритизированным пироксеном (до 30–40%) и реже биотитом (рис. 5а, б). Рудный минерал (от 10–15% часто до 20–25%) представлен пластинчатыми и идиоморфными кристаллами ильменита (пикроильменита), субидиоморфными, изометричными и скелетными выделениями титаномагнетита. В единичных зернах присутствуют кварц и апатит (0.5–2.5%).

Оливиновые трахибазальты темно-зеленые, иногда с буроватым оттенком порфиоровые породы с тонкозернистой основной массой. Порфиоровые выделения представлены гломерокристаллическими агрегатами оливина (см. рис. 5в) и ортопироксена (см. рис. 5г). Основная масса сложена удлиненно-таблитчатыми микролитами плагиоклаза, ксеноморфными и призматическими зернами авгита, таблитчатыми выделениями санидина, которые в значительной степени замещены ортоклазом или нерешетчатый микроклином, мелкими тетраэдрическими кристалликами магнетита и скелетными выделениями титаномагнетита. Породы метаморфизованы: оливин серпентинизирован, по ортопироксену развивается бастит с образованием гомоосевых псевдоморфоз, клинопироксен практически нацело хлоритизирован, а плагиоклаз сосюритизирован.

Эруптивные брекчии оливиновых трахибазальтов — красноватые породы, насыщенные обломками песчаников, кварцитопесчаников, алевролитов

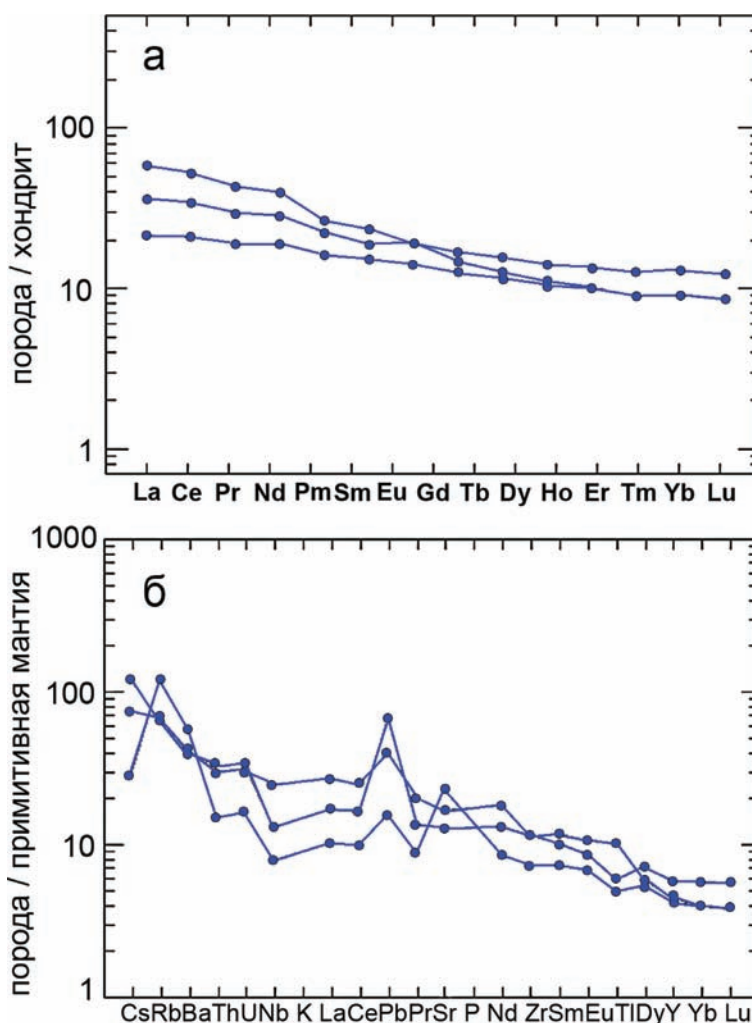


Рис. 3. Графики нормализованных содержаний микроэлементов в магматических породах инзерского комплекса. Хондрит и примитивная мантия по [McDonough, Sun, 1995]

Fig. 3. Graphs of normalized trace elements in igneous rocks of the Inzer complex. Chondrite and primitive mantle according to [McDonough, Sun, 1995]

и щелочных габброидов (см. рис. 5д–з). Основная масса пород сложена мелкозернистым агрегатом, аналогичным оливиновым трахибазальтам с порфировидными кристаллами измененных калиевых полевых шпатов (см. рис. 5ж).

Особенности петрохимического состава оливиновых трахибазальтов заключаются в пониженных содержаниях кремнезема (38.12–44.84 мас.%) и CaO (0.56–4.2 мас.%) при повышенных количествах MgO (10.9–16.1 мас.%) и K₂O (1.54–4.59 мас.%) (табл. 2). Калиевые щелочные габброиды характеризуются высокими содержаниями TiO₂ (2.49–3.78 мас.%), K₂O (4.69–6.28 мас.%) и P₂O₅ (0.9–1.27 мас.%) (табл. 3).



Рис. 4. Фотографии обнажений пород авашлинского комплекса

а — общий вид обнажения щелочных пород в борту долины р. Баталалма; б — типичный вид магматитов с характерной окраской красновато-коричневого цвета; в — внедрение магматического расплава (1) в толщу слоистых песчаников (2) верхнего рифея; г — гомеогенные включения основного состава в щелочных магматитах.

Fig. 4. Photos of rock outcrops of the Avashlya complex

а — a general view of the exposure of alkaline rocks in the river valley Batalalma; б — a typical view of magmatic rocks with a characteristic reddish-brown color; в — intrusion of magmatic melt (1) into the layer of layered sandstones (2) of the upper Riphean; г — homeogenic inclusions of the basic composition in alkaline magmatic rocks.

На классификационной диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (см. рис. 2а) фигуративные точки трахибазальтов располагаются в нескольких полях (пикробазальтов, базальтов и тефрит-базанитов), что свидетельствует о неоднородном составе пород. Особый интерес представляет диаграмма $\text{MgO} - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (см. рис. 2б), из анализа которой видно, что точки содержаний этих компонентов характеризуются линейным трендом с коэффициентом аппроксимации равным 0.728. Увеличение количества точек приводит лишь к слиянию полей этих пород и образованию единого тренда с нормальным распределением MgO и суммы щелочей, что при-

суще производным единого очага либо различным горизонтам единого тела. Тренд содержаний окиси магния и суммы щелочей в породах Алатауского антиклинория расположен между средними составами щелочных оливиновых базальтов и щелочных базальтов калиевой серии, несколько «тяготея» ко второму, который можно рассматривать как один из членов тренда «алатауских» пород.

Геохимические характеристики рассматриваемых магматических пород подчеркивают их единство. Как видно из рис. ба, нормализованные содержания редкоземельных элементов в щелочных габброидах и оливиновых трахибазальтах образуют

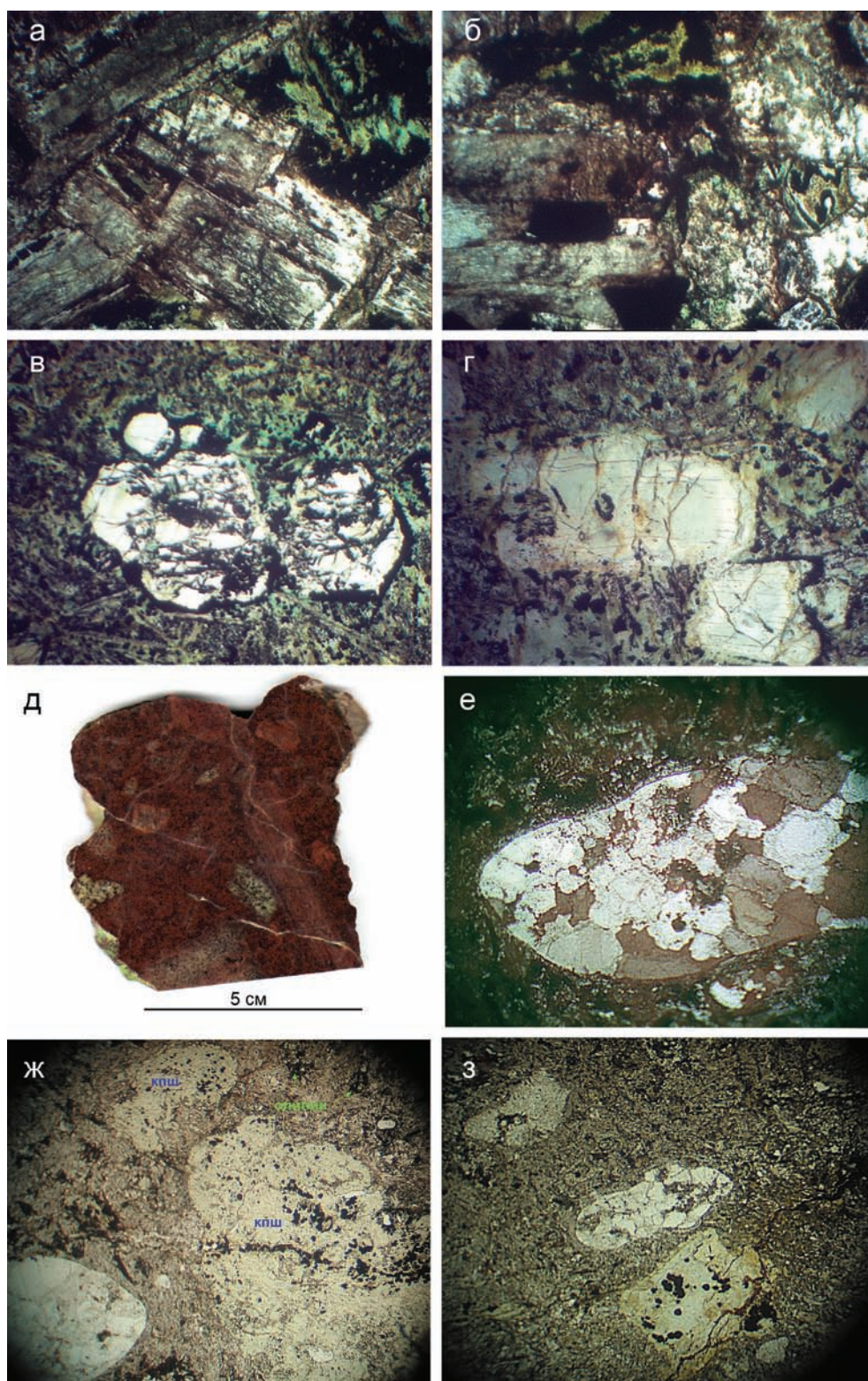


Рис. 5. Микрофотографии пород авашлинского комплекса (верховья руч. Баталалма)

а, б — калиевые щелочные габброиды; в, г — оливиновые трахибазальты; д-з — эруптивные брекчии.

Fig. 5. Microphotographs of the rocks of the Avashlya complex (the upper reaches of the Batalalma stream)

а, б — potassic alkaline gabbroids; в, г — olivine trachybasalts; д-з — eruptive breccias.

Таблица 2

Химические составы оливиновых трахибазальтов (мас. %)

Table 2

Chemical compositions of olivine trachybasalts (wt. %)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	П.п.п.	Σ
42.67	1.9	12.39	9.48	7.26	0.08	14.7	0.56	0.19	1.77	8.49	99.49
41.99	1.92	12.61	16.14	3.6	0.02	10.9	0.56	0.33	4.59	6.83	99.46
42.0	1.85	12.5	13.1	4.3	0.02	11.4	4.2	0.1	4.4	6.6	100.47
42.0	1.85	14.0	6.5	6.7	0.08	14.0	4.2	0.2	2.1	8.5	100.13
38.12	2.26	13.12	19.26	0	0.06	14.1	1.12	0.15	3.49	7.92	99.6
39.0	2.2	13.44	17.47	0	0.06	16.0	0.84	0.13	3.69	7.9	100.73
44.84	2.32	13.54	13.49	0	0.05	12.86	1.4	0.03	2.95	7.82	99.3
42.87	1.87	11.43	20.32	0	0.04	11.3	0.98	0.19	3.27	7.84	100.13
42.09	1.98	11.9	15.79	0	0.05	16.1	0.84	0.12	1.54	9.69	100.1

Таблица 3

Химические составы калиевых щелочных габброидов (мас. %)

Table 3

Chemical compositions of potassic alkaline gabbroids (wt. %)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	Σ
50.6	3.78	15.4	12.6	0.06	4.7	3.54	0.28	5.77	1.27	3.08	101.80
51.4	3.44	15.7	11.4	0.08	4.05	2.97	0.13	6.28	1.21	3.48	100.14
52.6	2.49	11.8	19.3	0.04	2.8	2.3	0.41	5.13	0.9	2.58	100.35
50.4	2.98	13.7	18.07	0.09	2.92	2.21	0.44	4.69	1.21	3.44	100.15

Примечание: FeO* — суммарное железо.

Note: FeO* — total iron.

единый тренд, который, в свою очередь, аналогичен тренду субщелочных оливиновых базальтов вулканического центра Бойна (Эфиопия), являющихся типичными маркерами континентальных магматических пород рифтогенной природы. Для щелочных габброидов и оливиновых трахибазальтов характерна значительная дифференциация РЗЭ, в частности, La/Lu и Ce/Yb для первых составляют 74.96 и 26.52, а для вторых — 93.0 и 30.97 соответственно. Причем сами легкие лантаноиды и тяжелая группа РЗЭ также фракционированы в значительной степени: La/Sm отношение в щелочных габброидах составляет 4.8, а в оливиновых трахибазальтах — 3.73; Sm/Yb для первых равно 2.3, а для вторых — 3.22.

На графике нормализованного распределения элементов в характеризующихся породах (рис. 6в), на который также нанесены средние составы типичных пород щелочного ряда (щелочные пикриты и щелочные оливиновые базальты), отчетливо проявлены тенденции, позволяющие говорить о генетическом единстве алатауских пород. Общая на-

правленность тренда (обедненность по сравнению с хондритом сидерофилами и обогащенность щелочноземельными и радиоактивными элементами) идентична тренду щелочных пикритов и базальтоидов, а «когерентность» в распределении элементов в алатауских породах, частично не совпадающая с фигуративными точками щелочных пикритов и базальтов, позволяет дополнительно подчеркнуть генетическую связь между щелочными габброидами и базальтоидами.

Генетические условия образования пород

Генетические условия образования пород инзерского комплекса и щелочных пород Алатауского антиклинория в первом приближении можно проанализировать по диаграмме Lu/Hf–La/Sm (рис. 7). Как видно из рисунка, средний состав габбро-долеритов инзерского комплекса располагается между трендами плавления шпинелевого и гранатового перидотита, «тяготея» к первому, т.е., условия формирования пород были близки к параметрам

петрогенезиса, характерным для пород шатакского комплекса и пикритов шуйдинского и ишлинского комплексов [Ковалев, 2011; Сазонова и др., 2011; Носова и др., 2012]. Фигуративная точка среднего состава оливиновых трахибазальтов на этой же диаграмме (см. рис. 7) располагается вблизи тренда плавления гранатового перидотита, практически сливаясь со значением, характеризующим пикриты лысогорского комплекса, расплавы которых образовались при температуре 1230–1240 °С и давлении 21–36 кбар в области внутриплитного магматизма в условиях стабильности граната [Ковалев и др., 2019]. Можно высказать предположение, что оливиновые трахибазальты также сформировались в условиях гранатовой фации глубинности.

Взаимоотношения между оливиновыми трахибазальтами и щелочными габброидами, исходя из геологических данных и геохимических материалов, приведенных выше, можно проиллюстрировать следующей схемой (рис. 8). Вероятнее всего, щелочные габброиды и трахибазальты являются дифференциатами промежуточного магматического очага, а эруптивные брекчии представляют собой жерловую фацию. Эксплозивный тип извержения может свидетельствовать о высокой газонасыщенности расплава в момент извержения.

Возраст пород

Позднерифейский возраст пород инзерского комплекса основывается на присутствии в конгломератах ашинской серии гальки микропегматоидных долеритов, характерных для

инзерского комплекса, а также на определении возраста калий-аргоновом методом, давшим значение от 670 до 920 млн лет [Алексеев, 1984].

Возраст щелочных габброидов, распространенных в пределах Башкирского мегантиклинория, является предметом дискуссий. По геологическим данным достоверно определяется досреднеордовикский возраст щелочных габброидов руч. Авашля, где, бесспорно, устанавливается несогласное залегание песчаников среднего ордовика на сиенитах

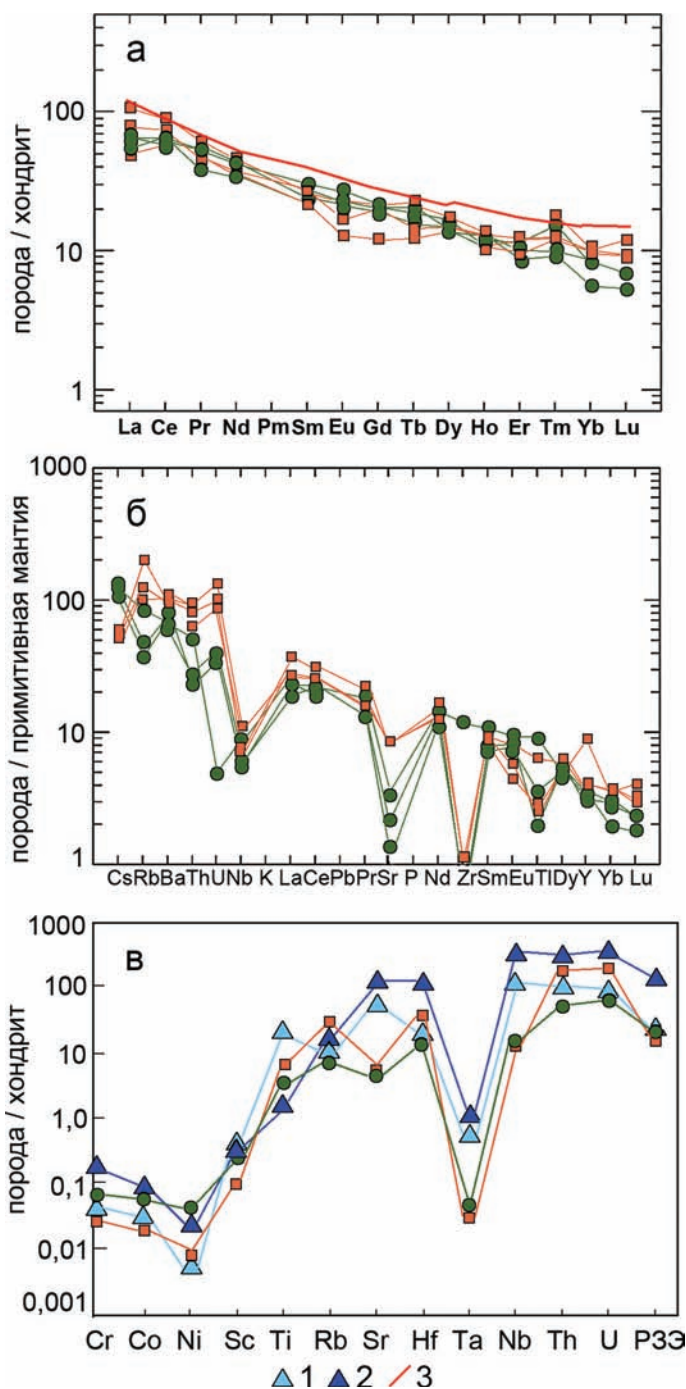


Рис. 6. Графики нормализованных содержаний элементов в породах Алатауского антиклинория. По [Ковалев, Салихов, 2003]

Условные обозначения: 1 — средний состав щелочных оливиновых базальтов; 2 — средний состав щелочных пикритов; 3 — внутриплитные базальты (субщелочные оливиновые базальты, вулканический центр Бойна, Эфиопия по [Barberi et al., 1975]). 1, 2 — по [Лутц, 1980]. Хондрит и примитивная мантия по [McDonough, Sun, 1995]. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 6. Graphs of the normalized contents of elements in the rocks of the Alatau anticlinorium, according to [Kovalev, Salikhov, 2003]

Legend: 1 — average composition of alkaline olivine basalts; 2 — average composition of alkaline picrites; 3 — intraplate basalts (subalkaline olivine basalts, Boina volcanic center, Ethiopia according to [Barberi et al., 1975]). 1, 2 — according to [Lutz, 1980]. Chondrite and primitive mantle according to [McDonough, Sun, 1995]. Other symbols see in fig. 2.

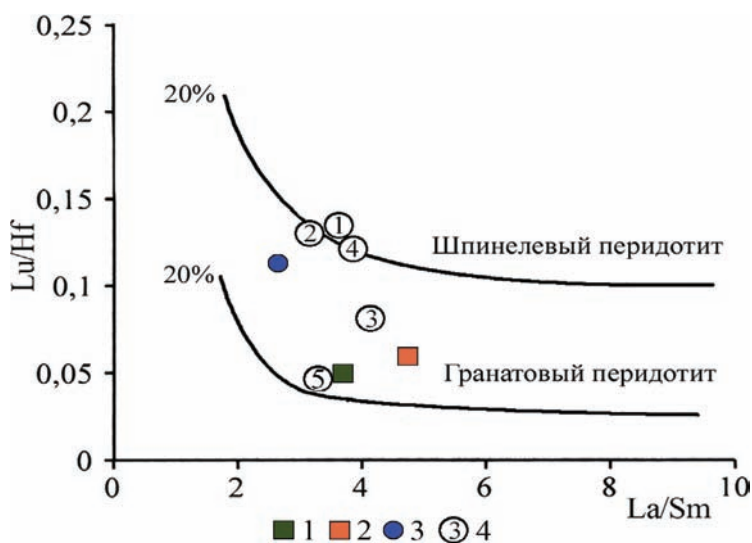


Рис. 7. Диаграмма Lu/Hf–La/Sm по [Regelous et al., 2003] для магматических пород Башкирского мегантиклинория

Условные обозначения: 1 — средний состав оливиновых трахибазальтов; 2 — средний состав щелочных габброидов; 3 — средний состав габбро-долеритов инзерского комплекса; 4 — магматические породы Башкирского мегантиклинория (1 — шуйдинский комплекс, 2 — шатакский комплекс, 3 — лапыштинский комплекс, 4 — ишлинский комплекс, 5 — лысогорский комплекс); 20% — процент плавления мантийного субстрата. 4 — по [Ковалев, 2011].

Fig. 7. Lu/Hf–La/Sm diagram according to [Regelous et al., 2003] for igneous rocks of the Bashkir meganticlinorium

Legend: 1 — average composition of olivine trachybasalts; 2 — average composition of alkaline gabbroids; 3 — average composition of gabbro-dolerites of the Inzer complex; 4 — igneous rocks of the Bashkir meganticlinorium (1 — Shuida complex, 2 — Shatak complex, 3 — Lapyshita complex, 4 — Ishlya complex, 5 — Lysogorsk complex); 20% — the percentage of melting of the mantle substrate. 4 — by [Kovalev, 2011].

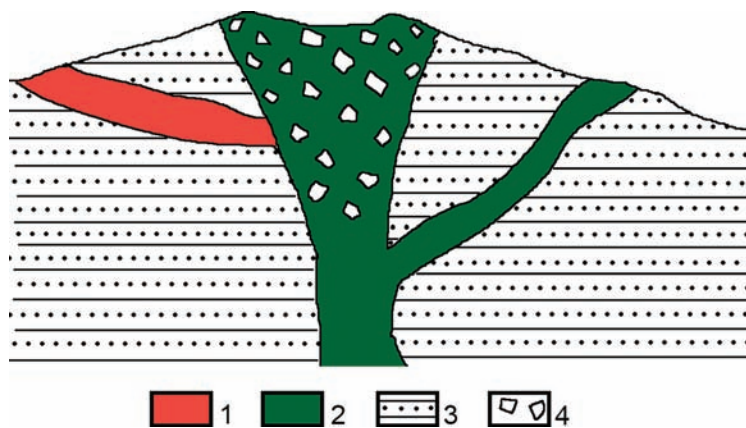


Рис. 8. Схема геологических взаимоотношений между щелочными габброидами, оливиновыми трахибазальтами и эруптивными брекчиями

Условные обозначения: 1 — щелочные габброиды; 2 — оливиновые трахибазальты; 3 — вмещающие породы; 4 — обломки вмещающих пород.

Fig. 8. Diagram of geological relationships between alkaline gabbroids, olivine trachybasalts and eruptive breccias

Legend: 1 — alkaline gabbroids; 2 — olivine trachybasalts; 3 — enclosing rocks; 4 — fragments of the enclosing rocks.

и вмещающих их отложениях рифея [Алексеев, 1984]. Нижняя возрастная граница щелочных габброидов и сиенитов определяется верхнерифейским возрастом прорываемых ими отложений. По двум параллельным определениям калий-аргоновым методом меланократового сиенита из Кужинского участка А.А. Алексеевым было получено значение 602.5 ± 7.5 млн лет [Алексеев, 1984]. С учетом того, что калиевые полевые шпаты в сиенитах изменены, этот «возраст» вероятнее всего соответствует какому-то более позднему этапу и определяет время проявления вторичных преобразований.

В начале 2000-х годов одним из авторов была предпринята попытка датирования щелочных пород авашлинского комплекса Rb-Sr методом. Для анализа были использованы все разновидности из указанного выше обнажения по руч. Баталалма (см. рис. 1 и рис. 4а), а также их аналоги из керна скважины Кулгунино-1, которые из-за их территориальной сближенности и приуроченности к зоне Алатауского разлома, вероятно, можно отнести к единому магматическому комплексу.

Полученные в результате измерения изотопных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ точки в соответствующих координатах показывают линейную зависимость, по которой рассчитывается изотопный возраст $T = 1098 \pm 43$ млн лет и первичное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70589 \pm 0.0173$ (рис. 9). Однако степень соответствия точек осредняющей прямой, оцениваемая по рассчитанному параметру СКВО, существенно превышает единицу, поэтому эта линия не «дотягивает» до разряда изохроны, и должна классифицироваться как эрохрона. Первичное отношение изотопов стронция достаточно высокое (0.70589) и указывает на возможное присутствие корового материала при выплавлении магматического расплава.

В 2017 г. А.А. Краснобаевым с соавторами было проведено датирование цирконов, выделенных из сиенитов Авашлинской интрузии, U-Pb методом с помощью SHRIMP-II, [Краснобаев и др., 2017]. Авторы считают, что ранние реликтовые цирконы имеют возраст 1320–1340 млн

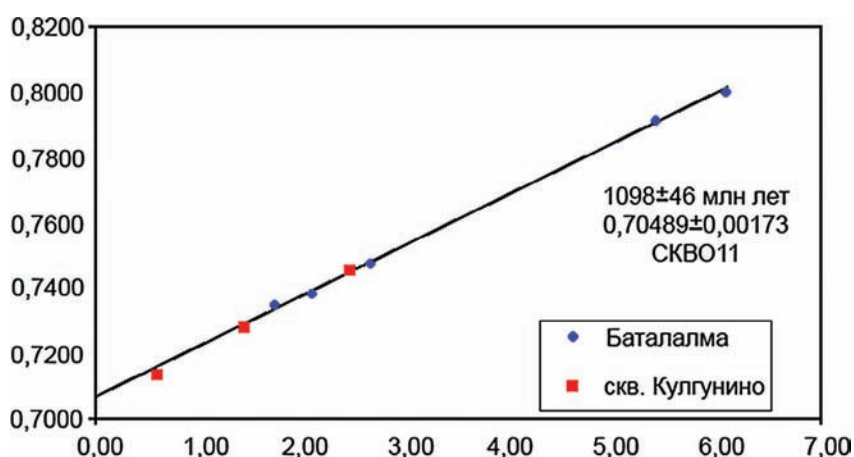


Рис. 9. Rb-Sr эрохрона для магматитов авашлинского комплекса с рассчитанным изотопным возрастом
Fig. 9. Rb-Sr erochron for magmatic rocks of the Avashlya complex with calculated isotopic age

лет, цирконы с возрастом 1097 ± 20 млн лет фиксируют время метаморфизма, а возраст вмещающих пород отвечает машакской свите.

Приведенные радиометрические датировки, полученные двумя независимыми изотопными методами, несмотря на неплохую сходимость между собой, не внесли более полного понимания о возрасте щелочного магматизма, т.к. несколько противоречат устоявшимся представлениям о нижней возрастной границе верхнего рифея в пределах Башкирского мегантиклинория, которая в настоящее время проводится на уровне 1.03 млрд лет [Стратиграфический..., 2006]. Если принять полученные датировки за соответствующие истине, то границу между средним и верхним рифеем придется удрежить почти на 100 млн лет, либо пересмотреть стратиграфическую принадлежность толщ, вмещающих сиениты. Однако некоторые петрографические наблюдения, касающиеся обилия ксенолитов вмещающих осадочных пород, косвенно указывают на возможность ассимиляции (загрязнения) магматического расплава более древним материалом и, соответственно, допускают искажение рассчитанного изотопного возраста. По этой причине вопрос о возрасте остается открытым и требует проведения дополнительных исследований.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (тема № 0246-2019-0080).

Список литературы:

- Алексеев А.А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. – М.: Наука, 1984. – 137 с.
Ковалев С.Г. Новые данные по геохимии диабаз-пикритового магматизма западного склона Южного Урала

и условия его формирования // Литосфера. – 2011. – № 2. – С. 68–83.

Ковалев С.Г., Салихов Д.Н. Новые данные по геохимии щелочных пород Алатауского антиклинория // Геология, полезные ископаемые и проблемы экологии Башкортостана: Мат-лы 5-й Респ. геол. конф. – Уфа: НИИ БЖД РБ, 2003. – С. 42–45.

Ковалев С.Г., Маслов А.В., Ковалев С.С., Высоцкий С.И. Sm-Nd-возраст пикритов лысогорского комплекса (Южный Урал): свидетельства инициального среднерифейского магматизма // Докл. РАН. – 2019. – Т. 488, № 1. – С. 595–598. – doi.org/10.31857/S0869-5652488158-61.

Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Шокальский С.П., Бушарина С.В. Полихронная цирконология сиенитов Авашлинской интрузии в Кургаской антиклинали (Южный Урал) // Докл. РАН. – 2017. – Т. 473, № 2. – С. 195–200. – doi.org/10.7868/S0869565217080187.

Лутц Б.Г. Геохимия океанического и континентального магматизма. – М: Недра, 1980. – 247 с.

Носова А.А., Сазонова Л.В., Каргин А.В., Ларионова Ю.О., Горожанин В.М., Ковалев С.Г. Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция Западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение // Петрология. – 2012. – Т. 20, № 4. – С. 392–428.

Сазонова Л.В., Носова А.А., Ларионова Ю.О., Каргин А.В., Ковалев С.Г. Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Башкирского мегантиклинория: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена // Литосфера. – 2011. – № 3. – С. 64–83.

Стратиграфический кодекс России. – 3-е изд. – СПб: ВСЕГЕИ, 2006. – 96 с.

Barberi F., Ferrara G., Santacroce R., Treuil M., Varet J. A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallisation, the Boina centre (Afar rift, Ethiopia) // J. Petrology. – 1975. – Vol. 16, No. 1. – P. 22–56. – doi.org/10.1093/petrology/16.1.22.

McDonough W.F. and Sun S.-S. Composition of the Earth // *Chemical Geology*. – 1995. – Vol. 120. – P. 223–253. – doi: 10.1016/0009-2541(94)00140-4.

Regelous M., Hofmann A.W., Aboushahi W., Galer S.J.G. Geochemistry of lavas from the Emperor Seamounts, and the geochemical evolution of Hawaiian magmatism from 85 to 42 Ma // *J. Petrology*. – 2003. – Vol. 44, No. 1. – P. 113–140. – doi.org/10.1093/petrology/44.1.113.

References:

Alekseyev A.A. Rifeisko-vendskii magmatizm zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Riphean-Vendian magmatism of the western slope of the Southern Urals]. Moscow: Nauka, 1984. 137 p. (In Russian).

Barberi F., Ferrara G., Santacroce R., Treuil M., Varet J. A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallisation, the Boina centre (Afar rift, Ethiopia) // *J. Petrology*. 1975. Vol. 16, No. 1. P. 22–56. doi.org/10.1093/petrology/16.1.22.

Kovalev S.G. Novye dannye po geokhimii diabaz-pikritovogo magmatizma zapadnogo sklona YUzhnogo Urala i usloviya ego formirovaniya [New data on the geochemistry of diabase-picritic magmatism of the western slope of the Southern Urals and the conditions for its formation] // *Lithosphere*. 2011. No. 2. P. 68–83. (In Russian).

Kovalev S.G., Salikhov D.N. Novye dannye po geokhimii shchelochnykh porod Alatau-skogo antiklinoriya [New data on the geochemistry of alkaline rocks of the Alatau anticlinorium] // *Mat-ly V Resp. geol. konf.: Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy ekologii Bashkortostana*. Ufa: NII BZHD RB, 2003. P. 42–45. (In Russian).

Kovalev S.G., Maslov A.V., Kovalev S.S., Vysotsky S.I. Sm-Nd-vozrast pikritov lysogorskogo kompleksa (Yrzhnyi Ural): svidetel'stva initsial'nogo srednerifeiskogo magmatizma [Sm-Nd age of picrites of the Lysogorsk complex (Southern

Urals): evidence of initial middle riphean magmatism] // *Doklady Earth Sciences*. 2019. Vol. 488, No. 1. P. 595–598. doi.org/10.31857/S0869-5652488158-61. (In Russian).

Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Busharina S.V., Sergeeva N.D., Shokalski S.P. Polychronous zirconology of syenites from the Avashla intrusion in the Kurgass anticline (Southern Urals) // *Doklady Earth Sciences*. 2017. Vol. 473, No. 1. P. 323–328. doi.org/10.1134/S1028334X1703014X.

Lutz B.G. Geokhimiya okeanicheskogo i kontinental'nogo magmatizma [Geochemistry of oceanic and continental magmatism]. Moscow: Nedra, 1980. 247 p. (In Russian).

McDonough W.F. and Sun S.-S. Composition of the Earth // *Chemical Geology*. 1995. Vol. 120. P. 223–253. doi: 10.1016/0009-2541(94)00140-4.

Nosova A.A., Kargin A.V., Larionova Y.O., Sazonova L.V., Gorozhanin V.M., Kovalev S.G. Mesoproterozoic within-plate igneous province of the western urals: Main petrogenetic rock types and their origin // *Petrology*. 2012. Vol. 20, No. 4. P. 356–390. doi.org/10.1134/S086959111204008X.

Regelous M., Hofmann A.W., Aboushahi W., Galer S.J.G. Geochemistry of lavas from the Emperor Seamounts, and the geochemical evolution of Hawaiian magmatism from 85 to 42 Ma // *J. Petrology*. 2003. Vol. 44, No. 1. P. 113–140. doi.org/10.1093/petrology/44.1.113.

Sazonova L.V., Nosova A.A., Larionova Yu.O., Kargin A.V., Kovalev S.G. Mezoproterozoiskie pikrity vostochnoi okrainy Vostochno-Evropeiskoi platformy i Bashkirskogo megantiklinoriya: petrogenezis i osobennosti sostavov olivina i klinopiroksena [Mesoproterozoic picrites of the eastern margin of the East European platform and the Bashkir meganticlinorium: petrogenesis and compositional features of olivine and clinopyroxene] // *Lithosphere*. 2011. No. 3. P. 64–83. (In Russian).

Stratigraficheskii kodeks Rossii [Stratigraphic Code of Russia]. 3rd ed. St. Petersburg: VSEGEI, 2006. 96 p. (In Russian).

Сведения об авторах:

Ковалев Сергей Григорьевич, доктор геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: kovalev@ufaras.ru

Горожанин Валерий Михайлович, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: Gorozhanin@ufaras.ru

Тимофеева Евгения Анатольевна, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: igjournal@ufaras.ru

About the authors:

Kovalev Sergei Grigor'evich, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: kovalev@ufaras.ru

Gorozhanin Valery Michailovich, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: Gorozhanin@ufaras.ru

Timofeeva Evgenia Anatolyevna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: igjournal@ufaras.ru