

Петрография, минералогия, геохимия, изотопная геология

Petrology, mineralogy, geochemistry, isotope geology

Научная статья
УДК 552.311: 552.312



ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГАББРОДОЛЕРИТОВ ПАЛЕОЗОЙСКОГО ЮРМАТАУСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

С. В. Мичурин

*Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа,
s_michurin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2776-2190>*

Рассматриваются особенности химического и минералогического составов двух сближенных даек габбро мощностью до ~20 м, которые в центральной части Башкирского мегантиклинория в зоне Туканского разлома протягиваются на ~6 км и прорывают отложения малоинзерской подсвиты авзянской свиты среднего рифея. Установлено, что по петрогеохимическим параметрам габбро западной и восточной даек Туканского разреза соответствуют габбродолеритам палеозойского юрматауского комплекса. Изученные интрузивные породы отвечают толеитовой петрохимической серии и относятся к натриевому и натриево-калиевому типу щелочности. Вместе с тем в них фиксируется слабый вынос подвижных щелочных элементов, что говорит о вторичных преобразованиях, которые привели в первую очередь к уменьшению в габбро концентраций калия. Их снижение происходит зонально в обеих дайках с запада на восток, в западной — от центра к краевым частям. В этих же направлениях наблюдается резкое увеличение отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. В габбро устанавливаются высокие содержания Cl, Li и Cs, которые в среднем превышают кларк в 2.0–3.6 раз. Как породы палеозойского юрматауского комплекса они отличаются от среднерифейских магматических образований Башкирского мегантиклинория повышенными содержаниями Li и низкими — Rb, а также отсутствием положительной связи между концентрациями этих элементов. Обогащение литием интрузивных пород Туканского разреза установлено впервые. Предполагается, что литий в них связан главным образом с хлоритом и, возможно, частично с плагноклазом. Делается вывод о необходимости продолжения исследований с целью выявления возможной генетической связи магматических образований юрматауского комплекса с проявлениями Cs и зонами Li-обогащения в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория. Анализ геохронологических данных по магматическим породам юрматауского комплекса показывает, что в настоящее время они скудны и иногда противоречивы. Взгляды на геодинамические модели возникновения и эволюции девонского магматизма не совсем однозначны. Делается вывод о недостаточной изученности палеозойских магматических проявлений Башкирского мегантиклинория.

Ключевые слова: габбро, габбродолериты, петрогеохимические особенности, юрматауский комплекс, Башкирский мегантиклинорий

Благодарности: Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2025–0017. Автор искренне признателен Н. Н. Ларионову за обсуждение особенностей габбродолеритов юрматауского комплекса, Г. М. Казбулатовой за содействие в аналитических исследованиях и оформлении материалов статьи, Д. Е. Савельеву за критические замечания, а также А. Г. Султановой и А. А. Шариповой за помощь при проведении полевых исследований.

Для цитирования: Мичурин С. В. Петрогеохимические особенности габбродолеритов палеозойского юрматауского комплекса (Южный Урал) // Геологический вестник. 2025. № 2. С. 84–103. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-2-6

For citation: Michurin S. V. (2025) Petrological and geochemical features of the gabbrodolerites of the Paleozoic Yurmatau complex (Southern Urals). *Geologicheskii vestnik*. 2025. No. 2. P. 84–103. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-2-6

Original article
UDC 552.311: 552.312

PETROLOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE GABBRODOLERITES OF THE PALEOZOIC YURMATAU COMPLEX (SOUTHERN URALS)

S. V. Michurin

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia, s_michurin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2776-2190>

The features of the chemical and mineralogical compositions of two converging gabbro dikes with a thickness of up to ~20 m are considered, which stretch for ~6 km in the central part of the Bashkir meganticlinorium in the zone of the Tukan fault and break through the sediments of the Malyi Inzer Subformation of the Avzyan Formation of the Middle Riphean. It has been established that, according to the petrogeochemical parameters, the gabbro of the western and eastern dikes of the Tukan section correspond to the gabbrodolerites of the Paleozoic Jurmatau complex. The studied intrusive rocks correspond to the tholeiitic petrochemical series and belong to the sodium and sodium-potassium types of alkalinities. At the same time, they show a weak removal of mobile alkaline elements, which indicates secondary transformations that led primarily to a decrease in potassium concentrations in gabbro. Their decrease occurs zonally in both dikes from west to east, in the west — from the center to the marginal parts. In the same directions, there is a sharp increase in the $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ratio. Gabbro contains high concentrations of Cl, Li, and Cu, which on average exceed clark by 2.0–3.6 times. As rocks of the Paleozoic Jurmatau complex, they differ from the Middle Riphean magmatic formations of the Bashkirian meganticlinorium in high concentrations of Li and low concentrations of Rb, as well as in the absence of a positive relationship between the concentrations of these elements. The enrichment of intrusive rocks of the Tukan section with lithium has been established for the first time. It is assumed that the lithium in them is mainly associated with chlorite and, possibly, partially with plagioclase. It is concluded that it is necessary to continue research in order to identify a possible genetic relationship between the magmatic formations of the Jurmatau complex and the occurrences of Cu and Li-enrichment zones in the Riphean sediments of the Bashkirian meganticlinorium.

Analysis of geochronological data on igneous rocks of the Jurmatau complex shows that they are currently scarce and sometimes contradictory. The views on geodynamic models of the genesis and evolution of Devonian magmatism are not completely unambiguous. It is concluded that the Paleozoic magmatic occurrences of the Bashkirian meganticlinorium are insufficiently studied.

Keywords: gabbro, gabbrodolerites, petrogeochemical features, Jurmatau complex, Bashkirian meganticlinorium

Acknowledgements: The research was carried out on the subject № FMRS-2025–0017 of the state task to the Institute of Geology UFRC RAS. The authors are sincerely grateful to N.N. Larionov for the discussion of the gabbrodolerites features of the Yurmatau complex, G.M. Kazbulatova for her help in carrying out analytical studies and formatting the article materials, D.E. Savelyev for critical comments, as well as A.G. Sultanova and A.A. Sharipova for assistance in conducting field research.

Введение

Палеозойские интрузии на западном склоне Южного Урала проявлены достаточно широко. В Башкирском мегантиклинории впервые они выделены в его восточной части в составе среднепалеозойского ямантауского габбродолеритового комплекса [Швецов и др., 1976; Алексеев и др., 1982]. На юго-западе Башкирского мегантиклинория магматические образования этого возраста находятся преимущественно в Юрматауском антиклинории,

в котором они отнесены к одноименному комплексу [Ларионов, Цветкова, 2003; Ларионов и др., 2015]. Здесь они прорывают рифейские осадочные отложения и, по данным указанных исследователей, в виде прерывистых цепочек почти параллельных тел субмеридионально протягиваются до ~80 км в зонах Туканского, Караташского и Восточно-Суранского крупных разломов, проникая в Инзерский синклинорий и Ямантауский антиклинорий.

Формирование юрматауского габбродолеритового комплекса, по данным публикаций

[Алексеев, 1984; Эрнст и др., 2008], происходило в девоне. Дайка габбро изменчивой мощности от ~4 до ~60 м [Ernst et al., 2006], прорывающая отложения инзерской свиты верхнего рифея в Инзерском синклинии на р. Мал. Инзер и протягивающаяся на расстояние более 5 км, имеет возраст 403 ± 17 млн лет (Ar-Ar метод) [Эрнст и др., 2008]. По K-Ar данным А. А. Алексеева [1984], долеритовая дайка мощностью около 3 м, секущая породы нижнего рифея в Ямантауском антиклинории на водоразделе рек Бол. Авзян и Кара-Елга, образовалась ~390 млн лет назад.

Изучение палеозойского магматизма важно для понимания геологического развития как Башкирского мегантиклинория [Швецов и др., 1976; Радченко, Казаков, 1980; Алексеев и др., 1982; Пучков и др., 2011; Краснобаев и др., 2020; Куртукова и др., 2022], так и всего Урала [Смирнов, 1977; Алексеев, 1990, 2001; Пучков, 2012; Салихов и др., 2019; и др.]. Более того, данные об уральском магматизме в палеозое используются для идентификации новых крупных магматических провинций и масштабных геодинамических построений [Эрнст и др., 2008; Ernst, Bell, 2010; Puchkov et al., 2016; Пучков, 2018].

Между тем при изучении докембрийских магматических и метаморфических формаций Башкирского мегантиклинория отдельные вопросы до сих пор далеки от своего решения [Алексеев, 1990, 2001; Ковалев, 2010; Пучков, 2012 и др.]. В частности, габбродолеритовые интрузии, залегающие среди рифейско-вендских толщ, с трудом поддаются возрастному расчленению, что, по мнению А. А. Алексеева, требует не только геохронологических, но и детальных петролого-геохимических исследований. На западном склоне Южного Урала допалеозойские и палеозойские магматические породы часто не имеют резких различий в степени вторичных преобразований, представлены близкими к кайнотипным разностями, однако, как указывает упомянутый автор, по петрогеохимическим особенностям намечается их отличие, которое необходимо подтвердить более обширными аналитическими данными. При общей принадлежности к одному формационному типу петротипы конкретных формаций достаточно заметно различаются как петрографическими, так и петрогеохимическими характеристиками, которые уверенно можно выявить при внимательном изучении их вещественного состава [Алексеев, 2001].

Значительная часть результатов геохимического изучения осадочных и магматических по-

род, проведенных геолого-съёмочными партиями в предыдущие годы, основана на устаревшем полуколичественном спектральном анализе. Современные петролого-геохимические и прецизионные аналитические исследования посвящены детальному изучению в большей степени наиболее распространенных на западном склоне Южного Урала магматических комплексов рифейского возраста [Носова и др., 2012; Ковалев и др., 2015; Холоднов и др., 2017; Хотылев и др., 2020]. Магматические образования, относящиеся к венду или иногда имеющие противоречивые рифейско-венд-палеозойские геохронологические определения [Князев и др., 2013; Куртукова и др., 2022], точными методами изучены меньше [Самигуллин, Савельев, 2023; Самигуллин и др., 2024]. В целом ощущается некоторый дефицит прецизионных геохимических данных для магматических комплексов Башкирского мегантиклинория, что показывает недавно предпринятый нами анализ поведения в них, например, лития [Мичурин и др., 2022; Султанова, Мичурин, 2024]. Геохимические характеристики, полученные для габбродолеритов палеозойского возраста масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой (метод ИСП MS), опубликованы только для трех образцов [Ernst et al., 2006].

В статье рассматриваются особенности химического и минералогического составов двух сближенных даек габбро шириной ~10 и ~20 м, которые вдоль Туканского разлома прорывают отложения малоинзерской подсвиты авзянской свиты среднего рифея. Породы описываемых даек на сегодняшний день не имеют изотопных датировок. Ранее они показаны [Ларионов, Цветкова, 2003] в составе одной мощной протяженной (~6 км) дайки юрматауского палеозойского комплекса (рис. 1а, б). В настоящем сообщении предпринимается попытка на основе сравнительного анализа преимущественно петрогеохимических характеристик выявить сходство/различие габбро, опробованных в районе пос. Тукан, с габбродолеритами юрматауского комплекса, а также рассматриваются отдельные вопросы металлогении и геодинамической природы магматических пород этого комплекса.

Материалы и методы

Туканский разрез расположен вблизи поворота автодороги Улу-Елга — Тукан в поселок Тукан (см. рис. 1а, б). Здесь на расстоянии около 10 м

друг от друга вскрываются западная (мощность ~20 м) и восточная (~10 м) дайки габбро. Вкрест их простирания с востока на запад с интервалом 0.1–5 м отобрано соответственно 9 и 6 образцов.

Определение петрогенных (Na, Mg, Al, P, Ca, Ti, Mn, Fe) и редких (Li, Sc, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Ba, Pb) элементов проведено атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой анализом в АО «ИНХП» (г. Уфа) на спектрометре ICPE-9000 (Shimadzu, Япония) (аналитик А. М. Карамова). Предел обнаружения составлял 0.1–1 г/т. Навеска пробы — 0.1 г. Подробно методика проведения анализа описана в работе [Мусина, Мичурин, 2016]. Содержания в образцах Si, K, S, Cl и Rb дополнительно установлены на рентгенофлуоресцентном спектрометре VRA-30 (Германия) (W-анод, 40 кВ, 30 мА) (аналитики В. Ф. Юлдашбаева, Р. Р. Ахмедова, В. Р. Соколянский). Истертые пробы весом 5 г со связующим веществом (5 капель ПВС-8) прессовались при давлении 25–27 т/см² на подложке из борной кислоты. Предел обнаружения при измерении Si составлял 0.1 мас. %; K, S — 0.01 мас. %; Cl — 20 г/т; Rb — 5–10 г/т.

Содержания Fe²⁺ находили объемным бихроматным титриметрическим методом. Для контроля использован стандартный образец СКД-1 состава кварцевого диорита (аналитик Г. М. Казбулатова). Предел обнаружения составлял 0.1–0.2 мас. %.

Содержания F определены как среднее из 2–6 измерений фотометрическим методом посредством образования ализаринкомплексоната фторида лантана на фотометре КФК-3–01 (аналитик Г. М. Казбулатова) с использованием в каждом единичном измерении двух стандартных образцов магматических пород: 1) СГД-2а (ГСО 8670–2005, F = 1300 г/т) состава эссекситового габбро; 2) ГБПг-1 (ГСО 8871–2007, F = 573 г/т) состава гранат-биотитового плагиогнейса. Методические вопросы выполнения анализа детально рассматриваются в работе [Карамова и др., 2019]. Предел обнаружения фтора составлял ~50 г/т.

Электронно-микроскопическое изучение габбро выполнено по аншлифам на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact (Чехия) с энергодисперсионным анализатором Xplore 15 Oxford Instruments (США) (аналитик С. С. Ковалев). Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с использованием методики TrueQ. При съемке использованы ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3–4 нА, время накопления спектра в точке 20 секунд в режиме «Point&ID».

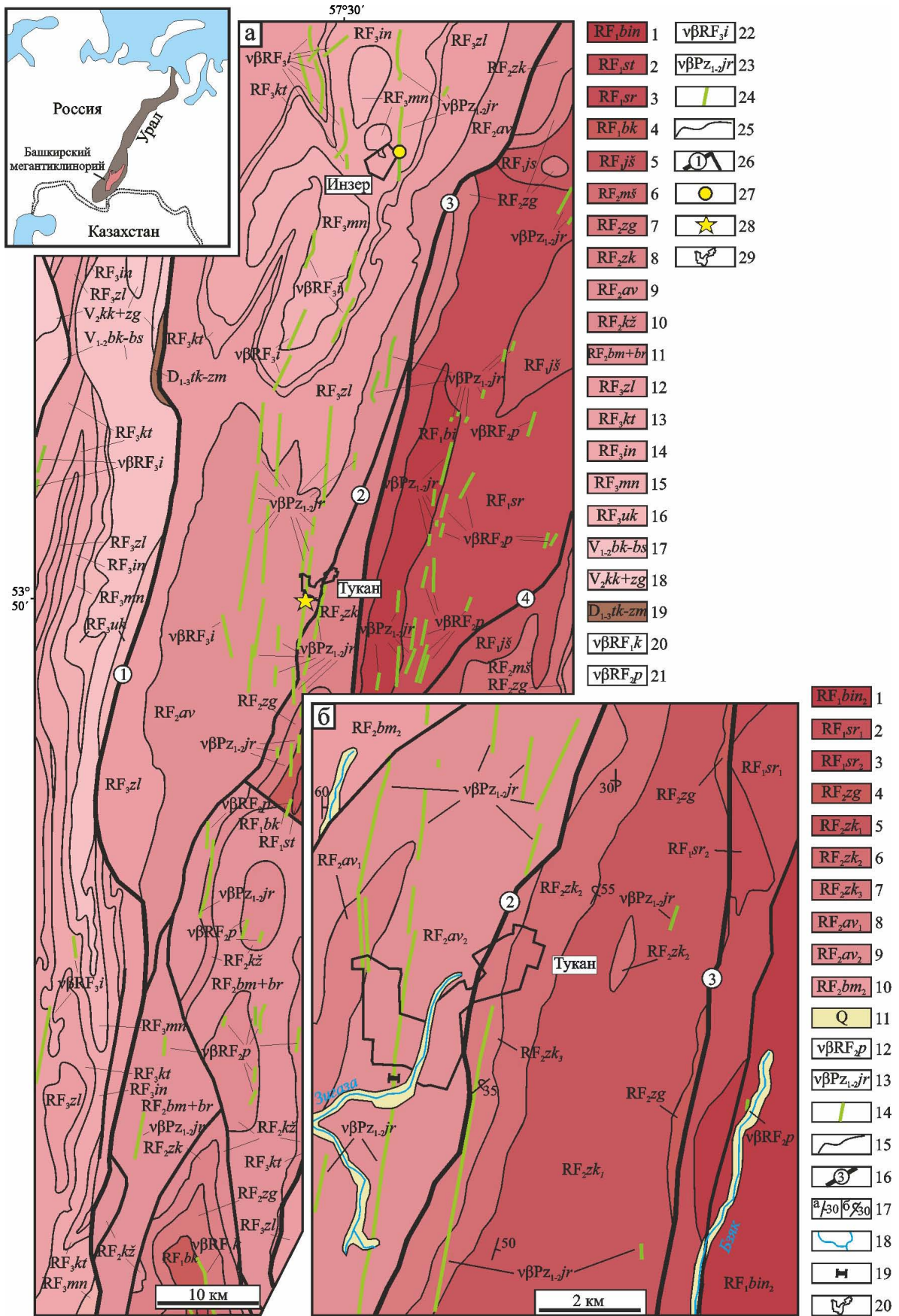
Результаты исследования

Петрографические и минералогические особенности. Обе дайки сложены мелкозернистым габбро темного серо-зеленого цвета кайнотипного облика. Минералогический состав (в об. %): плагиоклаз (38–45), клинопироксен (38–45), рудные минералы (титаномагнетит, ильменит, титанит) (~5), кварц (1–3), биотит (1–2), мусковит (<1), хлорит (2–17), эпидот (0–7), апатит (единичные зерна). Структура пород габброофитовая, текстура — массивная. Структура обусловлена идиоморфными таблитчатыми и призматическими (по удлинению достигающим 1.0–1.2 мм) кристаллами плагиоклаза, пространство между которыми выполняют гипидиоморфные и ксеноморфные выделения клинопироксена размером до 0.8–1.0 мм, в среднем — 0.3–0.5 мм. Плагиоклазы имеют чаще основной состав с содержанием анортитового минала от 50 до 61% (лабрадор), реже — средний (34–49%, андезин) и кислый (3–22%, альбит, олигоклаз). Иногда отмечаются полисинтетические двойники. Плагиоклазы и клинопироксены сосюритизированы в незначительной степени. Изредка по плагиоклазам развивается серицит. Клинопироксены отвечают составу преимущественно авгита (содержание миналов (в %): Woll (волластонитовый) — 20–38, En (энстатитовый) — 30–45, Fs (ферросилитовый) — 22–39), в меньшей степени — пижонита (Woll — 8–16, En — 30–62, Fs — 30–56).

С клинопироксенами изредка встречаются широкотаблитчатые лейсты биотита размером до 0.08 мм по удлинению. Биотит в виде ксеноморфных выделений развивается также в ассоциации с титаномагнетитом.

Совместно с клинопироксеном отмечаются редкие гипидиоморфные и идиоморфные кристаллы кварца, в поперечном сечении имеющие форму шестиугольников, размером <0.1 мм. В то же время ксеноморфные выделения кварца размером 0.1–0.2 мм часто наблюдаются в ассоциации с хлоритом и эпидотом.

Хлорит развивается по клинопироксенам в виде тонкочешуйчатых агрегатов неправильной формы размером до 0.05 мм, а также в тонких трещинках. Кроме того, он часто отмечается по плоскостям спайности и по тонким трещинам в плагиоклазах. Эпидот наблюдается в образцах габбро, подвергшихся вторичным изменениям; встречается в виде тонких (0.02–0.03 мм) прожилков и агрегатов неправильной формы размером до 0.05–0.06 мм в ассоциации с хлоритом и кварцем.



Петрография, минералогия, геохимия, изотопная геология
 PETROLOGY, MINERALOGY, GEOCHEMISTRY, ISOTOPE GEOLOGY

Рудные минералы — ильменит и титаномагнетит — развиты в виде гипидиоморфных, идиоморфных и скелетных кристаллов размером до 0.8 мм. Титанит присутствует в незначительном количестве в виде зернистых агрегатов размером до 0.15 мм; встречается в общей массе породообразующих минералов, по границам ильменита и титаномагнетита, а также ясно выражено ассоциирует с хлоритом.

В качестве акцессорного минерала в габбро в интерстициальном пространстве между клинопироксеном и плагиоклазом в виде табличек размером 10–15 мкм встречается апатит с содержанием F до 4 мас. %.

Петрогеохимические особенности. Химический состав, содержание редких элементов и значения некоторых петро- и геохимических модулей

в габбро из западной и восточной даек Туканского разреза, приводится в таблицах 1 и 2. В габбро устанавливаются переменные содержания TiO_2 , несколько более высокие в западной дайке от 1.35 до 2.29 мас. % по сравнению с восточной, где они колеблются от 1.05 до 1.93 мас. %. В обеих дайках сходными являются умеренная и низкая глиноземистость $al' = 0.62–0.75$, магнезиальность $Mg\# = 41.8–48.6$ и повышенная железистость $f = 65.8–71.8$ (табл. 1, 2). По соотношению Na_2O/K_2O породы относятся к натриевому и натриево-калиевому типу щелочности.

В габбро обеих даек Туканского разреза устанавливаются одинаково высокие содержания Cl, Li и Cu, которые в среднем больше их кларка для основных изверженных пород [Turekian, Wedepohl, 1961] в 2.0–3.6 раз (табл. 1 и 2). Концентрации Y,

Рис. 1. Геологическая карта зоны сочленения Юрматауского, Ямантауского антиклинориев и Инзерского синклинория в юго-западной части Башкирского мегантиклинория (а) (по [Князев и др., 2013] с дополнениями из [Яковлев, 1961; Ларионов, Цветкова, 2003]) и положение даек габбродолеритов юрматауского комплекса в районе поселка Тукан (б) (по [Ларионов, Цветкова, 2003])

Условные обозначения: а: 1–5 — нижний рифей, свиты: 1 — большеинзерская, 2 — саткинская, 3 — суранская, 4 — бакальская, 5 — юшинская; 6–11 — средний рифей, свиты: 6 — машакская, 7 — зигальгинская, 8 — зигазино-комаровская, 9 — авзянская, 10 — кужинская, 11 — биктимирская и бретьякская объединенные; 12–16 — верхний рифей, свиты: 12 — зильмердакская, 13 — катавская, 14 — инзерская, 15 — миньярская, 16 — укская; 17–18 — венд, объединенные свиты: 17 — бакеевская, урюкская, басинская, 18 — куккараукская и зиганская; 19 — девон, нерасчлененные отложения такатинской, ванышкнской, вязовской, койвенской, бийской, афонинской, чусовской, чеславской свит, рязяжской и зилимской серий; 20–23 — магматические комплексы: 20 — среднерифейский кургаский, 21 — среднерифейский повальненский, 22 — верхнерифейский инзерский, 23 — палеозойский юрматауский; 24 — дайки магматических пород; 25 — стратиграфические границы; 26 — региональные разрывные нарушения (надвиги, взбросы, сбросы): 1 — зильмердакский, 2 — туканский, 3 — караташский, 4 — большеавзянский; 27 — положение двух сближенных даек габбро палеозойского юрматауского комплекса в Инзерском синклинории на р. М. Инзер, по которым получены определения Ar-Ar возраста по [Ernst et al., 2006; Эрнст и др., 2008]; 28 — место отбора проб габбро в районе поселка Тукан; 29 — населенные пункты. б: 1–3 — нижний рифей, свиты: 1 — большеинзерская, средняя подсвита, 2–3 — суранская, подсвиты: 2 — миньякская, 3 — бердагуловская; 4–10 — средний рифей, свиты: 4 — зигальгинская, 5–7 — зигазино-комаровская, подсвиты: 5 — серегинская, 6 — амбарская; 7 — туканская, 8–9 — авзянская, подсвиты: 8 — каташкинская, 9 — малоинзерская; 10 — биктимирская, средняя подсвита; 11 — четвертичные отложения; 12–13 — магматические комплексы: 12 — среднерифейский повальненский, 13 — палеозойский юрматауский; 14 — дайки магматических пород; 15 — стратиграфические границы; 16 — региональные разрывные надвиги: 2 — туканский, 3 — караташский; 17 — элементы залегания пород: а — наклонное, б — опрокинутое; 18 — реки и ручьи; 19 — место отбора проб габбро на изучение; 20 — поселок Тукан.

Fig. 1. Geological map of the junction zone of the Jurmatau, Yamantau anticlinoriums and Inzer synclinorium in the southwestern part of the Bashkirian meganticlinorium (a) (according to [Knyazev et al., 2013] with additions from [Yakovlev, 1961; Larionov and Tsvetkova, 2003]) and the position of dikes of gabbrodolerites of the Jurmatau complex near Tukan village (b) (according to [Larionov and Tsvetkova, 2003])

Legend: a: 1–5 — lower Riphean, formations: 1 — Bolshoi Inzer, 2 — Satka, 3 — Suran, 4 — Bakal, 5 — Yusha; 6–11 — middle Riphean, formations: 6 — Mashak, 7 — Zigalga, 8 — Zigaza-Komarovo, 9 — Avzyan, 10 — Kuzha, 11 — Biktimir and Breyak combined; 12–16 — upper Riphean, formations: 12 — Zilmerdak, 13 — Katav, 14 — Inzer, 15 — Mynar, 16 — Uk; 17–18 — Vendian, combined formations: 17 — Bakeevo, Uryuk, Basa, 18 — Kukkarauk and Zigan; 19 — Devonian, undifferentiated deposits of Takata, Vanyashkino, Vyazovo, Koivensk, Biysk, Afonino, Chusovsk, Cheslavsk formations, Ryauzyak and Zilim series; 20–23 — magmatic complexes: 20 — Middle Riphean Kurgas, 21 — Middle Riphean Povalnensky, 22 — Upper Riphean Inzer, 23 — Paleozoic Jurmatau; 24 — dikes of igneous rocks; 25 — stratigraphic boundaries; 26 — regional discontinuous disturbances (thrusts, reverse faults, normal faults): 1 — Zilmerdak, 2 — Tukan, 3 — Karatash, 4 — Bolshoi Avzyan; 27 — position of two converging dikes of the gabbro Paleozoic Jurmatau complex in the Inzer synclinorium on the Mal. Inzer River, which were used to determine the Ar-Ar age according to [Ernst et al., 2006; Ernst et al., 2008]; 28 — gabbro sampling site near the village of Tukan; 29 — populated points. b: 1–3 — lower Riphean, formations: 1 — Bolshoi Inzer, middle subformation, 2–3 — Suran, subformations: 2 — Mynak, 3 — Berdagulovo; 4–10 — middle Riphean, formations: 4 — Zigalga, 5–7 — Zigaza-Komarovo, subformations: 5 — Seregino, 6 — Ambar; 7 — Tukan, 8–9 — Avzyan, subformations: 8 — Kataskin, 9 — Mal. Inzer; 10 — Biktimir, middle subformation; 11 — quaternary deposits; 12–13 — magmatic complexes: 12 — Middle Riphean Povalnensky, 13 — Paleozoic Jurmatau; 14 — dikes of igneous rocks; 15 — stratigraphic boundaries; 16 — regional thrust faults: 2 — Tukan, 3 — Karatash; 17 — rock formations: a — inclined, b — overturned; 18 — rivers and streams; 19 — gabbro sampling site for study; 20 — Tukan settlement.

Таблица 1. Химический состав (мас. %), содержание редких элементов (г/т) и некоторые петро- и геохимические модули в габбро из западной дайки Туканского разреза
Table 1. Chemical composition (wt. %), trace element content (ppm), and some petro- and geochemical modules in gabbro from the western dike of the Tucan section

Оксид, элемент, модуль	Номер образца									Кларк
	м2238	м2239	м2241	м2242	м2243	м2245	м2246	м2247	м2248	
SiO ₂	49.064	50.967	49.794	50.344	49.665	50.793	50.326	49.852	50.237	49.20
TiO ₂	2.229	1.651	1.629	1.354	2.080	1.676	2.285	1.724	1.737	2.30
Al ₂ O ₃	13.520	12.735	12.765	13.609	14.245	13.224	12.839	13.283	13.224	14.74
Fe ₂ O ₃	7.065	4.592	4.520	4.516	2.750	2.689	3.732	4.258	3.957	—
FeO	7.330	8.960	9.322	7.906	10.548	9.985	10.512	9.237	9.073	11.13*
MnO	0.162	0.183	0.212	0.172	0.196	0.186	0.201	0.190	0.193	0.19
MgO	6.323	6.491	6.885	5.957	5.620	6.576	5.592	6.491	6.688	7.63
CaO	5.546	6.258	6.751	9.737	7.025	9.860	9.120	9.846	9.709	10.63
Na ₂ O	2.607	2.671	2.564	2.181	2.713	1.994	2.160	2.126	1.938	2.43
K ₂ O	0.217	0.280	0.556	0.490	0.839	0.598	0.827	0.351	0.349	1.00
P ₂ O ₅	0.145	0.126	0.127	0.108	0.146	0.119	0.146	0.130	0.126	0.25
SO ₂	0.055	0.029	0.034	0.023	0.059	0.077	0.101	0.052	0.034	0.06
ППП	4.786	4.377	4.054	2.903	3.170	1.146	1.336	1.517	1.861	—
Сумма	99.049	99.321	99.215	99.301	99.046	98.922	99.177	99.058	99.127	—
Li	62.9	61.3	51.4	39.6	43.8	25.0	17.3	25.7	33.3	17
F	649.3	434.0	246.0	65.0	299.3	65.0	163.5	162.0	241.0	400
Cl	148.6	165.5	139.4	225.2	156.2	161.6	224.7	159.7	249.5	60
Sc	44.7	43.9	44.7	38.2	38.9	42.9	43.6	43.9	45.9	30
V	364.2	291.0	322.7	246.2	341.3	315.0	403.6	319.4	317.2	250
Cr	87.7	128.1	106.7	108.8	46.7	123.9	78.8	95.7	150.9	170
Co	50.9	42.7	50.6	37.3	49.9	43.6	51.2	46.1	44.9	48
Ni	94.1	100.6	97.6	81.7	76.6	98.1	88.5	97.9	105.1	130
Cu	193.4	163.6	141.7	164.6	158.6	177.5	225.2	194.4	173.5	87
Zn	143.2	113.1	151.7	107.7	135.8	103.1	145.3	134.7	320.0	105
Rb	7.0	7.0	19.0	14.0	28.0	17.0	24.0	7.0	11.0	30
Sr	138.1	128.7	123.4	349.8	168.7	179.2	199.2	185.5	176.0	465
Y	33.5	30.6	31.8	28.3	33.1	30.5	35.7	32.4	32.9	21
Zr	165.5	146.3	155.9	119.3	162.7	143.4	170.4	148.2	144.4	140
Ba	106.7	68.0	98.7	165.9	219.5	175.0	180.7	122.6	170.5	330
Pb	0.0	0.2	2.8	6.7	0.0	0.0	4.3	4.9	3.2	6
Na ₂ O + K ₂ O	2.824	2.951	3.120	2.671	3.552	2.592	2.987	2.477	2.287	3.43
Na ₂ O/K ₂ O	12.0	9.5	4.6	4.4	3.2	3.3	2.6	6.1	5.6	2.43
al'	0.65	0.64	0.62	0.74	0.75	0.69	0.65	0.66	0.67	0.79*
f	68.4	66.9	66.0	66.8	69.9	65.4	71.3	66.8	65.4	59.3
Mg#	45.8	45.2	46.9	47.8	43.5	48.6	41.8	47.0	48.6	44.37
Zr/Y	4.9	4.8	4.9	4.2	4.9	4.7	4.8	4.6	4.4	6.7

Примечание. Здесь и в таблицах 2 и 3; $al' = Al_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO + MgO)$; $f = 100 * (FeO_{обм}) / (MgO + FeO_{обм})$; $Mg\# = 100 * Mg / (Fe + Mg)$; кларк оксидов и элементов в изверженных породах основного состава приводится по [Turekian, Wedepohl, 1961]; * — содержание Fe пересчитано на $FeO_{обм}$; прочерк — нет данных.

Note. Here and in tables 2 and 3: $al' = Al_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO + MgO)$; $f = 100 * (FeO_{обм}) / (MgO + FeO_{обм})$; $Mg\# = 100 * Mg / (Fe + Mg)$; Clarke values for oxides and elements in mafic igneous rocks are from [Turekian, Wedepohl, 1961]; total iron content calculated as FeO_{total} ; dash indicates no data available.

Таблица 2. Химический состав (мас. %), содержание редких элементов (г/т) и некоторые петро- и геохимические модули в габбро из восточной дайки Туканского разреза
Table 2. Chemical composition (wt %), trace element content (ppm), and some petro- and geochemical modules in gabbro from the eastern dike of the Tucan section

Оксид, элемент, модуль	Номер образца						Кларк
	м2228	м2229	м2230	м2231	м2232	м2233	
SiO ₂	50.513	49.780	50.385	49.547	50.928	50.934	49.20
TiO ₂	1.136	1.930	1.799	1.352	1.863	1.050	2.30
Al ₂ O ₃	13.185	12.903	13.068	13.052	13.732	13.865	14.74
Fe ₂ O ₃	4.807	6.467	5.839	5.171	4.414	4.647	—
FeO	8.387	6.893	7.698	8.059	8.788	8.051	11.13*
MnO	0.185	0.210	0.199	0.185	0.190	0.188	0.19
MgO	6.141	6.452	6.172	6.703	5.253	5.802	7.63
CaO	9.754	9.232	10.022	9.411	9.754	9.649	10.63
Na ₂ O	2.143	2.290	2.038	1.874	2.101	2.101	2.43
K ₂ O	0.297	0.301	0.313	0.282	0.422	0.828	1.00
P ₂ O ₅	0.105	0.114	0.109	0.104	0.119	0.096	0.25
SO ₂	0.032	0.031	0.036	0.064	0.026	0.053	0.06
ППП	2.413	3.185	1.445	3.334	1.463	1.918	—
Сумма	99.096	99.788	99.123	99.138	99.054	99.180	—
Li	23.8	47.0	26.3	51.1	22.6	32.2	17
F	335.0	281.5	205.5	235.0	324.3	238.5	400
Cl	283.7	149.4	270.9	210.2	226.2	161.1	60
Sc	45.2	44.9	44.6	44.3	41.3	43.4	30
V	170.0	335.6	331.9	208.0	345.4	173.7	250
Cr	143.8	115.6	128.0	113.9	56.0	91.1	170
Co	41.1	45.5	47.5	42.0	47.2	38.6	48
Ni	125.3	114.6	119.0	122.3	94.3	109.4	130
Cu	183.9	194.3	190.8	155.1	188.5	186.2	87
Zn	136.2	131.6	112.9	129.4	114.3	104.6	105
Rb	9.0	8.0	6.0	7.0	8.0	19.0	30
Sr	183.8	183.8	181.5	169.0	196.3	206.5	465
Y	32.9	32.5	32.2	32.9	32.5	31.7	21
Zr	125.5	148.6	153.4	136.2	156.6	118.1	140
Ba	386.4	283.2	174.3	193.7	198.1	240.4	330
Pb	9.7	1.2	0.0	2.1	2.6	3.2	6
Na ₂ O + K ₂ O	2.440	2.591	2.351	2.156	2.523	2.929	3.43
Na ₂ O/K ₂ O	7.2	7.6	6.5	6.7	5.0	2.5	2.43
al'	0.68	0.65	0.66	0.65	0.74	0.75	0.79*
f	67.4	66.3	67.7	65.5	70.8	67.8	59.3
Mg#	46.3	47.5	45.9	48.5	42.3	45.8	44.37
Zr/Y	3.8	4.6	4.8	4.1	4.8	3.7	6.7

Sc, Zn, V превышают кларк примерно в 1.2–1.5 раз, Co, Zr находятся на его уровне. Ряд элементов, такие как F, Cr, Ni, Sr, Rb, Ba, Pb, имеют очень низкие содержания в габбро из западной и восточной даек Туканского разреза, которые в среднем меньше кларковых в 1.5–3.3 раз. Отношение Zr/Y сходно в западной и восточной дайках и варьирует от 3.7 до 4.9.

На классификационной диаграмме SiO_2 — $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (TAS-диаграмма) все фигуративные точки химического состава изученных интрузивных пород попадают в поле габбро нормальной щелочности и образуют довольно компактный кластер, который несколько тяготеет к области низкощелочных габбро (рис. 2а, б).

На различных дискриминантных диаграммах (рис. 3а — в) фигуративные точки средних составов габбро западной и восточной даек Туканского разреза имеют сходное расположение и отвечают толеитовой петрохимической серии, попадая в поля толеитов океанских рифтов и островных дуг. На диаграмме $\text{Mg}\#$ — TiO_2 (рис. 4а) фигуративные точки пород западной дайки занимают область, характерную для типичных габбродолеритов юрматауского комплекса. В то же время для восточной дайки они отклоняются от этой области и тяготеют к оси абсцисс. На дискриминационной диаграмме $\text{Ti}/1000$ — V (см. рис. 4б) фигуративные точки пород западной дайки Туканского разреза также как и дайки на р. Мал. Инзер с возрастом 403 ± 17 млн лет [Эрнст и др., 2008] преимущественно группируются в полях базальтов океанских рифтов, задуговых спрединговых бассейнов и континенталь-

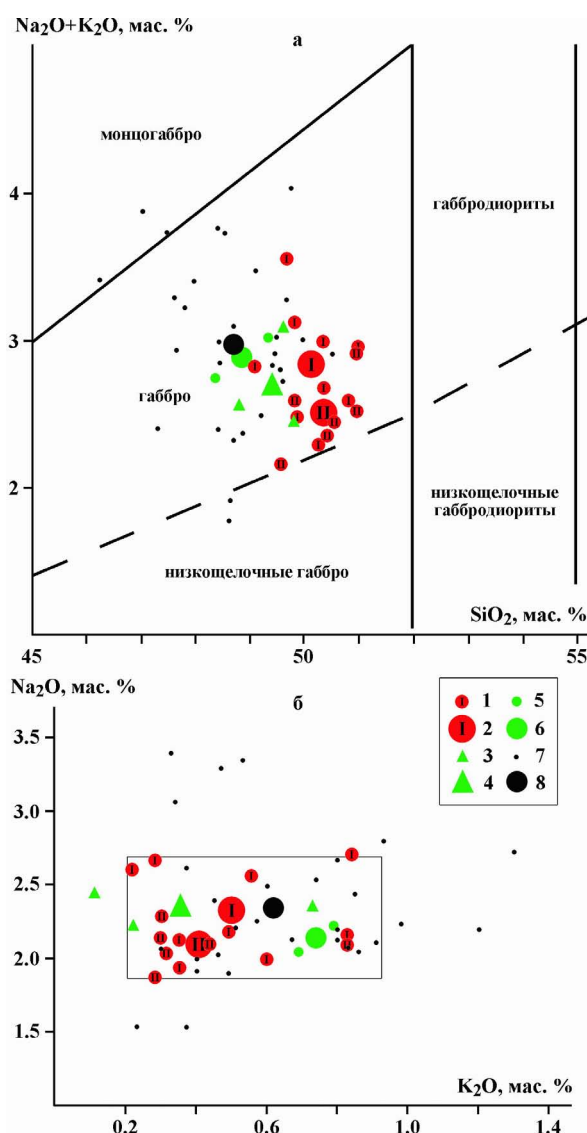


Рис. 2. Габбро Туканского разреза и габбродолериты палеозойского юрматауского комплекса на дискриминантных диаграммах SiO_2 — $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (а) и K_2O — Na_2O (б), по [LeBas et al., 1986]

Условные обозначения: Здесь и на рисунках 3 и 4: 1–2 — настоящая статья (таблицы 1 и 2): 1 — состав образцов габбро Туканского разреза, дайки: I — западная; II — восточная; 2 — средний состав западной (I) и восточной (II) даек; 3–8 — палеозойский юрматауский габбродолеритовый комплекс: 3–4 — дайка на р. Мал. Инзер (см. рис. 1а) с Ar-Ar возрастом 403 ± 17 млн лет [Ernst et al., 2006; Эрнст и др., 2008]: 3 — состав образцов габбро EQ03-22-01, EQ03-23-01, EQ03-23-02; 4 — средний состав; 5–6 — дайка на водоразделе рек Бол. Авзян и Кара-Елга севернее высоты 614.9 м с K-Ar возрастом 390 млн лет [Алексеев, 1984]; 5 — состав образцов долеритов А-9819 и А-12795; 6 — средний состав; 7–8 — по материалам Н. Н. Ларионова (Западно-Башкирская геологоразведочная экспедиция) и А. А. Алексеева (Северо-Восточная геологоразведочная экспедиция): 7 — состав отдельных образцов; 8 — средний состав габбродолеритов юрматауского комплекса с учетом данных по дайкам на р. Мал. Инзер и на водоразделе рек Бол. Авзян и Кара-Елга. Прямоугольником на части б выделена область типичных значений габбродолеритов юрматауского комплекса.

Fig. 2. Gabbro of the Tucan section and gabbrodolerites of the Paleozoic Jurmatau complex on discrimination diagrams SiO_2 — $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (a) and K_2O — Na_2O (б), according to [LeBas et al., 1986]

Legend: Here and in Figures 3 and 4: 1–2 is the present article (tabl. 1 and 2): 1 — composition of the gabbro samples of the Tucan section, dikes: I — western; II — eastern; 2 — average composition of western (I) and eastern (II) dikes; 3–8 — Paleozoic Jurmatau gabbrodolerite complex: 3–4 — dikes on the Inzer River (see Fig. 1a) with Ar-Ar age 403 ± 17 Ma [Ernst et al., 2006; Ernst et al., 2008]: 3 — composition of gabbro samples EQ03-22-01, EQ03-23-01, EQ03-23-02; 4 — average composition; 5–6 — dike on the watershed of the rivers B. Avzyan and Kara-Yelga north of an altitude of 614.9 m with a K-Ar age of 390 Ma [Alekseev, 1984]; 5 — composition of dolerite samples A-9819 and A-12795; 6 — average composition; 7–8 — based on materials by N. N. Larionov (West Bashkir Geological Exploration Expedition) and A. A. Alekseeva (Northeastern Geological Exploration Expedition): 7 — composition of individual samples; 8 — average composition of the Jurmatau complex gabbrodolerites, taking into account data on dikes on the Inzer River and on the watershed of the Avzyan and Kara-Yelga rivers. The rectangle in Figure b highlights the area of typical values of the gabbrodolerites of the Jurmatau complex.

ных рифтов, восточной — попадают в поле базальтов океанских рифтов и задуговых спрединговых бассейнов. Наблюдаемые отклонения фигуративных точек на указанных диаграммах связаны с несколько меньшим содержанием TiO_2 и V в габбро восточной дайки в сравнении с западной.

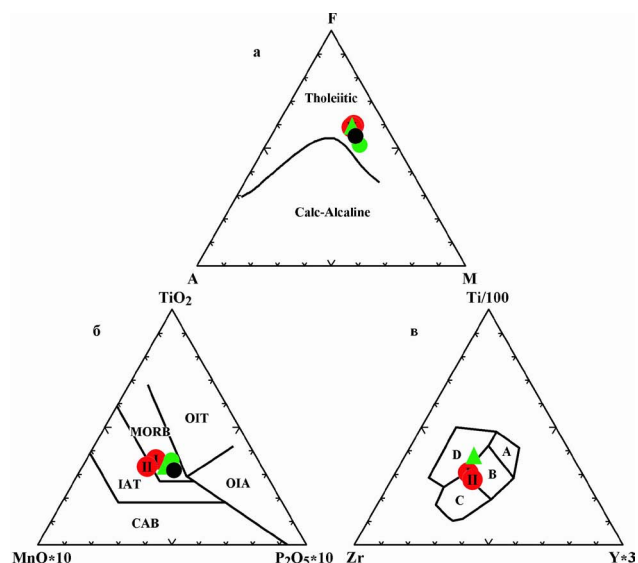


Рис. 3. Средние составы габбро Туканского разреза и габбродолеритов палеозойского юрматауского комплекса на дискриминантных диаграммах AFM [Irvine, Baragar, 1971] (а), $MnO \cdot 10 - TiO_2 - P_2O_5 \cdot 10$ [Mullen, 1983] (б), $Zr - Ti/100 - Y \cdot 3$ [Pearce, Cann, 1973] (в)

Условные обозначения: а: $A = Na_2O + K_2O$; $F = Fe_2O_3 \cdot 0.8998 + FeO$; $M = MgO$. Tholeiitic Calc-Alcaline — соответственно толеитовая и известково-щелочная петрохимические серии. б: OIT — толеиты океанических островов; MORB — толеиты океанских рифтов; IAT — толеиты островных дуг; OIA — щелочные базальты океанических островов или подводных хребтов; CAB — известково-щелочные базальты. в: А — толеиты океанских дуг; В — толеиты океанских рифтов, толеиты островных дуг и известково-щелочные базальты; С — известково-щелочные базальты; D — внутриплитные базальты. Остальные условные обозначения такие же, как на рис. 2.

Fig. 3. Average compositions of the Tucan section gabbro and gabbrodolerites of the Paleozoic Jurmatau complex on the AFM discrimination diagrams [Irvine, Baragar, 1971] (a), $MnO \cdot 10 - TiO_2 - P_2O_5 \cdot 10$ [Mullen, 1983] (б), $Zr - Ti/100 - Y \cdot 3$ [Pearce, Cann, 1973] (в)

Legend: a: $A = Na_2O + K_2O$; $F = Fe_2O_3 \cdot 0.8998 + FeO$; $M = MgO$. Tholeiitic Calc-Alcaline — respectively, tholeiitic and calc-alkaline petrochemical series.

б: OIT — tholeiites of oceanic islands; MORB — oceanic rift tholeiites; IAT — island arc tholeiites; OIA — alkaline basalts of oceanic islands or underwater ridges; CAB — calc-alkaline basalts. в: А — island arc tholeiites; В — oceanic rift tholeiites, island arc tholeiites, and calc-alkaline basalts; С — calc-alkaline basalts; D — intraplate basalts.

The other legends are the same as in Fig. 2.

Обсуждение результатов

Петрографические, минералогические и петрохимические особенности. К юрматаускому комплексу отнесены дайки меланократовых габбродолеритов (до мелкозернистого габбро) и долеритов (равнозернистых и порфирировых) мощностью от 10 до 50 м, протяженностью от 100 м

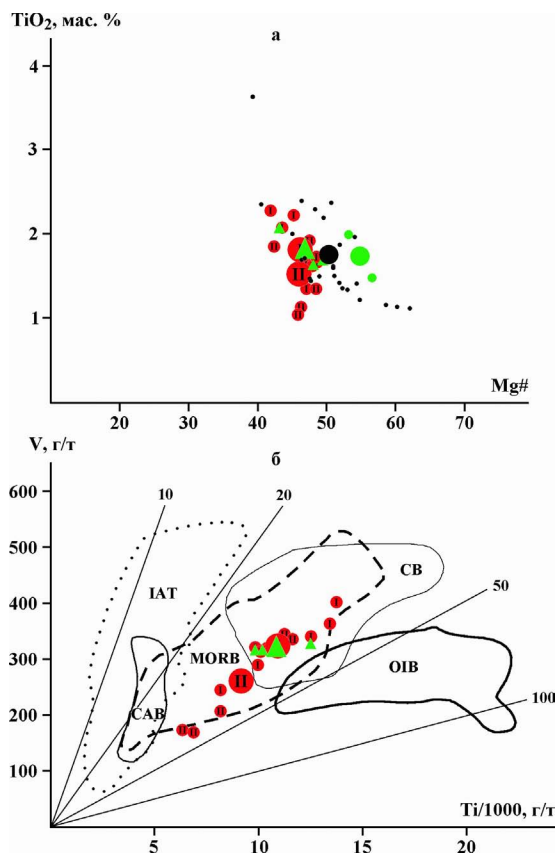


Рис. 4. Габбро Туканского разреза и габбродолериты палеозойского юрматауского комплекса на дискриминантных диаграммах $Mg\# - TiO_2$ (а) и $Ti/1000 - V$ [Shervais, 1982] (б)

Условные обозначения: а: $Mg\# = 100 \cdot Mg / (Fe + Mg)$.

б: IAT — толеиты островных дуг; CAB — известково-щелочные базальты; MORB — базальты океанских рифтов и задуговых спрединговых бассейнов; CB — базальты континентальных рифтов; OIB — базальты океанических островов и щелочные базальты.

Остальные условные обозначения такие же, как на рис. 2.

Fig. 4. Gabbro of the Tucan section and gabbrodolerites of the Paleozoic Jurmatau complex on the $Mg\# - TiO_2$ (a) and $Ti/1000 - V$ discrimination diagrams [Shervais, 1982] (б)

Legend: a: $Mg\# = 100 \cdot Mg / (Fe + Mg)$.

б: IAT — island arc tholeiites; CAB — calc-alkaline basalts; MORB — oceanic rifts basalts and back-arc spreading basins; CB — continental rifts basalts; OIB — oceanic islands basalts and alkaline basalts.

The other legends are the same as in Fig. 2.

до 12 км, имеющих симметрично-зональное строение [Ларионов и др., 2015]. Породы комплекса обычно тёмно-зелёные, массивные с габбропояркоофитовыми, пойкилоофитовыми и долеритовыми структурами. Главными минералами в них являются плагиоклаз (лабрадор-битовнит, битовнит) и клинопироксен (авгит), второстепенным — титаномагнетит. Из акцессорных минералов редко присутствует апатит. Согласно указанным исследователям, по химизму породы относятся к глиноземистым разностям с натриевым типом щелочности и занимают переходное положение между континентальными толеитами и базальтами нормального петрохимического ряда.

По данным проведенного исследования, в обеих дайках Туканского разреза петрохимические параметры очень близки между собой и вместе с тем соответствуют таковым в габбродолеритах палеозойского юрматаского комплекса (см. рис. 2–4 и табл. 3), что указывает на вероятное генетическое родство сравниваемых магматических пород. Установленные петрографические и минералогические особенности туканских габбро также сходны с аналогичными характеристиками габбродолеритов юрматаского комплекса.

Ранее в районе Туканского железорудного месторождения изучены [Куртукова и др., 2022] субвертикальные субмеридиональные дайки габбро мощностью до 15 м и протяженностью более 1 км, которые отнесены [Ларионов, Цветкова, 2003] к юрматаскому магматическому комплексу. Здесь они прорывают зигазино-комаровскую свиту среднего рифея, представленную переслаивающимися алевролитами и песчаниками, которые часто смяты в изоклиналильные опрокинутые и лежащие складки (см. рис. 1б). По данным авторов работы [Куртукова и др., 2022], интрузивные магматические породы в этом районе представлены средне-мелкокристаллическими габбро, с гипидиоморфнозернистой структурой и массивной текстурой, а в зонах эндоконтакта — мелкокристаллическими и афанитовыми разностями. По особенностям химического состава ($\text{SiO}_2 = 50.1$ мас. %, $\text{TiO}_2 = 1.92$ мас. %, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.22$ мас. %, $\text{K}_2\text{O} = 0.82\text{--}1.44$ мас. %, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1.68\text{--}2.94$, $f = 0.7$, $\text{La}_n/\text{Yb}_n = 2.38\text{--}2.96$) габбро отнесены к толеитовой серии.

По сравнению с габбродолеритами юрматаского комплекса (табл. 3, столбцы 4 и 5), а также с габбро, по которым концентрации K_2O и Na_2O указаны в предыдущем абзаце, в химическом составе габбро Туканского разреза наблюдается (см. рис. 2а) некоторое обеднение этими щелочами.

На диаграмме $\text{K}_2\text{O} — \text{Na}_2\text{O}$ (см. рис. 2б) фигуративные точки габбро восточной дайки смещены в область низких значений по содержанию калия и натрия, а западной — имеют большую дисперсию и занимают почти все поле типовых часто встречающихся значений габбродолеритов юрматаского комплекса. По-видимому, в туканских габбро при преобразованиях их первичного состава происходил слабый вынос Na и K, как наиболее подвижных петрогенных элементов. Изменения выразились в первую очередь на уменьшении в габбро концентраций калия, которые в обеих дайках зонально снижаются с запада на восток (табл. 1 и 2) и, кроме того, в западной дайке — от центра к краевым частям. Аналогично, но с большей дисперсией ведут себя значения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (табл. 1 и 2). О вторичных преобразованиях даек Туканского разреза, более проявленных в восточной дайке по сравнению с западной, возможно, свидетельствуют и данные по распределению в габбро Ti и V, приводимые на рис. 4а, 4б.

Геохимические особенности. Габбро Туканского разреза также как и палеозойское габбро на р. Мал. Инзер (см. рис. 1а) [Эрнст и др., 2008; Ernst et al., 2006] сходны между собой не только по распределению петрогенных оксидов, но и микроэлементов (табл. 3). В частности, сравниваемые габбро характеризуются близкими значениями отношения Zr/Y .

Габбродолериты юрматаского комплекса из микроэлементов характеризуются только вышекларковыми концентрациями Cu [Ernst et al., 2006; Ларионов и др., 2015], что согласуется с результатами по габбро Туканского разреза (табл. 3). В этой связи надо сказать, что в Юрматаском антиклинории В. В. Радченко с соавторами (материалы Западно-Башкирской геологоразведочной экспедиции) в песчаниках кужинской свиты среднего рифея в районе горы Акташ ранее обнаружено несколько проявлений меди с содержанием Cu до 6.17 мас. % (в среднем 0.25–1.0 мас. %), пространственно связанных с дайкой габбродолеритов, относимой к юрматаскому комплексу [Ларионов, Цветкова, 2003]. Однако эти интрузивные породы по ряду петрогеохимических особенностей отличаются от юрматаских и более соответствуют габбродолеритам верхнерифейского инзерского комплекса [Мичурин и др., 2020]. Кроме того, на горе Акташ они имеют более сложное строение с развитием магматических брекчий неясного генезиса и пространственной ассоциацией с диоритами [Мичурин, Шарипова, 2022]. Пока оста-

Таблица 3. Средний химический состав (мас. %), среднее содержание редких элементов (г/т) и средние значения некоторых петро- и геохимических модулей в габбро Туканского разреза и в габбродолеритах палеозойского юрматауского комплекса
Table 3. Average chemical composition (wt. %), average trace element contents (ppm), and average values of selected petrochemical and geochemical parameters in gabbro from the Tukan section and gabbrodolerites of the Paleozoic Yurmatau complex

Оксид, элемент, модуль	1	2	3	4	5
	n = 9	n = 6	n = 3	n = 2	n = 29
SiO ₂	50.11 ± 0.59	50.35 ± 0.58	49.38 ± 0.53	48.83 ± 0.67	48.61 ± 0.97
TiO ₂	1.82 ± 0.31	1.52 ± 0.39	1.80 ± 0.24	1.74 ± 0.37	1.76 ± 0.53
Al ₂ O ₃	13.27 ± 0.48	13.30 ± 0.40	13.35 ± 0.77	15.65 ± 0.21	14.12 ± 0.85
Fe ₂ O ₃	4.23 ± 1.29	5.22 ± 0.79	13.75 ± 0.94	4.01 ± 1.46	4.00 ± 1.08
FeO	9.21 ± 1.08	7.98 ± 0.65	—	7.08 ± 1.06	8.61 ± 1.14
MnO	0.19 ± 0.02	0.19 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.16 ± 0.04	0.19 ± 0.03
MgO	6.29 ± 0.46	6.09 ± 0.51	6.11 ± 0.47	7.30 ± 0.53	6.96 ± 1.02
CaO	8.21 ± 1.78	9.64 ± 0.28	10.24 ± 1.65	9.95 ± 0.05	10.07 ± 1.23
Na ₂ O	2.33 ± 0.31	2.09 ± 0.14	2.35 ± 0.11	2.14 ± 0.13	2.36 ± 0.48
K ₂ O	0.50 ± 0.23	0.41 ± 0.21	0.35 ± 0.33	0.74 ± 0.07	0.64 ± 0.28
P ₂ O ₅	0.13 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.17 ± 0.11	0.21 ± 0.13
SO ₂	0.05 ± 0.03	0.04 ± 0.01	—	—	—
ППП	2.79 ± 1.39	2.29 ± 0.83	1.61 ± 1.01	1.97 ± 0.01	2.29 ± 0.74
Сумма	99.13 ± 0.13	99.23 ± 0.28	99.32 ± 0.17	99.69 ± 0.25	99.81 ± 0.15
Li	40.1 ± 16.2	33.8 ± 12.3	—	—	—
F	258.4 ± 186.7	270.0 ± 52.3	—	—	—
Cl	181.1 ± 40.3	216.9 ± 55.1	—	—	—
Sc	43.0 ± 2.6	44.0 ± 1.4	—	—	—
V	324.5 ± 44.1	260.8 ± 85.3	320.0 ± 6.9	—	233.0*
Cr	103.0 ± 30.5	108.1 ± 30.9	140.3 ± 38.4	—	159.2*
Co	46.4 ± 4.8	43.6 ± 3.6	45.7 ± 0.6	—	35.8*
Ni	93.4 ± 9.3	114.2 ± 11.2	84 ± 10.6	—	57.5*
Cu	176.9 ± 24.5	183.1 ± 14.2	152.3 ± 7.4	—	154.0*
Zn	150.5 ± 65.9	121.5 ± 12.6	107.7 ± 11.6	—	93.3*
Rb	14.9 ± 7.7	9.5 ± 4.8	10.7 ± 9.6	—	—
Sr	183.2 ± 67.9	186.8 ± 13.0	175.0 ± 7.5	—	168.0*
Y	32.1 ± 2.1	32.5 ± 0.5	26.0 ± 2.6	—	—
Zr	150.7 ± 15.3	139.7 ± 15.7	105.3 ± 17.0	—	—
Ba	145.3 ± 48.6	246.0 ± 79.1	121.7 ± 76.7	—	150.0*
Pb	2.5 ± 2.5	3.1 ± 3.4	4.3 ± 3.8	—	2.6*
Na ₂ O + K ₂ O	2.50 ± 0.26	2.83 ± 0.38	2.70 ± 0.34	2.88 ± 0.20	3.02 ± 0.56
Na ₂ O/K ₂ O	5.92 ± 1.89	5.71 ± 3.14	11.88 ± 9.64	2.90 ± 0.10	4.33 ± 2.13
al'	0.67 ± 0.05	0.69 ± 0.04	0.67 ± 0.06	0.85 ± 0.02	0.73 ± 0.08
f	67.42 ± 2.04	67.60 ± 1.83	66.89 ± 2.87	59.44 ± 2.33	63.54 ± 4.71
Mg#	46.05 ± 2.09	46.25 ± 2.33	46.84 ± 3.26	54.86 ± 2.40	50.42 ± 4.96
Zr/Y	4.7 ± 0.3	4.3 ± 0.5	4.0 ± 0.3	—	—

Примечание. 1–2 — настоящая статья (таблицы 1 и 2), дайки: 1 — западная; 2 — восточная; 3–5 — палеозойский юрматауский габбродолеритовый комплекс: 3 — дайка на р. Мал. Инзер (см. рис. 1 а) с Ar-Ar возрастом 403±17 млн лет [Ernst et al., 2006; Эрнст и др., 2008]; 4 — дайка на водоразделе рек Б. Авзян и Кара-Елга севернее высоты 614.9 м с K-Ar возрастом 390 млн лет [Алексеев, 1984]; 5 — данные Н. Н. Ларионова (Западно-Башкирская геологоразведочная экспедиция) и А. А. Алексеева (Северо-Восточная геологоразведочная экспедиция); Звездочкой отмечены значения полуколичественного спектрального анализа по материалам А. А. Алексеева. Прочерк — нет данных.

Note. 1–2 — present article (tabl. 1 and 2), dikes: 1 — western; 2 — eastern; 3–5 — Paleozoic Yurmatau gabbrodolerite complex: 3 — dike on the Mal. Inzer River (see Fig. 1a) with an Ar-Ar age of 403±17 Ma [Ernst et al., 2006; Ernst et al., 2008]; 4 — a dike in the watershed of the B. Avzyan and Kara-Yelga rivers north of an altitude of 614.9 m with a K-Ar age of 390 Ma [Alekseev, 1984]; 5 — data from N. N. Larionov (West Bashkir Geological Exploration Expedition) and A. A. Alekseev (North-Eastern Geological Exploration Expedition); The values of semiquantitative spectral analysis based on A. A. Alekseev's materials are marked with an asterisk. Dash — no data available.

ется не совсем понятным, с магматическими породами какого возраста связаны проявления меди на Западно-Акташской площади.

Важно отметить одну из геохимических особенностей габбро Туканского разреза, а именно их обогащение Li, в среднем превышающее кларк для базальтов [Turekian, Wedepohl, 1961] в 2–2.4 раза. Это может представлять интерес, поскольку юрматаские габбродолериты иногда пространственно ассоциируют с зонами Li-обогащения рифейских отложений Башкирского мегантиклинория. В Юрматаском антиклинории Кужинское барит-полиметаллическое месторождение расположено на простирации даек габбродолеритов рассматриваемого комплекса, а вмещающие осадочные породы месторождения содержат Li до 300 г/т [Широбокова, 1992]. В Ямантауском антиклинории в Суранском селлаит-флюоритовом месторождении, наряду с интрузивными породами средне-рифейского повальненского комплекса, выделяют палеозойские габбродолериты юрматаского комплекса [Ларионов, Цветкова, 2003]. На месторождении обнаружен Li-минерал криолитионит, который в рудах изредка содержится до 7 мас. % [Бигнов и др., 2001]. Однако относительно времени формирования даек интрузивных пород в Суранском месторождении существуют разные представления: ряд исследователей считают его поздне-рифейским [Настасиенко, Сомов, 1991; Мичурин, Шарипова, 2022], другие принимают вендским [Куртукова и др., 2022; Самигуллин и др., 2024]. Поэтому приведенные примеры позволяют только в какой-то степени рассматривать магматические образования юрматаского комплекса в качестве одного из возможных источников лития, что, безусловно, требует дополнительного изучения и подтверждения или опровержения этого предположения.

Ранее обращено внимание [Ernst et al, 2006], что фигуративные точки габбро, секущих отложения верхнего рифея на р. Мал. Инзер, на многих геохимических диаграммах обособляются от вендских габбродолеритов Башкирского мегантиклинория и, напротив, образуют сходные кластеры со средне-рифейскими магматическими породами. Полученные нами данные показывают, что габбро Туканского разреза довольно уверенно отличаются от магматических образований средне-рифейских комплексов мегантиклинория повышенными содержаниями Li и низкими — Rb, а также отсутствием положительной связи между концентрациями этих элементов (рис. 5).

В породах средне-рифейских магматических комплексов Башкирского мегантиклинория преимущественно фиксируется прямая связь Li с Rb (см. рис. 5), что, вероятнее всего, следует рассматривать как вхождение Li в основном в биотит [Султанова, Мичурин, 2024]. Известно [Григорьев, 2009], что в магматических породах главными минералами-концентраторами лития являются биотит, амфибол, плагиоклаз, мусковит, в меньшей степени — кварц и калиевый полевой шпат. Отсутствие связи Li и Rb в туканских габбро указывает на то, что в них увеличение лития не связано с ростом количества Rb-содержащих минералов (биотита, мусковита, калиевого полевого шпата). Это подтверждается и нашими наблюдениями: в габбро Туканского разреза биотит и мусковит редко встречаются, а калиевый полевой шпат не обнаружен. Из рассмотрения можно ис-

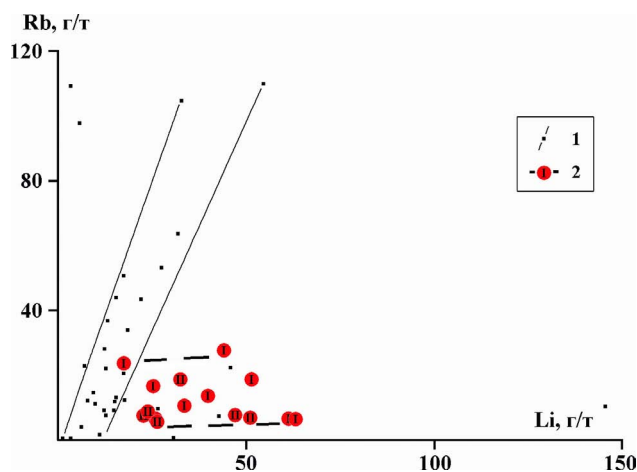


Рис. 5. Диаграмма Li — Rb для средне-рифейских магматических комплексов Башкирского мегантиклинория и габбро Туканского разреза

Условные обозначения: 1 — фигуративные точки средне-рифейских магматических комплексов Навышского, Юшинского, Шатакского, нерасчлененных Повальненского и Кургасского, Кусинско-Копанского, Лапыштинского, Шуйдинского (по [Султанова, Мичурин, 2024]); линиями выделена область, отражающая генеральную зависимость между содержаниями Li и Rb.

2 — дайки Туканского разреза: I — западная; II — восточная; штриховой линией показана область распространения фигуративных точек.

Fig. 5. Li — Rb diagram for the Middle Riphean magmatic complexes of the Bashkirian megantyclinorium and the gabbro of the Tucan section

Legend: 1 — figurative points of the Middle Riphean magmatic complexes of Navysh, Yusha, Shatak, undifferentiated Povalnensky and Kurgas, Kusinsko-Kopansk, Lapyshsta, Shuida (according to [Sultanova, Michurin, 2024]); the lines indicate the area reflecting the general dependence between the contents of Li and Rb.

2 — dikes of the Tucan section: I — western; II — eastern; the dashed line shows the area of the data points.

ключить также мало встречающийся в этих породах кварц. В туканских габбро наиболее сильные положительные корреляции Li фиксируются только с ППП и Na_2O . Это позволяет предположить, что литий в интрузивных породах разреза связан главным образом с хлоритом и, возможно, частично с плагиоклазом. Подтверждением сказанному, на наш взгляд, являются слабые связи Li с Fe: положительная с трех- и отрицательная с его двухвалентной формой (рис. 6а, б).

Возраст юрматаского комплекса. Геохронологическое изучение циркона U/Pb методом (SHRIMP II) из дайки габбро в районе Туканского месторождения дало большой разброс его возрастных значений в диапазоне 963–1500 млн лет, что, по мнению авторов работы [Куртукова и др., 2022], не характеризует время формирования интрузии и говорит лишь о ксеногенной природе изученных магматических минералов.

Ю. Г. Князевым с соавторами [2013] упоминается, что по циркону из двух даек габбро в Башкирском мегантиклинории получены изохроны 284 ± 2 и 292 ± 2 млн лет, в связи с чем на геологической карте масштаба 1:1000000 юрматаский комплекс переименован в ямантауский комплекс раннепермского возраста. Однако названными исследователями не приводятся изохроны, не указывается, в какой петротипической местности располагаются изученные дайки и каким методом определен их возраст.

По данным Н. Н. Ларионова с соавторами [2015], K-Ar датировки пород юрматаского комплекса имеют широкий разброс значений от 390 до 530 млн лет и по аналогии со сходными образованиями лыпинского комплекса более северных районов Иргизлино-Карской подзоны его возраст условно принят раннедевонским. Этот вывод подтверждается Ar-Ar определениями 403 ± 17 млн лет дайки габбро на р. Мал. Инзер (см. рис. 1а) [Эрнст и др., 2008] и возрастaми 363.2 ± 5.4 и 404.2 ± 8.7 млн лет дайки долеритов на р. Мал. Толпар в Алатауском антиклинории, определенных таким же методом [Puchkov et al., 2016].

Геодинамическая природа юрматаского комплекса. Дайку габбро, прорывающую отложения инзерской свиты на р. Мал. Инзер (см. рис. 1а), В. Н. Пучков [2018] относит к девонским дайкам и вулканитам окраины Кольско-Днепровского суперплюма, который проявился 390–370 млн лет назад не только на одноименной территории [Ernst, Bell, 2010; Арзамасцев и др., 2017; Юткина и др., 2024], но и охватывал Якутско-Виллюйскую про-

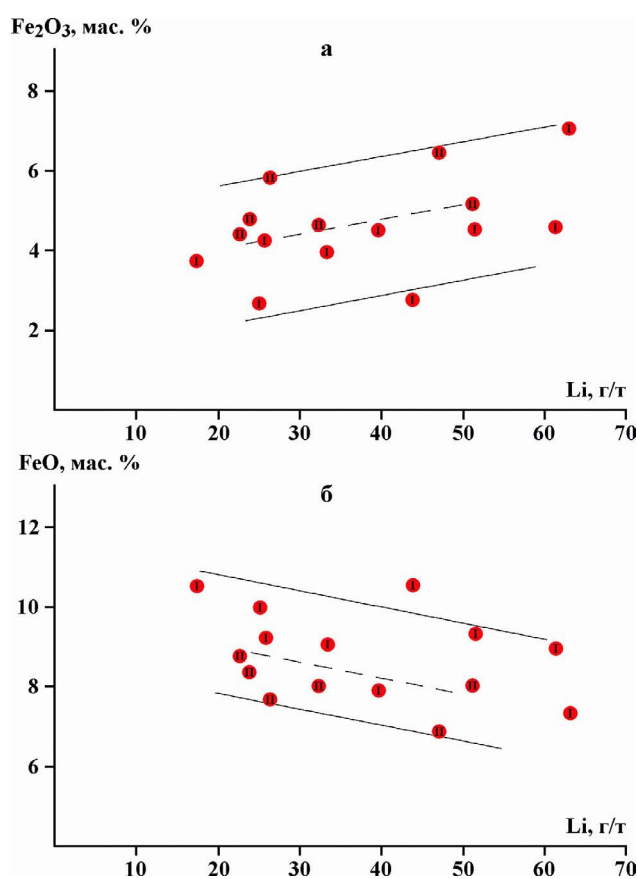


Рис. 6. Диаграммы Li — Fe_2O_3 (а) и Li — FeO (б) для габбро Туканского разреза

Условные обозначения: I — западная дайка; II — восточная дайка; сплошными линиями показаны генеральные зависимости между содержаниями Fe_2O_3 , FeO и Li в габбро, штриховой линией — граница между кластерами фигуративных точек западной и восточной даек.

Fig. 6. Diagrams of Li — Fe_2O_3 (a) and Li — FeO (b) for the gabbro of the Tucan section

Legend: I — western dike; II — eastern dike; solid lines show the general relationships between the contents of Fe_2O_3 , FeO and Li in the gabbro, the dashed line is the boundary between the clusters of figurative points of the western and eastern dikes.

винцию. По данным В. Н. Пучкова с соавторами [Пучков, 2012, 2018; Puchkov et al., 2016], в Урало-Новоземельской складчатой области присутствуют три девонских дайковых роя и связанных с ними эффузивов. Первый из этих роев, наиболее протяженный из всех уральских, субмеридионально тянется на более чем 2000 км в пределах пассивной окраины Восточно-Европейской платформы и связан с несколькими пульсами магматизма (в том числе с верхнедевонским). Второй северо-западного простирания выявляется на Пай-Хое. Третий широко представлен на Новой Земле. Все эти магматические проявления на период их фор-

мирования принадлежали восточному флангу Кольско-Днепровской крупной изверженной/магматической провинции предположительно с двумя центрами суперплюмовой активности (в районе Каспия и в Баренцевом море) [Арзамасцев и др., 2017; Пучков, 2018].

Более того, корреляция проявлений Кольско-Днепровского и Якутско-Вилуйского суперплюмов, максимум активности которых проявился в верхнем девоне, позволяет исследователям [Puchkov et al., 2016] оконтурить еще более крупную область активной девонской зоны в пределах проекции суперсвелла Тузо (Африканского) на земную поверхность. Однако геодинамические модели возникновения и эволюции девонского магматизма в целом на Восточно-Европейской платформе до сих пор остаются дискуссионными [Юткина и др., 2024 и ссылки в этой работе]. В частности, для Башкирского мегантиклинория высказаны сомнения [Ernst et al, 2006] относительно связи плюмовых процессов и образования дайки на р. Мал. Инзер (см. рис. 1а), для которой наблюдается истощенный источник с незначительными добавками вторичной переработки и обогащения. На юге Восточно-Европейской платформы магматизм этого времени мог быть инициирован не только расширением из-за подъема плюма, но и сжатием, связанным с процессами субдукции или коллизии вдоль краев кратонов [Юткина и др., 2024]. В то же время ряд исследователей считает [Ernst et al, 2006], что прорывающая на р. Мал. Инзер (см. рис. 1а) девонская дайка находится в пределах континентальной плиты и ее образование связано с событием, которое не несет признаков субдукции. Подмечено, что габброиды в районе Туканского месторождения являются секущими по отношению к лежащим и опрокинутым складкам, ориентировка и морфология которых близки к таковым в складках, наблюдаемым в ордовикских комплексах на востоке мегантиклинория [Куртукова и др., 2022]. Поэтому авторы названной работы считают, что эти деформации происходили в позднем палеозое и связывают их с межконтинентальной коллизией. Приведенные материалы показывают неоднозначность представлений о геодинамической природе проявлений палеозойского магматизма Башкирского мегантиклинория и диктуют необходимость их дальнейшего изучения.

Заключение

По петрогеохимическим параметрам габбро западной и восточной даек, секущих породы авзянской свиты среднего рифея в районе пос. Тукан, соответствуют габбродолеритам палеозойского юрматауского комплекса Башкирского мегантиклинория, что указывает на их вероятное генетическое родство. Изученные интрузивные породы отвечают толеитовой петрохимической серии и относятся к натриевому и натриево-калиевому типу щелочности. Вместе с тем в них фиксируется слабый вынос подвижных щелочных элементов, что говорит о вторичных преобразованиях, которые привели в первую очередь к уменьшению в габбро концентраций калия. Их снижение происходит зонально в обеих дайках с запада на восток, в западной дайке — от центра к краевым частям. В этих же направлениях наблюдается резкое увеличение отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$.

В габбро Туканского разреза устанавливаются высокие содержания Cl , Li и Cu , которые в среднем превышают кларк в 2.0–3.6 раз. При дальнейших исследованиях следует заострить внимание на возможной пространственной и генетической связи даек юрматауского комплекса с проявлениями меди во вмещающих осадочных породах Башкирского мегантиклинория.

Обогащение Li интрузивных пород Туканского разреза установлено нами впервые. Как породы палеозойского юрматауского комплекса они довольно уверенно отличаются от среднерифейских магматических образований Башкирского мегантиклинория повышенными содержаниями Li и низкими — Rb , а также отсутствием положительной связи между концентрациями этих элементов. Предполагается, что литий в интрузивных породах разреза связан главным образом с хлоритом и, возможно, частично с плагиоклазом. Юрматауские габбродолериты иногда пространственно ассоциируют с зонами Li -обогащения рифейских отложений Башкирского мегантиклинория и с целью уточнения этой связи необходимо продолжить исследования в данном направлении.

Геохронологические данные по магматическим породам юрматауского комплекса в настоящее время скудны и иногда противоречивы. Взгляды на геодинамические модели возникновения и эволюции девонского магматизма не совсем однозначны. В целом это говорит о недостаточной изученности палеозойских магматических проявлений Башкирского мегантиклинория.

Список литературы

Алексеев А. А. О некоторых проблемных вопросах геологии позднего докембрия западного склона Урала в связи с изучением магматизма и метаморфизма // Геология докембрия Южного Урала и востока Русской плиты. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990. С. 5–19.

Алексеев А. А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 1984. 136 с.

Алексеев А. А., Швецов П. Н., Алексеева Г. В. Палеозойский трапповый магматизм Башкирского мегантиклинория // Минералого-геохимические особенности рудоносных комплексов Южного Урала. Уфа: БФАН СССР, 1982. С. 70–76.

Алексеев А. А. Позднедокембрийский магматизм западного склона Южного Урала (краткий обзор истории исследований, итогов изучения и проблемных вопросов) // Геологический сборник №2. Информационные материалы. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2001. С. 123–132.

Арзамасцев А. А., Веселовский Р. В., Травин А. В., Юдин Д. С., Беляцкий Б. В. Палеозойский толеитовый магматизм в Кольской провинции: ареал распространения, возраст, связь со щелочным магматизмом // Петрология. 2017. Т. 25. №1. С. 46–70. DOI: 10.7868/S0869590316060029

Бигнов Р. И., Макушин А. А., Казаков И. И., Чебан С. Г. Роль глубинной структуры в размещении нефтегазовых, рудных месторождений и новых перспективных зон Республики Башкортостан // Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий. Материалы IV Республиканской геологической конференции. Т. 2. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2001. С. 3–26.

Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 383 с.

Карамова А. М., Казбулатова Г. М., Мичурин С. В., Захарова А. Г. Фотометрический метод определения фтора в горных породах посредством образования ализарин-комплексоната фторида лантана // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26. №1. С. 42–47.

Князев Ю. Г., Князева О. Ю., Сначев В. И., Жданов А. В., Каримов Т. Р., Айдаров Э. М., Масагутов Р. Х., Арсланова Э. Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-40 — Уфа. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 512 с.

Ковалев С. Г. Ранне-среднерифейский магматизм западного склона Южного Урала: современное состояние проблемы // Магматизм и метаморфизм в истории Земли. Материалы XI Всероссийского петрографического совещания. Т. 1. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. С. 307–308.

Ковалев С. Г., Высоцкий С. И., Ковалев С. С. Петрогеохимия магматических комплексов западного склона Южного Урала и востока Восточно-Европейской платформы // Геологический сборник. 2015. №12. С. 117–137.

Краснобаев А. А., Пучков В. Н., Сергеева Н. Д., Бушарина С. В. Полихронные цирконы вулканитов Навышского

комплекса айской свиты нижнего рифея (Южный Урал) // Георесурсы. 2020. Т. 22. №4. С. 101–112.

Куртукова А. И., Рязанцев А. В., Голионко Б. Г., Травин А. В. Вендские и позднепалеозойские связанные с плюмовой активностью габброидные интрузии в структуре Башкирского мегантиклинория: новые данные о структурном положении и возрасте (U-Pb SIMS, ³⁹Ar/⁴⁰Ar) // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2022 (Т. 1). Материалы LIII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2022. С. 254–258.

Ларионов Н. Н., Цветкова А. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Южно-Уральская серия. N-40-XXII (Тукан). Санкт-Петербург: МПР РФ, 2003.

Ларионов Н. Н., Бергазов И. Р., Грановская Н. В., Низматуллина А. М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII (Тукан). Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 248 с.

Мичурин С. В., Калистратова Е. О., Султанова А. Г., Казбулатова Г. М. Фтор в породах Западно-Акташской рудной зоны (Южный Урал) // Геологический вестник. 2020. №2. С. 54–71. DOI: 10.31084/2619–0087/2020-2-5

Мичурин С. В., Крупенин М. Т., Шиянова Е. О., Савельев Д. Е., Горожанин В. М., Дуб С. А., Казбулатова Г. М., Шарипова А. А., Ахмедова Р. Р. Разрез тюльменской под-свиты авзянской свиты среднего рифея (хр. Белягуш, Южный Урал): геология, стратиграфия, магматические образования // Геологический вестник. 2022. №3. С. 16–33. DOI: 10.31084/2619–0087/2022-3-2

Мичурин С. В., Шарипова А. А. Первые находки медистого золота в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория (Южный Урал) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2022. №3. С. 52–65. DOI: 10.17308/geology/1609–0691/2022/3/52–65

Мусина А. М., Мичурин С. В. Определение элементного состава методом ИСП-АЭС при разложении горных пород открытым способом // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. Материалы IV Всероссийской молодежной геологической конференции. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2016. С. 39–44.

Настасиенко Е. В., Сомов М. М. Структурная позиция флюоритового оруденения Западно-Уральского региона и условия локализации рудных тел // Условия локализации сурьмяно-ртутного и флюоритового оруденения в рудных полях. Новосибирск: Наука, 1991. С. 141–148.

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.

Пучков В. Н. Дайковые рои Урала и ассоциирующие с ними магматические комплексы // Геотектоника. 2012. №1. С. 42–52.

Пучков В. Н. Плюмы — новое слово в геологии Урала // Литосфера. 2018. Т. 18. №4. С. 483–499.

- Пучков В. Н., Козлов В. И., Краснобаев А. А. Палеозойские U-Pb SHRIMP-датировки магматических пород Башкирского антиклинория по цирконам // Геологический сборник №9. Информационные материалы. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2011. С. 36–43.
- Радченко В. В., Казаков Р. С. Особенности геологического строения западного крыла Башкирского мегантиклинория (в пределах Кузюлинско-Зилимской мегасинклинали) в связи с рудоносностью // Геология докембрия Южного Урала. Уфа: БФАН СССР, 1980. С. 3–8.
- Салихов Д. Н., Холоднов В. В., Пучков В. Н., Рахимов И. Р. Субдукция, коллизия и плюмы в эпоху позднепалеозойского магматизма Магнитогорской зоны Южного Урала // Литосфера. 2019. Т. 19. №2. С. 191–208.
- Самигуллин А. А., Савельев Д. Е. Минералого-петрохимические особенности габбро-долеритов криволюкского комплекса // Вестник геонаук. 2023. №1 (337). С. 30–41.
- Самигуллин А. А., Савельев Д. Е., Васильев А. М., Никонов В. Н. Петрохимические и минералогические особенности габбро-долеритов Суранского флюоритового месторождения (Южный Урал) // Геологический вестник. 2024. №1. С. 76–90. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2024-1-6>
- Смирнов Ю. Д., Боровко Н. Г., Вербицкая Н. П., Румянцева Н. А., Бекасова Н. Б., Горский В. П., Евдокимов Ю. Б., Лукьянова Л. И. Геология и палеогеография западного склона Урала. Л.: Недра, 1977. 199 с.
- Султанова А. Г., Мичурин С. В. Некоторые вопросы геохимии лития и его распределение в рифейских породах Южного Урала // Геологический вестник. 2024. №2. С. 65–80. <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2024-2-6>
- Холоднов В. В., Феритатер Г. Б., Шагалов Е. С., Шардакова Г. Ю. Рифейский магматизм и рудообразование, предшествующее раскрытию Уральского палеоокеана (западный склон Южного Урала) // Литосфера. 2017. Т. 17. №2. С. 5–26.
- Хотылев А. О., Тевелев А. В., Бычкова Я. В., Латышев А. В., Аносова М. Б. Мезопротерозойский базитовый магматизм Башкирского мегантиклинория (Южный Урал): возрастные ограничения, петрологические и геохимические особенности // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11. №2. С. 219–243. DOI: 10.5800/GT-2020-11-2-0471
- Швецов П. Н., Краев Ю. П., Шумихин Е. А., Ямаев Ф. А. Магматические формации Центрально-Уральского поднятия (в пределах Башкирии) // Магматизм, метаморфизм, металлогения западного склона Южного Урала. Уфа: БФАН СССР, 1976. С. 23–31.
- Широбокова Т. И. Стратиформное полиметаллическое и баритовое оруденение Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 143 с.
- Эрст Р. Э., Хейнс Дж. А., Пучков В. Н., Округин А. В., Арчибалд Д. А. Рекогносцировочное Ar-Ar датирование протерозойских долеритовых даек и силлов в Сибири и на Южном Урале: идентификация новых крупных магматических провинций и использование при реконструкции суперконтинента Нуна (Колумбия) // Материалы ХLI Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2008. С. 320–321.
- Юткина Е. В., Каргин А. В., Носова А. А., Кузьменкова О. Ф., Сазонова Л. В., Кондрашов И. А. Палеозойский внутриплитный магматизм Восточно-Европейской платформы: сравнительный анализ Припятско-Днепровско-Донецкой рифтовой зоны и Кола-Архангельской провинции // Геодинамика и тектонофизика. 2024. Т. 15. №5. С. 1–17. DOI: 10.5800/GT-2024-15-5-0788
- Яковлев Г. Б. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Южно-Уральская. N-40-XVI. Министерство геологии и охраны недр, 1961.
- Ernst R. E., Bell K. Large igneous provinces (LIPs) and carbonatites // Mineralogy and Petrology. 2010. V. 98. P. 55–76. <https://doi.org/10.1007/s00710-009-0074-1>
- Ernst R. E., Pease V., Puchkov V. N., Kozlov V. I., Sergeeva N. D., Hamilton M. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник №5. Информационные материалы. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2006. С. 119–161.
- Irvine T. N., Baragar W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canadian Journal of Earth Sciences. 1971. V. 8. P. 523–548.
- LeBas M. J., LeMaitre R. W., Streckeisen A., Zanettin B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram // Journal of Petrology. 1986. V. 27. P. 745–750.
- Mullen E. D. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis // Earth and Planetary Science Letters. 1983. V. 62. №1. P. 53–62. DOI: 10.1016/0012-821x(83)90070-5
- Pearce J. A., Cann J. R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses // Earth and Planetary Science Letters. 1973. V. 19. P. 290–300.
- Puchkov V. N., Ernst R. E., Hamilton M. A., Söderlund U., Sergeeva N. D. Devonian >2000-km long dolerite swarm belt and associated basalts along the Urals-Novozemelian fold-belt: part of an East-European (Baltica) LIP tracing the Tuzo Superswell // GFF J. 2016. V. 138. №1. P. 6–16. DOI: 10.1080/11035897
- Shervais J. W. Ti-V plots and petrogenesis of modern and ophiolitic lavas // Earth and Planetary Science Letters. 1982. V. 59. №1. P. 101–118. DOI: 10.1016/0012-821X(82)90120-0
- Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America Bulletin. 1961. V. 72. P. 175–192. DOI: 10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2

References

Alekseev A. A. (1990) On some problematic issues on Late Precambrian geology of the western slope of the Urals in connection with the study of magmatism and metamorphism. Precambrian Geology of the Southern Urals and eastern Russian Plate. Ufa: BSC UB AS USSR Publ. 5–19. (In Russian).

- Alekseev A. A. (1984) Riphean-Vendian magmatism of the western slope of the Southern Urals. Moscow: Nauka Publ. 136 p. (In Russian).
- Alekseev A. A., Shvetsov P. N., Alekseeva G. V. (1982) Paleozoic trap magmatism of the Bashkirian meganticlinorium. Mineralogical-geochemical features of ore-bearing complexes of the Southern Urals. Ufa: BB USSR AS Publ. 70–76. (In Russian).
- Alekseev A. A. (2001) Late Precambrian magmatism of the western slope of the Southern Urals (a brief review of research history, study results, and problematic issues). Geological Collection, 2. Information materials of IG UNC RAS. Jubilee Issue. 123–132. (In Russian).
- Arzamastsev A. A., Vesolovskiy R. V., Travin A. V., Yudin D. S., Belyatsky B. V. (2017) Paleozoic tholeiitic magmatism of the Kola province: Spatial distribution, age, and relation to alkaline magmatism. *Petrology*, 25, 42–65. DOI: 10.1134/S0869591116060023 (In Russian).
- Bignov R. I., Makushin A. A., Kazakov I. I., Cheban S. G. (2001) The role of the deep structure in the location of oil and gas, ore deposits and new promising zones of the Bashkortostan Republic. Geology and prospects of expanding the raw material base of Bashkortostan and adjacent territories. IV Republican Geological Conference. V. 2. Ufa: IG UNC RAS. 3–26. (In Russian).
- Grigoriev N. A. (2009) Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust. Yekaterinburg: UB RAS. 383 p. (In Russian).
- Karamova A. M., Kazbulatova G. M., Michurin S. V., Zaharova A. G. (2019) Photometric method of definition of fluorine in rocks by means of alizarinkompleksonat's education of lanthanum fluoride. *Bashkir chemistry journal*, 26 (1), 42–47. DOI: 10.17122/bcj 201914247 (In Russian).
- Knyazev Yu. G., Knyazeva Yu. G., Snachev V. I., Zhdanov A. V., Karimov T. R., Aydarov E. M., Masagutov R. H., Alslanova E. R. (2013) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). Ural Series. Sheet N-40 — Ufa. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2013. 512 p. (In Russian).
- Kovalev S. G. (2010) Early-Middle Riphean magmatism of the western slope of the Southern Urals: the current state of the problem. Magmatism and metamorphism in the Earth history. Abstract volume of the XI All-Russian Petrographic Meeting. V. 1. Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry of the UB RAS. P. 307–308. (In Russian).
- Kovalev S. G., Vysotskiy S. I., Kovalev S. S. (2015) Petrogeochemistry of magmatic complexes of the western slope of the Southern Urals and the eastern part of the East European Platform. *Geologicheskii sbornik*. 12, 117–137. (In Russian).
- Krasnobaev A. A., Puchkov V. N., Sergeeva N. D., Busharina S. V. (2020) Polychronous zircons of volcanics of the Navysh complex of the Lower Riphean Ai Formation (Southern Urals). *Georesources*, 22 (4), 101–112. DOI: 10.18599/grs.2020.4.101–112 (In Russian).
- Kurtukova A. I., Ryazantsev A. V., Golionko B. G., Travin A. V. (2022) Vendian and Late Paleozoic gabbroid intrusions associated with plume activity in the Bashkirian meganticlinorium structure: new data on structural position and age (U-Pb SIMS, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$). *Tectonics and geodynamics of the Earth's crust and Mantle: Fundamental Problems-2022*. V. 1. Proceedings of the LIII Tectonic Meeting. Moscow: GEOS. 254–258. (In Russian).
- Larionov N. N., Tsvetkova A. A. (2003) State geological map of the Russian Federation. 1:200000. South Ural series. N-40-XXII (Toucan). Saint Petersburg: MPR RF. (In Russian).
- Larionov N. N., Bergazov I. R., Granovskaya N. V., Nigmatullina A. M. (2015) State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200000. Second edition. The South Ural series. Sheet N-40-XXII (Toucan). Explanatory note. Moscow: MF VSEGEI. 248 p. (In Russian).
- Michurin S. V., Kalistratova E. O., Sultanova A. G., Kazbulatova G. M. (2020) Fluorine in rocks of the West Aktash ore zone (Southern Urals). *Geologicheskii vestnik*, 2, 54–71. DOI: 10.31084/2619–0087/2020-2-5 (In Russian).
- Michurin S. V., Krupenin M. T., Shiyanova E. O., Savelyev D. E., Gorozhanin V. M., Dub S. A., Kazbulatova G. M., Sharipova A. A., Akhmedova R. R. (2022) Section of the Tyulmen Subformation of the Avzyan Formation of the Middle Riphean (Belyagush Ridge, Southern Urals): geology, stratigraphy, magmatic formations. *Geologicheskii vestnik*, 3, 16–33. DOI: 10.31084/2619–0087/2022-3-2 (In Russian).
- Michurin S. V., Sharipova A. A. (2022) The first finds of cuprous gold in the Riphean deposits of the Bashkirian meganticlinorium (Southern Urals). *Proceedings of Voronezh state university. Series: Geology*, 3, 52–65. DOI: 10.17308/geology/1609–0691/2022/3/52–65 (In Russian).
- Musina A. M., Michurin S. V. (2016) Determination of elemental composition by ICP-AES method through open acid digestion of rocks. *Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories. IV All-Russian Youth Geological Conference*. Ufa: IG UNC RAS. P. 39–44. (In Russian).
- Nastasienko E. V., Somov M. M. (1991) The structural position of fluorite mineralization in the West Ural region and the localization conditions of ore bodies. Localization conditions of antimony-mercury and fluorite mineralization in ore fields. *Novosibirsk: Nauka Publ.* P. 141–148. (In Russian).
- Nosova A. A., Sazonova L. V., Kargin A. V., Larionova Y. O., Gorozhanin V. M., Kovalev S. G. (2012) Mesoproterozoic within-plate igneous province of the Western Urals: main petrogenetic rock types and their origin. *Petrology*, 20 (4), 356–390. DOI: 10.1134/s086959111204008 (In Russian).
- Puchkov V. N. (2012) Dike swarms and related igneous complexes in the Urals. *Geotectonics*. 46, 37–46. DOI: 10.1134/S0016852112010050 (In Russian).
- Puchkov V. N. (2018) Plumes — a new word in Geology of the Urals. *Lithosphere*, 18 (4), 483–499. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-4-483-499. (In Russian).
- Puchkov V. N., Kozlov V. I., Krasnobaev A. A. (2011) Paleozoic U-Pb SHRIMP dating of igneous rocks of the Bashkirian meganticlinorium by zircons. *Geological Collection*, 9. Information materials of IG UNC RAS. 36–43. (In Russian).
- Radchenko V. V., Kazakov R. S. (1980) Geological structure features of the western limb of the Bashkirian meganticlinorium (within the Kuzha-Zilim megasyncline) in relation

- to ore potential. Precambrian Geology of the Southern Urals. Ufa: BB USSR AS Publ. 3–8. (In Russian).
- Salikhov D. N., Kholodnov V. V., Puchkov V. N., Rakhimov I. R. (2019) Subduction, collision and plumes in the epoch of the Late Paleozoic magmatism of the Magnitogorsk zone (the Southern Urals). *Lithosphere*, 2, 191–208. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-191-208 (In Russian).
- Samigullin A. A., Saveliev D. E. (2023) Mineralogical and petrochemical features of gabbro-dolerites of the Krivoluksky complex. *Bulletin of Geosciences*, 1 (337), 30–41. DOI: 10.19110/geov. 2023.1.4 (In Russian).
- Samigullin A. A., Saveliev D. E., Vasiliev A. M., Nikonov V. N. (2024) Petrochemical and mineralogical features of gabbro-dolerites of Suran fluorite deposit (Southern Urals). *Geologicheskii vestnik*, 1, 76–90. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-6 (In Russian).
- Smirnov Yu. D., Borovko N. G., Verbitskaya N. P., Rumyantseva N. A., Bekasova N. B., Gorsky V. P., Evdokimov Yu. B., Lukyanova L. I. (1977) Geology and paleogeography of the western slope of the Urals. Leningrad: Nedra Publ. 199 p. (In Russian).
- Sultanova A. G., Michurin S. V. (2024) Some issues of lithium geochemistry and its distribution in Rifean rocks of the Southern Urals. *Geologicheskii vestnik*, 2, 65–80. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-6 (In Russian).
- Holodnov V. V., Fershtater G. B., Shagalov E. S., Shardakova G. Yu. (2017) Riphean magmatism and ore formation, preceding the disclosure of the Uralian Paleoocean (western slope of the Southern Urals). *Lithosphere (Russia)*, 2, 5–26. (In Russian).
- Khotylev A. O., Tevelev A. V., Bychkova Ya. V., Latyshev A. V., Anosova M. B. (2020) Mezoproterozoic basite magmatism of the Bashkirian meganticlinorium (Southern Urals): age constraints, petrological and geochemical features. *Geodynamics & Tectonophysics*, 11 (2), 219–243. DOI: 10.5800/GT-2020-11-2-0471 (In Russian).
- Shvetsov P. N., Kraev Yu. P., Shumikhin E. A., Yamaev F. A. (1976) Magmatic formations of the Central Ural Uplift (Within the Territory of Bashkiria). Magmatism, metamorphism, and metallogeny of the western slope of the Urals. Ufa: BFAN USSR, 1976. 23–31. (In Russian).
- Shirobokova T. I. (1992) Stratiform polymetallic and barite mineralization of the Urals. Sverdlovsk: UB USSR AS. 143 p. (In Russian).
- Ernst R. E., Haines J. A., Puchkov V. N., Okrugin A. V., Archibald D. A. (2008) Reconnaissance Ar-Ar dating of Proterozoic dolerite dikes and sills in Siberia and the Southern Urals: Identification of new large magmatic provinces and use of the Nuna Supercontinent (Colombia) during reconstruction. *Materials of XLI Tectonic Meeting (V. 2)*. Moscow: GEOS. 492–496. (In Russian).
- Yutkina E. V., Kargin A. V., Nosova A. A., Kuzmenkova O. F., Sazonova L. V., Kondrashov I. A. (2024) Paleozoic intraplate magmatism of the East European Platform: comparative analysis of the Pripyat-Dnieper-Donets rift zone and the Kola-Arkhangelsk Province. *Geodynamics and Tectonophysics*, 15 (5). 0788. DOI: 10.5800/gt-2024-15-5-0788 (In Russian).
- Yakovlev G. B. (1961) Geological map of the USSR. Scale 1:200,000. The South Ural series. N-40-XVI. Ministry of Geology and Subsoil Protection. (In Russian).
- Ernst R. E., Bell K. (2010) Large igneous provinces (LIPs) and carbonatites. *Mineralogy and Petrology*, 98, 55–76.
- Ernst R. E., Pease V., Puchkov V. N., Kozlov V. I., Sergeeva N. D., Hamilton M. (2006) Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia. *Geological Collection*, 5. Information materials of IG UNC RAS. 119–161.
- Irvine T. N., Baragar W. R. A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523–548.
- LeBas M. J., LeMaitre R. W., Streckeisen A., Zanettin B. A. (1986) Chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745–750.
- Mullen E. D. (1983) MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 62 (1), 53–62. DOI:10.1016/0012-821x (83) 90070-5
- Pearce J. A., Cann J. R. (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290–300.
- Puchkov V. N., Ernst R. E., Hamilton M. A., Söderlund U., Sergeeva N. D. (2016) Devonian >2000-km long dolerite swarm belt and associated basalts along the Urals-Novozemelian fold-belt: part of an East-European (Baltica) LIP tracing the Tuzo Superswell. *GFF J.*, 138 (1), 6–16. DOI: 10.1080/11035897
- Shervais J. W. (1982) Ti-V plots and petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 59 (1), 101–118. DOI:10.1016/0012-821X (82) 90120-0
- Turekian K. K., Wedepohl K. H. (1961) Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72, 175–192. DOI: 10.1130/0016-7606 (1961) 72 [175: DOTEIS] 2.0. CO;2

Сведения об авторе:

Мичурин Сергей Васильевич, кандидат 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, s_michurin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2776-2190>

About the author:

Michurin Sergey Vasilevich, PhD in geologo-mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, s_michurin@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2776-2190>

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.*

Статья поступила в редакцию 15.05.2025; одобрена после рецензирования 16.06.2025; принята к публикации 01.07.2025.

The article was submitted 15.05.2025; approved after reviewing 16.06.2025; accepted for publication 01.07.2025.