

УДК 552.31

DOI: 10.18799/24131830/2025/7/4760

Шифр специальности ВАК: 1.6.1

Научная статья

Вещественный состав позднепалеозойских габбро-диоритовых массивов Шарагольского комплекса Унго-Хилокского ареала, Центральное Забайкалье, Россия

Р.А. Бадмацыренова^{1,2✉}, Я.Ю. Шелепов³

¹ Институт геохимии СО РАН, Россия, г. Иркутск

² Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия, г. Иркутск

³ Институт геологии и минералогии СО РАН, Россия, г. Новосибирск

✉ roza1977@mail.ru

Аннотация. *Актуальность* исследования обусловлена дефицитом информации о вещественном составе пород, слагающих габбро-диоритовые массивы, их роли в формировании континентальной коры и времени проявления основного-среднего магматизма на данной территории. *Цель.* Исследование направлено на изучение геологического строения, характеристику вещественного состава пород и определение временных рамок развития основного магматизма в пределах Центрального Забайкалья. *Методы:* комплексные структурно-геологические исследования с учетом ранее проведенных тематических, поисково-съёмочных, геологоразведочных работ. Для анализа вещественного состава магматических пород широко применялись современные петролого-геохимические и изотопно-геохронологические методы с использованием в качестве элементов индикаторов состав редких и редкоземельных элементов, микронзондовые определения минералов, а также изотопные (U-Pb) данные. *Результаты и выводы.* Установлено, что в строении массива участвуют породы основного и среднего состава с преобладанием габброидов, образованных в результате фракционной кристаллизации родоначального расплава, отвечающего высокоглиноземистому базальту. Показано, что источником верхнепалеозойских габбро-диоритовых массивов была шпинель-лерцолитовая мантия, плавление которой происходило в гидратированных условиях. По результатам U-Pb-анализа магматических цирконов, выделенных из габбро Хорульского массива, получен возраст 337 ± 3 млн лет. Предполагается, что формирование пород массивов связано с процессами внутримантийного магматизма на посторогенной стадии с участием плюмового магматизма.

Ключевые слова: габбро, диориты, петрохимия, геохимия, U-Pb возраст, шарагольский комплекс

Благодарности: Работа осуществлена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимические исследования» Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск), Центра коллективного пользования «Геоспектр» Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН (г. Улан-Удэ). Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на проведение НИР ИГХ СО РАН по теме № 0284-2021-0006.

Для цитирования: Бадмацыренова Р.А., Шелепов Я.Ю. Вещественный состав верхнепалеозойских габбро-диоритовых массивов Шарагольского комплекса Унго-Хилокского ареала, Центральное Забайкалье, Россия // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 7. – С. 7–16. DOI: 10.18799/24131830/2025/7/4760

UDC 552.31

DOI: 10.18799/24131830/2025/7/4760

Scientific paper

Material composition of the Sharagol complex gabbro-diorite Late Paleozoic massifs of the Ungo-Khilok area, Central Transbaikalia, Russia

R.A. Badmatsyrenova^{1,2✉}, Ya.Yu. Shelepov³

¹ A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

³ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

✉ roza1977@mail.ru

Abstract. Relevance. The significance of the research is determined by the lack of information on the composition of rocks of the gabbro-diorite intrusion and their role in continental crust formation and the age of manifestation of basic-intermediate magmatism on this area. **Aim.** To investigate geological structure and describe of the rock material composition and to determine the time frame of the development of the main magmatism within the Central Transbaikalia region. **Methods.** Complex structural-geological researches including explorative-surveying and geological-prospecting works carried out earlier. The analysis of the material composition of magmatic rocks is performed by means of modern petrological-geochemical and isotope-geochronological methods using the composition of rare and rare-earth elements, microprobe minerals identification as well as isotope (U-Pb) data. **Results and conclusions.** The intrusion consists of basic and intermediate rocks with a predominance of gabbroids formed as a result of fractional crystallization of the parent melt corresponding to high-alumina basalt. The Late Paleozoic gabbro-diorite rocks originated from the spinel-bearing lherzolitic mantle, which melted under «hydration conditions». By the results of U-Pb analysis of magmatic zircon from a gabbro sample of the Khorul massif yielded the age of 337 ± 3 Ma was obtained. It is assumed that the formation of intrusions is associated with the intraplate magmatism at the post-orogenic stage with the participation of plume magmatism.

Keywords: gabbro, diorites, petrochemistry, geochemistry, U-Pb age, Sharagolsky complex

Acknowledgments: The research was carried out using the scientific equipment of the Multiple-Access Center “Isotopic-Geochemical Studies” of the A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS (Irkutsk), Analytical Center “Geospectr” of the N.L. Dobretsov Geological Institute of SB RAS (Ulan-Ude). This work was carried out within the framework of a State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to carry out R&D of the Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, on theme no. 0284-2021-0006

For citation: Badmatsyrenova R.A., Shelepov Ya.Yu. Material composition of the Sharagolsky complex gabbro-diorite Late Paleozoic massifs of the Ungo-Khiloksky area, Central Transbaikalia, Russia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 7, pp. 7–16. DOI: 10.18799/24131830/2025/7/4760

Введение

В Центральном Забайкалье в 60-х гг. прошлого столетия в процессе геолого-съёмочных работ был закартирован ряд массивов габбро-диоритового состава, среди которых выделяется Унго-Хилокский ареал [1]. И.В. Гордиенко в своих исследованиях на основании взаимоотношений между интрузивными комплексами выделил массивы габброидов шарагольского комплекса раннепермского возраста [2, 3]. Ввиду немногочисленных данных по определению возраста по данным массивам на изданной позднее геологической карте породы шарагольского комплекса были отнесены к моностойскому комплексу раннего палеозоя [4]. Этот комплекс впервые выделил О.А. Богатиковым в 1966 г. на основе изучения Арсеньевского массива габброидов, расположенного

в хребте Моностой [5]. Однако детальных исследований на данных массивах не проводилось. В настоящей работе приведены первые данные по геологическому строению, изотопному возрасту и вещественному составу базитового магматизма, которые позволяют в полной мере определить временные уровни и характер основного магматизма на данной территории.

Материалы и методы исследования

Основными методами лабораторных исследований были петрографический (микроскоп SOPTOP RX50M), геохимический и электронно-микроскопический. Петро- и геохимические исследования габброидов включали в себя определение содержаний петрогенных оксидов и ряда элементов-примесей.

Определение содержаний главных петрогенных оксидов в породах выполнено стандартным силикатным анализом, некоторых микроэлементов – методами атомно-абсорбционного (Cr, Co), рентгенофлуоресцентного (Ni, Cu, Sr, Zr, Ba) анализа на установке VRA-30 в ЦКП ГИН СО РАН г. Улан-Удэ. Концентрации редких (Cs, Rb, Th, U, Nb, Ta, Hf) и редкоземельных элементов (РЗЭ) определены методом ICP-MS на масс-спектрометре ELEMENT-2 в Аналитическом ЦКП ИНЦ СО РАН (г. Иркутск). Химический состав породообразующих минералов определялся на электронном сканирующем микроскопе LEO 1430 VP, оснащенный энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 в ЦКП ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

Формулы пироксенов рассчитывались на 6 атомов кислорода, для амфиболов применялся расчет на 23 атома кислорода по методу, изложенному в работе [6]. Аббревиатуры минералов, использованные нами на рисунках, соответствуют таковым, рекомендованным в работе [7], либо минералы обозначены формулой, примерно соответствующей их химическому составу.

Мономинеральные пробы цирконов для определения U-Pb изотопных отношений исследовались методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором (LA-SF-ICP-MS). U/Pb-датирование зерен циркона было проведено в Центре многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Измерения проводились на масс-спектрометре высокого разрешения с индуктивно связанной плазмой Thermo Scientific Element XR, соединенном с системой лазерной абляции New Wave Research UP 213, на основе ультрафиолетового Nd: YAG лазера с длиной волны 213 нм. Параметры измерения масс-спектрометра оптимизировали для получения максимальной интенсивности сигнала ^{208}Pb при минимальном значении $^{248}\text{ThO}+^{232}\text{Th}+$ (менее 2 %), используя стандарт NIST SRM612. Все измерения выполняли по массам ^{202}Hg , $^{204}(\text{Pb}+\text{Hg})$, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U . Съемка проводилась в режиме E-scan. Детектирование сигналов проводилось в режиме счета (counting) для всех изотопов, кроме ^{238}U и ^{232}Th (режим triple). Диаметр лазерного луча составлял 30 мкм, частота повторения импульсов 5 Hz и плотность энергии лазерного излучения 3,0–3,5 Дж/см². Данные масс-спектрометрических измерений обрабатывали с помощью программы «Glitter» (GEMOC, Griffin et al., 2008). U-Pb изотопные отношения нормализовали на соответствующие значения изотопных отношений стандартных цирконов GJ-1 [8, 9]. Погрешности единичных анализов изотопных отношений и возрастов приведены на уровне 1σ. Катодолуминисцентные изображения были получены на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430.

Результаты исследования

В Центральном Забайкалье в пределах Хилок-Витимской структурно-формационной зоны выделен монотойский комплекс габбровый [3], представленный интрузивными основными и средними породами. Породы комплекса распространены на водораздельной части Малханского хребта и его отрогах, где слагают многочисленные, различной величины и формы, пластообразные ксенолиты среди более молодых интрузивных пород кислого состава. В пределах Унго-Хилокского ареала изучены два габбро-диоритовых массива. Хасуртайский массив (16 км²) расположен в нижнем течении р. Хасуртай и по правому борту р. Унго. Хорульский массив (45 км²) расположен в нижнем течении р. Хорул и по правому борту р. Унго (рис. 1).

Петрографо-минералогическая характеристика пород

Преобладающими породами массивов являются габброиды. В эту группу относятся оливиновое габбро, габбро, габбронориты (рис. 2, а–в). Габбро по соотношению плагиоклаза и темноцветных минералов изменяются от мелано- до мезократовых разновидностей. Этим породам свойственен котектический плагиоклаз-клинопироксеновый парагенезис. Слагающие породу минералы обладают примерно одинаковым идиоморфизмом, что характерно для габбровой структуры. Редко отмечается габбро-офитовая структура. Для авгита (En₄₀₋₃₈, Fs₁₁₋₁₂, Wo₄₇₋₄₉, 25–45 об. %) типичны идиоморфные выделения, ойокристаллы. Плагиоклаз (An₉₅₋₈₀, 60–70 об. %) в большинстве своем наблюдается в виде лейст. В интерстициях главных минералов присутствует в небольших количествах амфибол, представленный магнезиальной роговой обманкой (5–10 об. %). Широко развиты ильменит и магнетит с характерными взаимными пластинчатыми структурами распада твердого раствора. Оливиновое габбро по текстурно-структурным признакам аналогичны габбро, отличаясь от них постоянным присутствием оливина (69–70 % Fa). Габбронориты сложены плагиоклазом (An₇₀₋₈₀) и клинопироксеном (En₄₀₋₄₂, Fs₁₁₋₁₃, Wo₄₃₋₄₈, 25–45 об. %) с ойокристаллами и мелкими изометричными зернами энстатита (En₇₃, Fs₂, Wo₂₅, 5–10 об. %).

Анортозитовая группа представлена анортозитами, содержащими более 90 об. % основного плагиоклаза (An₇₈₋₉₁). Анортозиты характеризуются аллотриоморфнозернистой структурой и наибольшей степенью изменения пород (рис. 2, г).

Монцодиориты и диориты встречаются по периферии массивов и представляют собой породы, сложенные плагиоклазом (An₂₅₋₅₀), амфиболом (магнезиальная роговая обманка) и клинопироксеном (En₃₈₋₅₄, Fs₁₇₋₂₀, Wo₂₅₋₄₄, 20-30 об. %). Структура пород аллотриоморфнозернистая (рис. 2, д, е).

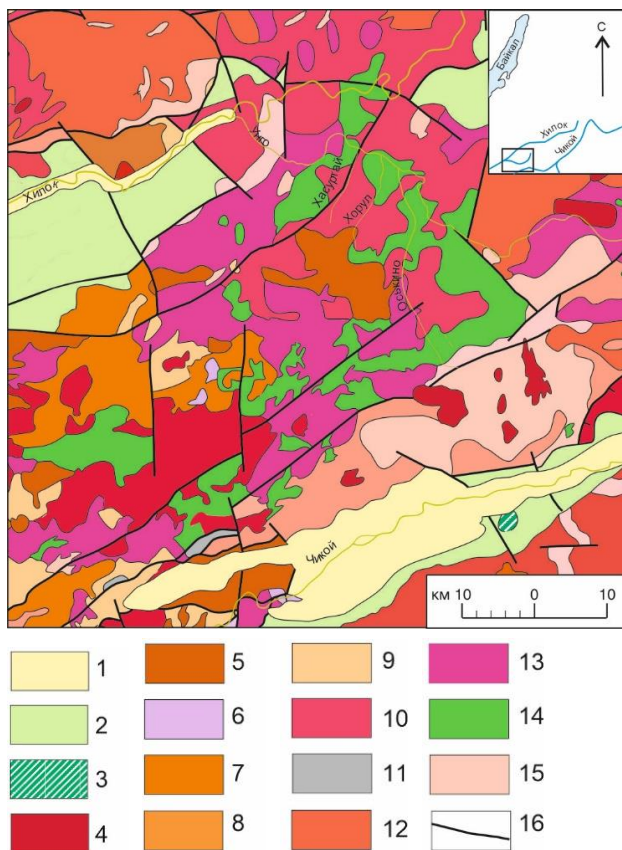


Рис. 1. Геологическая карта габбро-диоритовых массивов Унго-Хилокского ареала [3]. 1 – четвертичные отложения; 2 – раннемеловая осадочно-вулканогенная доронинская свита; 3 – раннемеловой доронинский комплекс трахибазальт-трахириолитовый; 4 – позднеюрский яблоновский комплекс гнейсо-гранит-лейкогранитовый; 5 – раннетриасовый куналейский комплекс щелочной гранит-сиенитовый; 6 – раннетриасовая вулканогенно-осадочная цаган-хунтейская свита; 7 – позднепермский бичурский комплекс габбро-монзонит-гранитовый; 8 – позднепермский соготинский комплекс монзонит-сиенитовый; 9 – позднепермская осадочно-вулканогенная тамирская свита; 10 – средне-позднекарбоневый витимканский комплекс сиенит-гранитовый; 11 – ранне-среднекарбоневая вулканогенно-осадочная гутайская свита; 12 – раннепалеозойский малханский комплекс гранитовый; 13 – раннепалеозойский джидинский комплекс диорит-плагиогранит-гранитовый; 14 – габбро-диоритовые массивы Унго-Хилокского ареала; 15 – рифейский малханский комплекс метаморфический; 16 – разрывные нарушения

Fig. 1. Geological map of the gabbro-diorite massifs of the Ungo-Khilok area [3]. 1 – Quaternary deposits; 2 – Doronin suite Early Cretaceous sedimentary-volcanogenic rocks; 3 – Doronin complex Early Cretaceous trachybasalt-trachyrhyolites; 4 – Yablonova complex Late Jurassic gneiss-granite-leucogranites; 5 – Kunalei complex Early Triassic alkaline granite-syenites; 6 – Tsagan-Khuntei suite Early Triassic volcanogenic-sedimentary rocks; 7 – Bichur complex Late Permian gabbro-monzonite-granites; 8 – Sogotinsky complex Late Permian monzonite-syenites; 9 – Tamir suite Late Permian sedimentary-volcanogenic rocks; 10 – Vitimkan complex Middle-Late Carboniferous syenite-granites; 11 – Gutai suite Early-Middle Carboniferous volcanogenic-sedimentary rocks; 12 – Malkhan complex Early Paleozoic granitoids; 13 – Dzhida complex Early Paleozoic diorite-plagiogranite-granites; 14 – gabbro-diorite massifs of the Ungo-Khilok area; 15 – Malkhan complex Riphean metamorphic rocks; 16 – faults

Петро- и геохимическая характеристика пород

На классификационной диаграмме TAS [10] составы пород Хасуртайского и Хорульского массивов варьируют от габброидов до диоритов, охватывая диапазон кремнекислотности от 38 до 61 мас. % SiO_2 , при щелочности, соответствующей субщелочному полю (рис. 3). Содержания щелочей в породах Хасуртайского и Хорульского массивов имеют довольно широкий разброс значений по Na_2O (1–5,44 мас. %) и по K_2O (0,06–4,53 мас. %). По отношениям окислов Na и K породы принадлежат к калинатровой и калиевой сериям. По коэффициенту глиноземистости ($al' = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$) породы Хасуртайского и Хорульского массивов относятся к умеренноглиноземистым (0,55–0,97), часть к высокоглиноземистым породам ($al' = 1,1–2,73$). Значения коэффициента магнезиальности (K_{mg}) уменьшается от габбро (87,82) до монцодиоритов (46,75).

Распределение содержаний некоторых индикаторных элементов (Cr, Ni, Sr, Ba и Zr) коррелируется

с магнезиальностью пород. Наиболее жесткую положительную связь имеют когерентные элементы Ni, Cr, отражающие фракционную кристаллизацию магмы в промежуточной камере, тогда как несовместимые – Sr, Ba и Zr, напротив, обнаруживают менее выраженную отрицательную корреляцию.

Спектры распределения РЗЭ в рассматриваемых образованиях в целом сходны (рис. 4, а). Для них характерно умеренное обогащение легкими лантаноидами относительно тяжелых, в большинстве случаев отсутствует Eu аномалия ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,23–0,40$). Сумма РЗЭ в породах составляет примерно 15 г/т, в оливновом габбро – до 106 г/т в диоритах. Отношение $(\text{La}/\text{Yb})_n$ как мера обогащения легкими РЗЭ относительно тяжелых РЗЭ составляет 2,48–19,1.

Мультиэлементные спектры также обнаруживают явное сходство (рис. 4, б): породы в разной степени обогащены Cs, Rb, Ba, Th, U и слабо деплетированы Zr, Hf, Ti, при этом ярко выражена отрицательная Nb-Ta и положительная Pb аномалии.

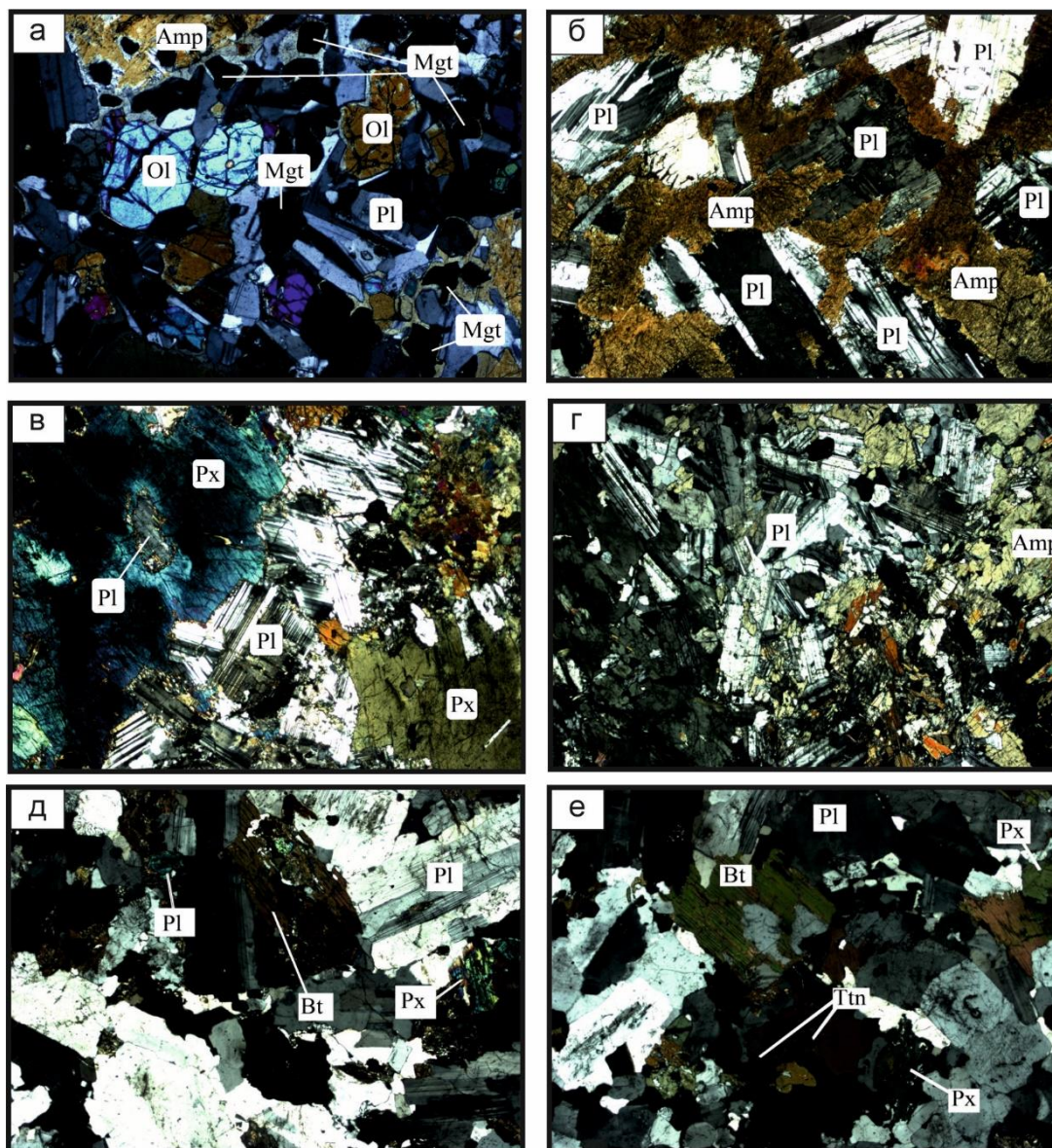


Рис. 2. Микрофотографии оливинового габбро (а), габбро (б), габбро-норита (в), анортозита (г), монцодиорита (д) и диорита (е). Ol – оливин, Pl – плагиоклаз, Px – пироксен, Amp – магнезиальная роговая обманка, Mgt – магнетит, Bt – биотит, Ttn – титанит

Fig. 2. Photomicrographs of olivine gabbro (a), gabbro (б), gabbro-norite (в), anorthosite (г), monzodiorite (д) and diorite (е) in cross-polarized light. Mineral abbreviations: Ol – olivine, Pl – plagioclase, Px – pyroxene, Amp – magnesian hornblende, Mgt – magnetite, Bt – biotite, Ttn – titanite

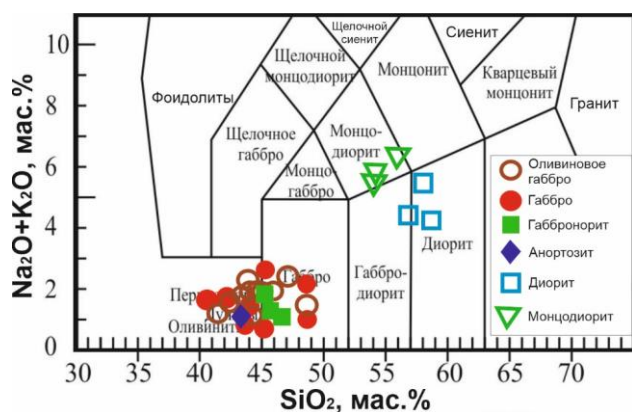


Рис. 3. Классификационные диаграммы $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ [10] для основных и средних пород Унго-Хилокского ареала

Fig. 3. Classification diagrams $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ [10] for rocks of the Ungo-Khilok area

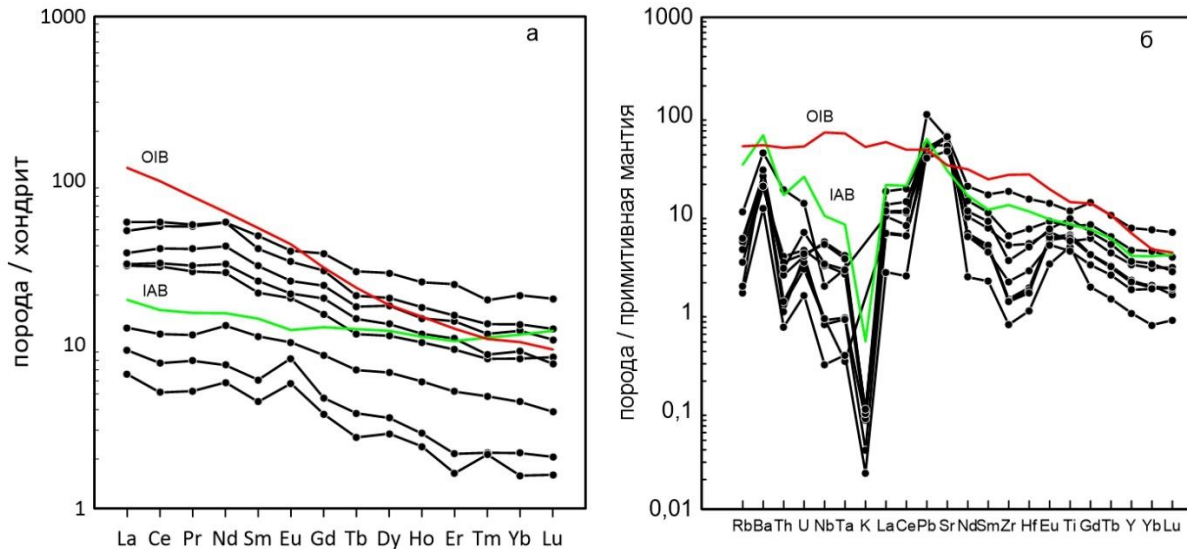


Рис. 4. Спектры распределения редкоземельных элементов, нормализованные к хондриту (а), и мультиэлементные спектры, нормализованные к составу примитивной мантии (б) для основных и средних пород Унго-Хилокского ареала. Хлорид и состав примитивной мантии взяты в [11], красные линии показывают спектры для океанических островных базальтов [11], зеленая линия показывает распределение для островных дуговых базальтов Центрально-Камчатского разлома [12]

Fig. 4. Rare earth elements distributions normalized for chondrite composition (a), and multielement spectra normalized for primitive mantle composition (b) for rocks of the Ungo-Khilok area. Chondrite and primitive mantle compositions are from [11], red lines show spectra for oceanic islands basalt (OIB) from [11], green line show distributions for island arc basalts (IAB) of the Central Kamchatka depression from [12]

Результаты U-Pb изотопного датирования

Цирконы для изотопно-геохронологических исследований были выделены из габбро (пр. У-13-51). Католюминесцентные изображения (рис. 5) показывают наличие тонкой магматической зональности, параллельной кристаллографическим ограничениям, и отсутствие ксеногенных ядер в цирконах, что указывает на их магматическое происхождение.

Содержание U в цирконах варьирует от 183 до 236 мг/г, в соответствии с этим Th/U составляет 0,9–1,2, что не выходит за пределы, характерные для цирконов магматического генезиса. Аналитические точки конкордантны в пределах эллипса ошибок. Конкордантный возраст по восьми точкам составляет 337 ± 3 млн лет (рис. 5), MSWD=2,2.

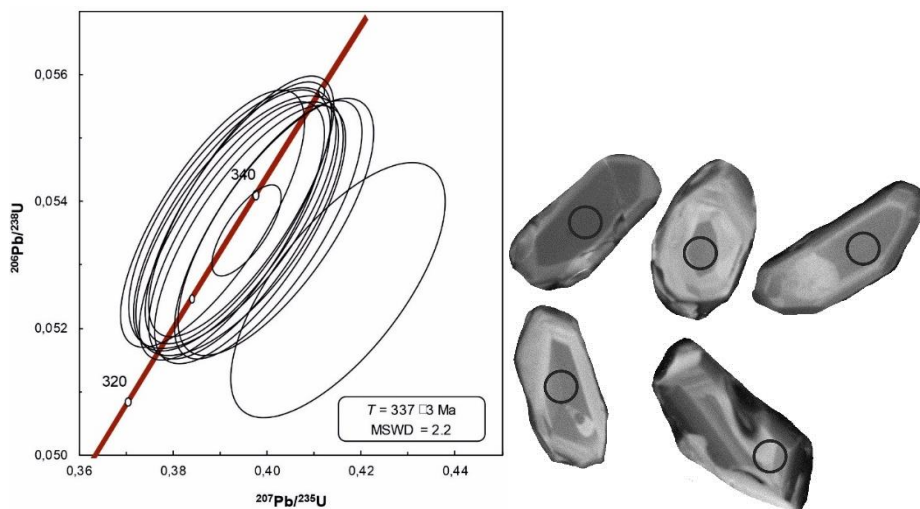


Рис. 5. Католюминесцентные изображения кристаллов циркона из пр. У-13-51 с указанием точек определения U-Pb-отношений и соответствующая диаграмма с конкордией

Fig. 5. Cathodoluminescence images of zircons from sample U-13-51 with marked sites of U-Pb ratio measurements and corresponding concordia diagram

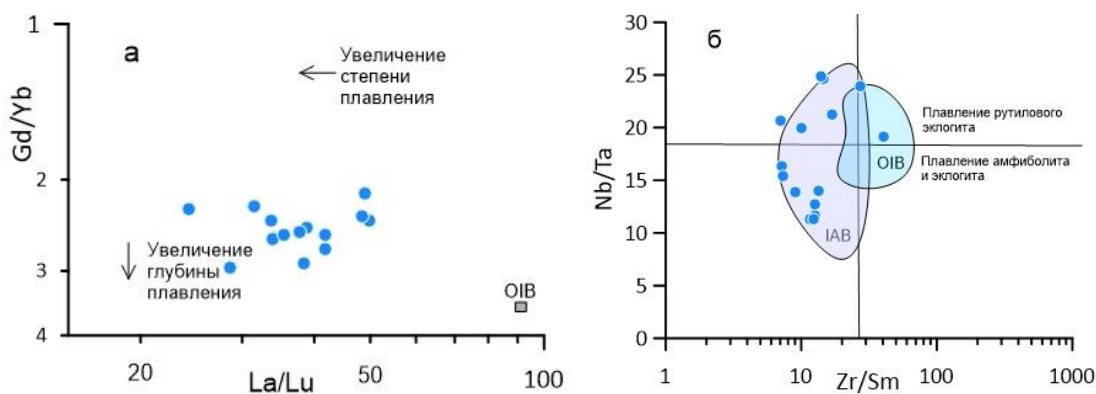


Рис. 6. Соотношение HFS-элементов в породах Усть-Хилокского ареала: а) Gd/Yb–La/Lu [14]; б) Nb/Ta–Zr/Sm [15] (пояснение – в тексте)
Fig. 6. Variations of HFS-elements in the rocks of the Ungo-Khilok area: а) Gd/Yb–La/Lu [14]; б) Nb/Ta–Zr/Sm [15] (see text for explanation)

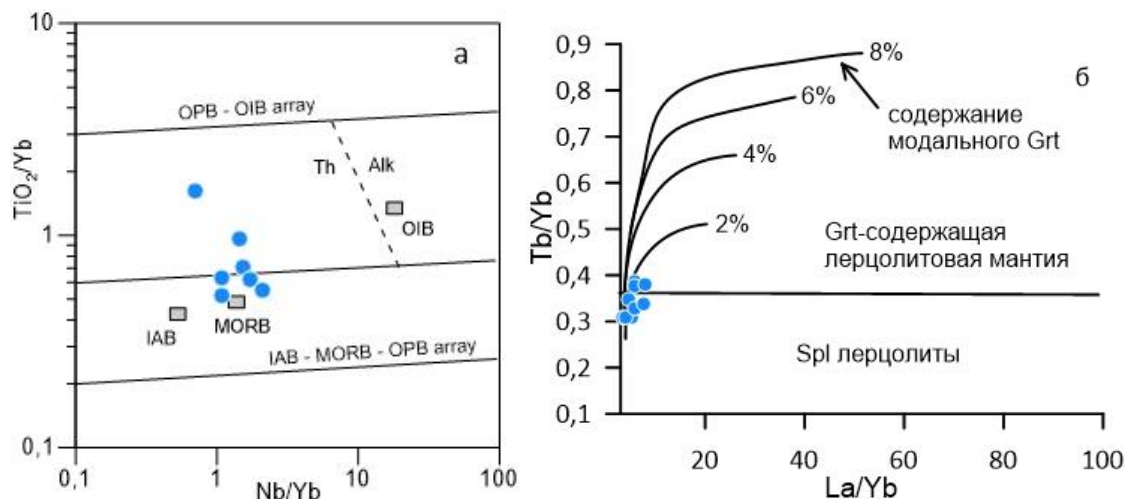


Рис. 7. Положение фигуративных точек составов пород массивов на дискриминационных диаграммах: (а) Nb/Yb–TiO₂/Yb, состав OIB, IAB, MORB по [19] и (б) La/Yb–Tb/Yb, изолинии содержания граната в фертильной лерцолитовой мантии по [20], Gr – гранат, Sp – шпинель
Fig. 7. Position of the compositional points of the rocks on the discrimination diagrams: (а) Nb/Yb–TiO₂/Yb, состав OIB, IAB, MORB data after [19] and (б) La/Yb–Tb/Yb, isolines of garnet content in the fertile lherzolitic mantle after [20], Grt – garnet, Sp – spinel

Обсуждение результатов

Изотопно-геохронологические данные позволяют выделить габбро-диоритовые массивы в отдельный временной промежуток, соответствующий позднему палеозою. Массивы карбонового возраста не сопровождаются какими-либо другими интрузивными комплексами и залегают среди мезозойских интрузивных пород кислого состава [13].

Изученные изверженные породы принадлежат к калий-натровой серии субщелочного габбро-диоритового ряда. Содержание петрогенных и многих рассеянных элементов в породах не противоречит фракционной кристаллизации по модели Н. Боуэна.

В процессе фракционно-кристаллизационной дифференциации происходит смена высокотемпературных минеральных парагенезисов на низкотем-

пературные. Особенности составов пород, а также широкие вариации содержания глинозема, кальция и магния в породах габбро-диоритового ряда обусловлены фракционированием оливина, клинопироксена и плагиоклаза при кристаллизации высокоглиноземистого базальта в промежуточной магматической камере. В породах массива наблюдаются высокие концентрации Ba, Sr, и Zr, что свойственно для пород внутримитного типа.

Распределение редких элементов в породах габбро-диоритовых пород Унго-Хилокского ареала может отражать неоднородность вещества магматических источников. Породы обладают отчетливыми геохимическими признаками участия в источнике их расплава вещества IAB (рис. 6, б). По сравнению с OIB породы массивов имеют пони-

женные значения Gd/Yb и La/Lu, что соответствует меньшей глубине генерации магмы и более высокой степени плавления протолита (рис. 6, а).

Содержания высоkozарядных элементов в породах массивов являются переходными между составами OIB и IAB (рис. 7, а). Такое сочетание вероятно при смешении компонентов мантийного плюма и островной дуги [16–18]. Обогащенность пород легкими лантаноидами относительно тяжелых ((La/Yb)_n=2,48–19,13) предполагает выплавление мафической магмы из гранатсодержащего мантийного протолита (рис. 7, б).

Выводы

Получены изотопно-геохронологические данные, позволяющие определить время и место основного магматизма в данном регионе. Установлен возраст габбро Хасуртайского массива Унго-Хилокского ареала, составляющий 337 ± 3 млн лет.

Плюм-литосферное взаимодействие могло привести к унаследованию геохимических признаков более ранних субдукционных комплексов Монголо-Охотского океана, а также к возрастанию роли обогащенной мантии в магмогенезе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая карта юга Восточной Сибири и северной части МНР. М-б 1:1500000 / под ред. А.Л. Яншина. – Л.: Ленинградская картфабрика ВСЕГЕИ, 1981. – 4 л.
2. Gordienko I.V. The role of island-arc oceanic, collisional and intraplate magmatism in the formation of continental crust in the Mongolia-Transbaikalia region: geostructural, geochronological and Sm-Nd isotope data // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2021. – Vol. 12. – № 1. – P. 1–47. DOI: 10.5800/GT-2021-12-1-0510.
3. Гордиенко И.В. Неопротерозой-палеозойский магматизм и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса. – Новосибирск: СО РАН, 2023. – 345 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1000000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист М-49 – Петровск-Забайкальский. Объяснительная записка / С.Н. Пехтерев, Е.В. Нечепав, Н.А. Артамонова, М.А. Вологдин, А.А. Духовский, Ф.И. Еникеев, С.В. Кожунова, О.Н. Круткина, Т.А. Ступина, М.Е. Четвериков, Г.М. Шор. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 438 с.
5. Богатиков О.А. Петрология и металлогения габбро-сиенитовых комплексов Алтае-Саянской области. – М.: Наука, 1966. – 240 с.
6. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names / B.E. Leake, A.R. Wooley, C.E.S. Alps, W.D. Birch, M.C. Gilbert, J.D. Grice, F.C. Hawthorne, A. Kato, H.J. Kish, V.G. Krivovichev, K. Linthout, K. Laird, J.A. Mandarino, W.V. Maresch, E.H. Nickel, N.M.S. Rock, J.C. Schumacher, D.C. Smith, N.C.N. Stephenson, L. Ungretti, E.J.W. Whittaker, G. Youzhi // *Canadian Mineralogist*. – 1997. – Vol. 35. – P. 219–246.
7. Whitney D.L., Evans B.W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogist*. – 2010. – Vol. 95. – P. 185–187.
8. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology / S.E. Jackson, N.J. Pearson, W.L. Griffin, E.A. Belousova // *Chemical Geology*. – 2004. – Vol. 211. – P. 47–69.
9. Plesovice zircon – a new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis / J. Slama, J. Kosler, D.J. Condon, J.L. Crowley, A. Gerdes, J.M. Hanchar, M.S.A. Horstwood, G.A. Morris, L. Nasdala, N. Norberg, U. Schaltegger, B. Schoene, M.N. Tubrett, M.J. Whitehouse // *Chemical Geology*. – 2008. – Vol. 249. – № 1–2. – P. 1–35.
10. Middlemost E.A.K. Naming materials in the magma/igneous rock system // *Earth Science Reviews*. – 1994. – Vol. 37. – P. 215–224.
11. Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. – L.: Geological Society, Special Publications, 1989. – Vol. 42. – P. 313–345.
12. Churikova T., Dorendorf F., Wörner G. Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation // *Journal of Petrology*. – 2001. – Vol. 42 (8). – P. 1567–1593.
13. Антонов А.Ю., Травин А.В. К вопросу о масштабах палеозойского и мезозойского гранитоидного магматизма и состава его продуктов в пределах Хилок-Витимского складчатого пояса Центрального Забайкалья // *Тихоокеанская геология*. – 2016. – Т. 35. – № 2. – С. 29–48.
14. Variation in parental magmas of Mt Rouse, a complex polymagmatic monogenetic volcano in the basaltic intraplate Newer Volcanics Province, southeast Australia / J.A. Boyce, I.A. Nicholls, R.R. Keays, P.C. Hayman // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 2015. – Vol. 169 (11).
15. Foley S., Tiepolo M., Vannucci R. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones // *Nature*. – 2002. – Vol. 417. – P. 837–840.
16. Врублевский В.В., Гертнер Г.А. Палеозойские щелочно-мафитовые интрузии Кузнецкого Алатау, их источники и условия образования расплавов // *Петрология*. – 2021. – Т. 29. – № 1. – С. 31–63.
17. Late Mesozoic and Cenozoic volcanism of the East Sikhote-Alin area (Russian Far East): a new synthesis of geological and petrological data / Y.F. Martynov, A.I. Khanchuk, A.V. Grebennikov, A.A. Chashchin, V.K. Popov // *Gondwana research*. – 2017. – Vol. 47. – P. 358–371.
18. Гордиенко И.В. Связь субдукционного и плюмового магматизма на активных границах литосферных плит в зоне взаимодействия Сибирского континента и Палеоазиатского океана в неопротерозое и палеозое // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2019. – Т. 10. – № 2. – С. 405–457.
19. LIP printing: use of immobile element proxies to characterize Large Igneous Provinces in the geologic record / J.A. Pearce, R.E. Ernst, D.W. Peate, C. Rogers // *Lithos*. – 2021. – Vol. 392. – 106068 p.
20. Plume-lithosphere interactions in the generation of the basalts of the Kenya rift, East Africa / R. Macdonald, N.W. Rogers, J.G. Fitton, S. Black, M. Smith // *Journal of Petrology*. – 2001. – Vol. 42. – № 5. – P. 877–900.

Информация об авторах

Роза Александровна Бадмацыренова, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер лаборатории геохимии рудообразования и геохимических методов поисков, Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А; старший научный сотрудник департамента рудной геологии, Институт «Сибирская школа геонаук», Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83; roza1977@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4010-7190>

Ярослав Юрьевич Шелепов, младший научный сотрудник лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3; shelepov@igm.nsc.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3447-9411>

Поступила в редакцию: 01.07.2024

Поступила после рецензирования: 10.09.2024

Принята к публикации: 06.05.2025

REFERENCES

1. Yanshin A.L. *Geological map of the South of Eastern Siberia and the Northern part of the MPR. Scale 1:1500000*. Leningrad, Kartfabrika Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo geologicheskogo instituta Publ., 1980. (In Russ.)
2. Gordienko I.V. The role of island-arc oceanic, collisional and intraplate magmatism in the formation of continental crust in the Mongolia-Transbaikalia region: geostructural, geochronological and Sm-Nd isotope data. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2021, vol. 12, no. 1, pp. 1–47. DOI: 10.5800/GT-2021-12-1-0510.
3. Gordienko I.V. *Neoproterozoic-Paleozoic magmatism and geodynamic of the Central-Asian Foldbelt*. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2023. 345 p. (In Russ.)
4. Pekhterev S.N., Nechepaev E.V., Artamonova N.A., Vologdin M.A., Dukhovskiy A.A., Enikeev F.I., Kozhunova S.V., Krutkina O.N., Stupina T.A., Chetverikov M.E., Shor G.M. *State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (3rd generation)*. Series Aldan–Transbaikalian. Sheet M-49. Explanatory Note. St. Petersburg, VSEGEI, 2012. (In Russ.)
5. Bogatkov O.A. *Petrology and Metallogeny of Gabbro-Syenite Complexes in the Altai-Sayan Area*. Moscow, Nauka Publ., 1966. 240 p. (In Russ.)
6. Leake B.E., Wooley A.R., Alps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kish H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird K., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungrett L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names. *Canadian Mineralogist*, 1997, vol. 35, pp. 219–246.
7. Whitney D.L., Evans B.W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 2010, vol. 95, pp. 185–187.
8. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The Application of Laser Ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 2004, vol. 211, pp. 47–69.
9. Slama J., Kosler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. Plesovice zircon – a new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 2008, vol. 249, no. 1–2, pp. 1–35.
10. Middlemost E.A.K. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews*, 1994, vol. 37, pp. 215–224.
11. Sun S.-S., McDonough W.F. *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*. London, Geological Society, Special Publications, 1989. Vol. 42, pp. 313–345.
12. Churikova T., Dorendorf F., Wörner G. Sources and fluids in the mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation. *Journal of Petrology*, 2001, vol. 42, no. 8, pp. 1567–1593.
13. Antonov A.Y., Travin A.V. On the problem of the scale and composition of Paleozoic and Mesozoic granitoid magmatism in the Khilok–Vitim Fold belt of Central Transbaikalia. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2016, vol. 10, no. 2, pp. 105–122.
14. Boyce J.A., Nicholls I.A., Keays R.R., Hayman P.C. Variation in parental magmas of Mt Rouse, a complex polymagmatic monogenetic volcano in the basaltic intraplate Newer Volcanics Province, southeast Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2015, vol. 169 (11).
15. Foley S., Tiepolo M., Vannucci R. Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones. *Nature*, 2002, vol. 417, pp. 837–840.
16. Vrublevskii V.V., Gertner I.F. Paleozoic alkaline-mafic intrusions of the Kuznetsk Alatau, their sources and conditions for magma generation. *Petrology*, 2021, vol. 29, no. 1, pp. 24–53.
17. Martynov Y.F., Khanchuk A.I., Grebennikov A.V., Chashchin A.A., Popov V.K. Late Mesozoic and Cenozoic volcanism of the East Sikhote-Alin area (Russian Far East): a new synthesis of geological and petrological data. *Gondwana research*, 2017, vol. 47, pp. 358–371.
18. Gordienko I.V. Relationship between subduction-related and plume magmatism at the active boundaries of lithospheric plates in the interaction zone of the Siberian continent and Paleoasian ocean in the Neoproterozoic and Paleozoic. *Geodyn. Tectonophysics*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 405–457. (In Russ.)
19. Pearce J.A., Ernst R.E., Peate D.W., Rogers C. LIP printing: use of immobile element proxies to characterize Large Igneous Provinces in the geologic record. *Lithos*, 2021, vol. 392, pp. 106068.
20. Macdonald R., Rogers N.W., Fitton J.G., Black S., Smith M. Plume-lithosphere interactions in the generation of the basalts of the Kenya rift, East Africa. *Journal of Petrology*, 2001, vol. 42, no. 5, pp. 877–900.

Information about the authors

Roza A. Badmatsyrenova, Cand. Sc., Lead Engineer, A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, 1A, Favorskiy street, Irkutsk, 650033, Russian Federation; Senior Researcher, Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov street, Irkutsk, 664074, Russian Federation. roza1977@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4010-7190>

Yaroslav Yu. Shelepov, Junior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, 3, Akademik Koptug avenue, Novosibirsk, 630090, Russian Federation; shelepov@igm.nsc.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3447-9411>

Received: 01.07.2024

Revised: 10.09.2024

Accepted: 06.05.2025