

Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых

УДК 552.331.1

DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-9-20

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ЩЕЛОЧНЫХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ГРАНИТОВ ЗАШИХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© Н.В. Алымова¹¹Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

Зашихинский массив редкометалльных гранитов расположен в Восточном Саяне (Иркутская область) и приурочен к позднепалеозойской Восточно-Саянской зоне редкометалльного щелочногранитного магматизма. Объект является малоизученным, но перспективным для освоения месторождением редких элементов (ниобий, цирконий, иттрий). Представлены новые данные о минерально-петрографическом, химическом и микроэлементном составе пород массива. Выделены три фациальных разновидности пород массива, закономерно и постепенно сменяющие друг друга. Самые ранние амфиболсодержащие микроклинальбитовые граниты сменяются лейкократовыми кварц-альбитовыми, переходящими в существенно альбитовые разновидности. Альбититы являются наиболее насыщенными редкими металлами породами месторождения, содержания REE – свыше 10000 г/т, местами достигают 15440 г/т. На графиках парных корреляций породообразующих и редких элементов наблюдаются единые тренды составов, которые могут свидетельствовать о происхождении всех фациальных разновидностей пород массива из единой первичной магмы в процессе ее дифференциации, от ранних фаций к поздним. Спектры редкоземельных элементов всех фаций щелочных пород однотипны и отличаются только общими их содержаниями. Спайдердиаграммы пород также близки и различаются только небольшими вариациями размеров аномалий. Полученные геологические, петрографические и геохимические данные свидетельствуют о магматическом генезисе редкометалльных гранитов и альбититов. Главными минералами-концентраторами редких элементов в породах и рудах изучаемого массива являются колумбит, стронверит, циркон и ксенотим. В гранитах массива нами не зафиксировано метасоматической зональности и замещения одних минералов другими, характерных для пород метасоматического происхождения. Ранее происхождение массива считалось метасоматическим и было выделено четыре редкометалльные зоны изменения пород [4].

Ключевые слова: щелочные граниты, рудоносность, редкометалльные месторождения, Зашихинский массив, щелочногранитоидный магматизм.

Формат цитирования: Алымова Н.В. Металлогеническая специализация и рудоносность щелочных редкометалльных гранитов Зашихинского месторождения (Иркутская область) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 2 (55). С. 9–20. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-9-20.

METALLOGENIC TREND AND ORE CONTENT OF ALKALINE RARE-METAL GRANITES OF THE ZASHIKHINSKY DEPOSIT (THE IRKUTSK REGION)

N.V. Alymova

A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, 1a Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russia.

The Zashikhinsky massif of rare metal granitoids is located in the East Sayan Mountains in the Irkutsk region. It is confined to the Late Paleozoic East Sayan zone of alkaline rare-metal granite magmatism. In spite of the fact that the massif is understudied, it is found to be promising for the exploration of rare elements (Nb, Zr and Y). The paper reports on the new data on mineral-petrographic, chemical and trace element composition of the massif

¹Алымова Наталья Викторовна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории геохимии щелочных пород, тел.: (3952) 429964, e-mail: alymova@igc.irk.ru

Alymova Natalia, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Researcher of the Laboratory of Geochemistry of Alkaline Rocks, tel.: (3952) 429964, e-mail: alymova@igc.irk.ru

rocks. Three facies varieties of massif rocks gradually replacing each other have been distinguished. The earliest amphibole-containing microcline-albite granites are replaced with leucocratic quartz-albite ones changing into essentially albite varieties. Albitites are the rocks containing the highest percentage of rare metal in the deposit: the REE content is over 10,000 g/t, in some places reaches 15,440 g/t. The plots of couple correlations of rock-forming and rare elements display single composition trends which might indicate the origin of all facies varieties of massif rocks from the combined primary magma in the process of its differentiation: from early to late facies. The REE spectra of all facies of alkaline rocks are of the same type and differ in their total contents only. The spidergrams of rocks are also similar with the only difference in minor variations of anomaly sizes. The obtained geologic, petrographic and geochemical data indicate the magmatic genesis of rare metal granites and albitites. The main minerals concentrating rare elements in rocks and ores of the massif under investigation are columbite, struverite, zircon and xenotim. The massif granites do not show metasomatic zonation and replacement of some minerals by the others that is common for metasomatic rocks. Earlier the origin of the massif was believed to be metasomatic with identified four rare metal zones of rock alteration [4].

Keywords: alkaline granites, ore content, rare-metal deposits, Zashikhinsky massif, alkaline granitoid magmatism

For citation: Alymova N.V. Metallogenic trend and ore content of alkaline rare-metal granites of the Zashikhinsky deposit (the Irkutsk region) // Proceedings of Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 2 (55). Pp. 9–20. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-9-20.

Введение

С проявлениями щелочногранитного магматизма связаны уникальные месторождения с редкометалльной комплексной минерализацией (тантал-ниобиевой, циркониевой, бериллиевой, литиевой и др.). Например, к подобным массивам щелочных гранитов относятся Улуг-Танзек (Тува), Зашихинский (Иркутская область), Ермаковский (Бурятия), Катугинский (Северное Забайкалье), Улканский (Хабаровский край), Халдзан-Бурегтейский и Хан-Богдинский (Монголия) и др. Массивы щелочных гранитов формировались в разных временных и геодинамических обстановках, что определило их металлогеническую специфику и особенности распространения. Щелочногранитные массивы характеризуются длительностью (многостадийностью) процесса рудообразования, широким диапазоном физико-химических условий минералообразования, изменявшихся во времени и пространстве, интенсивностью предрудных и рудных процессов, своеобразием минералов и минеральных ассоциаций.

Рассматриваемое Зашихинское месторождение приурочено к позднепалеозойской Восточно-Саянской зоне редкометалльного щелочногранитного магматизма, специализированной на Nb, Ta, Li, Be, Zr, Th, REE оруденение. Восточно-Саянская зона возникла в

периферической части Баргузинской магматической провинции, ее контуры определяются границами поля распространения раннепермских щелочных гранитов, возникших в интервале 305–292 млн лет [1]. В целом это поле имеет форму пояса, вытянутого в северо-восточном направлении и пересекающего границы разных структурно-формационных зон. На его продолжении к северу за Главным Саянским разломом находится Зашихинское месторождение [2].

Зашихинский массив является месторождением с самым высоким содержанием тантала по отношению к ниобию в России [3] и перспективным для освоения, с благоприятными условиями отработки. Руды месторождения относятся к тантал-ниобиевому промышленному типу. Помимо характерных для щелочных гранитов минералов в составе гранитов отмечен редкий фторид редкоземельных элементов – гагаринит, который был встречен в некоторых массивах редкометалльных гранитов СП (Казахстан), Катугинское (Забайкалье), Улуг-Танзек (Тува).

В настоящей статье проведена вещественная (геохимическая и минералогическая) характеристика пород, рассмотрен генезис массива на основе современных аналитических данных. В основу построений положены данные о геологическом строении Зашихинского

массива, геохимических особенностях слагающих его пород. Дана характеристика редкометалльной минерализации и установлены главные минералы-концентраты редкометалльных элементов.

Аналитические методы исследования

Аналитические исследования пород Зашихинского массива проводились с использованием научного оборудования ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН и Байкальского центра нанотехнологий ИРНТУ (г. Иркутск): химический состав был выполнен с помощью рентгенфлуоресцентного силикатного анализа на многоканальном рентгеновском спектрометре СРМ-25 (аналитик А.Л. Финкельштейн); щелочные элементы (K, Na, Li, Rb, Cs) определены методом фотометрии пламени, прибор – атомно-эмиссионный пламенный спектрофотометр ДФС-12, методика – СТП ИГХ-009-97 (аналитик Л.В. Алтухова); редкоэлементный состав – методом ICP-MS на приборе Element 2 (аналитики А.Ю. Митрофанова, О.В. Зарубина); на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8200 изучался состав минералов щелочных гранитов (аналитик Л.Ф. Суворова).

Геологическое положение и строение Зашихинского массива

Зашихинское редкометалльное месторождение расположено в Нижнеудинском районе Иркутской области в хребтах Восточного Саяна. Оно представлено обогащенными редкими элементами щелочными гранитами, образующими обособленное тело, которое внедрено в Хайламинский массив гранитоидов среднепалеозойского огнитского комплекса [4, 5]. Месторождение открыто в 1971 г. Хунгейско-Хайламинской партией Нижнеудинской экспедиции, производившей геологическую съемку масштаба 1:50000.

В плане массив имеет эллипсоидную, вытянутую в северо-западном направлении форму с соотношением длины к ширине около 2:1, его площадь на современном срезе составляет около

1,3 км² (рис. 1). Глубина эрозионного среза (разница максимальной и минимальной гипсометрических отметок) составляет около 300 м. На участке внедрения массива развиты раннепротерозойские гнейсы, амфиболиты и сланцы фундамента, силурийские и девонские отложения трога, прорванные раннепалеозойскими габбро, диоритами и девонскими гранитоидами огнитского комплекса, к поздним фазам которого по существу представляются и относятся граниты Хайламинского массива. В экзоконтактах массива эти породы ороговикованы (сланцы), сегрегационно перекристаллизованы (диориты, габбро, граниты), пронизаны жилками онгоитов, а также жилами кварц-альбит-аквамаринового, флюорит-аквамаринового, сидерит-кварц-альбитового и существенно кварц-сульфидного (пирит, пирротин, халькопирит, молибденит, галенит и др.) состава [4].

В строении Зашихинского массива по минерально-петрографическому составу и содержанию полезных компонентов ранее В.В. Архангельской и др. (2012) были выделены четыре зоны метасоматитов, закономерно и постепенно сменяющие друг друга по мере продвижения от наиболее глубоко эродированного юго-восточного контакта к северо-восточному.

По нашим представлениям [6, 7], Зашихинский массив состоит из трех фациальных разновидностей щелочных гранитов согласно их возрастному признаку – от ранних фаций к поздним (см. рис. 1).

Наиболее ранняя, первая фация – амфиболсодержащие кварц-микроклин-альбитовые агпаитовые щелочные граниты, обладающие гипидиоморфнозернистой с порфиоровыми выделениями гороховидного кварца и удлиненными призмами черного арфведсонита структурой. Эта фация прослеживается в виде единого тела в юго-западной части массива.

В центральной части месторождения расположены выходы пород второй

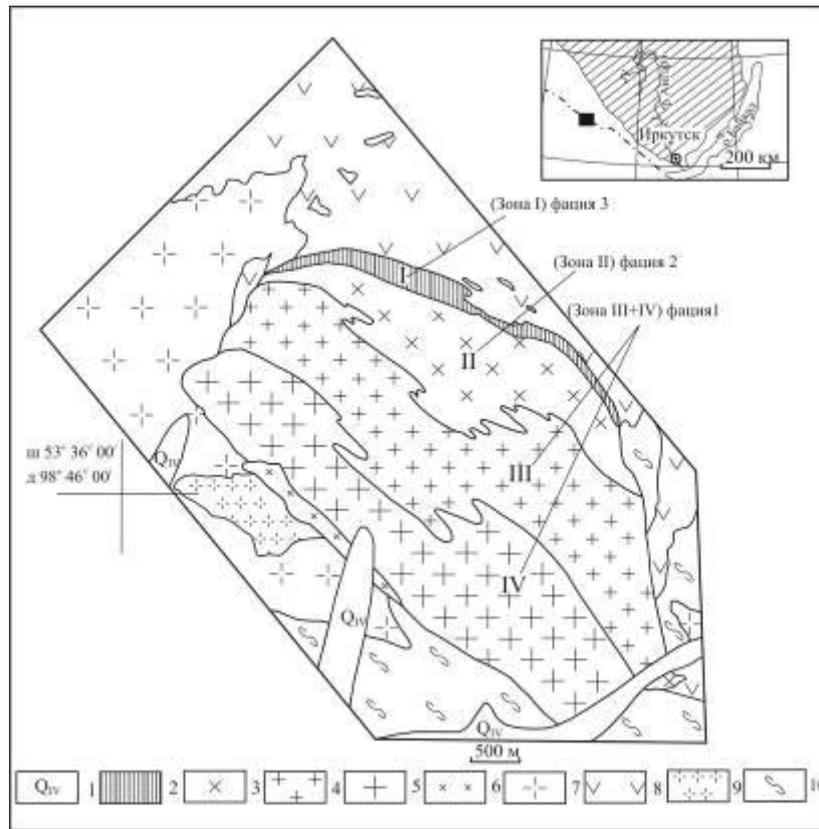


Рис. 1. Схема геологического строения Зашихинского массива (по В.В. Архангельской и др., 2012, с уточнениями авторов):

1 – четвертичные отложения (Q_{IV}). Зашихинский массив: 2 – альбититы – зона I (фация 3), 3 – лейкократовые кварц-альбит-микроклиновые граниты – зона II (фация 2), амфиболсодержащие кварц-микроклин-альбитовые граниты: 4 – зона III (фация 1), 5 – зона IV (фация 1). Среднепалеозойские интрузивные породы: 6 – пегматоидные амфиболовые граниты, 7 – граниты, сиениты, граносиениты огнитского комплекса (D_{2og}), 8 – диориты хойто-окинского комплекса (Pz_1ho). Раннепротерозойские интрузивные породы: 9 – граниты саянского интрузивного комплекса (PR_{2sn}), 10 – сланцы, микрогнейсы, амфиболиты бирюсинской свиты (PR_1br_2)

фации – лейкократовые кварц-альбит-микроклиновые редкометалльные граниты. Кварц образует как крупные гороховидные вкрапленники, так и мелкие зерна в основной массе гранита.

Третья фация пород образована существенно альбитовыми разностями, переходящими в альбититы, расположена в северо-восточной части массива (см. рис. 1). Эта фация гранитов наиболее редкометалльная и является главным рудным участком Зашихинского массива. Богатые руды месторождения развиты на площади $30 \times 1000 \text{ м}^2$. Они слагают тело сложно-пластообразной формы со средней мощностью около 150 м, круто (под углом больше $40\text{--}50^\circ$) падающее к северу. Рядовые руды слагают пластовое тело, смежное с первым, но

расположенное глубже и более мощное (средняя мощность – 300 м) тело, содержащее много линз и блоков богатых руд неправильной формы и размеров [4].

Массив характеризуется отчетливо выраженной латеральной и вертикальной зональностью, заключающейся в последовательной смене минеральных парагенезисов слагающих его пород с юго-запада на северо-восток и снизу вверх с соответствующим увеличением содержания полезных компонентов.

Минеральный состав пород

Граниты Зашихинского массива сложены кварцем, микроклином и альбитом. К второстепенным минералам относятся арфведсонит ($\text{NaNa}_2(\text{Mg,Fe})_4\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{Si}_4\text{O}_{11})$), эгирин ($\text{NaFe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$), флюорит, слюды: лепидомелан ($\text{K}(\text{Mg,$

$\text{Fe}_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH}, \text{F}]_2$), протолитионит ($\text{K}_2\text{LiFe}_4\text{Al}(\text{OH}, \text{F})_4\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}$), полилитоинит ($\text{K}_2\text{Li}_4\text{Al}_2(\text{OH}, \text{F})_4\text{Si}_8\text{O}_{20}$). Акцессорные минералы составляют колумбит-танталит ($(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$), пироклор ($(\text{NaCa})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F})$), минералы группы стрюверит-ильменорутил ($(\text{Ti}, \text{Ta}, \text{Fe})_3\text{O}_6 - (\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Fe}^{3+})\text{O}_2$), ксенотим (YPO_4), гагаринит (NaCaYF_6), минералы группы криолита (Na_3AlF_6), циркон (ZrSiO_4), торит (ThSiO_4), титанит-сфен (CaTiSiO_5), сидерит (FeCO_3), карбонаты, сульфиды. В гранитах массива не зафиксировано метасоматической зональности и замещения одних минералов другими, характерных для пород метасоматического происхождения.

Главными минералами-концентраторами тантала, ниобия и других редких элементов в породах и рудах массива, представляющими основную практическую ценность при эксплуатации месторождения, являются колумбит, стрюверит, циркон и ксенотим.

Петрохимический

и геохимический составы пород

Редкометалльные граниты Зашихинского массива характеризуются широким диапазоном вариаций химического состава: SiO_2 (67–85 мас. %), Al_2O_3 (13–17,6 мас. %), $\text{FeO}_{\text{общ}}$ (1,76–3,41 мас. %), MnO (0,04–0,2 мас. %), MgO (0,05–0,8 мас. %), CaO (0,09–2,53 мас. %), Na_2O (5,36–11 мас. %), K_2O (0,42–4,48 мас. %), повышенной щелочностью ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ до 12,68 %) и значениями коэффициента апаитности 1,0–1,2. Такие вариации состава гранитов связаны с различным количественным содержанием кварца в породах. На графиках парных корреляций породообразующих элементов ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$) наблюдается четкое разделение первой фации гранитов от третьей, наиболее обогащенной редкометалльными элементами (рис. 2). Также прослеживаются довольно четкие линейные корреляции всех фаций гранитов

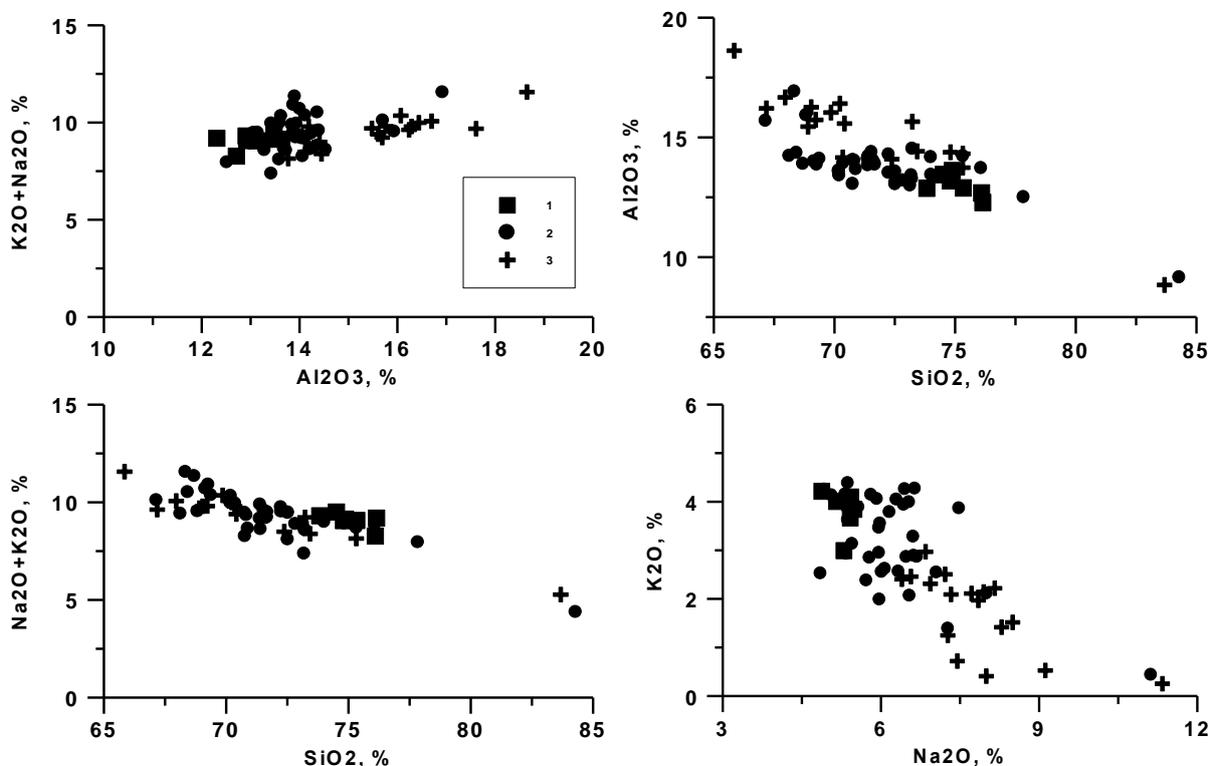


Рис. 2. Парные корреляции породообразующих элементов в гранитах массива:

1 – амфиболсодержащие кварц-микроклин-альбитовые граниты (фация 1);

2 – лейкократовые кварц-альбит-микроклиновые граниты (фация 2); 3 – альбититы (фация 3)

массива от амфиболовых разностей до альбититов, что, несомненно, свидетельствует об их едином происхождении в процессе дифференциации щелочногранитной магмы к апикальным частям магматической камеры, то есть от ранних фаций к поздним.

Граниты Зашихинского массива относительно примитивной мантии характеризуются повышенными содержаниями Rb, Li, Y, Zn, Ga, Zr, U, F, Be, REE (за исключением Eu) и очень высокими концентрациями Hf, Ta, Nb, Th, отражая специфику источников рудообразования и дальнейшую Ta-Nb специализацию месторождения. В целом в пределах массива отмечаются очень большие вариации суммы редкоземельных элементов – от 3371 до 19762 мкг/г. Самые низкие значения содержаний редкометалльных

элементов отмечаются в первой (амфиболсодержащей) фации щелочных гранитов, самые высокие – в третьей зоне (REE до 15440 г/т), тем самым полученные аналитические исследования пород подтверждают ранее сделанный вывод о самой высокой рудоносности именно этого участка Зашихинского месторождения.

На графиках парных корреляций редких элементов в трех фациях гранитов (рис. 3) наблюдаются однотипные поля корреляционных зависимостей между Ce-La, Nd-La, Nb-Zr, Y, Nb и Zr-сумма редких элементов (REE), что также свидетельствует об их генетическом родстве и происхождении из единой магмы в процессе ее дифференциации.

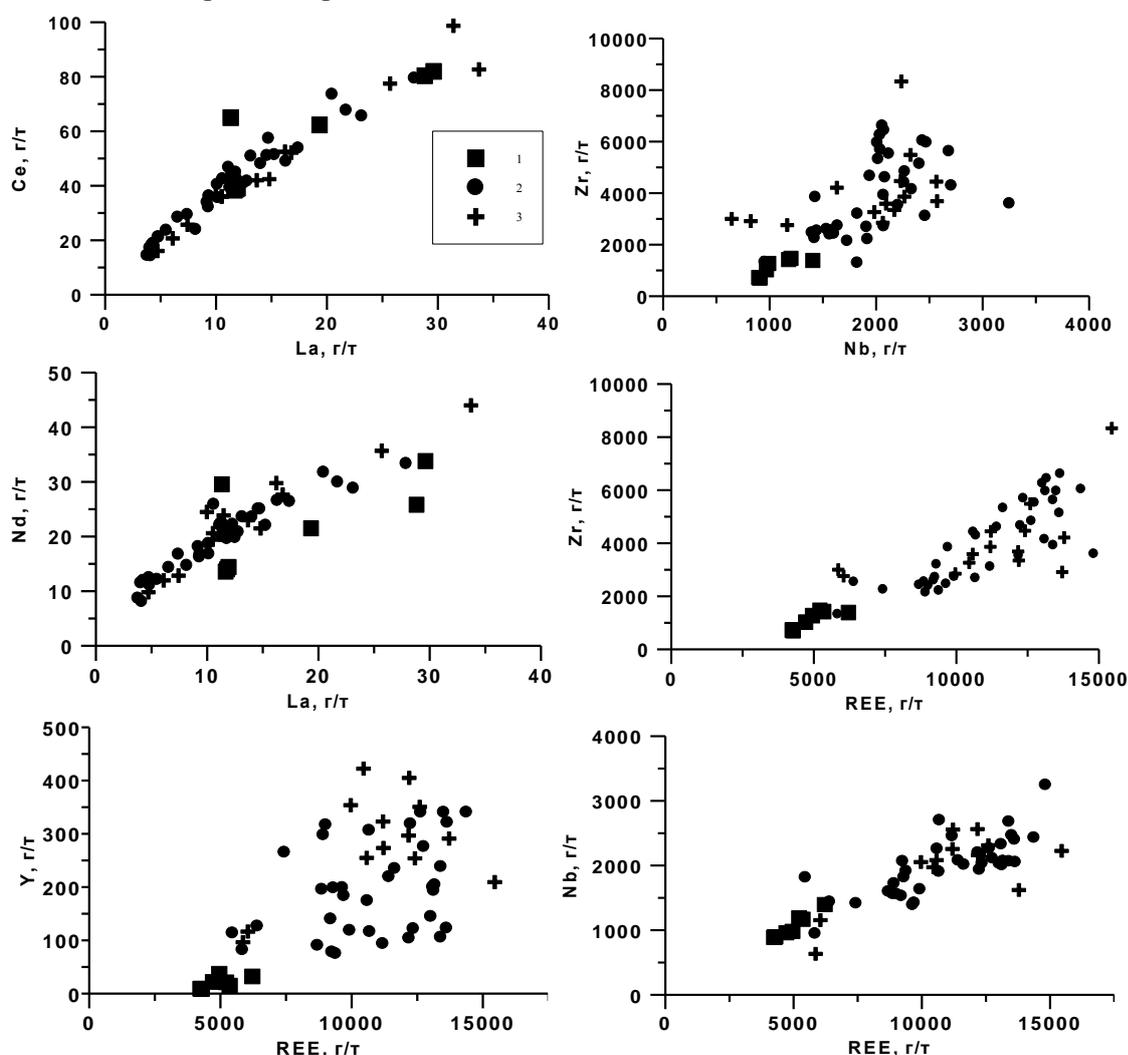


Рис. 3. Диаграммы корреляций редких элементов в щелочных гранитах:

1 – амфиболсодержащие кварц-микроклин-альбитовые граниты (фация 1);

2 – лейкократовые кварц-альбит-микроклиновые граниты (фация 2); 3 – альбититы (фация 3)

На графиках схожей конфигурацией спектров редкоземельных элементов характеризуются все фации щелочных гранитов массива (рис. 4). Легкие элементы имеют почти горизонтальное (хондритовое) расположение точек спектра и резкое фракционирование европия в виде отрицательного минимума, который, по мнению многих ученых [8], характерен для редкометалльных гранитов. Европиевый минимум может

свидетельствовать о том, что редкометалльные граниты являются дифференциатами более ранних пород. После Eu минимума наблюдается положительная линия спектра для тяжелых лантаноидов. Положительный наклон линии говорит о накоплении этих элементов по сравнению с легкими, что является хорошим фактором для редкоземельной руды Зашихинского месторождения.

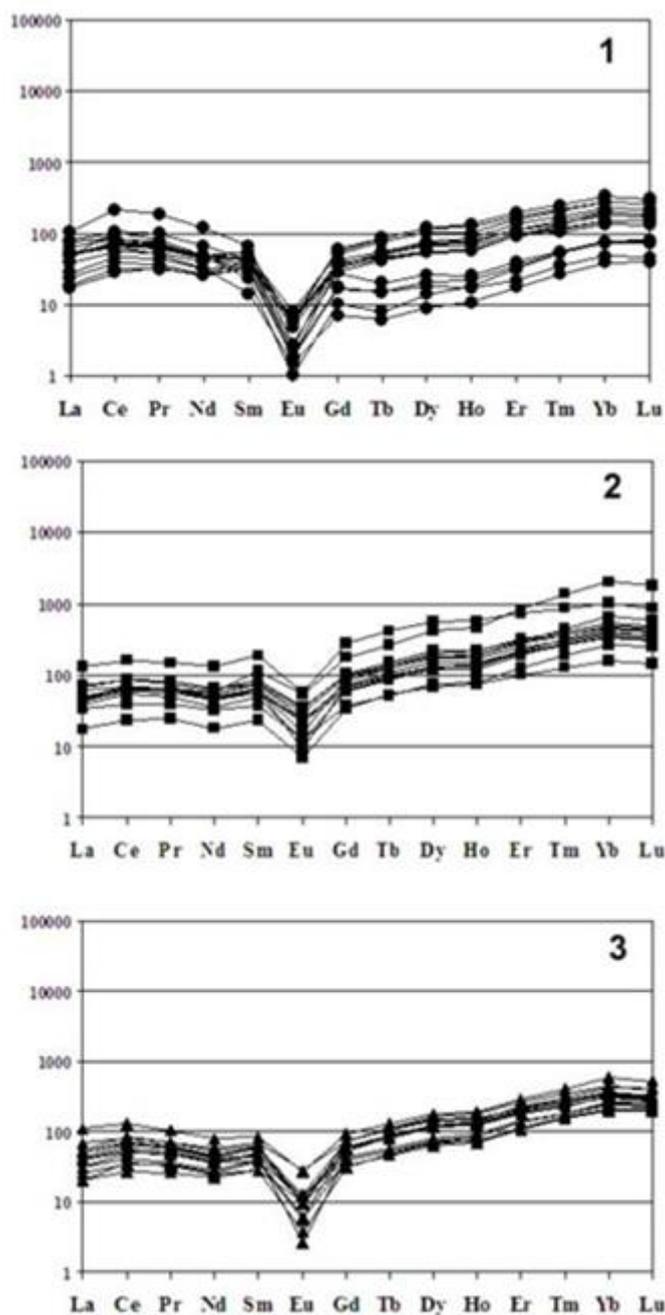


Рис. 4. Спектры редкоземельных элементов в гранитах Зашихинского массива:
 1 – амфиболсодержащие кварц-микроклин-альбитовые граниты (фация 1);
 2 – лейкократовые кварц-альбит-микроклиновые граниты (фация 2); 3 – альбититы (фация 3)

Кривые конфигурации спектра редких элементов на спайдердиаграммах (рис. 5) аналогичные у всех трех фаций пород. Наблюдаются отрицательные аномалии бария, стронция, урана, легких редкоземельных элементов, титана, а положительные аномалии характерны для тория, ниобия, тантала, свинца, циркония, гафния.

Для тяжелых редкоземельных элементов и иттрия наблюдается положи-

тельный наклон линии спектра. Для всех редкометалльных пород Зашихинского месторождения фиксируются очень компактные и одинаковые линии спектров редких элементов, что также указывает на их единое происхождение.

Обсуждение

При изучении пород Зашихинского массива были установлены три фациальные разновидности щелочных гранитов, постепенно сменяющие друг друга.

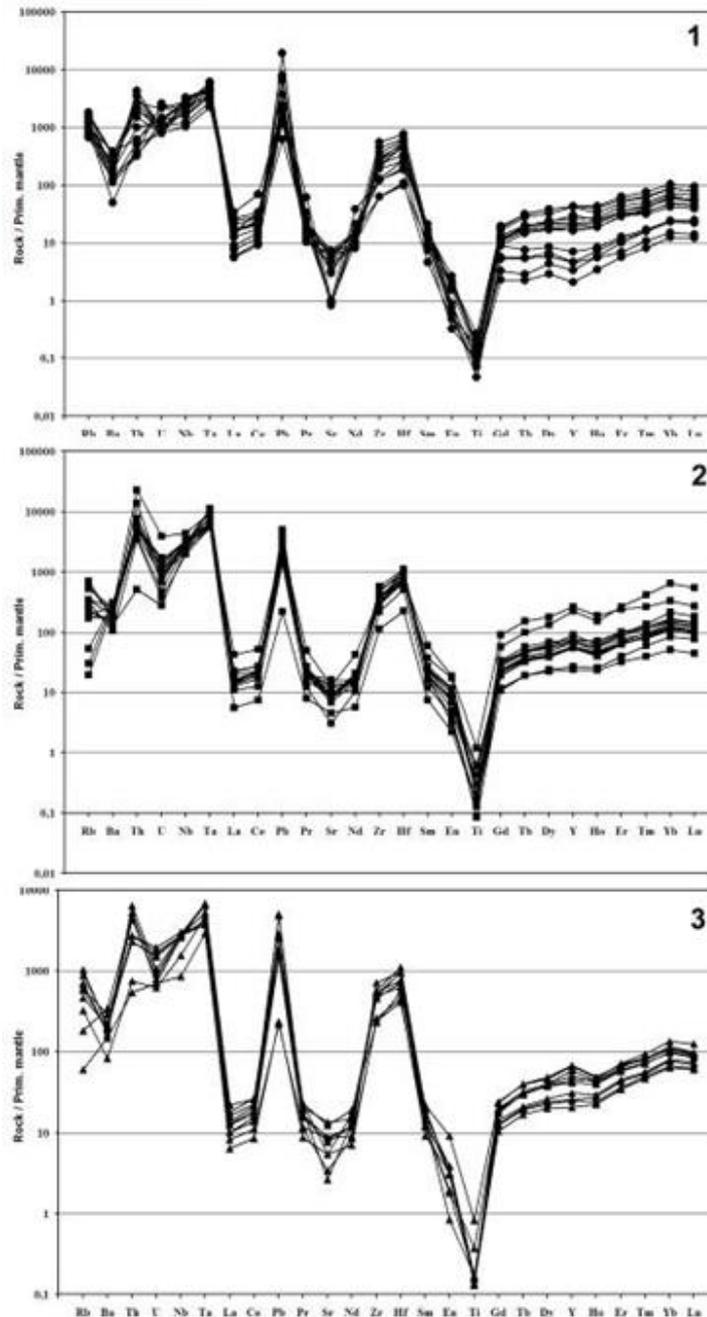


Рис. 5. Спайдердиаграммы редких элементов в гранитах Зашихинского массива:

1 – амфиболсодержащие кварц-микроклин-альбитовые граниты (фация 1);
2 – лейкократовые кварц-альбит-микроклиновые граниты (фация 2); 3 – альбититы (фация 3)

Самая ранняя фация – кварц-микроклин-альбитовые граниты с арфведсонитом, средняя – лейкократовые кварц-альбит-микроклиновые редкометалльные граниты, поздняя – альбититы. Впервые выполненные аналитические исследования всех трех фаций гранитов месторождения показали единые тренды составов на графиках парных корреляций породообразующих и редких элементов, которые указывают на то, что образование пород происходило из единой магмы в процессе ее дифференциации от ранних арфведсонитсодержащих к поздним альбититовым разностям. Однотипные спектры и спайдердиаграммы редких элементов, схожесть распределения редких элементов на них также отражают единую природу всех фациальных разновидностей массива.

С момента открытия Зашихинское месторождение было отнесено к приразломным метасоматитам [4, 5]. В ряде научных работ породы подобных массивов также считались метаморфогенными метасоматитами [4, 5, 9 и др.], хотя упомянутые проявления изучаются уже давно и еще в 1980-е годы на примере многочисленных массивов Монголии и Забайкалья был доказан их магматический генезис [10]. В дальнейшем детальные аналитические исследования проводились на массивах Улуг-Танзек [11], Снежное [2], Катугинское [1, 11–13], Ермаковское [11], Халдзан-Бурегтэ и Хан-Богдо [14] и др., где установлена приуроченность редкометалльного оруденения к щелочным гранитам. В перечисленных работах приведены этапы, области и обстановки формирования этих месторождений, их магматическая природа, отмечено происхождение редкометалльной рудоносности в магматическую стадию. Термобарогеохимические исследования расплавных включений на многих из этих массивов однозначно доказывают их магматическое происхождение.

На основе полученных нами геологических, петрографических, геохимических и минералогических данных можно уверенно утверждать, что породы

Зашихинского массива являются агпаитовыми щелочными гранитами с рядом своих геохимических особенностей. Наблюдаемую смену фациальных разновидностей пород мы объясняем как магматическую дифференциацию высокощелочной гранитной магмы, обогащенной флюидными компонентами. Более того, на спектрах редких элементов трех фациальных разновидностей пород наблюдается Eu минимум, характерный для редкометалльных гранитов [8].

В настоящее время в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург) проводятся геохронологические Pb-U исследования циркона из пород Зашихинского массива.

Выводы

Исходя из химического состава пород и наличия типоморфных минералов (арфведсонит, гагаринит, криолит), Зашихинский массив следует отнести к формации агпаитовых щелочных гранитов при коэффициенте агпаитности 1,0–1,2, при котором кристаллизация редких элементов происходит в виде колумбита, пирохлора и циркона.

Граниты Зашихинского массива характеризуются повышенными содержаниями Rb, Li, Y, Zn, Ga, Zr, U, F, Be, REE (за исключением Eu) и очень высокими концентрациями Hf, Ta, Nb, Th. В целом в пределах массива отмечается очень большие вариации REE: от 3371 до 19762 мкг/г. Самые низкие значения содержаний редкометалльных элементов отмечаются в первой (амфиболсодержащей) фации щелочных гранитов, самые высокие – в третьей зоне (REE до 15440 г/т).

Единые тренды породообразующих компонентов и редких элементов свидетельствуют о едином происхождении всех фациальных разновидностей гранитов массива.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 14-45-04070 р_Сибирь_а.

Библиографический список

1. Vladykin N.V. Geochemistry and genesis of Katugin complex of rare-metal alkaline granites // *Ore potential of alkaline, kimberlite and carbonatite magmatism: Abstracts book*. Ankara, 2014. P. 220–223.
2. Ярмолюк В.В., Лыхин Д.А., Шурига Т.Н., Воронцов А.А., Сугоракова А.М. Возраст, состав пород, руд и геологическое положение бериллиевого месторождения Снежное: к обоснованию позднепалеозойской Восточно-Саянской редкометалльной зоны (Россия) // *Геология рудных месторождений*. 2012. Т. 53. № 5. С. 438–449.
3. Машковцев Г.А., Быховский Л.З., Рогожин А.А., Темнов А.В. Перспективы рационального освоения комплексных ниобий-тантал-редкометалльных месторождений России // *Разведка и охрана недр*. 2011. № 6. С. 9–13.
4. Архангельская В.В., Шурига Т.Н. Геологическое строение, зональность и оруденение Зашихинского тантал-ниобиевого месторождения // *Отечественная геология*. 1997. № 5. С. 7–10.
5. Архангельская В.В., Рябцев В.В., Шурига Т.Н. Геологическое строение и минералогия месторождений тантала России // *Минеральное сырье*. 2012. № 25.
6. Алымова Н.В. Редкометалльные граниты Зашихинского массива, Иркутская область // *Вопросы естествознания*. 2015. № 4 (8). С. 9–12.
7. Алымова Н.В., Владыкин Н.В., Радомская Т.А. Состав и петрохимические особенности пород Зашихинского массива – нового редкометалльного объекта в Иркутской области // *Актуальные проблемы науки Прибайкалья*. Вып. 1. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2015. С. 19–23.
8. Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолюк В.В. [и др.]. Источники магм и изотопная (Sr, Nd) эволюция редкометалльных Li-F гранитов // *Петрология*. 1999. Т. 7. № 4. С. 383–409.
9. Кудрин В.С., Шурига Т.Н. Специфика минерального состава крупных редкометалльных месторождений в плутогенных щелочных кварц-альбит-микроклиновых метасоматитах // *Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов: сб. научных ст.* СПб., 1998. С. 110–112.
10. Владыкин Н.В. Минералогическо-геохимические особенности редкометалльных гранитоидов Монголии. Новосибирск: Наука, 1983. 200 с.
11. Ярмолюк В.В., Кузьмин М.И. Позднепалеозойский и раннемезозойский редкометалльный магматизм Центральной Азии: этапы, области и обстановки формирования // *Геология рудных месторождений*. 2012. Т. 54. № 5. С. 375–399.
12. Котов А.Б., Владыкин Н.В., Ларин А.М. [и др.]. Новые данные о возрасте оруденения уникального Катугинского редкометалльного месторождения (Алданский щит) // *Доклады академии наук*. 2015. Т. 463. № 2. С. 187–191.
13. Ларин А.М., Котов А.Б., Владыкин Н.В., Гладкочуб Д.П., Ковач В.П. [и др.]. Источники и геодинамическая обстановка формирования редкометалльных гранитов Катугинского комплекса (Алданский щит) // *Доклады академии наук*. 2015. Т. 464. № 1. С. 75–79.
14. Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Козловский А.М. Два типа источников магм редкометалльных щелочных гранитоидов // *Геология рудных месторождений*. 2007. Т. 49. № 6. С. 506–534.

References

1. Vladykin N.V. Geochemistry and genesis of Katugin complex of rare-metal alkaline granites. *Ore potential of alkaline, kimberlite and carbonatite magmatism: Abstracts book*. Ankara, 2014, p. 220–223.
2. Yarmolyuk V.V., Lykhin D.A., Shuriga T.N., Vorontsov A.A., Sugorakova A.M. Vozrast, sostav porod, rud i geology-

ichesкое polozhenie berillievogo mestorozhdeniya Snezhnoe: k obosnovaniyu pozdnepaleozoiskoi Vostochno-Sayanskoi redkometal'noi zo-ny (Rossiya) [Age, composition of rocks, ores and geological position of Snezhnoe beryllium deposit: To the justification of the Late Paleozoic East Sayan rare metal area (Russia)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of Ore Deposits*, 2012, Vol. 53, no. 5, pp. 438–449.

3. Mashkovtsev G.A., Bykhovskii L.Z., Rogozhin A.A., Temnov A.V. Perspektivy ratsional'nogo osvoeniya kompleksnykh niobii-tantal-redkometal'nykh mestorozhdenii Rossii [Prospects for rational development of complex niobium-tantalum-rare metal deposits in Russia]. *Razvedka i okhrana nedr = Prospect and protection of mineral resources*, 2011, no. 6, pp. 9–13.

4. Arkhangel'skaya V.V., Shuriga T.N. Geologicheskoe stroenie, zonal'nost' i orudnenie Zashikhinskogo tantal-niobievogo mestorozhdeniya [Geological structure, zoning and mineralization of Zashikhinskoe tantalum-niobium deposit]. *Otechestvennaya geologiya = National Geology*, 1997, no. 5, pp. 7–10.

5. Arkhangel'skaya V.V., Ryabtsev V.V., Shuriga T.N. Geologicheskoe stroenie i mineralogiya mestorozhdenii tantala Rossii [Geological structure and mineralogy of tantalum deposits in Russia]. *Mineral'noe syr'e = Mineral raw materials*, 2012, no. 25.

6. Alymova N.V. Redkometal'nye granity Zashikhinskogo massiva, Irkutskaya oblast' [Rare-metal granites of the Zashikhinsky massif, the Irkutsk region]. *Voprosy estestvoznaniya = Problems of Natural Science*, 2015, no. 4 (8), pp. 9–12.

7. Alymova N.V., Vladykin N.V., Radomskaya T.A. Sostav i petrokhimicheskie osobennosti porod Zashikhinskogo massiva – novogo redkometal'nogo ob'ekta v Irkutskoi oblasti [Composition and petrochemical features of the Zashikhinsky massif rocks – a new rare metal object in the Irkutsk region]. *Aktual'nye problemy nauki Pribaikal'ya* [Actual problems of the Baikal

region science]. Vol. 1. Irkutsk, IG SO RAN Publ., 2015, pp. 19–23.

8. Kovalenko V.I., Kostitsyn Yu.A., Yarmolyuk V.V. Istochniki magm i izotopnaya (Sr, Nd) evolyutsiya redkometal'nykh Li-F granitov [Magma sources and isotopic (Sr, Nd) evolution of Li-F rare metal granites]. *Petrologiya = Petrology*, 1999, Vol. 7, no. 4, pp. 383–409.

9. Kudrin V.S., Shuriga T.N. Spetsifika mineral'nogo sostava krupnykh redkometal'nykh mestorozhdenii v plutogennykh shchelochnykh kvarts-al'bit-mikroclinovykh metasomatitakh [Features of the mineral composition of large rare metal deposits in pluton-related alkaline quartz-albite-microcline metasomatites]. *Krupnye i unikal'nye mestorozhdeniya redkikh i blagorodnykh metallov: sb. nauchnykh st.* [Large and unique deposits of rare and precious metals: Collection of scientific articles]. Saint Petersburg, 1998, pp. 110–112.

10. Vladykin N.V. *Mineralogiko-geokhimicheskie osobennosti redkometal'nykh granitoidov Mongolii* [Mineralogical and geochemical characteristics of rare-metal granitoids of Mongolia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983. 200 p.

11. Yarmolyuk V.V., Kuz'min M.I. Pozdnepaleozoiskii i rannemezozoiskii redkometal'nyi magmatizm Tsentral'noi Azii: etapy, oblasti i obstanovki formirovaniya [Late Paleozoic and Early Mesozoic rare-metal magmatism of Central Asia: formation stages, zones and conditions]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of ore deposits*, 2012, Vol. 54, no. 5, pp. 375–399.

12. Kotov A.B., Vladykin N.V., Larin A.M. Novye dannye o vozraste orudneniya unikal'nogo Katuginskogo redkometal'nogo mestorozhdeniya (Aldanskii shchit) [New data on the mineralization age of the unique Katuginskoe rare metal deposit (Aldan Shield)]. *Doklady akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2015, Vol. 463, no. 2, pp. 187–191.

13. Larin A.M., Kotov A.B., Vladykin N.V., Gladkochub D.P., Kovach V.P. Istochniki i geodinamicheskaya obstanovka formirovaniya redkometal'nykh granitov

Katuginskogo kompleksa (Aldanskii shchit) [Sources and geodynamic conditions of rare metal granite formation in the Katuginsky complex (Aldan shield)]. *Doklady akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2015, Vol. 464, no. 1, pp. 75–79.

14. Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Kozlovskii A.M. Dva tipa istochnikov magm redkometal'nykh shchelochnykh granitoidov [Two types of magma sources of alkaline rare metal granitoids]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of Ore Deposits*, 2007, Vol. 49, no. 6, pp. 506–534.

*Статья поступила 15.03.2016 г.
Article received 15.03.2016.*