

УДК 553.3/4.078:553.2:551.73

АГПАИТОВЫЕ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ ГРАНИТОИДЫ АЛТАЯ И ИХ РУДОНОСНОСТЬ

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукушина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены петро-геохимические данные об агпаитовых гранитоидах Горного Алтая, формировавшихся на протяжении временного отрезка от среднего девона до среднего карбона. Агпаитовыми гранитоидами сложены многочисленные массивы майорского, елиновско-бутачихинского и шибеликского комплексов. Для сравнения приведены составы молодых анорогенных гранитоидов Нигерии и Алтайского Китая. В минеральном составе пород определяющую роль играет щелочной амфибол – рибекит. В породах проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М- типа, а также «не заряд-радиус» контролируемое поведение рассеянных элементов. Установлена корреляция увеличения величины тетрадного эффекта с увеличением отношений Zr/Hf и U в породах, что отвечало увеличению кислотности среды. С агпаитовыми гранитоидами связано оруденение урана, циркония, редких земель, ниобия и тантала.

Ключевые слова: агпаитовые гранитоиды, рибекит, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа, рудная минерализация, уран, цирконий, ниобий, тантал, редкие земли

AGPAITIC RARE METAL GRANITOIDS OF ALTAI AND THEIR ORE MINERALIZATION

Gusev A.I.

*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk,
e-mail: anzerg@mail.ru*

Petro-geochemical data of the agpaitic granitoids of Mountain Altai, forming on the extent time stretch from Middle Devonian to Middle Carboniferous. The numerous massifs of Mayorskii, Elinovsko-Butachikhinskii, Shibelikskii complexes composed by agpaitic granitoids. Compositions of young granitoids of Nigeria and Altai China bring for comparison. Alkalic amphybol – rhybekite play basic role in mineral composition. The tetrad effect fractionation of REE M-type display and «Non CHArge-and-Radius-Controlled» behavior of elements in rocks. Correlation of increasing size tetrad effect fractionation with increasing ratio of Zr/Hf and U in rocks arranged that it answered increasing of acidic of environment. Ore mineralization of uranium, zirconium, rare earth elements, niobium, tantalium related with agpaitic granitoids.

Keywords: agpaitic granitoids, rhybekite, tetrad effect fractionation of REE M-type, ore mineralization, uranium, zirconium, rare earth elements, niobium, tantalium

Агпаитовые гранитоиды имеют специфические особенности генерации и сопровождаются различными типами оруденения, преимущественно Nb, Ta, Zr, U, редких земель [2–5]. В Горном Алтае и соседних регионах аналогичные гранитоиды распространены широко. Поэтому *актуальность их изучения* не вызывает сомнений. *Цель исследования* – изучить петрологию и геохимию агпаитовых гранитоидов Горного Алтая и их рудоносность. *Методы исследования.* Силикатные анализы магматических пород на главные компоненты выполнены в лаборатории Сибирского Исследовательского Центра (г. Новокузнецк), а на микроэлементы – методом эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ОРТИМА-4300», для Cu, Zn, Pb, Li, – методом ISP-AES в Лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). Изотопные измерения в цирконах проводились по классической методике на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II (г. Санкт-Петербург).

Результаты исследования и их обсуждение

К агпаитовым гранитоидам в Горном Алтае отнесены граниты умеренно-щелочные с щелочными минералами (рибекитом, арфведсонитом). Выделяется несколько комплексов, содержащих агпаитовые граниты: майорский, елиновско-бутачихинский и шибеликский.

Майорский габбро-гранодиорит-гранитовый (D_{2,3}?) объединяет небольшие гипабиссальные массивы, развитые в юго-восточной части Чарышского блока Чарышско-Чуйской структурно-формационной зоны (СФЗ) (Майорский петрогипический массив и ряд более мелких интрузивных тел Майорского ареала), в пределах Коргонского наложенного прогиба (Ночной, Еловский, Абайский, Тимофеевский, Владимировский массивы) и среди сланцев Терехтинской СФЗ (Тюдетский, Красноярский, Огневский, Бирюксинский массивы). В составе елиновско-бутачихинского комплекса (D₂) к агпаитовым гранитоидам относится Елиновский

и Аскатинский массивы и ряд даек, сопровождающих эти массивы. В шибеликском гранит-лейкогранитовом комплексе (D_3-C_2) рассматриваются Шибеликский, Куладинский и Шашикманский массивы. Некоторые исследователи к этому же комплексу относят и Каракольский массив, также сопровождающийся комплексным U-Be-TR оруденением.

На соседней территории Китая на реке Улунгар также выделяется фаза агпаитовых гранитов с щелочными амфиболами и пироксенами имеет Rb-Sr изохронный возраст по породе 300 ± 6 млн лет. Следует отметить, что близкий возраст получен и для Куладинского массива (301 млн лет). Содержания Ba (0-109 ppm) и Sr (5-44 ppm) в них низкие. Ранее были опубликованы по трем массивам этих гранитов U-Pb определения по цирконам – 320 ± 2 , 314 ± 2 и 323 млн лет. Полученные по Rb-Sr даты на 10–30 млн лет моложе, чем возраст цирконов по U-Pb, что объясняют разной температурой блокирования (закрытия) Rb-Sr и U-Pb систем. Таким образом, внедрение агпаитовых гранитоидов на Алтае проходило на отрезке от среднего девона до среднего карбона.

Молодые анорогенные граниты представлены плутоном Джиангдзуньшанским, расположенным в Китайском Алтае и имеющему возраст 151 млн лет.

Гранитоиды этого типа состоят из пертитового щелочного полевого шпата (40–45%), кварца (30–33%), кислого плагиоклаза (10–15%), высоко-железистого ($f = 64-96$) низкоглиноземистого биотита (15%), амфибола ряда катафорит-рибекит-озаннит, пироксена (салит, титанавгит,

эгирин-авгит). Акцессорные минералы представлены магнетитом, ильменитом, цирконом, флюоритом, ортитом, колумбитом, сфеном, чевкинитом, фергусонитом, бастнезитом, касситеритом. Структура пород преимущественно графическая и микропегматитовая. Роговая обманка в агпаитовых гранитоидах Горного Алтая чаще всего представлена рибекитом. Так в Куладинском массиве рибекит проявлен в виде скелетных обособлений (порфировидные выделения) и длиннопризматических и игольчатых кристаллов (основная масса), часто образуя шпировидные скопления. В Елиновском массиве рибекит образует неправильные выделения, иногда скопления скелетных кристаллов размером $0,3 \times 0,7$ см. По своим оптическим свойствам (резкий плеохроизм от черно-синего по Np до буровато-зеленовато-желтоватого по Ng ; преломление по $Np = 1,687-1,690$, по $Ng = 1,697-1,700$) и химическому составу ($SiO_2 - 46,37\%$, $TiO_2 - 1,50$, $Al_2O_3 - 1,90$, $Fe_2O_3 - 20,04$, $FeO - 17,89$, $MnO - 0,99$, $MgO - 0,14$, $CaO - 2,88$, $Na_2O - 5,32$, $K_2O - 0,53$, $H_2O - 1,73$, $F - 0,56$) амфибол отнесен к ряду арфведсонит-рибекит.

Породы характеризуются повышенной щелочностью, повышенным коэффициентом агпаитности (от 0,89 до 1,1), умеренной глиноземистостью (индекс Шенда = 1,05–1,1). Химические составы пород изучены и приведены в работах [2-10]. По соотношениям Zr/Hf – SiO_2 фигуративные точки агпаитовых гранитоидов Горного Алтая попадают в поле апогранитных комплексных Zr-TR-Nb-Ta месторождений (рис. 1).

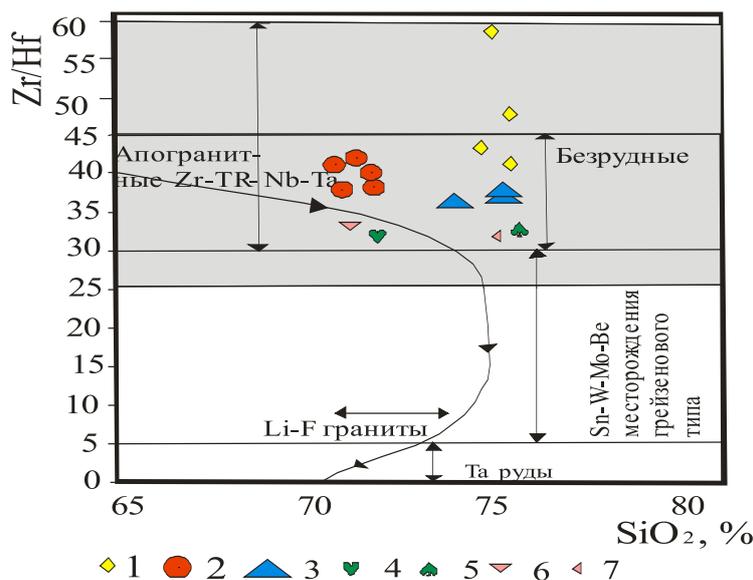


Рис. 1. Диаграмма Zr/Hf – SiO_2 для агпаитовых гранитоидов



Рис. 2. Диаграмма $Zr/Hf - TE_{1,3}$ для пород шибеликского комплекса Горного Алтая. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами по [10]. 1 – Эгирин-рибекитовые граниты, 2 – рибекитовые лейкограниты

Серым фоном на рисунке показано поле НАРАС (CHARGE-and-RADIUS-CONTROLLED) по [9]. На рис. 1 дугообразная линия со стрелками – кривая фракционирования расплавов редкометалльных гранитов и поля металлогенической специализации по [6]; поле апогранитных цирконий-редкоземельных-редкометалльных месторождений выделено автором с учётом данных по агпаитовым гранитоидам Австралии, Китая, Монголии, Африки, Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Агпаитовые гранитоиды: 1 – плато Джос (Африка) по [8]; породы Горного Алтая: шибеликский комплекс: 2 – эгирин-рибекитовые граниты, 3 – рибекитовые лейкограниты; Елиновский массив 4 – рибекитовые граниты, 5 – лейкограниты; Аскатинский массив: 6 – рибекитовые граниты, 7 – рибекитовые лейкограниты.

Как установлено группой исследователей становление магмы агпаитовых гранитоидов благоприятствовало флюид-расплавовому взаимодействию, которое сопровождалось проявлением тетрад-эффекта фракционирования РЗЭ и «non-CHARAC» поведением рассеянных элементов [9]. Источником магмогенерации было плавление доминантно ювенильного мантийного компонента с подчинённым рециклингом древней коры. Первоначальная магма для изученных массивов гранитов Китая характеризовалась экстенсивной дифференциацией, в процессе которой интенсивно взаимодействовали остаточные расплавы и водные флюиды, вероятно, обогащённые F и Cl, в результате чего возникало «non-CHARAC» поведение рассеянных элементов и проявление лантанидного тетрад-эффекта фракционирования РЗЭ [9].

Во всех массивах агпаитовых гранитоидов Горного Алтая проявлен тетрадный

эффект фракционирования РЗЭ М-типа и «non-CHARAC» поведением рассеянных элементов, вызванное внешним источником – высоко водными флюидами, обогащёнными фтор-комплексами, смешивающимися с расплавами агпаитовой магмы [3].

Генерация оруденения происходила в сложных условиях, определявшихся физико-химическими условиями среды в магмотогенных флюидах, извлекавших и переносивших металлы к местам рудоотложения. Это хорошо видно на рис. 2, где увеличение величины тетрадного эффекта фракционирования связано с увеличением отношений Zr/Hf .

Известно, что отношение циркония к гафнию является чувствительным индикатором фракционирования элементов в гранитоидах, и что увеличение отношений Zr/Hf происходит с увеличением кремнекислотности среды согласно рядам кислотности-щёлочности в водных и водно-сероводородных флюидах при стандартных условиях по [7]. Следовательно, увеличение величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М-типа в породах позитивно коррелируется с увеличением кислотности среды.

Для Аскатинского массива, с которым связано комплексное U-редкоземельно-редкометалльное оруденение, выявлена такая же закономерность – увеличение величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М-типа происходит с увеличением концентраций урана в породах (рис. 3).

В то же время максимальным значениям ТЭФ РЗЭ соответствуют минимальные отношения Th/U . Чем ниже указанное отношение (Th/U), тем выше щёлочность среды, согласно рядам кислотности-щёлочности А.А. Маракушева [7] для ряда элементов в водно-сероводородных растворах при

стандартных условиях. Следовательно, увеличение содержаний урана в расплавах, породивших гранитоиды Аскатинского массива, коррелируется с увеличением величины ТЭФ и повышением кислотности среды.

Оруденение, связанное с агпатитовыми гранитоидами. В экзоконтактах рибекитовых гранитов установлены жилоподобные образования послемагматических рихтерит-эгирин-альбитовых и эгириновых метасоматитов с редкометалльной минерализацией. В южном экзоконтакте меланогранитов 1 фазы Майорского массива образовались магнетитовые везувиан-гранат-пироксеновые скарны. С гранитоидами Елиновского и Аскатинского массивов связаны жильные проявления флюорит-редкоземельной минерализации.

Елиновское скарновое флюорит-редкометалльно-редкоземельное проявление. Участок Елиновского проявления находится на водоразделе рек Баблайка и Щебеты. Рудная зона приурочена к контакту среднезернистых рибекитовых гранитов Елиновского массива с известняками куимовской свиты верхнего силура. Граниты вблизи контакта каолинизированы, окварцованы и обохрены по трещинам. Известняки скарнированы и мраморизованы. Скарновая ассоциация представлена гранатом, пироксеном, эпидотом, везувианом. В скарнированных известняках наблюдается серия кварцевых, кварц-карбонатных и кварц-флюоритовых жил. Простираение жил северо-западное (285–300°), падение северо-восточное под углами 45–90°. Мощность жил до 0,8 м. Они прослеживаются по простиранию на первые десятки метров. В отдельных жилах

флюорит составляет до 50% объема породы. Иногда в кварце наблюдается мелкая, довольно редкая вкрапленность галенита и сфалерита. Минеральной формой редкоземельных элементов являются поликраз, фергусонит и малакон, локализующиеся в измененных гранитах и флюорит-кварцевых жилах. Размеры вкрапленности 1–2 мм. Рентгеноспектральный анализ каолинизированного гранита дал следующие результаты: Y-0.01-0.06%, Yb-0.01-0.03%. Спектральный анализ бороздовых проб по кварцу с сульфидами показал наличие Pb до 0.3-1%, Zn до 1%. Повышенное содержание элементов встречено в измененных гранитах: Zr-0.1%, Nb-0.005%, Ga-0.001%, Y-0.01%, Yb-0.002%. Повышенной радиоактивностью до 65 мкр/час на фоне 25 мкр/час обладают дайки рибекитовых гранитов мощностью до 0, 3 м и измененные граниты по зонам дробления. В первом случае в дайках повышенная радиоактивность, связанная с малаконом (малакон – дипирамидальная разновидность циркона с повышенными содержаниями U, TR, Th; содержание U 0,8-1%, Th-0,3% по рентгеноспектральному анализу), а во втором случае природа радиоактивности не выяснена. Местами в дайках наблюдается малакон в виде густой вкрапленности. Размер зерен малакона до 0,5 см. Местами отмечается густая вкрапленность циркона размерами от 0,5 до 2 мм. Химическим анализом в гранитах установлен диоксид Zr до 0,76%.

Обследования Елиновского проявления, проведенные нами в 2011 и 2012 годах, позволили выявить новые данные, значительно уточняющие его строение и состав [6].

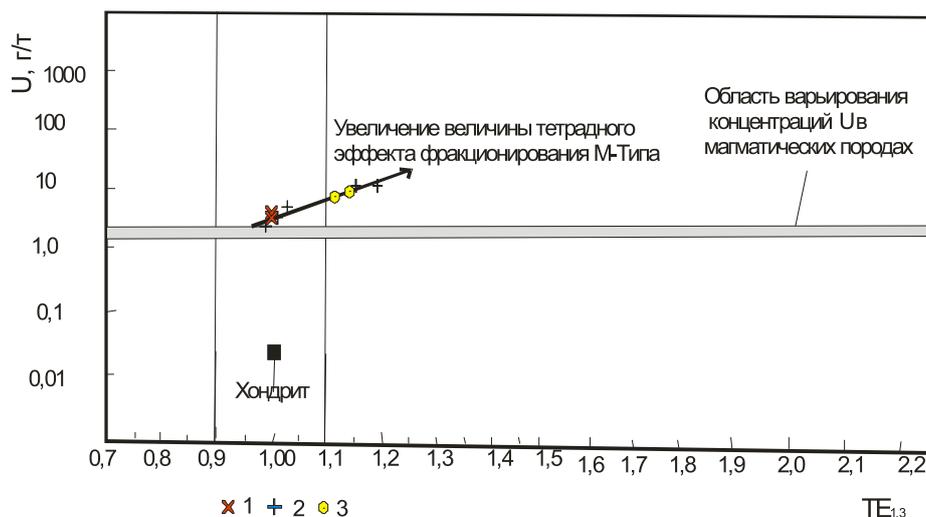


Рис. 3. Диаграмма $U - TE_{1,3}$ для пород Аскатинского массива. Варьирование концентраций урана в магматических породах принято по [1]. Породы Аскатинского массива: 1 – щелочной гранит, 2 – лейкограниты, 3 – умеренно-щелочные лейкограниты

Альбититовое тантал-ниобий-циркониевое проявление *Вершинное* расположено в северной части Елиновского массива на склоне вершины с отметкой 1174,2 м. Здесь альбитизированные и окварцованные рибекитовые лейкограниты превращены местами в крупнозернистые альбититы с вкрапленностью танталита, колумбита, пирохлора и циркона размерами от 0,1 до 1 мм. Содержания тантала варьируют от 0,01 до 0,12%, ниобия – от 0,005 до 0,1%, циркония от 0,1 до 0,5%, урана от 0,005 до 0,1%, гафния от 0,01 до 0,1%.

В краевых частях Кулудинского и Шибеликского массивов отмечены фельдшпатоиды с прожилками кварца и вкрапленностью флюорита, циркона (малакона), монацита, ксеотима, синхизита и колумбита. Концентрации элементов в них составляют (%): циркония – от 0,1 до 1,4, гафния – от 0,05 до 0,3, ниобия – от 0,05 до 0,4, тантала – от 0,01 до 0,2, сумма TR – от 0,2 до 0,6%. Оценены прогнозные ресурсы редких металлов для Шибеликского рудного узла в объёме (тыс. тонн): ΣTR_2O_3 – 2647, ZrO_2 – 6435, HfO_2 – 269, Nb_2O_5 – 5493, Ta_2O_5 .

Выводы

Приведенные данные показывают, что агапитовые гранитоиды Горного Алтая имеют специфические вещественные характеристики. В них проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа, обусловленный смешением расплавов и водных флюидов, обогащённых фторидами и другими летучими компонентами. Селекционирование металлов из расплавов и их перенос осуществлялись в сложных физико-химических условиях при повышении кислотности

среды. Флюидный режим создавал условия для образования апогранитных метасоматитов с формированием комплексного оруденения урана, циркония, редких земель, ниобия, тантала. Перспективность оруденения циркония, редких земель, ниобия и тантала, связанного с агапитовыми гранитоидами определяется значительными прогнозными ресурсами металлов.

Список литературы

1. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // *Геохимия*, 1962. – № 7. – С. 555–572.
2. Гусев А.И., Гусев А.А. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов // *Успехи современного естествознания*, 2011. – № 5. – С. 45–49.
3. Гусев А.И., Гусев Н.И. Анорогенные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим. – Бийск: Изд-во АГАО, 2014. – 202 с.
4. Гусев А.И. Щелочные гранитоиды Майорского массива и их потенциальная рудоносность (Горный Алтай) // *Отечественная геология*, 2014. – № 1. – С. 33–40.
5. Гусев А.И., Коробейников А.Ф. Петро-геохимические особенности и рудоносность двух подтипов анорогенных гранитоидов Горного Алтая // *Известия Томского политехнического университета*, 2014. – Т. 325, № 1. – С. 27–35.
6. Зарайский Г.П., Аксюк А.М., Девятова В.Н. Цирконий–гафниевый индикатор фракционирования редкометалльных гранитов // *Петрология*, 2009. – № 1. – С. 28–50.
7. Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. – М.: Наука, 1976. – С. 36–51.
8. Тугаринов А.И., Коваленко В.И. Геохимия гранитоидов Нигерии. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
9. Bau M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // *Contrib. Miner. Petrol.*, 1996. -V.123. – P. 323–333.
10. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites *Geochim Comochim Acta*. 1999. – V.63. – №3/4. – P. 49–71.