ЭВДИАЛИТ ЛОВОЗЕРСКОГО ЭВДИАЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА

Малыгина А.В., Михайлова Ю.А., Пахомовский Я.А., Базай А.В.Б Калашников А.О.

Геологический институт КНЦ РАН, Анапты, alexaeule@yandex.ru

Введение

Ловозёрский щелочной массив представляет собой подковообразное плато (29×24 км) высотой около 1000 м в западной части Кольского полуострова (рис. 1). Он сложен субгоризонтальными чередующимися слоями нефелиновых сиенитов фойяит-малиньбит-шонкинитового ряда и мельтейгит-уртитов. Вся совокупность таких слоёв подразделяется на два комплекса: дифференцированный (внизу) и эвдиалитовый (сверху). В отличие от дифференцированного комплекса мощностью более 2 км, эвдиалитовый комплекс имеет мощность 100–800 м, содержит огромное количество полупереработанных ксенолитов оливиновых базальтов и их туфов, сравнительно слабо дифференцирован и существенно обогащён эвдиалитом (до 80 об. %) [1, 2].

Минералы группы эвдиалита (МГЭ) являются главными, реже второстепенными породообразующими минералами эвдиалитового комплекса (до 10 об.% в фойяитах, до 40 об. % в малиньбитах, шонкинитах, ийолитах и мельтейгитах и до 15 об.% в уртитях). В группу эвдиалита входят сложные цирконо- и титаносиликаты со сложной кристаллохимической формулой:

где $N(1-5) = Na, H_3O^+, K, Sr, Ln, Y, Ba, Mn$ и Ca ; $M(1) = Ca, Mn, Ln, Na, Sr$ и Fe ; $M(2) = Fe, Mn, Na, Zr, Ta, Ti, K, Ba$ и H_3O ; $M(3)$ и $M(4) = Si, Nb, Ti, W$ и Na ; $Z = Zr, Ti, Nb$; $O' = O, (OH)$ и H_2O ; $X = Cl, F, H_2O, OH, CO_3$ и SO_4 . Особенностью структуры эвдиалита является одновременное присутствие в каркасе его кристаллической структуры трёх- и девятичленных колец из SiO_4 -тетраэдров, шестичленных колец из $(M1)O_6$ -октаэдров, связанных ребрами, и слоёв, образованных изолированными ZO_6 -октаэдрами. В пустотах каркаса располагаются катионы с большими ионными радиусами, а также атомы высокозарядных элементов: кремния, титана, циркония, ниобия и вольфрама [4, 5].

Материалы и методика исследования

В ходе полевых работ 2015-2016 гг. из керна 21 скважины (см. рис. 1) были отобраны 265 координатно-привязанных образцов различных пород. В этих образцах было выполнено 287 микрозондовых анализов состава МГЭ при помощи электроннозондового микроанализатора Cameca MS-46. Для выявления основных схем изоморфизма в МГЭ применялся факторный анализ, выполненный в программе Statistica-8, а для выяснения закономерности изменения состава рассматриваемых минералов в пределах Аллуйавского участка была построена его 3-мерная минералогическая модель с помощью программы MicroMine 2016.

Результаты

Результаты микрозондового анализа МГЭ представлены в таблице 1. Кристаллохимические формулы изученных образцов в 38 % случаев соответствуют манганозвдиалиту, а в остальных – собственно звдиалиту. Факторный анализ данных о составе МГЭ (табл. 2) выявил схему сложного гетеровалентного изоморфизма по схеме $(Fe, Mg)^{2+} + Zr^{4+} + 2Na^+ \leftrightarrow Si^{4+} + Mn^{2+} + REE^{3+} + Nb^{5+} + (Ca, Sr)^{2+}$. В результате такого замещения манганозвдиалит оказался относительно обогащённым REE , тогда как большая часть собственно звдиалита – Zr и Al . Второй фактор зафиксировал повышенное содержание Y, Sm и Gd в звдиалите, относительно обогащённом Zr и Al , а также преимущественное концентрирование Ca и Nb в составе звдиалита из высококальциевых фойяитов. В наборе редкоземельных элементов преобладают лёгкие лантаноиды: Ce (50 отн. %), Nd (25), La (23) и Pr (2), – причём возрастание суммарного содержания редкоземельных элементов также происходит, главным образом, за счёт церия и лантана.

В соответствии с основной схемой изоморфизма, на разрезах Аллуйавского участка концентрация Mn и REE в составе МГЭ последовательно увеличивается с глубиной (рис. 2). Наоборот, со-

Рис. 1. Схема геологического строения Ловозёрского щелочного массива (по [1] с дополнениями [2]) и Аллуайвского участка Ловозёрского эвдиалитового месторождения [3].

держание Zr и Fe с глубиной уменьшается (рис. 3), так что с глубины примерно 850 метров манганозвдиалит стабильно преобладает над эвдиалитом. Зона развития МГЭ с повышенным содержанием Ca и Nb фиксирует пласт лейкократовых высококальциевых фойяитов (фенитизированных метабазальтов) с анортоклазом и диопсидом (рис. 4). Судя по тому, что эвдиалит в этих породах обычно образует каймы вокруг скоплений паракелдышита, можно предположить, что часть эвдиалита образовалась путём замещения первичных безводных цирконосиликатов из-за воздействия высококальциевых флюидов, сформировавшихся в ходе фенитизации оливиновых базальтов и туфов трапповой формации [2, 6, 7].

Работы проводились при финансовой поддержке Программы 48 Президиума РАН.

Таблица 1. Химический состав эвдиалита (мас. %).

	n	Me	Min	Max	SD		n	Me	Min	Max
SiO ₂	287	50.18	45.46	54.84	1.59	K ₂ O	287	0.30	0.13	2.31
TiO ₂	287	0.62	0.24	2.25	0.22	Nb ₂ O ₅	287	0.75	bd	3.16
ZrO ₂	287	13.17	6.47	20.69	1.65	Y ₂ O ₃	287	0.04	bd	0.84
Al ₂ O ₃	287	0.25	0.00	3.41	0.27	La ₂ O ₃	287	0.31	bd	2.13
FeO	287	2.79	0.28	6.62	1.04	Ce ₂ O ₃	287	0.77	0.08	3.66
MgO	287	0.05	bd	0.85	0.09	Pr ₂ O ₃	287	0.01	bd	0.33
CaO	287	7.67	2.96	15.66	1.57	Nd ₂ O ₃	287	0.32	bd	1.86
MnO	287	2.64	1.41	11.33	0.80	Sm ₂ O ₃	287	0.01	bd	0.36
SrO	287	1.92	0.00	5.59	0.84	Gd ₂ O ₃	287	bd	bd	0.44
BaO	287	0.15	0.00	1.04	0.20	HfO ₂	287	0.03	bd	2.67
Na ₂ O	287	13.36	3.49	18.40	3.35	Cl	287	1.34	bd	2.85

Таблица 2. Результаты факторного анализа данных о составе эвдиалита.

Компонент	Фактор 1	Фактор 2	Компонент	Фактор 1	Фактор 2
SiO ₂	0.109	0.097	Nb ₂ O ₅	-0.541	0.189
TiO ₂	0.321	0.060	Y ₂ O ₃	0.197	0.156
ZrO ₂	0.777	-0.210	La ₂ O ₃	-0.127	0.793
Al ₂ O ₃	0.625	0.047	Ce ₂ O ₃	0.020	0.844
FeO	0.336	-0.431	Pr ₂ O ₃	0.046	0.148
MgO	0.041	-0.157	Nd ₂ O ₃	-0.027	0.505
CaO	0.172	0.294	Sm ₂ O ₃	0.501	-0.030
MnO	0.159	0.803	Gd ₂ O ₃	0.510	-0.017
SrO	-0.507	0.224	HfO ₂	0.105	0.197
BaO	-0.361	0.381	Cl	0.302	0.097
Na ₂ O	-0.556	-0.407	Вклад в дисперсию, %	14	14
K ₂ O	0.274	0.071

Рис. 2. Вариации соотношения MnO/(MnO+FeO) в эвдиалите – слева; вариации суммарного содержания REE в эвдиалите – справа. а, б, в – разрез с запада на восток; г – разрез с севера на юг.

Рис. 3. Вариации содержания ZrO_2 в эвдиалите щелочных пород Аллуйвского участка (а, б, в – разрезы с запада на восток; г – разрез с севера на юг)

Рис. 4. Вариации содержания оксидов в эвдиалите: CaO – слева; Nb_2O_5 – справа (а, б, в – разрезы с запада на восток; г – разрез с севера на юг)

Литература

1. Буссен И.В., Сахаров А.С. Петрология Ловозерского щелочного массива. Л.: Наука, 1972. 296 с.
2. Kalashnikov A.O., Konopleva N.G., Pakhomovsky Ya.A., Ivanyuk G.Yu. Rare Earth Deposits of the Murmansk Region, Russia—A Review // *Economic Geology*, 2016. V. 111. P. 1529-1559.
3. Уткин М.Ю., Сухарев В.Н., Киричек О.П., Уткина Г.А., Лопатин А.С., Кононова Л.Н., Гордиенко А.В., Сайков С., Михаэлис Н.Г. Отчёт о предварительной разведке эвдиалит-лопаритовых и эвдиалитовых руд участка Аллуайв месторождения Чинглусуай в 1989-1992 гг. Кн.1. Ревда. 1995 г. 144 с.
4. Расцветаева Р.К., Чуканов Н.В. Принципы кристаллохимической классификации минералов группы эвдиалита // *ЗРМО*. 2011. № 3. С. 25-39.
5. Johnsen O., Ferraris G., Gault R., Grice J.D., Kampf A., Pekov I. The nomenclature of eudialyte-group minerals // *Can. Mineral.* 2003. V. 41. P. 785-794.
6. Korchak Yu.A., Men'shikov Yu.P., Pakhomovskii Ya.A., Yakovenchuk V.N., Ivanyuk G.Yu. Trap Formation of the Kola Peninsula // *Petrology*. 2011. V. 19. No. 1. P. 87-101.
7. Ivanyuk G.Yu., Pakhomovsky Ya.A., Yakovenchuk V.N. Eudialyte-group minerals in rocks of Lovozero layered complex at Mt. Karnasurt and Mt. Kedykvyrpakhk // *Geology of Ore Deposits*. 2015. V. 57. No. 7. P. 600-613.