

ГЕНЕЗИС ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО САПФИРИНА ИЗ КОРУНДСОДЕРЖАЩИХ МЕТАСОМАТИТОВ В МЕТАБАЗИТАХ ЧУПИНСКОЙ ТОЛЩИ БЕЛОМОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ПОЯСА

Серебряков Н.С.

ИГЕМ РАН, Москва, serebr@igem.ru

В Беломорском подвижном поясе сапфирин был найден только в корундсодержащих и ассоциируемых с ними метасоматитах по метабазитам чупинской толщи на проявлении Дядина гора. Впервые минерал был упомянут в кратком описании этого проявления в статье Е.Н. Терехова и В.И. Левицкого (1991). В (Серебряков и др., 2002; Серебряков, 2004; Серебряков, Аристов 2005) показана позиция сапфиринсодержащих парагенезисов внутри метасоматической зональности на проявлении и кратко охарактеризован состав сапфирина. Описание части этой зональности и химические анализы сапфирина приводятся в (Sengupta et al., 2004).

Как по нашим данным (см. таблицу), так и по данным Сенгупты с соавторами (Sengupta et al., 2004), сапфирин на проявлении обычно близок к конечному члену 7:9:3 (отношение $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{O}:(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr})_2\text{O}_3:\text{SiO}_2$), который в обобщенной формуле минерала $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_{16-n}(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr})_{32+2n}\text{Si}_{8-n}\text{O}_{80}$ (Vogt, 1947) имеет $n=2$. Однако нами также был найден довольно редко встречающийся высокоглиноземистый сапфирин, состав которого выходит из обычного интервала составов (от 2:2:1 до 7:9:3, Higgins et al., 1979) и стремится к идеальному конечному члену 13:19:5 ($n=3$). В данной работе рассматривается генезис высокоглиноземистого сапфирина.

Метасоматиты на проявлении Дядина гора расположены в краевой части небольшого массива комплекса лерцолит-габброноритов и развиваются по апогабброноритовым амфиболитам (Серебряков, Аристов, 2004). Тела тыловой зоны метасоматической колонки кулисообразно расположены в субмеридиональной сдвиговой зоне. Слагающие их породы преимущественно состоят из жедрита, а также содержат в разном количестве сапфирин, магнезит, гранат, биотит, кианит, корунд, ставролит, чермакит и др. Мощность тыловой зоны достигает первых метров.

Главным парагенезисом тыловой зоны является $\text{Ged}_{0,79-0,81}+\text{Spr}_{0,85-0,89}+\text{Mgn}_{0,89-0,90}$ (Символы минералов: Hgb – хёбмит, Mgn – магнезит, Ged – жедрит, Ts – чермакит, Spl – шпинель, Spr – сапфирин. Индекс внизу – $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$). Порода, сложенная этим парагенезисом, характеризуются очень высоким содержанием MgO (до 26 мас. %) и Al_2O_3 (до 22 мас. %) и очень низким содержанием SiO_2 (до 27 мас. %) и CaO .

Состав сапфирина проявления Дядиной горы

Образец	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2	10,96	11,90	11,65	12,46	12,79	12,10	12,95	12,69	13,27	13,09	13,47
TiO_2	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al_2O_3	66,03	64,26	64,88	63,64	63,47	63,20	62,56	64,11	62,59	63,25	62,83
Cr_2O_3	1,49	1,41	1,15	1,19	0,91	1,43	1,03	0,89	0,97	0,88	0,73
FeO^*	5,13	4,74	4,75	4,82	4,83	4,92	5,23	4,53	4,40	4,21	4,48
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	16,05	17,07	17,25	17,68	17,67	17,25	17,53	17,34	18,28	18,40	18,10
Сумма	99,71	99,39	99,68	99,79	99,66	98,91	99,30	99,55	99,50	99,82	99,60
Si	1,30	1,41	1,37	1,47	1,51	1,44	1,54	1,50	1,56	1,54	1,59
Ti	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	9,22	8,97	9,02	8,84	8,82	8,87	8,75	8,92	8,70	8,75	8,73
Al^{IV}	4,70	4,59	4,63	4,53	4,49	4,56	4,46	4,50	4,44	4,46	4,41
Al^{VI}	4,51	4,38	4,39	4,31	4,33	4,31	4,29	4,42	4,26	4,29	4,31
Cr	0,14	0,13	0,11	0,11	0,09	0,13	0,10	0,08	0,09	0,08	0,07
Fe^{3+}	0,04	0,07	0,13	0,11	0,07	0,11	0,08	0,00	0,08	0,09	0,03
Fe^{2+}	0,47	0,40	0,34	0,36	0,40	0,38	0,44	0,45	0,35	0,32	0,41
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	2,83	3,01	3,03	3,11	3,11	3,06	3,10	3,05	3,21	3,22	3,18
X(Mg)	0,85	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,87	0,88	0,89	0,88

Примечание: Образцы анализировались на приборе CamScan 4DV с микрозондовой приставкой для рентгеноспектрального энерго-дисперсионного анализа (фирма Link, модель AN10000, 15 кВ, 10 нА, кобальтовый эталон), кафедра петрологии МГУ. Все железо пересчитано в двухвалентную форму. Пересчет на формулу произведен на 14 катионов и 20 О. 1-3 - высокоглиноземистый сапфирин из внутренней части кайм вокруг шпинели; 4-8 - сапфирин (7:9:3) из центральной части кайм вокруг шпинели; 9-10 - крупные выделения сапфирина (7:9:3). $X(\text{Mg}) = \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+})$.

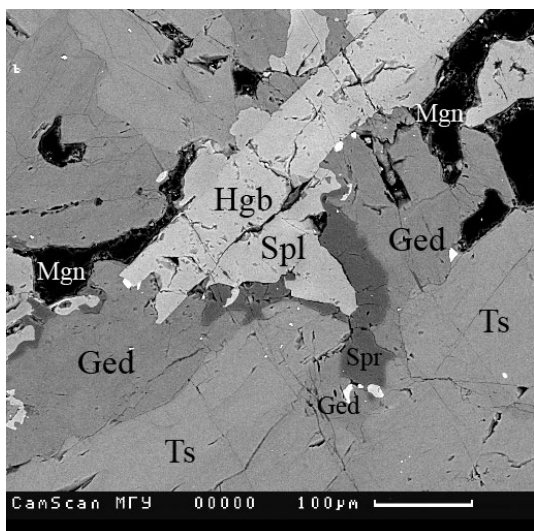
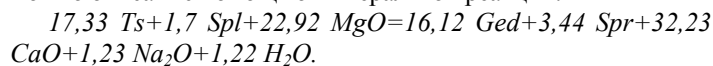


Рис. 1. Реакционные каймы сапфирина и жедрита на контакте чермакита и шпинели. Изображение в отраженных электронах на СЭМ.

члену 13:19:5. По мере же удаления от замещаемой шпинели глиноземистость сапфирина уменьшается, и он становится сапфирином-(7:9:3). Еще более низкую глиноземистость имеют крупные, достаточно гомогенные по составу, зерна сапфирина, по составу находящиеся между конечными членами 2:2:1 и 7:9:3. Также они становятся более магнезиальными.

Вместе с сапфирином свой состав меняет и находящийся с ним в парагенезисе жедрит (рис. 2б).

Указанным парагенезисом замещается порода предыдущей зоны состава $Ts+Spl+Hgb$. На начальных стадиях замещения зерна чермакита обрастаются жедритом, а контактирующие с чермакитом зерна шпинели – сапфирином (хёгбомит слабо замещается). Т.е. между чермакитом и шпинелью образуется зональная реакционная кайма, состоящая из двух зон: жедритовая и сапфириновая (рис. 1). Образование этой зональной каймы можно описать с помощью минеральной реакции:



Как видно, в процессе замещения выносятся кальций и привносится магний. Дальнейшее развитие процесса приводит к образованию крупных зерен жедрита и сапфирина, а также магнезита, слагающих всю породу тыловой зоны. РТ-параметры образования метасоматитов оцениваются в 600–700°С и 6–8 кбар (Серебряков, Аристов, 2005).

Характерно, что сапфирин из кайм вокруг шпинели и из крупных выделений имеет разный состав (рис. 2а). Сапфирин в каймах характеризуется непостоянным составом. На контакте со шпинелью образуется наиболее глиноземистый сапфирин, стремящийся к высокоглиноземистому конечному

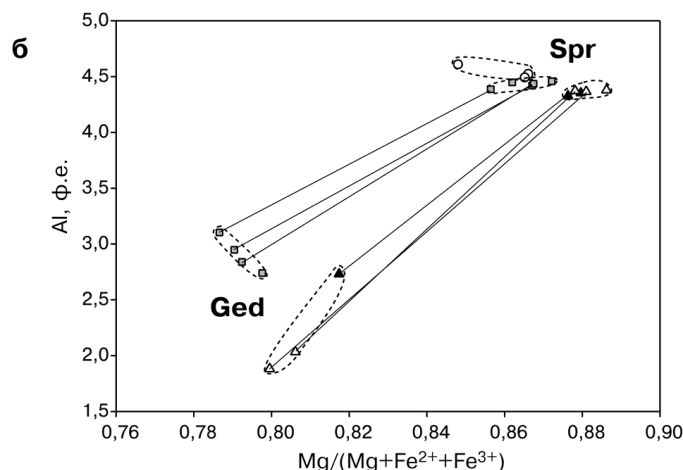
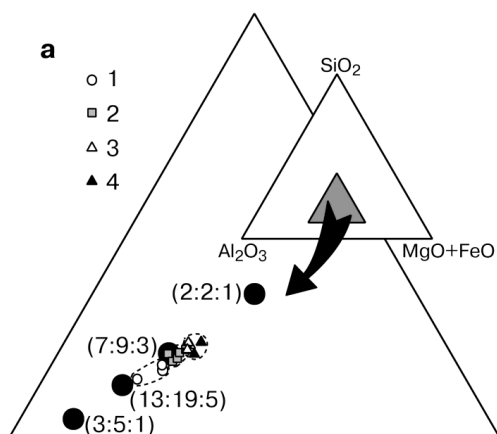


Рис. 2. Вариации состава сапфирина в метасоматитах на проявлении Дядина гора.

а – диаграмма в координатах $(Mg, Fe^{2+})O:(Al, Fe^{3+}, Cr)_2O_3:SiO_2$ (мольные %): 1 – из внутренней части кайм вокруг шпинели; 2 – сапфирин из центральной части кайм вокруг шпинели; 3–4 – крупные выделения сапфирина (4 – данные: Sengupta et al., 2004); б – вариации состава парагенных сапфирина и жедрита. Условные обозначения те же, что и на рис. 2а (для жедрита: 2 – в контакте с сапфирином из кайм вокруг шпинели; 3,4 – возле крупных выделений сапфирина, где 4 – данные: Sengupta et al., 2004).

На контакте с более глиноземистым сапфирином (из кайм вокруг шпинели) жедрит также имеет более высокое содержание алюминия. На контакте же с крупными зернами сапфирина жедрит менее глиноземистый, но более магнезиальный.

Различия в составе сапфирина обусловлены разными механизмами образования этого минерала. В зональной реакционной кайме между шпинелью и чермакитом состав сапфирина контролируется диффузией компонентов и определяется диффузионным профилем зональности. В месте примыкания к замещаемому зерну шпинели сапфирин имеет наиболее высокое содержание наименее подвижного при диффузии алюминия. В центральной же части сапфириновой каймы содержание алюминия понижается. То же самое наблюдается и в отношении также малоподвижного хрома: примыкающий к шпинели высокоглиноземистый сапфи-

рин обогащен этим компонентом, тогда как при удалении от контакта со шпинелью содержание хрома в сапфирине уменьшается (см. таблицу).

При образовании же крупных, гомогенных по составу, зерен сапфирина основную роль играет уже не диффузия компонентов, а их инфильтрация, и поэтому состав сапфирина и парагенного с ним жедрита определяется активностью этих компонентов в растворе при данных РТ-параметрах.

Интересно, что большинство высокоглиноземистых сапфиринов, найденных в разных регионах мира и образованных при различных РТ-параметрах, встречены именно в реакционных каймах при замещении высокоглиноземистых минералов (кианита, силлиманита и др.; Schreyer, Abraham, 1975; Warren, Hensen, 1987; Liati, Seidel, 1996; Godard, Mabit, 1998), что также указывает на диффузионный контроль при формировании данного минерала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 04-05-65131), Гранта Президента Российской Федерации (проект МК-9836.2006.5) и Фонда содействия отечественной науке.

ЛИТЕРАТУРА

- Серебряков Н.С., Аристов В.В., Гладышева А.П., Волкова Е.В. Типы корундовой минерализации в породах чупинской толщи беломорского комплекса (Северная Карелия) // Геология и геоэкология: исследования молодых. Матер. XIII молод. конфер., посвященной памяти К.О. Кратца: в 2 т. – Апатиты, 2002. – Т. 1. – С. 118-121.
- Серебряков Н.С., Аристов В.В. Условия локализации проявлений коллекционного корунда в породах чупинской толщи беломорского комплекса в Северной Карелии // Изв. Вузов: Геология и разведка. – М.: 2004. – № 4. – С. 36-42.
- Серебряков Н.С. Петрология корундосодержащих пород чупинской толщи Беломорского подвижного пояса (на примере Чупинского сегмента). Автореф. канд. дисс. М., 2004. – 30 с.
- Серебряков Н.С., Аристов В.В. Корундосодержащие породы чупинской толщи Беломорского подвижного пояса (Сев. Карелия) // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерогения: Матер. науч. конференции и путеводитель экскурсий. – Петрозаводск, 2005. – С. 270-272.
- Терехов Е.Н., Левицкий В.И. Геолого-структурные закономерности размещения корундовой минерализации в северо-западном Беломорье. // Изв. вузов. Геол. и разв., 1991, № 6, с. 3-13.
- Godard G., Mabit J.-L. Peraluminous sapphirine formed during retrogression of a kyanite-bearing eclogite from Pays de Leon, Armorican Massif, France // Lithos, 1998. V. 43. P. 15-29.
- Liati A., Seidel E. Metamorphic evolution and geochemistry of kyanite eclogites in central Rhodope, northern Greece // Contrib. Mineral. Petrol., 1996. V. 123. P. 293-307.
- Schreyer W., Abraham K. Peraluminous sapphirine as a metastable reaction product in kyanite-gedrite-talc schist from Sar e Sang, Afghanistan // Miner. Mag., 1975. V. 40. № 310. P. 171-180.
- Sengupta P., Raith M.M., Levitsky V.I. Compositional characteristics and paragenetic relations of magnesiohögbohmite in aluminous amphibolites from the Belomorian complex, Baltic Shield, Russia // Amer. Miner., 2004. V. 89. P. 819-831.
- Warren R. G., Hensen B. J. Peraluminous sapphirine from the Aileron district, Arunta Block, central Australia // Min. Mag. 1987. V. 51. № 361-362. Pt. 3-4. P. 409-415.

УСТОЙЧИВОСТЬ И СИНТЕЗ ТУРМАЛИНА В СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ВОДНЫХ ФЛЮИДАХ

Сеткова Т.В., Шаповалов Ю.Б., Балицкий В.С.
ИЭМ РАН, г. Черноголовка, setkova@iem.ac.ru

Турмалин – один из распространенных минералов гранитных пегматитов, а также пневматолито-гидротермальных и гидротермальных образований, хотя нередко встречается в качестве порообразующего минерала, как в самих гранитах, так и метасоматитах и метаморфических породах. Благодаря яркой и разнообразной окраске, высокой твердости и отсутствию спайности монокристаллы турмалина издавна находят применение в качестве популярного ограночного материала. Вместе с тем, турмалин обладает ценными пьезо- и пирозлектрическими свойствами, а использование его в пьезотехнике, позволит существенно повысить чувствительность подобного рода аппаратуры. Между тем, многие вопросы образования турмалина до сих пор остаются не выясненными, несмотря на многочисленные геолого-минералогические, геохимические и кристаллохимические исследования. В частности, не установлены такие важные характеристики турмалина как его устойчивость и растворимость в сверхкритических водных флюидах различного состава в широком интервале температур и давлений и не разработаны надежные и воспроизводимые методы выращивания его монокристаллов.

С целью выяснения устойчивости и возможности выращивания турмалина, были осуществлены эксперименты в водных растворах борной кислоты, ее смеси с фтористо-водородной и соляной кислотами, а также фторидами и хлоридами щелочных и тяжелых металлов при температурах 450 - 750°C и давлениях до 1,5 кб. Опыты проводились в автоклавах объемом 20, 30 и 50 см³, изготовленных из титанового и хромоникелевого сплавов. В качестве образцов для изучения устойчивости турмалина и затравок использовались призматические монокристаллы эльбаита из Малханского месторождения (Забайкалье) размером от 3х3х10 до 5х5х10 мм. Питательной шихтой служили либо монокристаллы эльбаита иногда с добавлением кварца, либо смесь