

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ КВАРЦ-ТУРМАЛИНОВЫХ ШЛИРОВ В ГРАНИТАХ ПРИМОРСКОГО КОМПЛЕКСА (ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Базарова Е.П., Савельева В.Б.

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, e-mail: bazarova@crust.irk.ru

В настоящее время доказано, что бор, наряду с другими летучими компонентами, играет важную роль в процессах гранитообразования [Перетяжко, 2000 и др.] Главным минералом-концентратором бора в гранитах и гранитных пегматитах является турмалин, его присутствие в этих породах является показателем повышенной концентрации В в кислом расплаве. Однако турмалин, в общем случае, характерен только для пересыщенных глиноземом гранитов и обычно отсутствует в умеренно- и низкоглиноземистых гранитах, к каковым относятся, в частности, граниты рапакиви. Для последних важнейшей особенностью является обогащенность F, что находит отражение в генетической связи с рапакиви-гранитными комплексами топазовых грейзенов, малых интрузий литий-фтористых гранитов или даек онгонитов. Турмалин в породах рапакиви-гранитных комплексов отмечается редко, хотя, как показано Л.В.Таусоном с коллегами [Таусон и др., 1982], гранитам рапакиви и рапакивиподобным нередко присущи вышекларковые содержания бора.

В гранитах турмалин может встречаться в виде прожилков, зерен, жил, а также овальных обособлений, которые носят разные названия – шлиры, орбикулы, нодулы и пятна. Обособления кварц-турмалинового состава описываются в гранитах и осадочных породах Южной Африки, в гранитах, ассоциирующих с Sn-W минерализацией на юге Англии, в гранитах и аплитах Германии и Италии, в лейкогранитах Чехословакии, ассоциирующих с пегматитами и грейзенами, в порфиритовых биотитовых гранитах с Sn минерализацией в Малайзии и в Тасмании, а также в лейкогранитах батолита Сигул в Канаде. Шлиры являются индикаторами потенциального Sn оруденения, особенно если в их составе наблюдаются аномальные концентрации олова.

Нами кварц-турмалиновые обособления (шлиры) изучены в породах Трехголового массива, входящего в состав раннепротерозойского приморского комплекса рапакивиподобных гранитов. Постколлизийный приморский комплекс гранитов рапакиви входит в состав Южно-Сибирского магматического пояса и слагает хребет Приморский и южную часть Байкальского хребта в Иркутской области. Граниты прорывают породы сарминской серии раннего протерозоя и приурочены к границе Сибирского кратона и раннепалеозойского складчатого обрамления.

В составе приморского комплекса выделяются две интрузивные фазы, первая из которых представлена порфиридовидными роговообманково-биотитовыми и биотитовыми гранитами (рапакиви), крупнозернистыми и среднезернистыми биотитовыми гранитами и лейкократовыми гранитами с гранофировой структурой основной массы, а вторая – средне-мелкозернистыми биотитовыми гранитами, гранит-порфирами и аплитами. Породы комплекса представлены высококалиевыми ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=0,4-0,8$) и высокожелезистыми ($\text{FeO}^*/(\text{FeO}^*+\text{MgO})>0,8$) преимущественно биотитовыми, менее распространенными биотит-амфиболовыми гранитоидами известково-щелочной серии. Граниты относятся к восстановленному типу и характеризуются отсутствием магнетита в породах главной фазы при устойчивости ильменита. Для наименее дифференцированных разностей (наиболее основных) комплекса характерны высокие содержания F, Ba, Pb, Zr, PЗЭ, Th, Zn, Cu, Sc, Sn и Be. Содержание В в отдельных разновидностях гранитов приморского комплекса по [Таусон и др., 1982] составляет, в среднем, от 22 до 35 г/т.

Трехголовый массив сложен преимущественно равномернозернистыми, реже слабо порфиридовидными биотитовыми лейкократовыми гранитами, в центральной части среднезернистыми до крупнозернистыми, а в краевой и апикальной частях мелкозернистыми гранитами и гранит-порфирами с вкрапленниками кварца. Граниты интрузируют породы иликтинской свиты, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации. По сравнению

с гранитами других массивов граниты Трехголового массива отличаются наиболее высокими кремнекислотностью, железистостью, высоким коэффициентом апаитности ($K_{ап} = 0.87$ и 0.89 для гранитов первой и второй фазы, соответственно) и содержаниями Rb (до 650 г/т), F (до 0,66%), Li (до 80 г/т), Sn (до 20 г/т), Cs (до 27 г/т), Th (до 110 г/т), Nb (до 35 г/т), Y (до 100 г/т). Для гранитов характерны очень низкие содержания Sr, Ba, пониженные Zr, наличие на спектрах РЗЭ глубокого Eu- минимума, что позволяет рассматривать их как продукты кристаллизации глубоко дифференцированного расплава. Геохимическими особенностями гранитов являются повышенные, относительно кларков для малокальциевых гранитов, содержания Sn, As, Ga, Pb, Th, U, Ni и Cu при пониженном Zn (табл. 1). С альбитизированными и грейзенизированными гранитами второй фазы связаны проявления редкометалльной (Sn, Nb, Y, Bi) минерализации.

Обособления кварц-турмалинового состава распространены в гранитах в верховьях р. Ср. Иликты. Величина шпиров достигает 10-12 см в длину и 5-8 см в поперечнике. Шпиры иногда окружены ореолом осветленной породы мощностью до 2 см. Центральная часть шпиров сложена кварцем и турмалином, иногда с флюоритом, тогда, как в краевой части, присутствуют альбит и реликты калиевого полевого шпата, замещаемого турмалином.

Исследование шпиров выполнено на сканирующем электронном микроскопе в ГИН СО РАН (аналитик С.В.Канакин). Турмалин представлен железистой разновидностью с отношением $Fe/(Fe+Mg)$ за редкими исключениями 0.95-1.0, содержанием $CaO < 0.3\%$ и TiO_2 до 0.78%. Отмечается присутствие F в количестве 1.2-1.6%. Зональность выражена слабо и проявлена в росте от центра зерен к краям содержаний Na и Fe и снижении Al.

В виде редких зерен среди турмалина в кварц-турмалиновых шпирях отмечаются железистый мусковит ($FeO = 3.9-7.6\%$), а в виде включений в турмалине хлоритизированный биотит. Кроме перечисленных выше минералов, в шпирях обнаружены циркон, лимонит, ильменит, рутил, плагиоклаз, сидерит, бастнезит, монацит и ксенотим.

Флюорит встречается в виде ксеноморфных зерен среди кварца, развивается, подобно турмалину, по полевоому шпату, образует включения и выполняет трещинки в турмалине. Ильменит и рутил в виде отдельных зерен и сростков друг с другом образуют включения в полевоом шпате и кварце. В шпирях наблюдалось замещение Nb- и Sn-содержащего рутила ($Nb_2O_5 = 5.4\%$, $SnO_2 = 0.75\%$) ильменитом ($MnO = 0.84\%$, $V_2O_5 = 0.68\%$). Во вмещающих гранитах в осветленной зоне на контакте со шпиром отмечены обратные взаимоотношения рутила и ильменита: здесь зерно ильменита замещается по краю рутилом. Лимонит и сидерит образуют вроски в зернах кварца.

Наиболее распространенными акцессорными минералами в составе шпиров являются циркон, фосфаты и фтор-карбонаты РЗЭ – монацит-(Ce), бастнезит-(Ce) и ксенотим-(Y).

Циркон встречается в виде включений в кварце и турмалине и характеризуется отношением $ZrO_2/HfO_2 = 32-39$. Нередко зерна циркона как в шпирях, так и в гранитах на контакте со шпирями имеют корродированную («изъеденную») форму, имеют низкие суммы оксидов в анализах; для этих зерен характерно также присутствие в анализах F. Проявленное также замещение циркона по краям ксенотимом указывает на неустойчивость циркона в водном богатом F и фосфором флюиде. Монацит-(Ce) встречается в кварц-турмалиновых шпирях в виде мелких включений в кварце вместе с цирконом. Бастнезит-(Ce) в основном находится в ассоциации с флюоритом, образуя в последнем мелкие включения; в свою очередь флюорит с бастнезитом могут образовывать включения в турмалине. Наблюдаются также мелкие включения бастнезита в кварце. Бастнезит содержит примеси Y_2O_3 до 2.7% и ThO_2 до 5.6%. Ксенотим-(Y) обнаружен в виде секущих прожилков в турмалине и каемок вокруг зерен циркона, т.е. является наиболее поздним редкоземельным минералом.

Граниты, содержащие мелкие обособления кварц-турмалинового состава, содержат повышенные количества Fe_2O_3 и MgO и пониженные оксидов щелочей, кальция и фосфора. Собственно кварц-турмалиновые шпиры по сравнению с вмещающими гранитами характеризуются высокими суммарными содержаниями оксидов железа при значительном преобладании окисного железа над закисным (табл.), низким содержанием оксидов щелочей

Таблица

Химический состав гранитов и кварц-турмалиновых шпиров

Компоненты	1(12)	2 (2)	3 (3)	4 (5)	5 (4)
SiO ₂	78.42	78.49	75.95	77.18	76.70
TiO ₂	0.12	0.12	0.13	0.15	0.13
Al ₂ O ₃	10.65	10.38	10.91	11.15	11.31
Fe ₂ O ₃	0.19	2.49	5.38	0.29	2.25
FeO	1.60	1.67	2.04	1.68	1.42
MnO	<0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
MgO	0.12	0.16	0.23	0.10	0.14
CaO	0.39	0.22	0.25	0.39	0.19
Na ₂ O	2.59	1.81	0.79	2.77	2.18
K ₂ O	5.09	3.33	0.88	5.35	3.75
P ₂ O ₅	0.04	0.02	0.01	0.03	0.02
H ₂ O ⁻	0.09	0.06	0.05	0.10	0.08
П.п.п.	0.57	0.36	0.38	0.57	0.39
B ₂ O ₃	-	1.21	2.63	-	1.06
F	0.20	0.19	0.47	0.18	0.23
-O ₂ (F)	0.08	0.08	0.20	0.08	0.10
Сумма		100.44	99.92	99.87	99.76
A/CNK	1.02	1.49	4.50	1.01	1.60
K _{арн}	0.92	0.63	0.20	0.93	0.68
K ₂ O/Na ₂ O	2.0	1.8	1.1	1.9	1.7
f	94	96	97	95	96
Fe ₂ O ₃ /FeO	0.12	1.5	2.6	0.17	1.6
Li	50	13	20	50	19
Rb	506	217	88	462	310
Cs	13	He об.	He об.	11	He об.
Sr	9	7.8	5.9	17	7.7
Ba	64	67	17	140	72
La	68	38	36	86	56
Ce	125	65	69	156	129
Nd	38	19	17	45	24
Y	43	26	30	37	31
Zr	136	130	120	154	160
Nb	22	13	7	20	14
Th	69	45	57	61	62
U	15	5	6	9	8
Mo	<3-5	≤3	10	<3	≤3
Ga	26	31	49	26	33
As	11	7	31	19	81
Sn	13	9	24	11	10
Pb	30	15	15	38	16
Zn	19	46	95	20	42
Be	1.1	2.1	3.7	1.2	8
Co	2.3	3.2	5.7	<2	3.6
Ni	9.3	17	15	9	11
Sc	3.4	6	12	3	5.3
V	3.5	4	4	4.4	5
Cu	15	24	29	14	22
Cl	107	110	130	124	138

1 – граниты среднезернистые и средне-крупнозернистые без турмалина, 2 – турмалиносодержащие граниты, 3 – кварц-турмалиновые шпирь, 4 – мелкозернистые граниты без турмалина, 5 – турмалиносодержащие мелкозернистые граниты. В скобках – число проб. Анализы выполнены в ИЗК СО РАН: Li, Rb, Cs – фотометрия пламени, Be – спектральный, остальные – рентгенофлуоресцентный. $F = 100(Fe_2O_3 + FeO) / (Fe_2O_3 + FeO + MgO)$.

при практически неизменном, по сравнению с гранитами, содержании Al_2O_3 , и пониженным отношением K_2O/Na_2O . Для турмалинизированных гранитов и турмалиновых шлиров характерны также пониженные, по сравнению с гранитами, содержания Li , Rb , Cs , Sr , Ba , Pb , легких и средних РЗЭ, Nb , Y , Ta и U , но повышенные – Zn , Cu , As , Sn , Ga , Co , Ni , Sc , Mo и Be . По данным высокотемпературной газовой хроматографии в кварц-турмалиновых шлирах суммарное содержание флюидных компонентов (H_2O , CO_2 , CO и H_2) возрастает в среднем в 1.5 раза. Содержание B_2O_3 в кварц-турмалиновых шлирах составляет 2.39-2.97%, F – 0.30-0.74%.

На сегодняшний момент в литературе существует две точки зрения на механизм формирования кварц-турмалиновых шлиров. Шлиры рассматриваются, как результат постмагматического замещения, связанного с гидротермальным изменением закристаллизовавшихся гранитов, или же, как результат проявления жидкостной несмесимости в остаточных расплавах, обогащенных летучими компонентами [Trumbull et al., 2008]. Форма кварц-турмалиновых обособлений в Трехголовом массиве, их беспорядочное распределение в гранитах, приуроченность к апикальной части относительно малоглубинного массива, отсутствие связи с зонами катаклаза позволяют предполагать, что образование шлиров происходило по второму варианту. Умеренная глиноземистость расплава благоприятствовала накоплению бора вместе с другими летучими компонентами и щелочами в остаточном глубоко дифференцированном расплаве, из которого кристаллизовались граниты Трехголового массива. Это могло привести к обособлению среди алюмосиликатного расплава капель расплава, обогащенного водой, B , F , Na и Fe , обладавшего пониженной вязкостью и в силу этого способного просачиваться в апикальную часть массива сквозь частично закристаллизовавшийся алюмосиликатный расплав, что находит подтверждение в экспериментальных работах [Veksler, Thomas, 2002]. Присутствие в составе шлиров минералов, богатых водой, бором, фтором, фторкарбонатов и фосфатов показывают, что помимо воды, бора и фтора, в каплях обособившегося расплава накапливались и другие летучие компоненты, в частности, углекислота и фосфор. В апикальной части массива, по-видимому, происходило слипание капель и образование турмалина за счет ранее закристаллизовавшихся полевых шпатов. При этом геохимические особенности кварц-турмалиновых шлиров указывают на преимущественное концентрирование каплями богатого бором расплава по сравнению с алюмосиликатным расплавом халькофильных и сидерофильных элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 10–05–00289–а.

Литература

Перетяжко И.С., Прокофьев В.Ю., Загорский В.Е., Смирнов С.З. Борные кислоты в процессах пегматитового и гидротермального минералообразования: петрологические следствия открытия сассолина (H_3BO_3) во флюидных включениях // Петрология. 2008. Т. 8. № 3. С. 241-266.

Таусон Л.В., Петрова З.И., Собаченко В.Н., Левицкий В.И., Левковский Р.З., Дагелайская И.Н., Рехвиашвили О.И. Геохимический тип гранитов рапакиви // Доклады АН СССР. 1982. Т. 265. № 3. С. 721-726.

Trumbull R.B., Krienitz M.-S., Gottesmann B, Wiedenbeck M. Chemical and boron-isotope variations in tourmalines from an S-type granite and its source rocks: the Erongo granite and tourmalinites in the Damara Belt, Namibia // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2008. V. 155. P.1-18.

Veksler I.V., Thomas R. An experimental study of B-, P- and F-rich synthetic granite pegmatite at 0.1 and 0.2 Gpa // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2002. V. 143. P. 673-683.