

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ
УСТОЙЧИВОСТИ ТУРМАЛИНА, ВЫРАЩИВАНИЕ ЕГО
МОНОКРИСТАЛЛОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-
МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Сеткова Т.В. (setkova@iem.ac.ru)

Московское отделение. Институт экспериментальной минералогии РАН

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF TOURMALINE
STABILITY, SINGLE CRYSTAL GROWTH AND INVESTIGATION OF
STRUCTURAL-MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF AS-GROWN
CRYSTALS

Setkova T.V.

Moscow branch. Institute of experimental mineralogy RAS

Турмалин, являющийся одним из распространенных минералов в природе и одним из наиболее популярных драгоценных камней, до сих пор не производится в искусственных условиях. Многочисленные исследования этого минерала полностью не решили вопросы его устойчивости в гидротермальных растворах различного состава и не позволили разработать воспроизводимый метод его выращивания на затравку. В рамках данной работы была предпринята попытка разработки методики выращивания монокристаллов турмалина на затравку. Прежде всего, были экспериментально и теоретически изучены минеральные равновесия турмалина с альбитом при температуре 500 и 600°C и давлении 100 МПа. Турмалин довольно часто встречается в ассоциации с альбитом. В связи с этим, изучение минеральных равновесий турмалина с альбитом представляет интерес для выяснения физико-химических условий образования этих минералов в эндогенных процессах. Проведена теоретическая оценка растворимости турмалина в борных, хлоридных и фторидных растворах для установления ограничений области исследований. Осуществлены экспериментальные исследования по изучению устойчивости турмалина в борных, бор-щелочных, фторидных, бор-фторидных, бор-хлор-фторидных и бор-хлоридных гидротермальных растворах в интервале температур 400 – 750°C и давлений 100 – 150 МПа.

Термодинамический расчет проводился с использованием программного комплекса HCN и стандартных и расчетных термодинамических данных. Экспериментальные исследования осуществлялись в автоклавах, изготовленных из Cr-Ni сплава или Ti сплава. Для изучения минеральных равновесий использовались вкладыши с золотой футеровкой. Опыты по минеральным равновесиям проводились при температуре 500 и 600°C и давлении 100 МПа по методике, основанной на изменении массы зерна турмалина (Шаповалов, 2008). Экспериментальное

изучение устойчивости и особенностей кристаллизации турмалина проводилось в термоградиентных условиях ($\Delta T=50^{\circ}\text{C}$) в борных (H_3BO_3), бор-щелочных ($\text{H}_3\text{BO}_3+\text{NaOH}$; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), фторидных (NH_4F ; LiF ; AlF_3), бор-фторидных ($\text{H}_3\text{BO}_3+\text{NH}_4\text{F}$; $\text{H}_3\text{BO}_3+\text{AlF}_3$), бор-хлор-фторидных ($\text{H}_3\text{BO}_3+\text{AlF}_3+\text{NaCl}$), хлоридных (NaCl) и бор-хлоридных ($\text{H}_3\text{BO}_3+\text{NaCl}$; $\text{H}_3\text{BO}_3+\text{HCl}$; $\text{H}_3\text{BO}_3+\text{NaCl}+(\text{FeCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ или $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, или $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$)) гидротермальных растворах в интервале температур $400-750^{\circ}\text{C}$ и давлений $100-150$ МПа. В качестве затравок в опытах использовались пластинки из кристаллов эльбаита или шерла, вырезанные перпендикулярно оптической оси. В опытах использовались различные виды шихты: природный турмалин (эльбаит или шерл), иногда с добавлением кварца, смесь из обломков кварца и корунда, либо смесь из оксидов или гидроксидов кремния, алюминия и др., взятых в соотношениях, близких по стехиометрии к турмалину.

Экспериментальное и теоретическое изучение реакции между турмалином и альбитом позволило наметить поля стабильности этих минералов на физико-химических диаграммах в зависимости от состава воздействующего флюида (Шаповалов, 2008). Термодинамические расчеты растворимости и полученные экспериментальные данные по устойчивости турмалина показали достаточно низкую растворимость турмалина в борных и бор-хлоридных растворах. В бор-щелочных, фторидных, бор-фторидных и бор-хлор-фторидных растворах интенсивность растворения турмалина заметно возрастает и сопровождается образованием алюмосиликатных и фторидных фаз (Сеткова, 2009а). Отмечен затрудненный рост турмалина в указанных гидротермальных растворах на затравку при его перекристаллизации, с одной стороны, и, с другой стороны, - интенсивное выпадение при тех же $T-P$ параметрах и составах растворов многочисленных кристаллов спонтанного зарождения при использовании в качестве шихты кварца и корунда как отдельных турмалинообразующих компонентов. Спонтанная кристаллизация турмалина и рост его на затравку характерны для широкого диапазона кислотности-щелочности (рН 1-12). В результате проведенных исследований также показана возможность выращивания монокристаллов Со-, Ni-, Fe-, (Ni, Fe)-, (Ni, Cr)- и (Со, Ni, Cr)-содержащих турмалинов при относительно невысоких термобарических параметрах (от 400°C и 100 МПа) (Сеткова, 2009б; Setkova, 2011а). Скорость роста кристаллов не превышает 0.05 мм/сут. Изучены особенности химического состава, морфология (Setkova, 2011b) и структурные особенности (Рождественская, 2012) выращенных кристаллов турмалина.

Помимо перспективы использования синтетического турмалина в пьезотехнике и ювелирной промышленности, теоретические и экспериментальные данные по устойчивости, растворимости и условиям синтеза турмалина могут быть использованы при изучении условий образования месторождений, являющихся источником добычи промышленно-ценных металлов (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, U, Mo, Zn, Sn, W и др.).

Автор выражает глубокую благодарность Член-корр. д.г.-м.н. Ю.Б. Шаповалову и проф. д.г.-м.н. В.С. Балицкому за внимательное руководство и

помощь на всех этапах выполнения работы, а также благодарит за эффективную помощь и сотрудничество к.г.-м.н И.В. Рождественскую, д.г.-м.н. О.В. Франк-Каменецкую, д.г.-м.н. А.Г. Штукенберга и О.С. Верещагина.

Рождественская И.В., Т.В. Сеткова, О.С. Верещагин, А.Г. Штукенберг, Ю.Б. Шаповалов (2012). Уточнение кристаллических структур синтетических никель- и кобальт- содержащих турмалинов// Кристаллография. Т.57, № 1. С. 63-69.

Сеткова Т.В., Ю.Б. Шаповалов, А.А. Маракушев, В.С. Балицкий (2009а). Экспериментальное изучение устойчивости и особенностей кристаллизации турмалина в гидротермальных растворах. ДАН. Т. 425, № 6. С. 800 – 804.

Сеткова Т.В., Ю.Б. Шаповалов, В.С. Балицкий. Выращивание и структурно-морфологические характеристики Со-турмалина (2009б). Докл. АН. Т. 424, №1. С. 94-97.

Шаповалов Ю.Б., Сеткова Т.В., Балицкий В.С. (2008). Теоретическое и экспериментальное изучение минеральных равновесий турмалина с альбитом при температурах 500 и 600°C и давлении 100 МПа // Электрон. Науч.-информ. журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН» №1(26). М.: ИФЗ РАН.

Setkova T., Yu. Shapovalov, V. Balitsky (2011a). Growth of tourmaline single crystals containing transition metal elements in hydrothermal solutions //Journal of Crystal Growth. V.318. P. 904–907.

Setkova T.V., Yu.B. Shapovalov, V.S. Balitsky, O.S. Vereshchagin (2011b). Morphology of synthetic tourmaline crystals. XXII IUCr Madrid, Spain. Book of Abstracts. P. 465-466.