УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТУРМАЛИНОВ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ПЕГМАТИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАНАКАН В АФГАНИСТАНЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ МЕТОДОМ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИИ¹

А. Г. Николаев¹, Г. А. Юргенсон², А. Д. Михеева¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, e-mail: Anatolij-nikolaev@yandex.ru

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чума, e-mail: yurga@mail.ru

Аннотация: В данной работе представлены исследования флюидных включений в турмалинах из редко-металльных пегматитов месторождения Канакан (Нуристан, Афганистан). Выявлены особенности химического состава и концентрация солевой системы. Получены температуры гомогенизации флюидных включений в турмалинах и выявлена температура их образования.

Ключевые слова: турмалин, термобарогеохимия, флюидные включения

Введение. Турмалин – сложный кольцевой боросиликат со следующей обобщенной кристалло-химической формулой, которая имеет вид $XY_3Z_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(OH,F)_4$, где X – Na, Ca, K; Y – Mg, Fe^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Li^+ , Cr^{3+} , Z – Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} .

Кристаллическая структура турмалина допускает возможность широких изоморфных замещений главным образом в его катионной части. Обычно выделяются два главных изоморфных ряда: железо-магниевый (шерл-дравитовый) и железо-литиевый (шерл-эльбаитовый). Конечными членами этих рядов являются шерл (происхождение термина точно не установлено) – $NaFe^{2+}_3Al_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(OH,F)_4$, дравит (по месту первой находки – району Драве в Югославии) – $NaMg_3Al_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(OH,F)_4$ и эльбаит (по острову Эльба) – $Na(Li,Al)_3Al_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(OH,F)_4$. При этом между дравитом и эльбаитом предполагается разрыв смесимости (Киевленко, 2000). Турмалин встречается в различных промышленно-генетических типах месторождений, также он относится к большой группе ювелирных камней, пользовавшихся большой известностью и высоко ценившихся во все времена. Турмалин как ювелирный камень интересен, прежде всего, разнообразной красивой окраской, охватывающей всю цветовую гамму спектра, нередко глубокой и яркой с множеством тонов и оттенков. Многие турмалины содержат в себе различные типы одно- и многофазовых включений и имеют различные свойства и химический состав (Сливко, 1955; Сливко, 1958; Смирнов, 2000).

Цель работы – исследование флюидных включений в турмалинах и изучение условий их формирования по результатам термобарогеохимических исследований. По результатам исследований можно сделать выводы о составе флюида, который участвовал в формировании данного минерала, и выявить температуру его кристаллизации (Плечов, 2014; Рёддер, 1987). Материалом для исследования послужили турмалины из редкометалльных пегматитов месторождения Канакан (Гиндукуш, Нуристан, Афганистан).

Месторождение Канакан относится к редкометалльным пегматитам киммерийско-альпийской складчатой области Гиндукуша. Они генетически связаны с крупными массивами биотитовых и двуслюдяных гранитов мел-палеогенового возраста и залегают в их кровле преимущественно в сланцевых толщах, метаморфизованных в условиях фации эпидотовых амфиболитов (Россовский, Коноваленко, 1980). Пегматитовые жилы Канакан входят в состав крупного пегматитового поля Дарай-Пич. Пегматитовая жила относится к кварц-альбитовому (клевеландитовому) с турмалином, сподуменом, поллучитом, монтебразитом, литиофиллитом, воробьевитом, полихрмным ювелирным турмалином минеральному типу. Мощность жил находится в пределах 50–3 м. Основная масса хорошо окристаллизованных минералов находится в миаролах, размеры которых широко варьируют и могут достигать 30 см. Нередко фрагменты кристаллов находятся в альбитовой сыпучке. Изученные турмалины относятся к ряду шерла – индиголита – верделита – ахроита с очень редко встречающимися бледными рубеллитами. Они представляют турмалин III генерации (Геруволь и др., 1980). Все образцы имели яркий зеленый цвет с небольшим голубым оттенком (фото 1). Кристаллы хорошо огранены. Головки окристаллизованы. Нередко кристаллы, срастаясь по призме, образуют тройники.

Методика эксперимента. Газово-жидкие включения изучались с помощью комплекса, состоящего из термостолика Linkam THMS600 с рабочим температурным интервалом от –196 °С до

¹ Работа выполнена в рамках госзадания проекта (№ 0386-2017-0006) Министерства науки и образования РФ

+600 °С, охлаждение проводилось с помощью жидкого азота. Шаг изменения температурного режима был от 5°С/мин до 30 °С/мин.

Рис. 1. Турмалин с месторождения Канакан

При увеличении в турмалинах были обнаружены и описаны различные флюидные включения, имеющие в основном двухфазовый состав (рис. 2, 3).

Рис. 2. Флюидное включение в турмалине

Рис. 3. Флюидное включение в турмалине

Результаты исследований. По результатам криометрии включений в турмалинах с месторождения Канакан температура эвтектики составила в районе –38 °С, что соответствует солевой системе с составом $\text{MgCl}_2\text{-KCl-H}_2\text{O}$ (Борисенко, 1977). По результатам плавления льда, концентрация солей изменялась в районе 7–8 % экв. MgCl_2 (Киргинцев, 1972). Температура гомогенизации включений в турмалинах составило в районе +242–258 °С.

По результатам химического анализа окраска турмалина связана с трехвалентным марганцем (528 нм), и двухвалентным железом (715 нм).

Список литературы

1. Борисенко А. С. Изучение солевого состава газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
2. Гируволь М. Т., Алхазов В. Ю., Юргенсон Г. А. Минералогия продуктивных минеральных комплексов пегматитов с драгоценными камнями Нуристана (Демократическая республика Афганистан) // Самоцветы. Материалы XI съезда ММА. Новосибирск, 4–10 сентября, 1978. Л.: Наука, 1980. С. 63–70.
3. Киргинцев А. Н., Трушников Л. Н., Лаврентьева В. Г. Растворимость неорганических веществ в воде: справочник. Л.: Химия, 1972. 248 с.
4. Киевленко Е. Я. Геология самоцветов. М.: Земля, 2000. 582 с.

5. Плечов П. Ю. Методы изучения флюидных и расплавных включений. М.: Изд-во КДУ, 2014. 268 с.
6. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах: в 2-х т. Т. 1. М.: Мир, 1987. 560 с.
7. Россовский Л. Н., Коноваленко С. И. Драгоценные камни в пегматитах Гиндукуша, Южного Памира и Западных Гималаев // Самоцветы. Материалы XI съезда ММА. Л.: Наука, 1980. С. 53–62.
8. Сливко М. М. Исследование турмалинов некоторых месторождений СССР. Львов: Изд. Львов. ун-та. 1955. 127 с.
9. Сливко М. М. О включениях растворов в кристаллах турмалина // Тр. ВНИИП. 1958. Т. 2. Вып. 2. С. 64–68.
10. Смирнов С. З., Перетяжко И. С., Прокофьев В. Ю., Загорский В. Е., Шебанин А. П. Первая находка сассолина (H_3BO_3) во флюидных включениях в минералах // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 2. С. 194–206.

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF TOURMALINES OF RARE METAL PEGMATITES IN THE KANAKAN FIELD IN AFGHANISTAN, BASED ON THE RESULTS OF STUDIES OF FLUID INCLUSIONS USING THE THERMOBAROGEOCHEMISTRY

A. G. Nikolaev¹, G. A. Yurgenson², A. D. Mikheeva¹

¹Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, 420008, Kremlyovskaya 18,
e-mail: Anatolij-nikolaev@yandex.ru

²Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, 672002, Nedorezova, 16a,
e-mail: yurgga@mail.ru

Abstract: In this paper, studies of fluid inclusions in tourmaline from the rare metal pegmatites Kanakan (Nuristan, Afghanistan) are presented. The peculiarities of the chemical composition and the concentration of the salt system are revealed. The temperatures of homogenization of fluid inclusions in tourmalines were obtained and the temperature of their formation was determined.

Keywords: tourmaline, thermobarogeochemistry, fluid inclusions

УДК 549.6

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О СОДЕРЖАНИИ ЦИРКОНИЯ В КРИСТАЛЛАХ БЕРИЛЛА ШЕРЛОВОЙ ГОРЫ (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)¹

Г. А. Юргенсон¹, А. А. Борзенко²

¹ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии

Сибирского отделения Российской академии науки, г. Чита, Россия, e-mail: yurgga@mail.ru

²ФГБОУ ВО Забайкальский государственный университет г. Чита, Россия, e-mail: avonanik@mail.ru

Аннотация: Впервые на примере 49 различно окрашенных кристаллов берилла месторождения Шерловая Гора в Юго-Восточном Забайкалье выполнено сравнительное изучение содержания примеси циркония. Установлено, что максимальные концентрации циркония типичны для кристаллов берилла голубовато-зелёного и зеленого цвета (средние значения 0,072–0,067 мас. %), а минимальные – бесцветного, бледно-голубого и ярко-голубого (среднее значение 0,001 мас. %). В фрагменте крупного кристалла берилла выявлена поперечная зональность в распределении скандия, циркония и алюминия. Установлено, что во внешней зоне голубого цвета содержание циркония минимально (0,045 % ZrO_2). В направлении от граней призмы к его внутренней части по мере увеличения доли зеленой окраски содержание циркония возрастает и составляет 0,169 % ZrO_2 .

Ключевые слова: берилл, скандий, цирконий, алюминий, изоморфизм, Шерловая Гора

Введение. Содержание циркония в кристаллах берилла обычно не являлось предметом изучения этого минерала, так как общепризнанными примесями в нем, влияющими на его свойства, считаются хром, железо, ванадий, марганец и, в какой-то мере, скандий (Чухров, 1981). В качестве изоморфных примесей в берилле могут присутствовать Cr^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg , Ca , Mn , Ti^{3+} , V^{3+} , Ga^{3+} , Ge^{4+} , B , P (Чухров, 1981).

Как установлено нами (Юргенсон, 2017), скандий относительно широко распространен в берилле Шерловой Горы и образует в нем концентрации в пределах (%) < 0.0005 – 0.014 . При этом максимальные значения присущи оливково-зеленым (0.009 – 0.014 %) и голубым (0.004 – 0.012 %) индивидам. Минимальные значения примеси скандия обнаружены в зеленых и переходных к ним цветковых разновидностях берилла (0.0004 – 0.009 %).

¹ Работа выполнена в рамках госзадания проекта (№ 0386-2017-0006) Министерства науки и образования РФ.