

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЦВЕТОВОГО РЕВЕРСА В ПРИРОДНЫХ АЛЕКСАНДРИТАХ

Николаев А.Г.<sup>1</sup>, Попов М.П.<sup>2</sup>, Нуриева Е.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет; anatolij-nikolaev@yandex.ru

<sup>2</sup> Уральский государственный горный университет; popovm1@yandex.ru

## METHOD FOR ASSESSING COLOR REVERSE IN NATURAL ALEXANDRITE

Nikolaev A.G.<sup>1</sup>, Popov M.P.<sup>2</sup>, Nurieva E.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan Federal University; anatolij-nikolaev@yandex.ru

<sup>2</sup>Ural State Mining University; popovm1@yandex.ru

К драгоценным камням I порядка относится редкая хромсодержащая разновидность хризоберилла – александрит. Лучшими александритами считаются уральские (Уральские изумрудные копи), также ювелирный материал встречается на месторождениях Бразилии, Танзании, Мадагаскара, Индии, Шри-Ланки. Основная уникальная их особенность – менять свет от источника излучения. При лампе накаливания (источник А) он дает красную окраску, а при дневном свете (источник D65) он имеет зеленую окраску. Данный эффект называется реверсом (эффект перемены цвета), и от него зависит стоимость сырья и ограненного камня. По существующим стандартам данный эффект изучается только визуально.

Цель данной работы – выявление кристаллохимических особенностей и природы окраски природных александритов с Уральских изумрудных копей, а также изучение механизма реверса с помощью методов оптической спектроскопии. Образцами для проведения исследований послужили полированные пластинки природных александритов размером примерно 5x5 мм и толщиной 1 мм. Все они были рассортированы по изменениям интенсивности окраски от 0 до 100 % и в зависимости от реверса были разделены на 3 группы по интенсивности изменения цвета.

Исследования проводились методом оптической абсорбционной спектроскопии. Оптические спектры поглощения записывались на стандартизированном спектрофотометре МСФУ - К. Регистрация оптических спектров поглощения производилась в интервале длин волн 400 - 800 нм, с шагом 1 нм. Для объективного измерения и описания окраски александритов была использована методика расчета координат цветности по международной колориметрической системе XYZ. Колориметрические параметры исследуемых минералов (x, y, z – коэффициенты цветности;  $\lambda$  – длина волны (нм), Р – интенсивность основного цветового тона (%)) рассчитывались с использованием специализированной программы «Спектр». Все экспериментальные исследования проводились при комнатной температуре.

Хризоберилл ( $\text{BeAl}_2\text{O}_4$ ) кристаллизуется в ромбической сингонии (точечная группа D2h, mmm, пространственная группа Pbnn), параметры элементарной ячейки:  $a = 4.424 \text{ \AA}$ ,  $b = 9.393 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.473 \text{ \AA}$ . Структура представлена двумя типами октаэдров  $\text{AlO}_6$  со средним межатомным расстоянием  $\text{Al}_1 - \text{O} = 0,189 \text{ нм}$ ;  $\text{Al}_2 - \text{O} = 0,194 \text{ нм}$ .  $\text{Al}$ -октаэдры связаны общими ребрами в зигзагообразные цепочки, которые соединяются вместе тетраэдрами  $\text{BeO}_4$  с межатомным расстоянием  $\text{Be} - \text{O} = 0,163 \text{ нм}$ ;  $\text{O} - \text{O} = 0,25 \text{ нм}$  (для общих ребер многогранников),  $\text{O} - \text{O} = 0,274 \text{ нм}$ .

В оптических спектрах александритов наблюдается интенсивное поглощение в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, связанное с переносом заряда  $O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$ . В видимом диапазоне проявляются две полосы поглощения, характерные для спектров  $Cr^{3+}$ -соединений и минералов. Длинноволновая полоса поглощения 578-602 нм связана с электронным переходом  $^4A_{2g} \rightarrow ^4T_{2g}$ , а коротковолновая полоса поглощения 418-428 нм – с переходом  $^4A_{2g} \rightarrow ^4T_{1g}$ . Конфигурация спектров поглощения и значение энергии полос поглощения позволяет приписать наблюдаемые полосы электронным переходам в ионах  $Cr^{3+}$ , которые изоморфно замещают ионы  $Al^{3+}$  в октаэдрических позициях структуры хризоберилла. Именно с ионами  $Cr^{3+}$  связан александритовый эффект. Также в образцах александритов в районе 438-443 нм наблюдается узкая полоса поглощения малой интенсивности, связанная с спин-запрещенным электронным переходом  $^6A_{1g} \rightarrow ^4A_{1g}$ ,  $^4E_g$  ( $^4T_{2g}$ ) в ионах  $Fe^{3+}$ , которые занимают позиции  $Al$  в структуре хризоберилла.

По результатам интерпретации оптических спектров поглощения александритов был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО - 1931. Расчеты были произведены для источника света А «лампа накаливания» и источника D65 «солнечный свет» под каждый образец. Была изучена взаимосвязь относительного изменения для цветовых координат  $\lambda$  – длина волны (нм) и  $P$  – интенсивность цветового тона (%) между точками источника А и источника D65 по формуле  $\sqrt{(\lambda_A - \lambda_{D65})^2 + (P_A - P_{D65})^2}$  (Рис. 1). В данном графике показано интенсивность изменения реверса по вертикали и изменения его в каждой зоне. Данные зоны являются областями роста кристалла. Данная интенсивность указывает что реверс имеет различное значение даже в одном образце, что наблюдалось визуально в виде цветовой зональности. Из этого можно сделать выводы что общее изменение реверса в александrite зависит от того каких зон с определённым реверсом преобладают в том или ином образце.

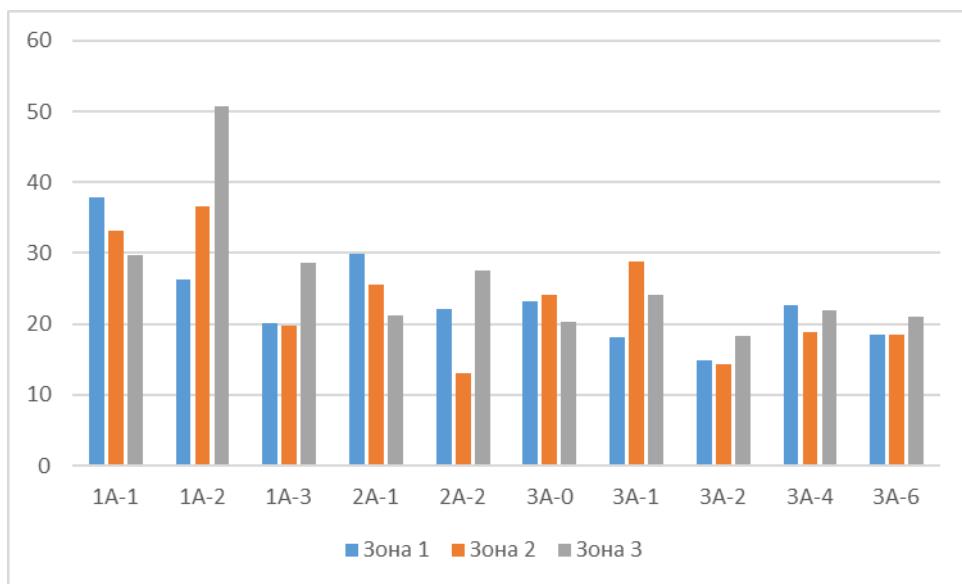


Рисунок 1. Изменение основных параметров цветовых координат.  
Fig. 1. Changing basic color coordinate parameters.