

## Часть 6. МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕРУДНОГО СЫРЬЯ И АКТУАЛЬНЫЕ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*А. Г. Николаев<sup>1</sup>, Э. Л. Фахардо Бехарано<sup>1</sup>, М. П. Попов<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> – Казанский федеральный университет, г. Казань  
*anatolij-nikolaev@yandex.ru*

<sup>2</sup> – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>3</sup> – Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

### Оптическая спектроскопия и сравнительные кристаллохимические особенности изумрудов различных промышленно-генетических типов месторождений

Изумруд является редкой хромсодержащей разновидностью берилла и встречается в различных промышленно-генетических типах месторождений. Целью данной работы являлось изучение кристаллохимических особенностей и природы окраски из различных месторождений методом оптической адсорбционной спектроскопии. Материал был отобран из месторождений Музо, Чивор, Коскуэс (Колумбия) и Изумрудные копи (Урал, Россия). Месторождения изумрудов Колумбии относятся к гидротермальному типу, а месторождения Среднего Урала – к пневматолито-гидротермальному типу эндогенных месторождений [Киевленко и др., 1982].

Оптические спектры поглощения записывались на специализированном спектрофотометре SHIMADZU UV-3600 в диапазоне длин волн 185–3300 нм. Дополнительно оптические спектры 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 изумрудов использована методика расчета координат цветности по международной колориметрической системе XYZ. Все колориметрические результаты по интерпретации оптических спектров поглощения минералов вынесены на стандартный цветовой треугольник международной комиссии по освещению (МКО-1931). Колориметрические параметры исследуемых минералов ( $x$ ,  $y$ ,  $z$  – коэффициенты цветности;  $\lambda$  – длина волны,  $\rho$  – густота,  $L$  – яркость основного цветового тона) рассчитывались с использованием специализированной программы «Спектр». Оптические спектры поглощения записывались с обломков кристаллов и плоскопараллельных препаратов; цвет изумрудов – зеленый, различной интенсивности. Все экспериментальные исследования проводились при комнатной температуре.

Берилл представляет собой кольцевой силикат бериллия и алюминия  $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ . Структура берилла состоит из колец  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ , соединенных через атомы Ве и Al. Кольца образуют вытянутые вдоль оси шестого порядка колонки, связанные бериллиево-кислородными тетраэдрами и алюмокислородными октаэдрами [Корнилов, Солодова, 1987]. Характерной особенностью структуры минерала является наличие емких полостей-каналов, которые объясняют возможность широкого

проявления гетеровалентного изоморфизма с вхождением ионов-компенсаторов. Большие каналы могут вмещать молекулы воды, крупные щелочные и щелочноземельные катионы. Для структуры берилла характерно частичное замещение атомов  $\text{Be}^{2+}$  на  $\text{Li}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Изоморфизму подвержены и ионы  $\text{Al}^{3+}$  в октаэдрических позициях структуры, которые могут быть замещены трех- и двухвалентными катионами:  $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Si}^{4+}$ . В качестве ионов-компенсаторов в каналы структуры входят крупные катионы щелочных металлов ( $\text{Na}^+, \text{Cs}^+$ ), а также группы  $(\text{OH})^-$ , молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ , ионы  $\text{F}^-$  и др. [Егоров-Тисменко, 2005].

Общей особенностью оптических спектров поглощения изумрудов является наличие двух широких интенсивных полос поглощения в видимой области. Конфигурация спектров поглощения и значение энергии полос поглощения позволяет приписать наблюдаемые полосы электронным переходам в ионах  $\text{Cr}^{3+}$ , которые изоморфно замещают ионы  $\text{Al}^{3+}$  в октаэдрических позициях структуры берилла. Полосы поглощения в районе 416–435 и 600–625 нм в спектрах обусловлены разрешенными по спине переходами с основного состояния  $^4\text{A}_{2g}$  на более высокие энергетические уровни  $^4\text{T}_{1g}$  и  $^4\text{T}_{2g}$ , соответственно [Платонов и др., 1984; Свиридов и др., 1976]. Дополнительно при длинах волн 670 и 689 нм наблюдаются слабые узкие полосы поглощения R-переходов в ионах  $\text{Cr}^{3+}_{VI}$  [Платонов и др., 1984]. Для уральских изумрудов на длине волны 370 нм в УФ-области наблюдается общий подъем оптического спектра поглощения, а для колумбийских изумрудов – это значение в районе 300 нм.

В ближней инфракрасной области спектра уральских изумрудов фиксируется широкая и интенсивная полоса поглощения с максимумом в районе 809–852 нм, обусловленная разрешенным по спине электронным переходом  $^3\text{T}_2 \rightarrow ^5\text{E}$  в ионах двухвалентного железа, изоморфно замещающих алюминий в октаэдрических позициях структуры. Дополнительно в районе 2070 нм наблюдается небольшая по интенсивности полоса поглощения, связанная разрешенным по спине электронным переходом  $^5\text{E} \rightarrow ^5\text{T}_2$  в ионах двухвалентного железа, изоморфно замещающих бериллий в тетраэдрических позициях [Бахтин, 1985]. Данные полосы поглощения не фиксируются в оптических спектрах поглощения в колумбийских изумрудах. Узкие полосы поглощения на длине волны 1152, 1410, 1898 нм и широкая полоса в районе 2400–3000 нм связаны с колебаниями молекул воды в каналах структуры берилла [Бахтин, 1985]. По конфигурации узкой полосы поглощения в районе 1898 нм можно говорить, что во всех изумрудах присутствует преимущественно молекулярная вода II типа, что является критерием в диагностике синтетических и природных изумрудов [Wood, Nassau, 1968; Nassau, 1976].

По результатам интерпретации оптических спектров поглощения изумрудов был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО-1931. Для уральских изумрудов доминирующая длина волны ( $\lambda$ ) основного цветового тона составила 485–570 нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась от 5.45 до 52.02 %; для колумбийских изумрудов длина волны основного цветового тона составила 500–580 нм и цветовой тон – 9.75–44.15 %. В уральских образцах наблюдается смещение основного цветового тона в длинноволновую область при увеличении насыщенности тона.

При сильном увеличении в изумрудах уральских месторождений наблюдаются актинолит и слюда, а также флюидные включения, свойственные для данной провинции. В образцах из месторождений Колумбии выявлены трехфазные включения с пилообразными краями и кристаллами галита, типичными для изумрудов данного района.

В ходе проведенных исследований были проанализированы оптические спектры поглощения изумрудов из месторождений Колумбии и уральских изумрудных копей и исследована природа их окраски. Природа окраски колумбийских изумрудов связана исключительно с трехвалентным хромом, который изоморфно замещает алюминий в структуре берилла. На окраску уральских изумрудов влияют также ионы трехвалентного хрома, а также дополнительно на основной тон влияет двухвалентное железо, которое входит в октаэдрические позиции алюминия и тем самым создает дополнительные желтые оттенки в окраске уральских изумрудов. Выявлено, что двухвалентное железо изоморфно замещает бериллий в структуре уральских образцов. Результаты исследования линии колебания воды на длине 1898 нм и включений в изумрудах можно использовать для практических геммологических целей идентификации природных и синтетических ограненных камней и выявлять месторождение, откуда было добыто природное сырье.

### Литература

- Бахтин А. И.* Породообразующие силикаты: оптические спектры, кристаллохимия закономерности окраски, типоморфизм. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1985. 192 с.
- Егоров-Тисменко Ю. К.* Кристаллография и кристаллохимия. М.: Книжный дом «Университет», 2005. 592 с.
- Киевленко Е. Я., Сенкевич Н. Н., Гаврилов А. П.* Геология месторождений драгоценных камней. М.: Недра, 1982. 273 с.
- Корнилов Н. И., Солодова Ю. П.* Ювелирные камни. М.: Недра, 1987. 239 с.
- Платонов А. Н., Таран М. Н., Балицкий В. С.* Природа окраски самоцветов. М.: Недра, 1984. 196 с.
- Свиридов Д. Т., Свиридова Р. К., Смирнов Ю. Ф.* Оптические спектры ионов переходных металлов в кристаллах. М.: Наука, 1976. 266 с.
- Nassau K.* Synthetic emerald: The confusing history and the current technologies // *Journal of Crystal Growth*. 1976. Vol. 35. № 2. P. 211–222.
- Wood D. L., Nassau K.* The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy // *American Mineralogist*. 1968. Vol. 53. № 5–6. P. 777–800.

**Н. Ю. Гафарова, Н. В. Мизина**  
*Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск*  
*natalya.gafarova.93@mail.ru*

**Дайковый комплекс задуговых офиолитов восточного склона  
Приполярного Урала – сырье для производства  
непрерывного базальтового волокна  
(научный руководитель К. Ю. Кудрин)**

**Введение.** В 2012 г. в Ханты-Мансийском АО принята Ведомственная программа развития стройиндустрии округа на 2013–2020 гг., которая, в том числе, предусматривает строительство завода по производству базальтового волокна и продукции из него, местная сырьевая база которого не определена. Анализ имеющихся данных показал, что породы основного состава, распространенные на территории