

УДК 553.8:550.425

**ПРИРОДА ОКРАСКИ И КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ  
ПАРАМЕТРЫ ЮВЕЛИРНЫХ КАМНЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
КУХИЛАЛ (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР)**

*А.Г. Николаев, С.А. Эльназаров*

**Аннотация**

Кухилал является уникальным месторождением на Памире, где ведется добыча высококачественных ювелирных шпинели и клиногумита. В работе дано описание минералогических особенностей названных минеральных видов этого месторождения и выявлены кристаллохимические особенности, с которыми связана природа окраски шпинели и клиногумита.

**Ключевые слова:** Кухилал, шпинель, клиногумит, оптическая спектроскопия, кристаллохимия, геммология.

---

**1. Актуальность темы**

На постсоветском пространстве месторождение Кухилал (Таджикистан) является единственным объектом ювелирных шпинели и клиногумита, причем шпинель относится к числу драгоценных камней первого класса. Месторождение Кухилал известно с давних времен (VIII век н. э.) и разрабатывается по настоящее время. Добываемые здесь шпинель и клиногумит обладают высоким качеством и устойчивым рыночным спросом. Настоящая работа предполагает детальное минералогическое исследование данных минеральных объектов и выявление их кристаллохимических особенностей, с которыми связана окраска. Работа направлена на расширение перспектив данного месторождения и на поиск новых проявлений благородной шпинели и клиногумита в среднеазиатском регионе.

**2. Методика исследований**

Основной метод исследования в данной работе – оптическая абсорбционная спектроскопия. 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 шпинели и клиногумита была использована методика расчета координат цветности по международной колориметри-

ческой системе XYZ (МКО 1931 г.<sup>1</sup>) [1, 2]. Все колориметрические результаты по интерпретации оптических спектров поглощения минералов были наложены на стандартный цветовой треугольник МКО. Колориметрические параметры исследуемых минералов ( $x$ ,  $y$ ,  $z$  – коэффициенты цветности;  $\lambda$  – длина волны,  $\rho$  – плотность,  $L$  – яркость основного цветового тона) рассчитывались с использованием специализированной программы «Спектр». Для более детальной кристаллохимической интерпретации дополнительно были сняты спектры люминесценции шпинелей. Люминесценция возбуждалась с помощью УФ-лампы с рабочей длиной волны 365 нм. Все экспериментальные исследования проводились при комнатной температуре.

### 3. Шпинель

Шпинель является главным ювелирным минералом месторождения Кухилал. Развита она в форстеритовых породах в качестве породообразующего минерала. Встречается шпинель главным образом в шпинель-форстеритовых зонах скарновых залежей и жильных образований шпинель-форстеритового состава, сосредоточенных в кровле и подошве пласта магнезиальных мраморов и в кальцификах. В редких случаях минерал встречается и в составе энстатитовых скарнов.

Шпинель в скарновых образованиях месторождения обычно встречается в виде вкрапленности и ассоциирует с форстеритом, клиногумитом, флогопитом, гнездами графита, серпентина и другими минералами. Размеры выделений шпинели весьма сильно колеблются – от долей миллиметров до первых сантиметров, реже больше. Основное количество шпинели связано со шпинель-форстеритовыми жилами. По данным Я.А. Гуревича [3], содержание шпинели в продуктивных скарнах доходит до 20–30%. Форма выделений шпинели нередко округлая или неправильная, а также таблитчатая, пластинчатая и изометрическая. Кристаллы, как правило, деформированные и недоразвитые. Редко, особенно в небольших индивидах, встречаются правильные хорошо оформленные кристаллы октаэдрической формы, усложненные иногда гранями ромбододекаэдра. Часто встречаются двойники кристаллов шпинели по (111).

Цвет шпинели розовый, красновато-розовый, розовый с фиолетовым оттенком, серовато-розовый, беловато-розовый (фото 1, 2). Наиболее ценными разновидностями являются розовая и красновато-розовая шпинель.

По химическому составу шпинель месторождения Кухилал (табл. 1) ближе всего стоит к рубиновой шпинели из Цейлона [4]. Однако в минерале из Кухилала понижены содержания хрома (0.13 против 0.39%) (среднее из 4 анализов), повышенное содержание  $\text{SiO}_2$  (1.89 против 0.74%). Повышенное содержание в составе шпинели  $\text{SiO}_2$  связано, по-видимому, с мельчайшими зёрнами силикатных минералов (форстерита, флогопита и др.). В одном из изученных образцов шпинели установлен  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в количестве 0.43%. По данным В.В. Буканова и др. [5], содержание железа в шпинели колеблется от 0.1% до 0.6%, а хрома – 0.004–0.04%. Атомно-адсорбционным анализом в шпинели из Кухилала определено железо в количестве 0.116% (среднее из 5 определений). Кроме того,

---

<sup>1</sup> Принята в 1931 г. Международной комиссией по освещению (МКО).



Фото 1. Кристаллы шпинели



Фото 2. Огранные кристаллы шпинели



Фото 3. Кристаллы клиногумита в породе



Фото 4. Огранные кристаллы клиногумита

Табл. 1

Химический состав шпинели (мас. %)

Компоненты	Номер анализа			
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	1.90	–	–	1.89
TiO <sub>2</sub>	0.15	–	0.10	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	68.79	71.37	71.44	68.89
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	0.03	–	0.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	0.21
FeO	4.69	2.21	2.22	0.36
MnO	0.14	0.00	0.02	0.00
MgO	22.75	26.39	26.20	28.03
CaO	1.17	–	–	–
Na <sub>2</sub> O	0.18	–	–	–
K <sub>2</sub> O	–	–	–	–
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–	–	–	0.13
Сумма	99.77	100.00	99.98	100.09

этим методом в минерале установлены в среднем содержания 0.124% свинца, 0.29% цинка, 0.011% марганца и 0.001% меди.

В структуре шпинели атомы кислорода образуют плотнейшую кубическую упаковку. В шпинелях с нормальной структурой, к которым относится магнетиальная шпинель, 8 тетраэдрических пустот элементарной ячейки заполнены двухвалентными катионами R<sup>2+</sup>. Каждый атом кислорода связан с одним атомом R<sup>2+</sup> и тремя атомами R<sup>3+</sup>. Таким образом, основными структурными элементами шпинели являются связанные ребрами и вершинами Al-октаэдры со средним межатомным расстоянием Al–O<sub>6</sub>, равным 0.196 нм, и Mg-тетраэдры (Mg–O<sub>4</sub> = 0.192 нм). Изоморфное вхождение примесных ионов переходных металлов в различные структурные позиции (Mg<sup>2+</sup> → Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup> и Al<sup>3+</sup> → Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, V<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>) обуславливает возможность образования самых разнообразных хромофорных координационных комплексов и их сочетаний, что, в свою очередь, определяет сложность спектроскопических свойств природных кристаллов шпинели [6].

Общей особенностью оптических спектров поглощения шпинелей из месторождения Кухилал является наличие двух широких интенсивных полос поглощения в видимой области (рис. 1). Конфигурация спектров поглощения и значение энергии полос поглощения позволяют отнести наблюдаемые полосы к электронным переходам в ионах Cr<sup>3+</sup>, которые изоморфно замещают ионы Al<sup>3+</sup> в октаэдрических позициях структуры шпинели. Полосы поглощения 386 и 539 нм в спектрах шпинелей обусловлены разрешенными по спину переходами с основного состояния <sup>4</sup>A<sub>2g</sub> на более высокие энергетические уровни <sup>4</sup>T<sub>1g</sub> и <sup>4</sup>T<sub>2g</sub> соответственно [6, 7]. На длине волны 310–320 нм наблюдается общий подъем оптического спектра поглощения.

Полоса поглощения при длине волны 414 нм связана с расщеплением коротковолновой полосы поглощения (переход <sup>4</sup>A<sub>2g</sub> → <sup>4</sup>T<sub>1g</sub>), что обусловлено тригональным искажением Cr<sup>3+</sup>-октаэдрических позиций. Дополнительно при длинах волн 670 и 689 нм наблюдаются слабые узкие полосы поглощения R-переходов

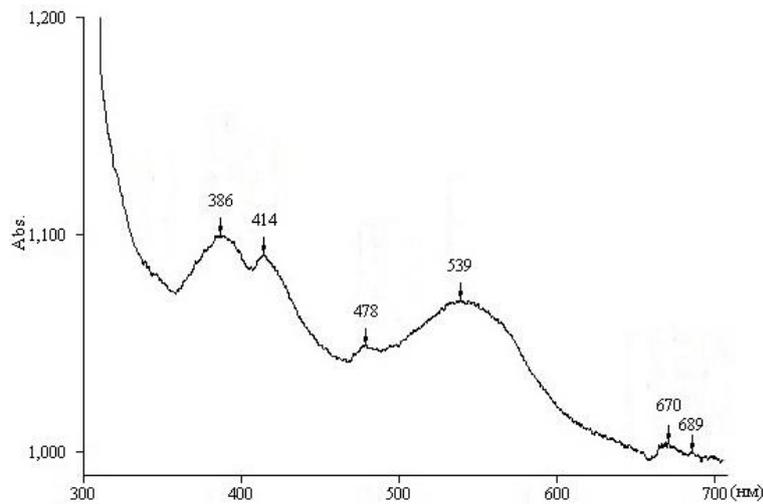


Рис. 1. Оптический спектр поглощения шпинели (видимый диапазон длин волн)

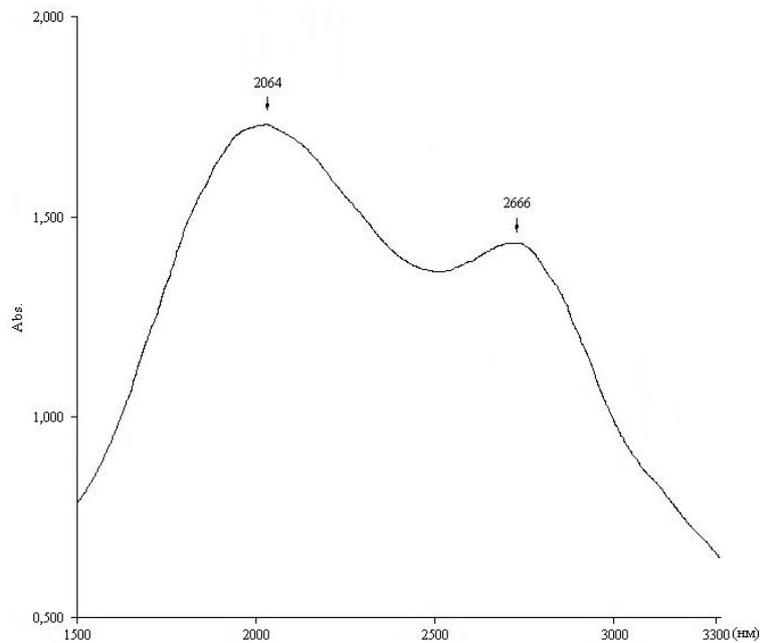


Рис. 2. Оптический спектр поглощения шпинели (ближний инфракрасный диапазон длин волн)

в ионах  $\text{Cr}^{3+}_{\text{VI}}$ . Слабую узкую полосу при 478 нм в спектрах шпинелей можно связать с В-переходами в  $\text{Cr}^{3+}_{\text{VI}}$  [6].

В ближней инфракрасной области спектра шпинелей фиксируется широкая и интенсивная полоса поглощения с двойным максимумом 2064 и 2666 нм, обусловленная разрешенным по спину электронным переходом  ${}^5\text{E} \rightarrow {}^5\text{T}_2$  в ионах двухвалентного железа, изоморфно замещающих магний в тетраэдрических позициях структуры шпинели (рис. 2). Расщепление этой полосы связано с искажением  $\text{FeO}_4$ -тетраэдров вследствие проявления эффекта Яна – Теллера [6, 7].

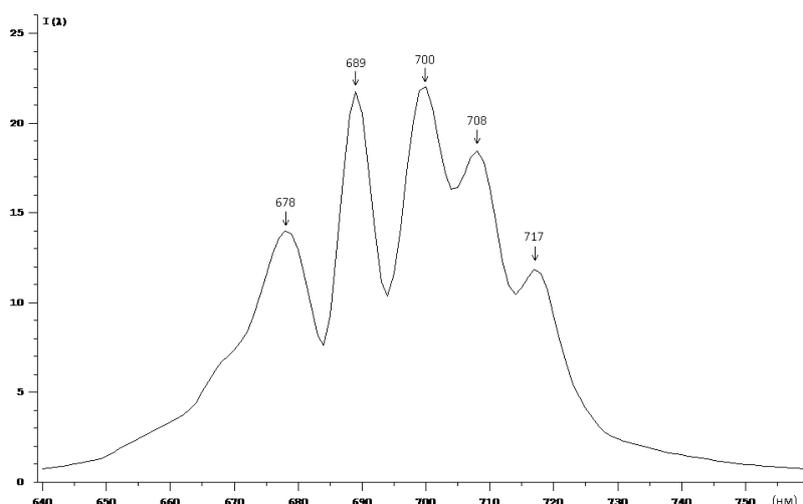


Рис. 3. Спектр люминесценции шпинели

Из вышеописанных оптических спектров поглощения ювелирных шпинелей окраску можно связать в основном с ионами  $\text{Cr}^{3+}$ , занимающими октаэдрические позиции в структуре минерала. Незначительный дополнительный оттенок в окраску вносят ионы  $\text{Fe}^{2+}$  в тетраэдрической позиции.

По результатам интерпретации оптических спектров поглощения шпинелей был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО 1931 г. Доминирующая длина волны ( $\lambda$ ) основного цветового тона составила 598–637 нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах 5.13–11.03%.

В спектрах люминесценции шпинели наблюдаются линии при длинах волн 678, 689, 700, 708 и 717 нм (рис. 3). Данные линии связаны с переходами на R-уровнях в ионах  $\text{Cr}^{3+}$  [8]. Расщепление на несколько энергетических уровней связано с тригональным искажением октаэдрических позиций, которое было выявлено по оптическим спектрам поглощения.

#### 4. Клиногумит

Клиногумит является широко распространенным минералом месторождения Кухилал. Он наряду со шпинелью является вторым ювелирным камнем месторождения. Встречается клиногумит главным образом в шпинель-форстеритовых жилах, где он распределен неравномерно. Содержание клиногумита в продуктивных скарнах, по данным Я.А. Гуревича [3], достигает до 20–30%. Максимальное содержание минерала отмечается в графит-клиногумит-форстеритовой зоне [9].

На месторождении выделяется два типа клиногумитовой минерализации: вкрапленный и блоковый. Первый тип имеет более широкое распространение. Размер отдельных выделений клиногумита во вкрапленном типе колеблется от долей миллиметров до 3–5 см. Наиболее часто наблюдаемые размеры порядка 2–3 см. Следует отметить, что чем крупнее выделения минерала, тем он более трещиноват. В этом случае кондиционное ограночное сырьё составляет незначительную часть.

Табл. 2

Химический состав клиногумита (мас. %)

Компоненты	Номер анализа	
	1	2
SiO <sub>2</sub>	37.88	37.15
TiO <sub>2</sub>	3.01	1.82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21	2.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	2.95
FeO	0.18	0.0
MnO	0.0	0.0
MgO	57.14	51.60
CaO	0.07	0.97
K <sub>2</sub> O	0.20	0.0
Na <sub>2</sub> O	0.20	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	–
H <sub>2</sub> O	0.0	2.94
n.n.n	0.76	–
Сумма	100.96	99.48

Кристаллы клиногумита сравнительно редки и в большинстве своем не обладают кристаллографическими формами. Форма их изометричная, реже несколько удлинённая. Редкие правильно образованные кристаллы разнообразны и характеризуются большим числом граней. Они представляют собой комбинацию призм, дипирамид и пинакоидов. Форма кристаллов титанклиногумита, описанная на месторождении Кухилал Т.А. Колесниковой, псевдотетраэдрическая. Найдены также полисинтетические двойники кристаллов минерала.

Цвет клиногумита светло-желтый, медово-желтый, оранжевый, коричнево-желтый (фото 3, 4). Обычно минерал непрозрачен. Однако встречаются и прозрачные разновидности, которые названы благородным клиногумитом. Полупрозрачные и прозрачные клиногумиты чаще обнаруживаются в шпинель-форстеритовых жилах, локализованных в тремолит-энстатитовых породах [9].

Химический состав клиногумита (табл. 2) в целом соответствует составу клиногумитов по У.Д. Диру и др. [4]. Однако здесь заметно ниже содержание FeO – от 0.0 до 0.18 мас. % против 3.41–5.04 мас. % у У.Д. Дира с соавторами. Обращает на себя внимание повышенное содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в кухилалском клиногумите. Особо следует отметить наличие значительного количества титана в клиногумите – 1.82–3.01 мас. %. По данным С.А. Ананьева и др. [10], в оранжевом клиногумите из Кухилалского месторождения концентрация TiO<sub>2</sub> ещё выше – 3.35 мас. %. Клиногумит с таким содержанием титана описан и на месторождении Горон Шахдарьинского хребта [11]. Следует отметить, что в форстерите, ассоциирующем с клиногумитом, содержится всего 0.02–0.17% титана. На месторождении Т.А. Колесниковой была описана титановая разновидность клиногумита с содержанием Ti и (OH) [12]. По ее данным, при недостатке в системе F и избытке (OH) оказался возможным гетеровалентный изоморфизм Mg на Ti. На замещение двухвалентного магния четырехвалентным титаном указывал и Ю.К. Воробьев [13]. Он допускает также, что при этом одновременно происходит компенсационное замещение части (F, OH)<sup>-</sup> на O<sup>2-</sup>. Содержание

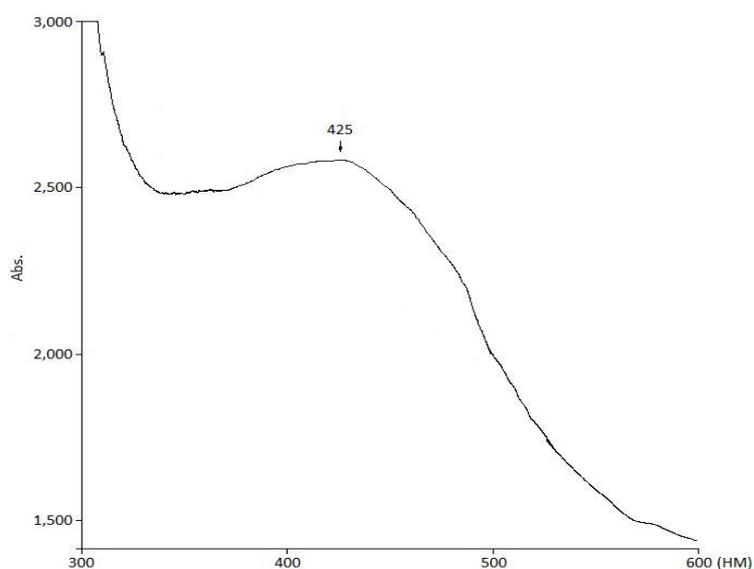


Рис. 4. Оптический спектр поглощения клиногумита (видимый диапазон длин волн)

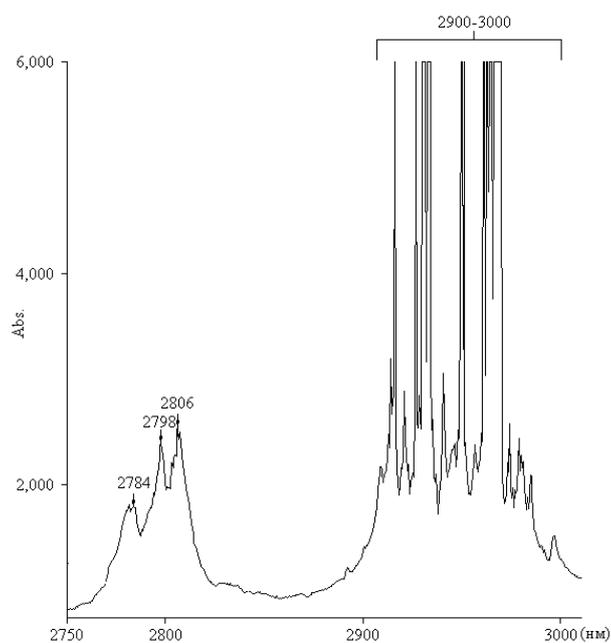
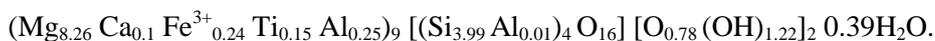


Рис. 5. Оптический спектр поглощения клиногумита (ближний инфракрасный диапазон длин волн)

FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в клиногумите невысокое – в среднем 1.56%. Химическим анализом в клиногумите Кухилала марганец не обнаружен. Однако он определен атомно-адсорбционным методом (среднее из 6 определений) в количестве 0.040%. Кроме того, этим методом в минерале установлены примеси (%) железа (0.127), свинца (0.011), цинка (0.006), никеля (0.002) и меди (0.001). В клиногумите спектроскопически выявлены также Na и K в десятых, Mn, Nb, В в сотых и Zr, Sn, Cu, Ge в тысячных долях процента.

Кристаллохимические формулы клиногумита:



Структура клиногумита представляет собой 5 типов искаженных Mg-октаэдров, которые составляют в слое плотнейшие анионные гексагональные упаковки. Базовый фрагмент структуры представляет собой слегка гофрированную «двухэтажную» зигзагообразную цепочку, звенья которой в последовательности четыре – три – три – три – четыре сменяют друг друга вдоль оси С. Ионы Тi занимают два спаренных по ребру F–F(OH), сильно искаженных Mg-октаэдра в звене из 4 октаэдров под углом 10–20° к кристаллографической оси А. Здесь же они соединены (тоже по ребру) с Mg-октаэдрами, в которые могут входить ионы железа [14].

В оптических спектрах поглощения клиногумитов в видимом диапазоне длин волн выявлена широкая полоса поглощения при длине волны 425 нм (рис. 4). При длине волны в районе 290–300 нм наблюдается общий подъем оптического спектра поглощения клиногумитов. Длинноволновый край полосы поглощения при длине волны 425 нм протягивается через весь видимый диапазон длин волн и дает «окно пропускания» в районе 580–800 нм, чем и обуславливает появление оранжевого, желто-красного цветов в исследуемых клиногумитах. Полоса поглощения при длине волны 425 нм связана с механизмом переноса заряда  $\text{Ti}^{3+} \rightarrow \text{Ti}^{4+}$  [14, 15].

По результатам интерпретации оптических спектров поглощения клиногумитов был проведен расчет координат цветности по международной колориметрической системе МКО 1931 г. Доминирующая длина волны основного цветового тона составила 586–594 нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах 33.62–57.42%.

Клиногумит инертен в ультрафиолетовых лучах и не обладает видимой люминесценцией.

В ближней инфракрасной области спектра клиногумитов фиксируются две группы полос поглощения (рис. 5). Первая группа полос поглощения располагается в спектре при длинах волн 2784, 2798 и 2805 нм. Данные полосы поглощения связаны с симметричными валентными колебаниями в (ОН)-группах кристаллической структуры клиногумита. В диапазоне длин волн 2900–3000 нм располагается большое количество тонких полос поглощения, которые связаны с молекулярным комплексом  $\text{H}_2\text{O}$  [16].

### Выводы

В ходе проведенных исследований были проанализированы минералогические особенности шпинели и клиногумита месторождения Кухилал. Выявлена природа окраски данных минеральных видов. Высокодекоративная окраска кухилалской ювелирной шпинели связана с хромофорной ролью ионов трехвалентного хрома, занимающих октаэдрические структурные позиции. Незначительную роль в окраске местной шпинели играют ионы двухвалентного железа. Цвет клиногумита связан с разновалентными структурными ионами титана.

Молекулярная вода в кристаллической структуре клиногумита является индикатором его происхождения на более поздних по сравнению со шпинелью этапах скарнообразования месторождения Кухилал.

#### Литература

1. *Гуревич М.М.* Цвет и его измерение. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. – 270 с.
2. *Джадд Д.* Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
3. *Гуревич Я.А.* Особенности геологического строения и разведки месторождения благородной шпинели Кухилал (Юго-Западный Памир) // Геология, поиски и разведка месторождений цветных камней Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1987. – С. 17–20.
4. *Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. Т. 3: Листовые силикаты. – М.: Мир, 1966. – 318 с.
5. *Буканов В.В., Платонов А.Н., Таран М.Н.* Окраска ювелирных шпинелей из месторождения Кухилал // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. – 1977. – Вып. 5. – С. 215–271.
6. *Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С.* Природа окраски самоцветов. – М.: Недра, 1984. – 196 с.
7. *Свиридов Д.Т., Свиридова Р.К., Смирнов Ю.Ф.* Оптические спектры ионов переходных металлов в кристаллах. – М.: Наука, 1976. – 266 с.
8. *Горобец Б.С.* Спектры люминесценции минералов. – М.: Изд-во ВИМС, 1981. – 154 с.
9. *Россовский Л.Н., Зильберфарб Л.С.* Шпинель-форстеритовые образования в магнетитовых мраморах месторождения благородной шпинели Кухилал // Материалы по геологии Памира. – Душанбе, 1963. – Вып. 1. – С. 274–291.
10. *Ананьев С.А., Гаранин В.К., Коноваленко С.И., Кудрявцева Г.П., Понайло И.* Фиолетовая шпинель из хлорит-шпинелевых пород (Юго-Западный Памир) // Новые данные о минералах. – М.: Наука, 1991. – Вып. 37. – С. 146–153.
11. *Ананьев С.А., Коноваленко С.И.* Кристалломорфологические и анатомические особенности ювелирной шпинели месторождения Горон (Юго-Западный Памир, Таджикистан) // Кристаллическое и твёрдое некристаллическое состояние минерального вещества: проблемы структурирования, упорядочения и эволюции структуры. – Сыктывкар: Геопринт, 2012. – С. 76–77.
12. *Колесникова Т.А.* Благородная шпинель, клиногумит и манассеит месторождения Кухилал (Памир) // Драгоценные и цветные камни. – М.: Наука, 1980. – С. 181–199.
13. *Воробьев Ю.К.* Некоторые особенности изоморфизма в генезисе минералов группы гумита // Новые данные о минералах СССР. – М.: Наука, 1966. – С. 26–37.
14. *Никольская Л.В., Руденко С.С., Загорянская М.В., Щукарев А.В.* О природе окраски ювелирных клиногумитов Кухилала (ЮЗ Памир) // Зап. Всерос. минерал. о-ва. – 1999. – Вып. 2. – С. 93–98.
15. *Платонов А.Н.* Природа окраски минералов. – Киев: Наукова думка. 1976. – 264 с.
16. *Satish-Kumar M., Niimi Naoyuki.* Fluorine-rich clinohumite from Ambasamudram marbles, Southern India; mineralogical and preliminary FTIR spectroscopic characterization // Mineral. Mag. – 1998. – V. 62, No 4. – P. 509–519.

Поступила в редакцию  
17.06.14

**Николаев Анатолий Германович** – кандидат геолого-минералогических наук, ассистент кафедры минералогии и литологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: *anatolij-nikolaev@yandex.ru*

**Эльназаров Сангин Абдумаматович** – старший преподаватель кафедры естественно-научных дисциплин, Хорогский государственный университет, г. Хорог, Таджикистан.

E-mail: *sangin\_elnazarov@mail.ru*

\* \* \*

## THE NATURE OF COLORING AND COLORIMETRIC PARAMETERS OF GEMSTONES FROM THE KUKHILAL FIELD (SOUTHWESTERN PAMIR)

*A.G. Nikolaev, S.A. Elnazarov*

### Abstract

The Kukhilal field is a unique place, where high quality gem spinel and clinohumite are mined. This paper describes the mineralogical features of the above-mentioned minerals and identifies the crystal-chemical properties determining the nature of color of spinel and clinohumite.

**Keywords:** Kukhilal, spinel, clinohumite, optical spectroscopy, crystal chemistry, gemology.

### References

1. Gurevich M.M. Color and Its Measurement. Moscow, Izd. AN SSSR, 1950. 270 p. (In Russian)
2. Judd D. Color in Science and Technology. Moscow, Mir, 1978. 592 p. (In Russian)
3. Gurevich Ya.A. Peculiarities of the geological structure and of the Kukhilal noble spinel deposit (South-Western Pamir). *Geologiya, poiski i razvedka mestorozhdenii tsvetnykh kamnei Tadjikistana* [Geology, Search and Exploration of Gemstone Deposits in Tajikistan]. Dushanbe, Donish, 1987, pp. 17–20. (In Russian)
4. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. Rock-Forming Minerals. Vol. 3. Phyllosilicates. Moscow, Mir, 1966. 318 p. (In Russian)
5. Bukanov V.V., Platonov A.N., Taran M.N. Coloring of the spinel gemstones from the Kukhilal field. *Zap. Vsesoyuz. mineral. o-va.*, 1977, vol. 5, pp. 215–271. (In Russian)
6. Platonov A.N., Taran M.N., Balitskii V.S. The Nature of Coloring of Semi-Precious Stones. Moscow, Nedra, 1984. 196 p. (In Russian)
7. Sviridov D.T., Sviridova R.K., Smirnov Yu.F. The Optical Spectra of the Transition Metal Ions in Crystals. Moscow, Nauka, 1976. 266 p. (In Russian)
8. Gorobets B.S. Luminescence Spectra of Minerals. Moscow, Izd. VIMS, 1981. 154 p. (In Russian)
9. Rossovskii L.N., Zilberfarb L.S. Spinel-forsterite formations in the magnesite marbles of the Kukhilal noble spinel deposit. *Materialy po geologii Pamira* [Materials on the Geology of the Pamir]. Dushanbe, 1963, vol. 1, pp. 274–291. (In Russian)
10. Ananov S.A., Garanin V.K., Konovalenko S.I., Kudryavtseva G.P., Ponailo I. Purple spinel from the chlorite-spinel rocks (South-Western Pamir). *Novye dannye o mineralakh* [New Data on Minerals]. Moscow, Nauka, vol. 37, 1991, pp. 146–153. (In Russian)
11. Ananov S.A., Konovalenko S.I. Crystal-morphological and anatomic features of gem spinel from the Goron field (South-Western Pamir, Tajikistan). *Kristallichesкое i tverdoe nekristallichesкое sostoyanie mineralnogo veshchestva: problemy strukturirovaniya, uporyadocheniya i evolyutsii struktury* [Crystal Substance: Problems of Structuring, Ordering and Structure Evolution]. Syktyvkar, Geoprint, 2012, pp. 76–77. (In Russian)
12. Kolesnikova T.A. Noble spinel, clinohumite and manasseite deposits in Kukhilal (Pamir). *Dragotsennyye i tsvetnyye kamni* [Precious and Colored Stones]. Moscow, Nauka, 1980, pp. 181–199. (In Russian)

13. Vorobev Yu.K. Some features of isomorphism in the genesis of minerals of the humite group. *Novye dannye o mineralakh SSSR* [New Data on the Minerals of the USSR]. Moscow, Nauka, 1966, pp. 26–37. (In Russian)
14. Nikolskaya L.V., Rudenko S.S., Zamoryanskaya M.V., Shchukarev A.V. On the nature of coloring of clinohumite gemstones from Kukhilal (South-Western Pamir). *Zap. Vseros. mineral. o-va*, 1999, vol. 2, pp. 93–98. (In Russian)
15. Platonov A.N. The Nature of Coloring of Minerals. Kiev, Naukova dumka, 1976. 264 p. (In Russian)
16. Satish-Kumar M., Naoyuki Niimi. Fluorine-rich clinohumite from Ambasamudram marbles, Southern India; mineralogical and preliminary FTIR spectroscopic characterization. *Mineral. Mag.*, 1998, vol. 62, no. 4, pp. 509–519.

Received  
June 17, 2014

---

**Nikolaev Anatolii Germanovich** – PhD in Geology and Mineralogy, Assistant Lecturer, Department of Mineralogy and Lithology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.  
E-mail: [anatolij-nikolaev@yandex.ru](mailto:anatolij-nikolaev@yandex.ru)

**Elnazarov Sangin Abdumamadovich** – Senior Lecturer, Department of Natural Sciences, Khorugh State University, Khorugh, Tajikistan.  
E-mail: [sangin\\_elnazarov@mail.ru](mailto:sangin_elnazarov@mail.ru)