

УДК 549.091.3

М.М. Таран, доктор геолого-мінералогічних наук

ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України

Є.В. Науменко

Національний науково-природничий музей НАН України

О.В. Андреев, кандидат геологічних наук

ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка

Турмаліни Параїба: спектроскопічні, кристалохімічні та гемологічні аспекти

Изучены оптические спектры поглощения, химический состав и колориметрические характеристики трёх ювелирных Cu-, Mn-содержащих турмалинов из месторождений Бразилии, штат Параиба, широкоизвестных среди минералогов, геммологов и ювелиров как турмалины Параиба, и три схожих с ними по окраске Fe-содержащих турмалина из месторождения Мауи в провинции Нуристан (Афганистан), которые на рынке иногда позиционируют как турмалины типа Параиба. Установлено, что, несмотря на сходство окраски, природа её в изученных образцах различна. Так, голубой и пурпурный цвета турмалинов Параиба обусловлены преимущественно двумя ионами-хромофорами, Cu^{2+} и Mn^{3+} , хотя определённое влияние на появление, в частности, зеленоватых оттенков имеют и примесные ионы Fe^{3+} . Голубая и бледно-синяя окраска турмалинов из Афганистана обусловлена присутствием в них ионов Fe^{2+} при относительно низких концентрациях Fe^{3+} . Медь же в таких образцах методом микрозондового анализа вообще не фиксируется. Принимая во внимание подобие по окраске с турмалинами Параиба, это даёт основание называть такие Fe^{2+} -содержащие турмалины из Афганистана (и похожие железосодержащие турмалины из других месторождений) турмалинами псевдо-Параиба. Установлено, что способ фальсификации химического состава путем натирания ограненных вставок металлической медью при попытке выдать турмалины псевдо-Параиба за турмалины типа Параиба хотя и приводят к появлению в спектрах рентгенофлуоресценции заметного сигнала меди, однако «концентрация» последней остаётся приблизительно на два порядка ниже, чем в настоящих турмалинах Параиба.

Optical absorption spectra, chemical composition and colorimetric characteristics of three gem-quality Cu, Mn-bearing tourmalines from deposits of Brasilia, state Paraiba, widely known among mineralogists, gemologists and jewelers as Paraiba tourmalines, and three similar to them by color Fe-bearing tourmalines from Mawi deposit, Nuristan (Afghanistan), which sometimes appear at the market as Paraiba-type tourmalines, were investigated. As found, in spite of some resemblance by coloration, the nature of the latter in the samples studied is different. Thus, blue and purple colors of the Paraiba-tourmalines are predominantly caused by two chromophore ions, Cu^{2+} and Mn^{3+} , although some effect to appearance of greenish hues are caused by an admixture of Fe^{3+} . Bluish colors of the tourmalines from Afghanistan are caused by Fe^{2+} at relatively low concentrations of Fe^{3+} . Copper contents are lower than the detectable level of microprobe. Taking in consideration a certain resemblance by color to the Paraiba tourmalines, such Fe^{2+} -bearing tourmalines from Afghanistan, as well as similar iron-bearing tourmalines for other locations, are proposed to be called pseudo-Paraiba tourmalines. It is found that the means of falsification of the composition by impregnation of the polished surfaces of cut tourmalines with copper by rubbing them with a copper plate in order to represented the stones as Paraiba-type tourmalines, gives some effect of appearance of detectable signal of copper in X-ray fluorescence spectra, the copper "content" maintains about two orders of magnitude lower than in the real Paraiba tourmalines.

Вступ. Одним з головних завдань сучасної гемології є точна діагностика і детальне вивчення об'єкта дослідження – дорогоцінного або кольорового каменю. У ряді випадків це дає змогу при своєму кам'яному матеріалу окрему гемологічну або торгову назву, що не в останню чергу впливає на процес ціноутворення. Яскравим прикладом цього є турмаліни Параїба, вперше знайдені в 1987 р. на родовищі Баталья (шт. Параїба, Бразилія) [6], а дещо пізніше – ще на двох бразильських родовищах: Мулунгу і Альто-дос-Квінтос (шт. Ріо-Гранде-ду-Норт). Россман зі співавторами [8] і Лорс та ін. [7] показали, що бірюзово-блакитний або, як його ще називають, неоновий [4], синій і зеленкувато-синій кольори таких турмалінів зумовлені домішкою іону двовалентної міді, Cu^{2+} , яка, до речі, є досить рідкісним для силікатних мінералів іонохромом¹. Тому такі мідьвмісні турмаліни суттєво відрізняються за своїми спектроскопічними властивостями і хімічним складом від інших представників численного сімейства турмалінів. Було також встановлено, що крім Cu^{2+} на забарвлення таких турмалінів впливають і інші хромофорні іони, переважно – Mn^{3+} . Через це далеко не всі мідьвмісні турмаліни мають неоновоблакитний колір: більша частина має фіолетово-синє і навіть пурпурне (суміш синього з червоним) забарвлення. Однак найбажаніший неоновоблакитний колір можна отримати прожарюванням таких Cu^{2+} , Mn^{3+} -вмісних турмалінів на повітрі за температури близько 500 °С. Зміну кольору пояснюють відновленням іонів Mn^{3+} до Mn^{2+} [7].

Завдяки своєму специфічному забарвленню, рідкісності знахідок, а значить, і обмеженій наявності на ринку (річний видобуток не перевищував 600 г, а маса окремих кристалів рідко доходила до 5 г [4]) турмаліни Параїба і особливо їхні неоновоблакитні відміни швидко набули широкої популярності, і ціни на них невпинно зростали.

¹Під хромофорними іонами зазвичай мають на увазі іони металів першого перехідного періоду (від титану до міді), які в своїй електронній конфігурації мають частково заповнену електронну d-оболонку. В спрощеному вигляді їхню електронну конфігурацію представляють як $3d^N$, де N (від 1 до 9) – кількість електронів на d-оболонці [напр., 2, 3].

Згодом у 2001 р. схожі за кольором і природою забарвлення Cu^{2+} -вмісні турмаліни були знайдені і в Західній Нігерії, біля селища Едеко у штаті Ібадан. Але, хоча вони теж швидко набули популярності поміж міжнародної гемологічної спільноти, їхні знахідки носили спорадичний характер. Через деякий час у 2005 р. був встановлений ще один прояв неоновоблакитних мідьвмісних турмалінів, на цей раз у північній частині Мозамбіку, біля селища Мавуко в регіоні Алту-Лігонья. Детальну характеристику цих турмалінів було надано Лоурсом і ін. [7]. Згодом у Мозамбіку були розпочаті масштабні гірничорозвідувальні і видобувні роботи, що зумовило появу на ринку значної кількості крупних високоякісних кристалів. Найбільший з ограних синіх каменів такого типу вагою у 88 каратів походить саме з цього мозамбіцького родовища [7].

Зазначимо, що для того, щоб розрізнити турмаліни Параїба (*Paraiba tourmalines*) з родовищ Бразилії і схожі з ними мідьвмісні турмаліни з африканських родовищ, останнім присвоїли назву турмаліни типу Параїба (*Paraiba-type tourmalines*) [4], хоча звичайним гемологічними тестуванням власне турмаліни Параїба і турмаліни типу Параїба не розрізняються. Однак, як стверджують автори роботи [4], методом енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного аналізу (РФА) нігерійські турмаліни типу Параїба можна відрізнити від бразильських турмалінів Параїба за співвідношеннями (Ga+Pb) до (Cu+Mn), (Cu+Mn) до Pb/Be і Mg-Zn-Pb та за деякими іншими тонкими особливостями хімічного складу.

Один з авторів цієї роботи (Є.В. Науменко) під час поїздки в Афганістан для придбання сировини для ювелірного виробництва зіткнувся з цікавою обставиною. У Кабулі місцевими дилерами було виставлено декілька партій турмалінів у вигляді невеликих кристалів та їхніх фрагментів. Один з лотів складався з кристалів світло-блакитного кольору, схожих (хоча і дещо більш блідих за забарвленням) на бразильські чи африканські мідьвмісні турмаліни, згадувані вище. За твердженням дилерів, ці камені були видобуті на родовищі Мауї в провінції Нурістан (Афганістан). Такі блідно-блакитні турмаліни позиціонувалися на ринку як нова зна-

хідка турмаліну типу Параїба із зазначеного вище родовища. Ціна у лоті цих турмалінів була значно вищою за ціну турмалінів інших кольорів: на квітень 2013 р. вона становило 80 \$/г, тоді як турмаліни зелених і рожевих кольорів коштували від 15 до 50 \$/г. Саме тоді Є.В. Науменко на перемовинах з дилерами висловив сумнів щодо того, що колір цих турмалінів пов'язаний з домішкою міді, а значить, називати їх турмалінами типу Параїба некоректно. Згодом один з дилерів зізнався, що в їхньому середовищі є розповсюдженою практика натирання поверхні ограних турмалінів металічною міддю, після чого метод РФА показує наявність в них домішки цього елемента. Такий «трюк» може ввести в оману навіть самих обережних і досвідчених покупців і дозволяє видавати такі камені за турмаліни типу Параїба, а значить, і продавати їх за значно завищеною ціною, ніж зазвичай.

Мета роботи. Враховуючи наведені обставини, ми вважали за доцільне провести порівняльне оптико-спектроскопічне вивчення різнозабарвлених турмалінів Параїба із Батальї (шт. Параїба, Бразилія) й блакитних і синіх турмалінів різних відтінків з родовища Мауї (Афганістан) з метою уточнення природи їхнього забарвлення. Для об'єктивного порівняння кольору і плеохроїзму каменів з отриманих оптичних спектрів були розраховані колориметричні характеристики. Методом мікрозондового аналізу був вивчений хімічний склад цих зразків. Для афганських турмалінів також був вивчений вплив натирання полірованої поверхні кристалів мідною пластинкою на результати рентгенофлуоресцентної спектрометрії.

Зразки і методи дослідження. Для оптико-спектроскопічного дослідження зразки турмаліну були виготовлені у вигляді полірованих з обох боків плоско-паралельних пластинок, орієнтованих паралельно до кристалографічної осі c, що давало можливість вимірювати поляризовані спектри в двох орієнтаціях – $E \perp c$ і $E \parallel c$. Орієнтація зразків контролювалася методом коноскопічних фігур у поляризаційному мікроскопі. В усіх випадках її відхилення не перевищувало 5°. Залежно від густоти забарвлення товщина зразків варіювала від 1,26 до 4,95 мм. Поляризовані оптичні спектри поглинання в діапазоні 350–1800 нм (~28570–5556 cm^{-1}) вимі-

рювали на оригінальному однопроменевому мікроспектрофотометрі, конструкція якого і процедура вимірювання спектрів поглинання за однопроменевою схемою описані, наприклад, у роботі [12].

Визначення хімічного складу турмаліну 3 виконано на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі JSM-6700F з енергодисперсійним спектрометром JED-2300, як це описано в роботі [11]. Склад інших п'яти турмалінів був встановлений за допомогою енергодисперсійного рентгенофлуоресцентного спектрометра CER-01 (ElvaX-Light), оснащеного рентгенівською трубкою з паладієвим анодом та Al-Ni фільтром (анодна напруга 50 кВ, струм 5 мкА).

Результати та їхнє обговорення. Хімічний склад вивчених зразків за даними рентгеноспектрального мікроаналізу наведено в таблиці 1. Як видно, основними елементами-хромофорами в турмалінах Параїба 1–3 є марганець і мідь. У менших концентраціях також присутнє залізо у зразках 2 і 3.

Поляризовані спектри трьох різнозабарвлених бразильських турмалінів Параїба – неоновоблакитного, зеленкуватоблакитного і рожевого – показані на рис. 1, а віднесення широких інтенсивних смуг поглинання до хромофорних іонів Cu^{2+} і Mn^{3+} – на рисунку 1в. Смуги іонів Cu^{2+} з максимумами близько 11000 і 14200 cm^{-1} зумовлені дозволом за спіном електронним переходом ${}^2\text{E}_g \rightarrow {}^2\text{T}_{2g}$ у цих іонах. Інтенсивність смуг прямо корелює з вмістом Cu [8] (також порівн. рис. 1 і табл. 1). Розщеплення смуги на дві компоненти пов'язане з розщепленням електронних рівнів низькосиметричним кристалічним полем в октаедричних Y-позиціях структури турмаліну (рис. 3), в якій входять іони Cu^{2+} . Те саме спостерігається і для дозволеного за спіном переходу ${}^5\text{E}_g \rightarrow {}^5\text{T}_{2g}$ в іонах Mn^{3+} , які також ізоморфно заміщують іони (Al, Li) в цих самих структурних позиціях, що знов-таки призводить до розщеплення смуги на дві компоненти: ~ 12700 і 19000 cm^{-1} . Однак, як видно з порівняння рис. 1 і табл. 1, інтенсивність смуг поглинання іонів Mn^{3+} не корелює з концентрацією цього елемента, що свідчить про те, що далеко не весь марганець присутній у вигляді Mn^{3+} , а основна його частина в більшості вивчених зразків входить у структуру у формі Mn^{2+} . Через особливості електронної структури всі електронні переходи між електронними рівнями d-оболонки іону Mn^{2+} заборонені за спіном [2]. Тому зумовлені ними смуги поглинання є на декілька порядків слабшими за інтенсивністю від смуг, дозволених за спіном переходів (іонів Mn^{3+} в тому числі), і за таких концентрацій марганцю в спектрах практично не проявляються і на забарвлення зразків помітно не впливають. Зазначимо, до речі, що зразок 1 містить набагато більше марганцю, ніж зразок 3 (табл. 1), хоча в його спектрі (рис. 1а) смуга поглинання Mn^{3+} дуже слабка і проявляється лише в поляризації $\text{E} \perp \text{c}$ у вигляді слабого перегибу з енергією близько 19200 cm^{-1} .

Як видно з рис. 1а, неоновоблакитне забарвлення турмаліну 1 зумовлено поглинанням у червоній області видимого діапазону спектра іонами Cu^{2+} . У забарвленні зразка 2 присутність короткохвильового краю поглинання разом зі смугами поглинання Cu^{2+} призводить до появи зеленкуватих відтінків (рис. 1б), а поглинання ще й іонів Mn^{3+} зумовлює рожеве забарвлення турмаліну 3 (рис. 1в). В усіх трьох зразках смуги поглинання як Cu^{2+} , так і Mn^{3+} мають більшу інтенсивність у поляризації $\text{E} \perp \text{c}$, що зумовлює чіткий плеох-

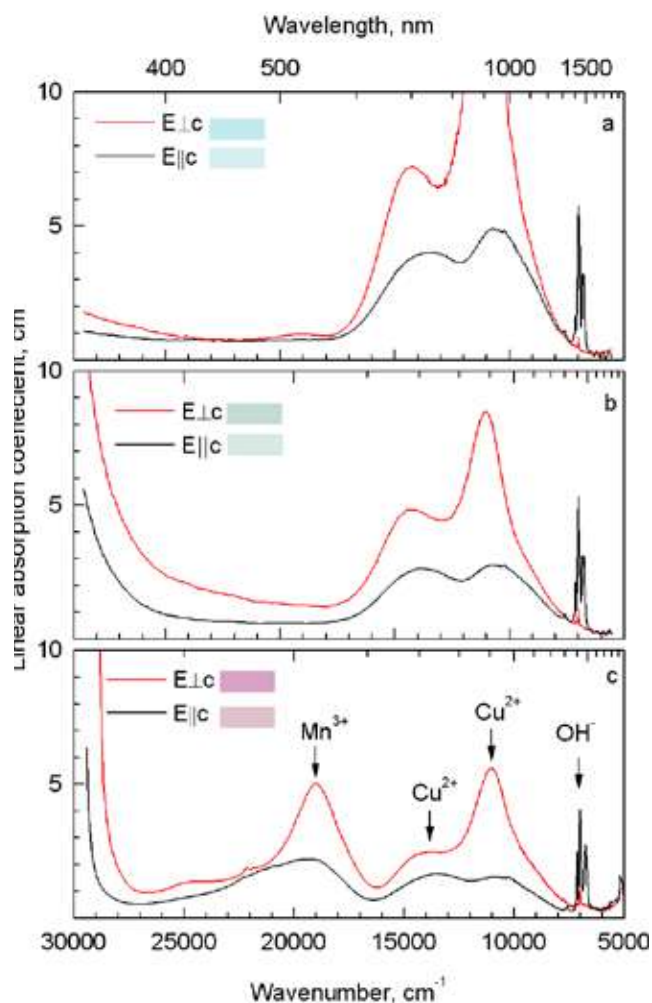


Рисунок 1. Поляризовані оптичні спектри поглинання трьох різнозабарвлених турмалінів Параїба: а – неоновоблакитний (зразок 1), б – зеленкуватоблакитний (зразок 2); в – рожевий (зразок 3). Кольорові вставки представляють web-кольори системи Hex, розраховані з оптичних спектрів пропускання для товщини зразка в 1 мм і освітленні на про-світ поляризованим світлом стандартного джерела освітлення МКО 1931 [1], що імітує розсіяне денне світло

роїзм кристалів $\text{E} \perp \text{c} > \text{E} \parallel \text{c}$. Край поглинання в спектрі зразка 2 (рис. 1б) імовірно зумовлений УФ-смугами переносу заряду типу ліганд-метал, найімовірніше – $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$, що узгоджується з підвищеним вмістом у ньому домішки заліза (табл. 1).

Серія інтенсивних вузьких ліній в області 7000 cm^{-1} з максимально інтенсивною компонентою близько 6990 cm^{-1} , $\text{E} \parallel \text{c} \gg \text{E} \perp \text{c}$, у спектрах усіх вивчених зразків 1–6 (рис. 1, 2) є, безсумнівно, першим обертоном валентних коливань OH^- груп, які в значних кількостях входять у структуру турмаліну, що відповідно відображається в кристалохімічних формулах цього мінералу. Наш досвід спектроскопічного вивчення природних турмалінів свідчить про те, що така конфігурація спектра поглинання в цій спектральній області характерна для кристалів з високим вмістом ельбаїтового мінералу. Тому найімовірніше і турмаліни Бразилії, і турмаліни Афганістану є переважно ельбаїтами, хоча з огляду мікророндового вивчення їхнього хімічного складу (табл. 1) такий висновок не витікає, оскільки вміст літію в цьому випадку не визначався.

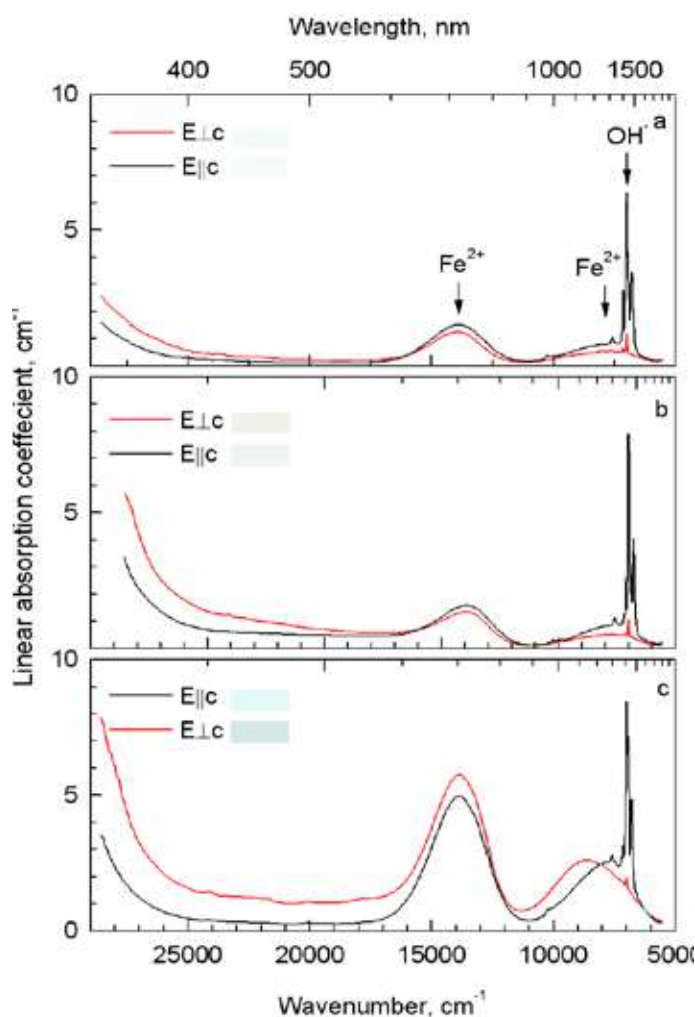


Рисунок 2. Поляризовані оптичні спектри поглинання трьох різнозабарвлених турмалінів псевдо-Параїба з родовища Мауї, Афганістан: а – блідо-блакитний (зразок 4), б – блідо-зеленкувато-блакитний (зразок 5); в – блакитний (зразок 6). Коліркові вставки – ті самі, що і на рис. 1

З іншого боку, за оцінкою Россмана зі співавторами [8], наприклад, вміст літію в Cu^{2+} -вмісних турмалінах Параїба сягає 1,06 атомів на формульну одиницю (а.ф.о.). Інтенсивність ліній поглинання OH^- -груп в області 7000 cm^{-1} у турмалінах 4–6 з Афганістану дещо вища (до $\sim 9\text{ cm}^{-1}$, рис. 2), ніж у вивчених бразильських зразках (близько $\sim 6\text{ cm}^{-1}$, рис. 1), це дає можливість припустити, що вміст ельбаїтового компонента в них десь у півтора раза вищий і наближається до теоретичного вмісту в чистому ельбаїті – 1,5 .ф.о. Li.

Оптичні спектри афганських турмалінів 4–6 (рис. 2) суттєво відрізняються від спектрів турмалінів Параїба 1–3 (рис. 1). Перш за все, в них відсутні смуги поглинання в ближній ІЧ-області, зумовлені іонами Cu^{2+} . Дані з вивчення хімічного складу цих турмалінів це повністю підтверджують: домішка міді в них, як видно з табл. 1, методом рентгеноспектрального мікроаналізу не фіксується. Основним іонохромом, як видно з рис. 2, є залізо, причому переважно у формі іонів Fe^{2+} . Про це свідчить при-

сутність у спектрах двох широких інтенсивних смуг поглинання з максимумами біля $7700\text{--}8700\text{ cm}^{-1}$ і 13800 cm^{-1} . Приблизно рівне співвідношення інтенсивності цих смуг ($\sim 1:1$) у двох поляризаціях $E_{\perp c}$ і $E_{\parallel c}$ свідчить про надзвичайно низьку концентрацію в цих зразках іонів Fe^{3+} .

Дійсно, в більшості відомих сьогодні спектрів природних залізовмісних турмалінів інтенсивність таких смуг поглинання в поляризації $E_{\perp c}$ зазвичай значно вища, ніж у поляризації $E_{\parallel c}$. Це явище пояснюють утворенням обмінно-зв'язаних пар $\text{Fe}^{2+}\text{--}\text{Fe}^{3+}$ при сумісному входженні різновалентних іонів заліза в сусідні октаедричні Y-позиції структури турмаліну і підсиленню дозволених за спіном смуг в $E_{\perp c}$ -поляризації вздовж вектора хімічного зв'язку між сусідніми іонами Fe^{2+} (Y) і Fe^{3+} (Y) [10]. Отже, як видно з фрагменту структури турмаліну на рис. 3, при утворенні пар $\text{Fe}^{2+}\text{--}\text{Fe}^{3+}$ вектори хімічного зв'язку між сусідніми іонами Fe^{2+} і Fe^{3+} лежать повністю в площині (0001). У разі збільшення вмісту іонів Fe^{3+} це спричинює суттєве зростання інтенсивності дозволених за спіном смуг поглинання іонів Fe^{2+} саме в поляризації $E_{\perp c}$ [10]. Те, що в спектрах вивчених нами турмалінів 4 і 5 смуги Fe^{2+} в поляризації $E_{\parallel c}$ навіть дещо вищі за інтенсивність, ніж у поляризації $E_{\perp c}$, свідчить про відновлювальні умови кристалізації цих зразків. Саме це, тобто високе співвідношення концентрацій $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, і є причиною порівняно слабого синюватого та блакитного забарвлення цих турмалінів, що робить їх дещо схожими на турмаліни Параїба і типу Параїба, хоча природа забарвлення тих й інших, як це витікає із зіставлення спектрів на рис. 1 і 2, абсолютно різна. Зазначимо також, що в зразку 4, який містить значну кількість домішки марганцю (табл. 1), смуги іону Mn^{3+} не проявляються (рис. 2а), що свідчить про входження цього елемента в структуру цього зразка переважно у формі Mn^{2+} (див. вище), а значить і на користь відновлюваних умов кристалізації.

Таким чином, як дані з хімічного складу, так і дані з оптичної спектроскопії свідчать про те, що турмаліни з ро-

Таблиця 1. Хімічний склад вивчених турмалінів згідно з даними рентгеноспектрального мікроаналізу

Оксид, мас. %	Зразки					
	Баталья, Бразилія			Мауї, Афганістан		
	1	2	3	4	5	6
SiO_2	38,11	41,84	38,63	41,15	39,67	36,42
TiO_2	0	0,14	0,05	0,06	0,02	0
Al_2O_3	35,61	40,45	43,09	39,94	41,26	32,04
V_2O_3	0	0	0,03	0	0	0
Cr_2O_3	0	0,01	0,01	0	0	0
FeO	0	0,26	0,06	0,9	0,88	2,73
MgO	0,01	0,35	0,00	0	6,5	7,7
CaO	0,37	0,11	0,06	0,39	0,32	0,85
MnO	3,63	1,0	0,29	2,42	0,05	0
ZnO	0	0,01	-	0	0	0
CuO	1,12	0,68	0,66	0	0	0
Na_2O	2,55	2,26	2,19	2,3	2,1	1,97
K_2O	0	0,02	-	0,02	0	0,01

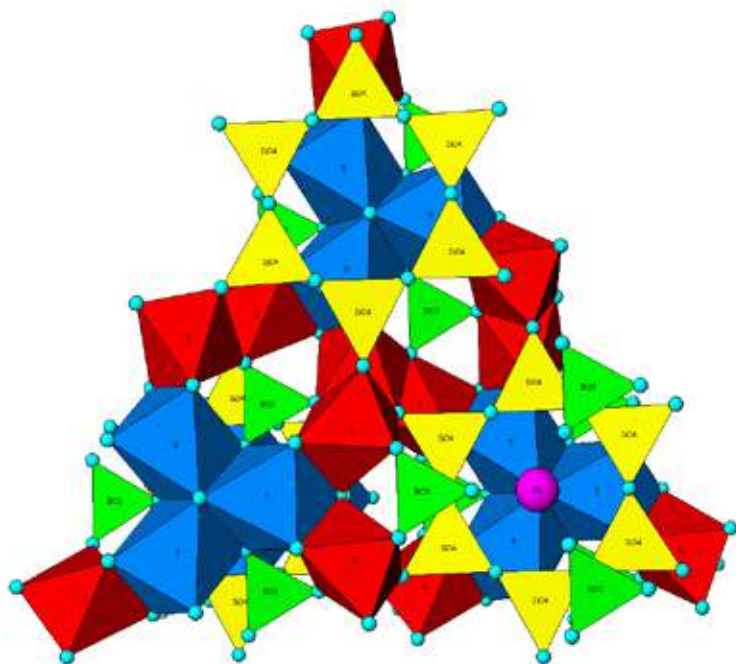


Рисунок 3. Фрагмент кристалічної структури турмаліну, побудованої за даними [5]: вид вздовж осі с (у площині (0001))

довища Мауї в Афганістані за природою забарвлення мають мало спільного з мідьвмісними турмалінами Параїба з Бразилії. Тому на відміну від африканських мідьвмісних турмалінів, які забарвлені переважно іонами Cu^{2+} і в меншій мірі Mn^{3+} і в зв'язку з цим отримали назву «турмаліни типу Параїба» [4, 7], ми пропонуємо вивчені турмаліни з родовища Мауї в Афганістані й інших родовищ, де можуть бути знайдені блакитні різновиди, забарвлені домішками закисного заліза без суттєвого впливу на конфігурацію спектрів, забарвлення і плеохроїзм обмінно-зв'язаної взаємодії між іонами Fe^{2+} і Fe^{3+} , називати турмалінами псевдо-Параїба, оскільки інколи вони можуть бути досить близькими за забарвленням до турмалінів Параї-

ба, як це добре видно з кольорових вставок на рисунках 1а і 2в, і на ринку дорогоцінного каміння помилково або ж цілеспрямовано видаватися за турмаліни типу Параїба.

Як вже зазначалося, для подібних профанацій зараз ще можуть вдаватися і до фальсифікації результатів вивчення хімічного складу шляхом натирання огранених вставок з афганських турмалінів типу псевдо-Параїба металічною міддю. Тому ми піддали два таких турмаліни, 4 і 6, елементному аналізу на рентгенофлуоресцентному спектрометрі до і після такої «обробки». Зазначимо, що гранична межа визначення концентрації міді (і деяких інших елементів) у кристалічних зразках за таких умов оцінюється в 0,0001% або близько 1 грама на тону. Результати такого дослідження для турмаліна 6, який за забарвленням нагадує неонов-блакитний турмалін Параїба 1 (див. вище), наведено на рисунку 4. У таблиці 2 подано результати рентгенофлуоресцентного аналізу турмалінів 4 і 6 до і після «обробки» їх міддю.

Як видно з рис. 4, в спектрах рентгенофлуоресценції «обробленого» зразка дійсно з'являється сигнал від міді, якого не було у вихідних спектрах. Це, загалом, може ввести в оману непідго-

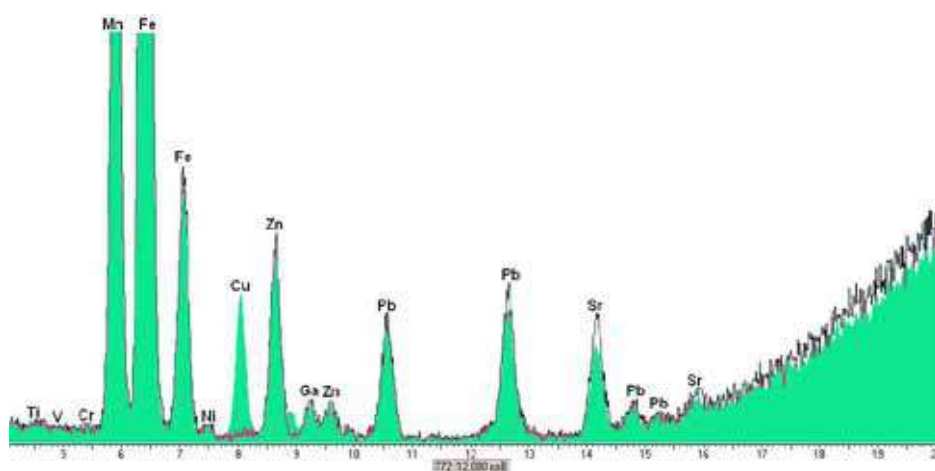


Рисунок 4. Спектри рентгенофлуоресценції блакитного турмаліна 6: вихідний – чорна лінія; після натирання мідною пластинкою – залите зеленим

Таблиця 2. Елементний склад домішок в афганському турмаліні, мас. %, до і після обробки (натирання поверхні мідною пластинкою)

Турмалін, №	Елемент			
	Cu	Zn	Sr	Pb
4 (природний)	~0,0001	0,0194	0,0035	0,1054
4 (оброблений)	0,028	0,0189	0,0030	0,1002
6 (природний)	0,0005	0,0361	0,0046	0,0223
6 (оброблений)	0,0407	0,0392	0,0040	0,0224

товленого покупця на ринку дорогоцінного каміння, однак, як видно з табл. 2, де наведено концентрації чотирьох «не типових» для турмаліну домішок (Cu, Zn, Sr і Pb), в натертих металічною міддю зразках «вміст» останньої хоча і зростає на декілька порядків, однак залишається в сотню разів нижчим, ніж в природних мідьвмісних турмалінах Параїба (пор. табл. 1 і 2). Зауважимо, що після «обробки» оптичні спектри таких турмалінів залишаються незмінними, тобто мідь в «оброблених» зразках присутня тільки як механічне забруднення на поверхні каменю, хоча слід зауважити, що видимих її слідів під час спостереження під бінокулярним мікроскопом виявити не вдалося.

Висновки. Порівняльне вивчення різнозабарвлених турмалінів Параїба з родовища Баталья (шт. Параїба, Бразилія) і блакитних та синіх турмалінів різних відтінків з родовища Мауї (Афганістан) показало, що природа забарвлення цих мінералів суттєво різна. Тому ми вважаємо, що торгувати такими турмалінами під торгівельним брендом «турмаліни типу Параїба» є помилковим і, більш того, неправомірним. Натомість ми пропонуємо використовувати для подібних турмалінів з Афганістану і всіх інших залізовмісних турмалінів, що мають блакитне і блідо-синє забарвлення, зумовлене хромофорною дією іонів Fe^{2+} , і є схожими на деякі кольорові відміни турмаліну Параїба, зокрема, на найбільш цінний його різновид – неоновоблакитний – гемологічну і торгову назву «псевдо-Параїба». Вивчення ефекту імпрегнації (втирання) в поліровану поверхню зразків з Афганістану металевої міді показало, що хоча «вміст» цього елемента після такої «обробки» зростає на декілька порядків, величина його все ще залишається на пару порядків нижчою від вмісту міді в істинних турмалінах Параїба. Це спостереження також може слугувати для розрізнення турмалінів Параїба або турмалінів типу Параїба від турмалінів псевдо-Параїба.

Автори висловлюють подяку О.А. Вишневському і С.І. Курило за проведення мікрозондового аналізу вивчених зразків.

Використана література

1. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
2. Марфунин А.С. Введение в физику минералов. – М.: Недра, 1974. – 328 с.
3. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. – М.: Недра, 1984. – 196 с.
4. Abduriyim A., Kitawaki H., Furuya M., Schwarz D. "Paraiba"-type copper-bearing tourmaline from Brazil, Nigeria and Mozambique: chemical fingerprinting by LA-ICP-MS // *Gems and Gemol.* – 2006. – 44, №1. – P. 4–30.
5. Foit F.F., Rosenberg P.E. The structure of vanadium-bearing tourmaline and its implications regarding tourmaline solid solutions // *Am. Mineral.* – 1979. – 64, №7-8. – P. 788–798.
6. Koivula J.I., Kammerling R.C., Eds. (1989) *Gem News: Unusual tourmalines from Brazil* // *Gems and Gemol.* - 1989. - 25, №3, pp. 181–182.
7. Laurs B.M., Zwaan J. C., Breeding Ch.M., Simmons W.B., Beaton D., Rijdsdijk K.F., Befi R., Falster A.U. Copper-bearing (Paraiba-Type) tourmaline from Mozambique // *Gems and Gemol.* – 2008, 44, №1. – P. 4–30.
8. Rossman G.R., Fritsch E., Shigley J.E. Origin of color in cuprian elbaite from São José de Batalha, Paraíba, Brazil // *Am. Mineral.* – 1991. – 76, №9–10. – P. 1479–1484.
9. Shigley J.E., Cook B.C., Laurs B.M., Bernardes de Oliveira M. An update on "Paraiba" tourmaline from Brazil // *Gems and Gemol.* – 2001. – 37, №4. – P. 260–276.
10. Smith G. A reassessment of the role of iron in the 5,000–30,000 cm^{-1} region of the electronic absorption spectra of tourmaline // *Phys. Chem. Minerals* – 1978. – 3, № 4. – P. 343–373.
11. Taran M.N., Dyar M.D., Naumenko I.V., Vyshnevsky O.A. Spectroscopy of red dravite from Northern Tanzania // *Phys. Chem. Minerals* – 2015. – 42, № 7. – P. 559–568.
12. Taran M.N., Ohashi H., Koch-Müller M. Optical spectroscopic study of synthetic $NaScSi_2O_6$ – $CaNiSi_2O_6$ pyroxenes at normal and high pressures // *Phys. Chem. Minerals* – 2008. – 35, № 3. – P. 117–127.