

УДК 549.02:549.08:549.642.26

Ю.Д. Гаєвський, головний фахівець відділу експертизи дорогоцінного каміння

E-mail: gud@gems.org.ua

Ю.І. Ладжун, кандидат геологічних наук, керівник відділу експертизи дорогоцінного каміння,

E-mail: ladg1978@gmail.com

Державний гемологічний центр України

вул. Дегтярівська, 38–44, Київ, 04119, Україна

## Гемологічні дослідження необлагородженого жовтого сапфіра

Метою цього гемологічного дослідження є встановлення назви, походження та облагородження жовтого огранованого каменя. Встановлено характерні особливості цієї ювелірної вставки: оптичний характер каменя ( $n^+$ ), показники заломлення ( $N_o = 1,769$ ,  $N_e = 1,761$ ), максимальне двозаломлення (0,008), густина ( $3,99 \text{ г/см}^3$ ), плеохроїзм (слабкий), флуоресценція у довгохвильовому діапазоні (365 нм) жовта, флуоресценція у короткохвильовому діапазоні (254 нм) оранжево-жовта. Дослідження методом напівкількісного рентгенофлуоресцентного аналізу (EXDRF) показали дуже невелику кількість домішок оксидів Fe, Cr, Ti, V. Дослідження за допомогою методу ІЧ-Фур'є спектроскопії виявило піки поглинання близько 3166, 3155, 3240,  $\text{см}^{-1}$ . Мікроскопічне вивчення внутрішніх включень каменя встановило наявність великої хмари лінійно спрямованих точок та мікроголок. Разом з цим були знайдені довгі голчасті включення. Сукупність отриманих даних свідчить, що наданий на експертизу камінь походить з родовища метаморфічного типу та не містить ознак облагородження. Це підтверджує інформацію замовника експертизи про те, що цей камінь було добуто із розсипних відкладень у центральній частині острова Шрі-Ланка на відомому родовищі дорогоцінного каміння Ратнапура. За літературними відомостями, ці розсипи утворилися внаслідок довготривалого руйнування різноманітних докембрійських метаморфічних порід (чарнокітів, гранулітів, гнейсів) та більш молодих (гранітів, пегматитів).

Жовті необлагороджені сапфіри є рідкісними, оскільки на українському ювелірному ринку переважна більшість таких каменів облагороджена за кольором.

Ключові слова: жовтий сапфір, комплексні гемологічні дослідження, мікроскопія, рентгенофлуоресцентний аналіз, ІЧ-Фур'є спектроскопія.

### Вступ

Експертами ДГЦУ була проведена комплексна гемологічна експертиза огранованої вставки жовтого кольору. Встановлено, що це природний жовтий сапфір (Gem Reference Guide, 1995, с. 65–69).

Мета роботи – гемологічні, хімічні, фізичні та оптико-мікроскопічні дослідження наданого на експертизу каменя для встановлення його назви, походження й облагородження (рис. 1).

Сапфір жовтий  $[\text{Al}_2\text{O}_3]$  – мінерал групи корундів. Відповідно до Закону України «Про державне регулювання видобутку, виробництва і використання дорогоцінних металів і дорогоцінного

каміння та контроль за операціями з ними» цей мінерал відносять до дорогоцінного каміння другого порядку. Необхідно зазначити, що на українському ювелірному ринку такі камені є переважно облагородженими за кольором. Термічне облагородження сапфірів проводиться багато десятиліть, але діагностування його наявності іноді є дуже складним.

#### Методи досліджень

Визначення діагностичних гемологічних характеристик проводилось за допомогою стандартного гемологічного обладнання.

Для мікроскопічних досліджень використано гемологічний мікроскоп «Gemmater L 230V».

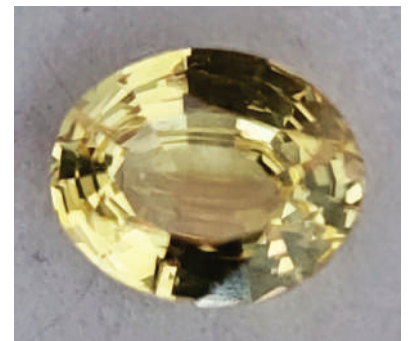


Рис. 1. Жовтий сапфір  
Fig. 1. Yellow sapphire

Дослідження методом ІЧ-Фур'є спектроскопії проводилось за допомогою спектрометра моделі «Nicolet 6700» виробництва «Thermo Fisher Scientific» на

приставці «Collector II» відповідно до «Методики діагностики дорогоцінного каміння методом ІЧ-Фур'є спектроскопії».

Дослідження методом напівкількісного рентгенофлуоресцентного аналізу (EXDRF) виконувалося за допомогою спектрометра енергій рентгенівського випромінювання «СЕР-01» моделі «ElvaX-Light» з інтервалом досліджень від Na до U відповідно до «Методики діагностики дорогоцінного каміння та його заміників методом рентгенофлуоресцентного аналізу».

### Виклад основного матеріалу

Опис та гемологічні характеристики зразка.

Форма огранування: овал.

Тип огранування: змішаний.

Геометричні розміри:

9,65×7,83×4,53 мм.

Маса: 2,97 карата.

Колір: блідо-жовтий.

Прозорість: прозорий.

Оптичний характер: анізотропний, 1°.

Показники заломлення:  $n_o = 1,769$ ,

$n_e = 1,761$ .

Максимальне двозаломлення: 0,008.

Густина: 3,99 г/см<sup>3</sup>.

Плеохроїзм: слабкий.

Характер флуоресценції:

довжина хвилі 365 нм – жовта (рис. 2);

довжина хвилі 254 нм – оранжево-жовта.

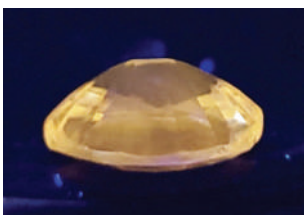


Рис. 2. Флуоресценція жовтого сапфіра в довгохвильовому діапазоні (365 нм)  
Fig. 2. Fluorescence of yellow sapphire in the long-wave range (365 nm)

Під час оптико-мікроскопічних досліджень каменя методом темнопольної мікроскопії разом із застосуванням спрямованого оптико-волоконного освітлення зі сторони корони виявлено велику хмару лінійно спрямованих точок та мікроголок. Ці групи точок та мікроголок простягаються лінійно під кутом близько 60° (рис. 3). Такі незвичайні групи включень (дуже схожі на

хмари зруйнованого рутилу) діагностувалися у жовтих або оранжевих сапфірах, які були добуті на родовищах метаморфічного типу (Duroc-Danner, 2011, с. 175–178). Під час вивчення каменя зі сторони павільйону можна побачити невелику кількість досить довгих голкоподібних включень (рис. 4), дуже схожих за формою кристалів та за їх взаєморозташуванням на рутил. Це явне протиріччя, яке є досить рідкісним у мінералах групи корунду.

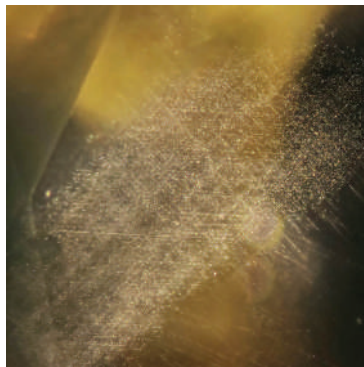


Рис. 3. Хмари точкових включень і голочок у жовтому сапфірі, поле зору 4 мм  
Fig. 3. Clouds of point inclusions and needles in yellow sapphire, field of view 4 mm

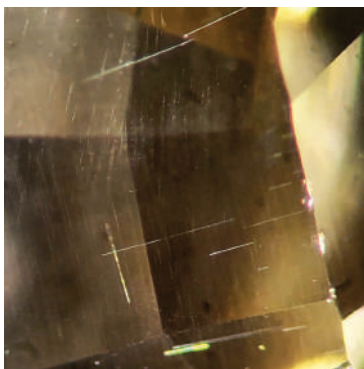


Рис. 4. Голчасті включення у жовтому сапфірі, поле зору 3 мм  
Fig. 4. Needle inclusions in yellow sapphire, field of view 3 mm

Хімічний склад жовтого сапфіра, визначений за результатами напівкількісного рентгенофлуоресцентного аналізу, наведено в таблиці 1.

Звертає на себе увагу низький вміст домішок Ti та Cr, а також дуже мала кількість домішок Si, Ni, Mg. При таких умовах пара типу  $h^0\text{-Fe}^{3+}$ , за літературними відомостями (Dubinsky, et al, 2020, с. 2–28), значною мірою впливає на появу жовтого кольору в сапфірах, навіть

Таблиця 1. Хімічний склад жовтого сапфіру (мас. %)

Table 1. Chemical composition of yellow sapphire (wt. %)

Елемент (мас. %)	Хімічний склад
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99.89
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0016
TiO <sub>2</sub>	0,0044
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0008
FeO <sub>заг</sub>	0,095
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0056

Примітка. Хімічний склад жовтого сапфіра визначено на обладнанні ТОВ «Елватех».

Note. The chemical composition of yellow sapphire was determined on the equipment of Elvatech LLC.

при дуже маленьких концентраціях Fe. У жовтих сапфірах родовищ метаморфічного типу ця закономірність присутня досить часто (Duroc-Danner, 2011, с. 175–178).

Дослідження методом ІЧ-Фур'є спектроскопії здійснювалося за кімнатної температури в спектральному діапазоні 7000–400 см<sup>-1</sup>, кількість сканувань у циклі вимірювання – 384 за роздільної здатності 4 см<sup>-1</sup>.

За результатами досліджень ІЧ-спектру виявлено серію піків поглинання близько 3166, 3155, 3240 см<sup>-1</sup>. За відомостями [(Duroc-Danner, 2011, с. 175–178), (Atikarnsakul, Emmett, 2021, с. 286–288), (Wang, Takahashi, 2023), їх пов'язують з присутністю в кристалічній ґратці коливаних типу Me–OH. Цей комплекс піків поглинання також свідчить про відсутність ознак високотемпературної термічної обробки в жовтих сапфірах, які добуті на родовищах метаморфічного типу.

Звертає на себе увагу відсутність в ІЧ-спектрі піку 3309 см<sup>-1</sup>, який є типовою ознакою для жовтих сапфірів, що видобуваються на родовищах магматичного типу (Duroc-Danner, 2011, с. 175–178).

Необхідно зазначити, що за інформацією, яку надав замовник експертизи, цей камінь було видобуто в центральній частині острова Шрі-Ланка на відомому родовищі дорогоцінного каміння Ратнапура. За промислово-генетичною класифікацією родовище Ратнапура належить до делювіально-алювіальних розсипів (Dissanayake, Chandrajith, Tobschall, 2000, с. 5–20).

Такі розсипи утворилися внаслідок довготривалого руйнування різноманітних докембрійських порід, метаморфічних за складом (чарнокітів, гранулітів, гнейсів) та більш молодих (гранітів, пегматитів тощо) (Dissanayake, Chandrajith, Tobschall, 2000, с. 5–20). Сукупність отриманих даних підтверджує, що наданий на експертизу камінь походить з родовища метаморфічного типу.

## Висновки

Проведено комплексні гемологічні, хімічні, спектроскопічні та оптико-мікроскопічні дослідження жовтого сапфіра. Встановлено, що наданий на експертизу об'єкт є природним сапфіром, походить з родовища метаморфічного типу та не містить ознак облагородження.

## References

- Gem Reference Guide*. (1995). Gemological Institute of America.
- Duroc-Danner, J. M. Untreated yellowish-orange sapphire exhibiting its natural colour. (2011). *Journal of Gemology*, 32(5), 175–178.
- Dubinsky, E. V., et al. A quantitative description of the causes of color in corundum. (2020). *Gems & Gemology*, Spring, 56(1), 2–28.
- Atikarnsakul U., & Emmett, J. L. (2021) Gem News International: Heat treatment effects on the behavior of the 3161  $\text{cm}^{-1}$  feature in low-iron metamorphic yellow sapphire. *Gems & Gemology*, 57(3), 286–288.
- Wang, Z.; & Takahashi, H. Development of Mid-Infrared Absorption Spectroscopy for Gemstone Analysis. (2023). *Minerals*, 13(5), 625. <https://doi.org/10.3390/min13050625>.
- Dissanayake, C. B., Chandrajith, R., & Tobschall, H. J. (2000). The geology, mineralogy and rare element geochemistry of the gem deposits of Sri Lanka. (2000). *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 72(1–2), 5–20. <https://doi.org/10.17741/bgsf/72.1-2.001>.

UDC 549.02:549.08:549.642.26

Yu. Gayevsky, Chief Specialist of the Department of Examination of Precious Stones  
E-mail: gud@gems.org.ua

Yu. Ladzhun, PhD (Geol.), Head of the Department of Examination of Precious Stones  
E-mail: ladg1978@gmail.com

State Gemmological Centre of Ukraine  
38– 44 Deghtyarivska Str., Kyiv, 04119, Ukraine

## Gemmological research of the untreated yellow sapphire

The purpose of this gemmological study is to establish the name, origin and heat-treatment of the yellow faceted stone. The characteristic features of this cut stone were established: optical character of the stone (1<sup>+</sup>), refractive index ( $N_o = 1.769$ ,  $N_e = 1.761$ ), birefringence (0.008), specific gravity ( $3.99 \text{ g/cm}^3$ ), pleochroism (weak), fluorescence in the long-wave range (365 nm) is yellow, fluorescence in the short-wave range (254 nm) is orange-yellow. Studies by the method of semi-quantitative X-ray fluorescence analysis (EXDRF) showed a very small amount of Fe, Cr, Ti, V oxide impurities. The study using the IR-Fourier spectroscopy method revealed absorption peaks around 3166, 3155, 3240,  $\text{cm}^{-1}$ . Microscopic examination of the stone's internal inclusions established the presence of a large cloud of linearly oriented points and microneedles. Along with it, long needle-like inclusions were found. The totality of the obtained data shows that the stone submitted for examination comes from a metamorphic deposit and does not heat treatment. This confirms the information of the client of the examination that this stone was extracted from placer deposits in the central part of the island of Sri Lanka at the famous Ratnapura gem deposit. According to literature, these placers were formed as a result of long-term destruction of various Precambrian metamorphic rocks (charnockites, granulites, gneisses) and younger ones (granites, pegmatites). Unheated yellow sapphires are rare, since the vast majority of such stones are heat treated in color on the Ukrainian jewelry market.

Keywords: yellow sapphire, complex gemmological research, microscopy, X-ray fluorescence analysis, IR-Fourier spectroscopy.