

УДК 549.2:549.08:549.091.3.549.091.4

О.П. Портянко, головний експерт, завідувач науково-дослідної лабораторії «Експертний центр ідентифікації»¹
 E-mail: expert@inconsulting.com.ua

В.М. Сурова, головний фахівець відділу експертизи напівдорогоцінного та декоративного каміння²
 E-mail: surver@ukr.net

¹ТОВ «ІН КОНСАЛТИНГ»

вул. Руденко, 6а, оф. 819, м. Київ, 02141, Україна

²Державний гемологічний центр України

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

Ідентифікація природної імітації бірюзи Си-вмісним фауститом за допомогою раманівської спектроскопії

DOI: [https://doi.org/10.53036/2025-1-2\(119-120\)-1](https://doi.org/10.53036/2025-1-2(119-120)-1)

У цій роботі представлено результати комплексного гемологічного, оптико-мікроскопічного та хімічного досліджень вставки блакитного кольору з ювелірного виробу, наданого на експертизу з метою точної ідентифікації мінералу. Блакитні мінерали здавна мали високу естетичну й культурну цінність, однак лише сучасні методи аналізу дозволяють ідентифікувати мінерали, подібні за зовнішніми характеристиками, але відмінні за складом. Особлива увага приділяється бірюзі і спорідненим мінералам, які часто плутають між собою через схожість кольору й блиску. Дослідження виконано з використанням стандартного гемологічного обладнання (рефрактометр, УФ-лампа, шкала Мооса), мікроскопії з освітлювачами та фільтрами, енергодисперсійної рентгенофлуоресцентної спектрометрії (EDXRF), а також раманівської спектроскопії. Встановлено, що вставка має зелено-блакитний колір, напівпрозору структуру, включення піриту й кварцу, а також показник заломлення в межах $n = 1,60\text{--}1,61$. Хімічний аналіз виявив переважання оксидів цинку (ZnO) над оксидами міді (CuO), що не відповідає хімічному складу класичної бірюзи. За спектральними характеристиками та фізико-оптичними властивостями зразок ототожнено з Си-вмісним фауститом – цинковим аналогом бірюзи. Враховуючи вміст домішок, оптичну поведінку та дані порівняльного спектрального аналізу, зроблено висновок про належність мінералу до групи бірюзи, а саме до її цинкової варіації. Це дослідження підкреслює значущість використання сучасних методів спектрального аналізу в гемології, що дозволяє виключити хибні класифікації природних мінералів та забезпечити точну наукову атрибуцію.

Ключові слова: бірюза, фаустит, Си-вмісний фаустит, природна імітація бірюзи.

Вступ

Блакитні камені здавна користувались у людства неабияким попитом, особливо бірюза, яка в багатьох культурах відігравала значну релігійно-культурну роль. Слід зазначити, що у давнину більшість блакитних каменів відносили до бірюзи, однак з розвитком науки з'явилися точніші методи дослідження мінералів, що дозволило встановити, що не всі блакитні й блакитно-зелені камені є бірюзою. Часто це су-

путні або схожі з нею мінерали, які можуть бути як представниками групи бірюзи, так й іншими мінералами.

На гемологічне дослідження було надано перстень з металу білого кольору з жовтим відтінком та вставкою блакитного кольору у формі кабошона-маркіза для встановлення назви каменя і природи його походження.

Мета роботи – гемологічні, хімічні, фізичні, оптико-мікроскопічні дослідження наданого на експертизу каменя (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд досліджуваного зразка

Fig. 1. General view of the examined sample

Методи досліджень

Визначення діагностичних гемологічних характеристик проводилось за допомогою стандартного гемологічного обладнання: рефрактометра, УФ-лампи, шкали твердості Мооса, гемологічної лампи.

Для мікроскопічних досліджень використано модифікований мікроскоп МБС-10 з набором освітлювачів і фільтрів.

Визначення елементарного хімічного складу проводилось на енергодисперсійному рентгенофлуоресцентному спектрометрі «ElvaX Plus» у діапазоні хімічних елементів Na–U.

Спектри комбінаційного розсіювання були отримані на раманівському спектрометрі «RaPort» виробництва «Enhanced Spectrometry Inc» на довжині хвилі 532 нм.

Спектри порівняння взяті зі спектральних баз даних RRUFF та «Wiley».

Виклад основного матеріалу

Опис і гемологічні характеристики зразка:

Стиль огранування – кабошон.

Форма огранування – маркіз.

Геометричні розміри – 22×12×4,86 мм.

Колір – зеленувато-блакитний, при просвічуванні – зелений з блакитним відтінком.

Прозорість – напівпрозорий, просвічує за товщини каменя 4,8 мм.

Показник заломлення $n = 1,60\text{--}1,61$ (визначений методом «краплі»).

Плеохроїзм не спостерігається.

Флуоресценція в довгохвильовому (365 нм) і короткохвильовому діапазоні (254 нм) відсутня.

Під час оптико-мікроскопічних досліджень каменя виявили, що наданий зразок має однорідну структуру з включеннями кристалів кварцу (ідентифіковано медом раманівської спектроскопії) та піриту (ідентифіковано під час мікроскопічних досліджень) (рис. 2).



Рис. 2. Включення кварцу і піриту
Fig. 2. Inclusions of quartz and pyrite

Хімічний склад наданого зразка було визначено за допомогою напівкількісного рентгенофлуоресцентного аналізу, при цьому заміри було взято у трьох різних точках і зроблено перерахунок в оксидні форми (табл. 1).

Також проведено аналіз хімічного складу металу для унеможливлення отримати на спектрі сторонній аналітичний сигнал від металу перстня. Аналіз металу свідчить, що перстень ви-

Табл. 1. Середній хімічний склад досліджуваного зразка

Tabl. 1. Average chemical composition of the examined sample

Ат. №	Передбачувана сполука	Середній вміст сполуки, %n100
13	Al ₂ O ₃	56,07 ± 0,16 %
14	SiO ₂	0,32 ± 0,13 %
15	P ₂ O ₅	28,29 ± 0,06 %
16	S	0,12 ± 0,01 %
26	Fe ₂ O ₃	1,81 ± 0,04 %
29	CuO	4,11 ± 0,07 %
30	ZnO	9,24 ± 0,13 %
82	PbO	0,03 ± 0,01 %

готовлено зі срібла 950 проби з вмістом цинку 1,12 ± 0,05 %. Слід зауважити, що вміст цинку в металі значно менший за вміст цинку в камені, тому він не може значно впливати на хімічний склад каменя.

Аналіз отриманих даних хімічного складу свідчить, що надана вставка відповідає хімічному складу бірюзи зі значними домішками Zn та менш значними Si і Fe. При цьому необхідно зазначити, що у досліджуваному зразку вміст цинку у два рази більший за вміст міді, що не дозволяє віднести його до бірюзи, оскільки вміст цинку як домішки в бірюзі не повинен перевищувати три відсотки (Chen та ін., 2012; Менчинская, 1989).

Бірюза – це гідратований фосфат міді й алюмінію, що належить до групи

Табл. 2. Мінерали групи бірюзи

Tabl. 2. Minerals of the turquoise group

Назва мінералу	Хімічна формула	Колір	Блиск	Твердість (за Моосом)
Ахейліт (Aheylite)	(Fe ²⁺ ,Zn)Al ₆ [PO ₄] ₄ (OH) ₈ ×4H ₂ O	блідоблакитний, зелений, синьо-зелений	скляний, тьмяний	5–5,5
Халькосидерит (Chalcosiderite)	CuFe ³⁺ ₆ [PO ₄] ₄ (OH) ₈ ×4H ₂ O	яскраво-зелений, темно-зелений	скляний, діамантовий	4,5
"Церулеолактит" ("Coeruleolactite")	(Ca,Cu)Al ₆ [PO ₄] ₄ (OH) ₈ ×4-5H ₂ O	яскраво-білий, світло-блакитний	скляний, восковий	5
Фаустит (Faustite)	ZnAl ₆ [PO ₄] ₄ (OH) ₈ ×4H ₂ O	яскраво-зелений	тьмяний	5,5
Планерит (Planerite)	Al ₆ [PO ₄] ₂ (PO ₃ OH) ₂ (OH) ₈ ×4H ₂ O	білий, сіро-зелений, блідоблакитний, зелений, синьо-зелений	скляний, тьмяний	5
Бірюза (Turquoise)	CuAl ₆ [PO ₄] ₄ (OH) ₈ ×4H ₂ O	блідозелений, синьо-зелений, блакитно-синій, зелено-блакитний	восковий	5–6

*Деякі дослідники вважають існування «церулеолактиту» сумнівним, а замість нього виділяють безіменний аналог Fe²⁺-Fe³⁺ (Faustite, б. д.).

мінералів бірюзи, яка складена щонайменше шістьма ізоструктурними кінцевими членами: ахейлітом, халькосидеритом, фауститом, планеритом, бірюзою, церулеолактитом (табл. 2) (Abdu та ін., 2011, с. 1433–1442).

Мінерал фаустит є цинковим аналогом бірюзи. Його було відкрито у 1953 році і названо на честь Джорджа Т. Фауста з Геологічної служби США (*Faustite*, б. д.). Це відкриття не лише додало нового представника до групи бірюзи, а й показало існування нової ізоморфної серії мінералів бірюзи з різним вмістом CuO і ZnO – від бірюзи з одним атомом міді до фауститу з одним атомом цинку, завдяки чому члени групи можуть утворювати між собою тверді розчини, наприклад бірюзи з фауститом (рис. 3).



Рис. 3. Фаустит з бірюзою, відкритий кар'єр «Залізний Монарх», Айрон-Ноб, Південна Австралія

Fig. 3. Faustite with turquoise, Iron Monarch open cut, Iron Knob, South Australia

Порівняння фізичних показників бірюзи і фауститу наведено у таблиці 3.

Для підтвердження наявності в зразку фауститу було додатково проведено дослідження за допомогою раманівського спектрометра. Аналіз отриманого раманівського спектра зразка (рис. 4) не дав достовірної ідентифікації зразка як бірюзи чи фауститу.

Але після коригування спектра досліджуваного зразка з'явилися базові лінії, які містять піки, характерні як для бірюзи, так і для фауститу (рис. 5).

Менчинська Т.І. (1989) зазначала, що фізичні і ювелірні якості бірюзи залежать від чистоти її хімічного складу. Тільки найбільш сині і блакитні, синьо-блакитні різновиди бірюзи мають склад, близький до теоретичного, будь-які відхилення тягнуть за собою зміну забарвлення, твердості, густини, а значні відхилення у кількостях основних складових компонентів (Cu, P, Al) вказують,

Табл. 3. Порівняльні фізичні характеристики бірюзи і фауститу
Tabl. 3. Comparative physical characteristics of turquoise and faustite

Назва	Бірюза	Фаустит
Хімічна формула	$\text{CuAl}_6[\text{PO}_4]_4(\text{OH})_8 \times 5\text{H}_2\text{O}$	$\text{ZnAl}_6[\text{PO}_4]_4(\text{OH})_8 \times 4\text{H}_2\text{O}$
Колір	яскраво-синій, блідо-зелений, синьо-зелений, яскраво-зелений, зелено-сірий	яскраво-зелений, жовто-зелений, світло-синій
Густина	2,6–2,8	2,92
Твердість	5–6	5,5
Прозорість	прозорий, напівпрозорий, непрозорий	напівпрозорий, непрозорий
Показник заломлення	1,610–1,650	1,61
Блиск	скляний, восковий, тьмянний	скляний, восковий, тьмянний

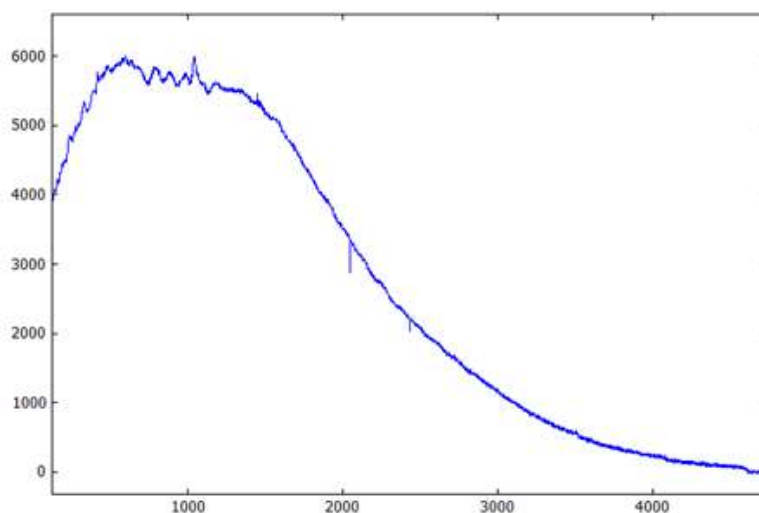


Рис. 4. Раманівський спектр дослідженого зразка (без обробки)
Fig. 4. Raman spectrum of the examined sample

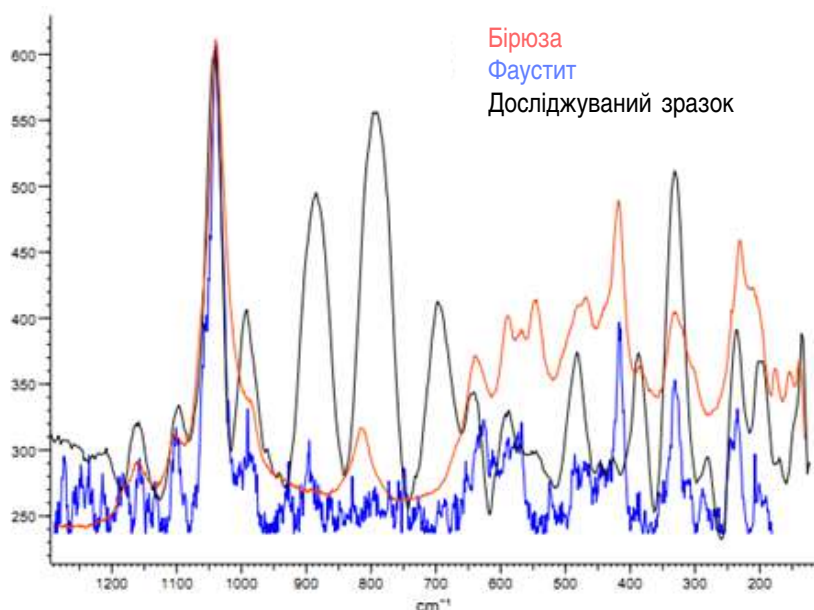


Рис. 5. Порівняння раманівських спектрів
Fig. 5. Comparison of Raman spectra

що це мінерал групи бірюзи або супутній чи схожий з нею мінерал (Менчинская, 1989). Також дослідники Фурд і Таггерт (1998) у своїй статті стверджують, що більша частина матеріалу, яка продається під торговою назвою «бірюза», не однорідна за своїм складом і що планерит є найпоширенішим компонентом у цій «бірюзі» (Foord & Taggart, 1998, с. 93–111).

Досліджуваний зразок за своїми фізичними властивостями (колір, показник заломлення, просвічуваність) можна було віднести до бірюзи, але за хімічним складом він більше відповідає суміші двох мінералів – бірюзи з її цинковим аналогом фауститом або його ще називають Cu-вмісним фауститом, в якому

блакитний колір зумовлено домішками іонів міді. Слід зазначати, що у Болгарії такий Cu-вмісний різновид фауститу було описано під назвою «купрофаустит» (Cuprofaustite, $(\text{Zn,Cu})(\text{Al,Fe})_6[\text{PO}_4]_4(\text{OH})_8$), але у 2006 році Комісія з нових мінералів та назв мінералів (CNMMN) Міжнародної мінералогічної асоціації (IMA) дискредитувала цей різновид як окремий мінерал і віднесла до його Cu-вмісного фауститу (Ernst, 2006, с. 1557–1560).

Отже, наданий на дослідження зразок за фізичними властивостями та хімічним складом належить до Cu-вмісного фауститу, що є одним з членів групи бірюзи, також його можна віднести до природної імітації бірюзи.

Висновки

У результаті комплексного гемологічного, оптико-мікроскопічного та хімічного аналізу встановлено, що вставка у наданий на дослідження каблучці є мінералом групи бірюзи, але не власне бірюзою, а її цинковим аналогом – фауститом. На це вказує як характерний хімічний склад з переважанням ZnO над CuO, так і фізико-оптичні властивості, наближені до фауститу.

Таким чином, наданий зразок можна достовірно ідентифікувати як Cu-вмісний фаустит, що є результатом часткового заміщення Cu^{2+} на Zn^{2+} у структурі бірюзи. Це підтверджує важливість точного інструментального аналізу під час ідентифікації блакитних мінералів, які раніше могли бути помилково класифіковані як бірюза.

Використані джерела

- Менчинская, Т. И. (1989). *Бирюза*. Недра.
- Abdu, Y. A., Hull, S. K., Fayek, M., & Hawthorne, F. C. (2011). The turquoise-chalcocyanite $\text{Cu}(\text{Al,Fe}^{3+})_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \times 4\text{H}_2\text{O}$ solid-solution series: A Mossbauer spectroscopy, XRD, EMPA, and FTIR study. *American Mineralogist*, 96(10), 1433–1442. <https://doi.org/10.2138/am.2011.3658>
- Chen, Q., Yin, Z., Qi, L., & Xiong, Y. (2012). Turquoise from Zhushan County, Hubei Province, China. *Gems & Gemology*, 48(3), 198–204. <https://doi.org/10.5741/gems.48.3.198>
- Ernst, A. (2006). Burke a Mass Discreditation of GQN Minerals. *The Canadian Mineralogist*, Vol. 44, 1557–1560.
- Faustite*. (б. д.). mindat.org. <https://www.mindat.org/min-1623.html>
- Foord, E. E., & Taggart, J. E. (1998). A reexamination of the turquoise group: the mineral aheylite, planerite (redefined), turquoise and coeruleolactite. *Mineralogical Magazine*, 62(1), 93–111. <https://doi.org/10.1180/002646198547495>

References

- Abdu, Y. A., Hull, S. K., Fayek, M., & Hawthorne, F. C. (2011). The turquoise-chalcocyanite $\text{Cu}(\text{Al,Fe}^{3+})_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \times 4\text{H}_2\text{O}$ solid-solution series: A Mossbauer spectroscopy, XRD, EMPA, and FTIR study. *American Mineralogist*, 96(10), 1433–1442. <https://doi.org/10.2138/am.2011.3658>
- Chen, Q., Yin, Z., Qi, L., & Xiong, Y. (2012). Turquoise from Zhushan County, Hubei Province, China. *Gems & Gemology*, 48(3), 198–204. <https://doi.org/10.5741/gems.48.3.198>
- Ernst, A. (2006). Burke a Mass Discreditation of GQN Minerals. *The Canadian Mineralogist*, Vol. 44, 1557–1560.
- Faustite*. (б. д.). mindat.org. <https://www.mindat.org/min-1623.html>
- Foord, E. E., & Taggart, J. E. (1998). A reexamination of the turquoise group: the mineral aheylite, planerite (redefined), turquoise and coeruleolactite. *Mineralogical Magazine*, 62(1), 93–111. <https://doi.org/10.1180/002646198547495>
- Menchinskaya, T. (1989). *Turquoise*. Nedra [in Russian].

UDC 549.2:549.08:549.091.3.549.091.4

O. Portyanko, Chief Expert, Head of the Research Laboratory "Expert Center for Identification"¹

E-mail: expert@inconsulting.com.ua

V. Surova, Chief Specialist of the Department of Semi-precious and Decorative Stones Examination²

E-mail: surver@ukr.net

¹LLC "IN CONSULTING"

office 819, 6a Rudenko St., Kyiv, 02141, Ukraine

²State Gemmological Centre of Ukraine

38–44 Deghtyarivska Str., Kyiv, 04119, Ukraine

Identification of natural turquoise imitation with Cu-bearing faustite using raman spectroscopy

This paper presents the results of a comprehensive gemological, optical-microscopic, and chemical study of a blue-colored insert from a piece of jewelry submitted for examination to accurately identify the mineral. Blue minerals have long held high aesthetic and cultural value; however, only modern analytical methods allow for the identification of minerals that are similar in appearance but differ in composition. Particular attention is given to turquoise and related minerals, which are often confused with one another due to similarities in color and luster. The research was carried out using standard gemological equipment (refractometer, UV lamp, Mohs hardness scale), microscopy with various illuminators and filters, energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDXRF), and Raman spectroscopy. It was determined that the insert has a greenish-blue color, a semi-transparent structure, inclusions of pyrite and quartz, and a refractive index in the range of $n = 1.60\text{--}1.61$. Chemical analysis revealed a predominance of zinc oxide (ZnO) over copper oxide (CuO), which does not correspond to the typical composition of classical turquoise. Based on spectral characteristics and physico-optical properties, the sample was identified as copper-bearing faustite – the zinc analog of turquoise. Considering the impurity content, optical behavior, and comparative spectral data, the mineral is classified as belonging to the turquoise group, though not turquoise itself, but rather its zinc-substituted variation. This study highlights the importance of using modern spectral analysis techniques in gemology, enabling the elimination of erroneous classifications of natural minerals and ensuring accurate scientific attribution.

Keywords: turquoise, faustite, Cu-containing faustite, natural imitation of turquoise.