

УДК 549.091+549.086

О.П. Беліченко, кандидат геологічних наук, керівник відділу експертизи дорогоцінного каміння,  
E-mail: lbgems@gmail.com

Ю.Д. Гаєвський, головний фахівець відділу експертизи дорогоцінного каміння  
E-mail: gud@gems.org.ua

Ю.І. Ладжун, кандидат геологічних наук, головний фахівець відділу експертизи дорогоцінного каміння  
E-mail: ladg1978@gmail.com

К.В. Татарінцева, кандидат технічних наук, головний фахівець відділу експертизи дорогоцінного каміння  
E-mail: tatarintseva.k@gmail.com

Державний гемологічний центр України  
вул. Дегтярівська, 38–44, м. Київ, 04119, Україна

## МІКРОСВІТ МІНЕРАЛІВ. ВКЛЮЧЕННЯ В РУБІНАХ, САПФІРАХ СИНІХ, СМАРАГДАХ І ОЛЕКСАНДРИТАХ

(Рекомендовано доктором геологічних наук Михайловим В.А.)

Описано основні види включень у рубінах, сапфірах синіх, смарагдах і олександритах з колекцій ДГЦУ, які розрізняються за складом (кристалічні, флюїдні), за фазовим співвідношенням (однофазні, двофазні, багатофазні), за генетичним типом (протогенетичні, сингенетичні та епігенетичні). В облагороджених вставках включення класифіковані за способом облагородження, в синтетичних – за методом синтезу. Стаття проілюстрована фотографіями, отриманими під час мікроскопічних досліджень дорогоцінного каміння в ДГЦУ. Дослідження проводились за допомогою гемологічного мікроскопа «Gemmater L 230V» та іммерсійного мікроскопа «Eickhorst Gemmoscope».

Ключові слова: дорогоцінне каміння, рубіни, сапфіри сині, смарагди, олександрити, мінеральні включення, мікроскопічні дослідження.

У 2019 році в Державному гемологічному центрі України проводилася науково-дослідна робота «Формування комплексної бази даних діагностичних гемологічних фізико-хімічних характеристик рубінів, сапфірів синіх, смарагдів і олександритів з колекцій ДГЦУ», яка є продовженням дослідження колекцій дорогоцінного каміння ДГЦУ, розпочатого у 2017-2018 роках [1]. У рамках роботи були проведені мікроскопічні дослідження дорогоцінного каміння першого порядку (крім діамантів) з метою поповнення бази мікрофотографій включень для використання їх під час гемологічної експертизи і в навчальному процесі. Фотографії включень, отримані під час виконання НДР, використані в цій статті.

Об'єкт дослідження – природні та синтетичні рубіни, сапфіри сині, смарагди і олександрити з колекцій ДГЦУ.

Методи дослідження – оптично-мікроскопічний (гемологічний мікроскоп «Gemmater L 230V», іммерсійний мікроскоп «Eickhorst Gemmoscope»).

### Виклад основного матеріалу

Вивчення включень у дорогоцінному камінні – особливий напрям гемології, який покликаний ретроспективно відтворювати життя мінералів, насамперед давати відповіді на питання: де і як утворилися, як і чому змінилися [2-6].

Авторами проведено дослідження включень у рубінах, сапфірах синіх, смарагдах і олександритах з колекцій ДГЦУ. Фотографії включень внесені в базу даних для використання їх в експертній діяльності, а також для створення другої редакції навчально-довідкового посібника «**Фотоатлас включень у дорогоцінному камінні**».

Перша редакція фотоатласу створена за результатами НДР «Формування

комплексної бази даних діагностичних гемологічних фізико-хімічних характеристик дорогоцінного каміння з колекцій ДГЦУ» в 2018 році [1]. Фотоатлас містить 83 фотографії включень у сапфірах кольорових, опалах благородних, шпінелі, турмалінах, хризолітах, цирконах, кварцах, топазах, гранатах, бериллах, кордієритах, танзанітах, хризобериллах, аксиніті, данбуриті, кліногуміті, сподумені, скаполітах, фенакіті, хромдіопсидах, апатитах [7].

Досліджені включення в природних рубінах, сапфірах синіх, смарагдах і олександритах були класифіковані за складом (кристалічні та флюїдні), за кількістю фаз у включеннях (однофазні, двофазні, багатофазні), за генетичним типом (протогенетичні, сингенетичні та епігенетичні). В облагороджених вставках включення класифіковані за способом облагородження, в синтетичних – за методом синтезу.

Авторами були досліджені, описані та сфотографовані кристалічні та флюїдні (газові, рідинні) включення.

Кристалічні включення (рис. 1) можуть бути ідіоморфними (мати добре виражені грані), ксеноморфними (частково розчиненими або заміщеними), а також вони можуть бути зруйнованими.

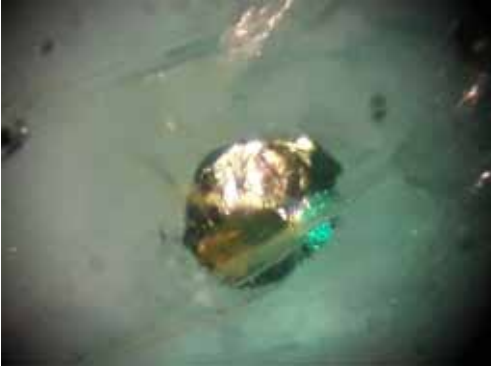


Рисунок 1. Включення піриту в смарагді, зб. 80

Флюїдні включення складаються з рідини або газу, які займають внутрішні порожнини в кристалі. Здебільшого флюїдні рідинні, газові та газопо-рідинні включення мають неправильну форму. В разі, якщо порожнини в кристалі обмежені плоскими гранями, що відповідають простим формам з найбільшою ретикулярною щільністю, утворюються «негативні кристали», які були описані в рубінах і синіх сапфірах (рис. 2).

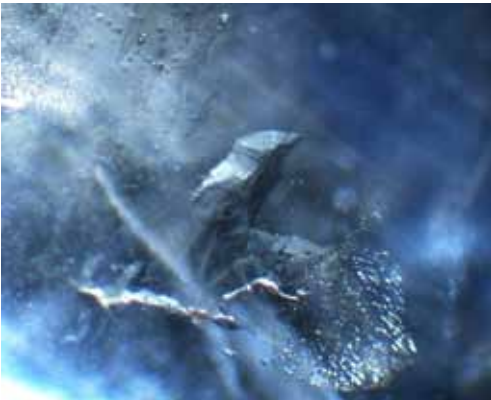


Рисунок 2. «Негативний кристал» у сапфірі синьому, зб. 50

За фазовим співвідношенням авторами були описані однофазні, двофазні, багатофазні включення. Здебільшого в досліджених рубінах, сапфірах синіх, смарагдах і олександритах зустрічаються газопо-рідинні двофазні включення. В окремих випадках також була присутня і третя фаза – тверді кристалічні частинки в рідинних включеннях (багатофазні включення).

За співвідношенням часу утворення включення і мінерало-господаря в досліджених мінералах описані:

- протогенетичні мінеральні включення, які представлені мінералами, що утворилися до того, як почав рости кристал-

господар (рис. 3). Вони були включені в кристал без змін або мають сліди руйнування під впливом більш ранніх процесів;



Рисунок 3. Протогенетичні включення слюди в смарагді, зб. 46

- сингенетичні включення, які утворилися одночасно з кристалом, що їх містить. Це захоплені частинки мінерало-утворювального середовища, в якому відбувалося зростання кристала (рис. 4);

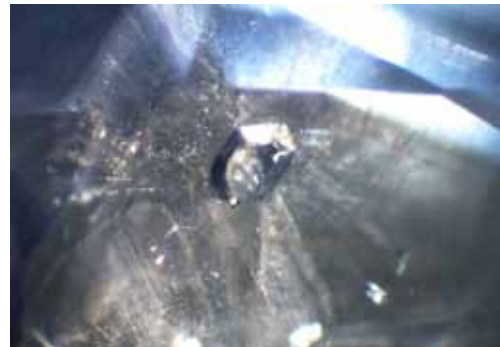


Рисунок 4. Сингенетичний «негативний кристал» у сапфірі синьому, зб. 20

- епігенетичні включення, що утворилися після кристалізації мінералу, який їх вміщує (рис. 5). Наприклад, включення беміту в рубіні і сапфірі синьому, включення зруйнованого рутилу в сапфірі синьому тощо.

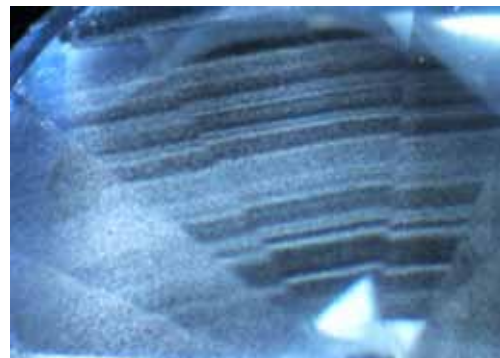


Рисунок 5. Епігенетичні включення зруйнованого рутилу в сапфірі синьому, зб. 36

Сучасною тенденцією світового ринку є значне збільшення кількості облагороджених дорогоцінних каменів. Це пов'язано з тим, що багато родовищ, які традиційно поставляли високоякісні смарагди, рубіни і сапфіри, вироблені або їхні запаси виснажуються, тому існує потреба облагородження середньо- і низькоякісної сировини, яка становить більшу частину обсягу каміння, що добувають. На сьогодні увага розроблювачів технологій облагородження каменів концентрується в основному на поліпшенні їхнього кольору, прозорості і механічній міцності. Вирішити складні проблеми експертизи облагороджених дорогоцінних каменів допомагає встановлення ознак облагородження за допомогою мікроскопічних досліджень.

Найчастіше для зміни та покращення кольору корундів застосовують складні способи багатоступеневої термообробки. Термообробка була визначена в рубінах та сапфірах з колекцій ДГЦУ шляхом вивчення зруйнованих включень рутилу (рис. 5); термообробка із заповненням флюсоподібною речовиною – за наявності залишків штучного заповнювача (рис. 6); термообробка із заповненням Рb-склом – за наявності цього матеріалу в тріщинах (рис. 7).



Рисунок 6. Флюсоподібний штучний заповнювач у тріщинах у сапфірі синьому, зб. 120

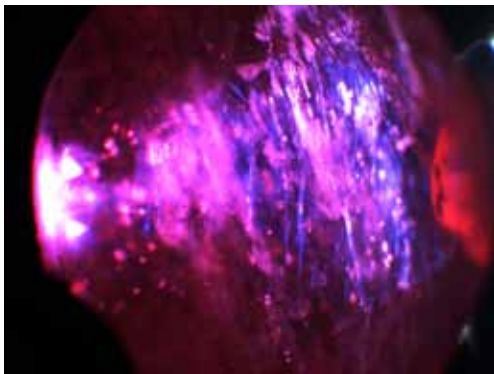


Рисунок 7. Флеш-ефект у тріщинах, які заповнені Рb-склом, у рубіні термообробленому, зб. 36

Нині майже всі смарагди піддають обробці оліями, синтетичними смолами або полімерами. Здебільшого камені оброблюють для покращення зовнішнього вигляду. Внутрішня будова смарагду, тріщинувата структура і газово-рідинні включення роблять таке облагородження необхідним. Заповнення тріщин – основний спосіб облагородження смарагду. Для цього використовують безбарвні олії, синтетичні смоли або полімери. За останні 15-20 років цей процес здійснюється у вакуумній камері для забезпечення найбільш повного проникнення олії всередину каменю. Матеріали-заповнювачі здебільшого мають коефіцієнт заломлення, близький до коефіцієнта заломлення смарагду, і тому зразок, оброблений такими матеріалами, набуває кращого вигляду, тобто зникають видимі дефекти та покращується зовнішній вигляд. Характеристичними ознаками такого облагородження є наявність штучного заповнювача у тріщинах смарагдів (рис. 8).

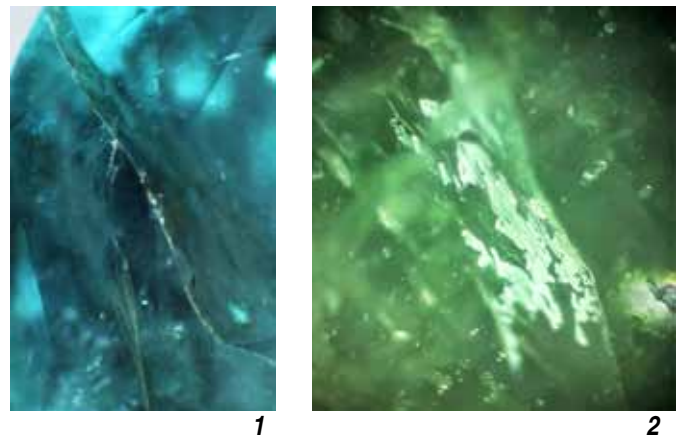


Рисунок 8. Штучний заповнювач у тріщинах смарагдів, зб. 45 (1) і зб. 80 (2)

Колекції дорогоцінного каміння ДГЦУ також містять зразки синтетичного дорогоцінного каміння: рубіни, синтезовані методом Вернейля та флюсовим методом; сині сапфіри – методом Вернейля і Чохральського; смарагди – флюсовим і гідротермальним методом; олександрити – методом Чохральського та флюсовим.

**Метод Вернейля** (метод вирощування з розплаву). Суть методу полягає в тому, що профарбовані спеціальним барвником порошки  $Al_2O_3$  і  $MgO$  плавляться в печі особливої конструкції і поволі кристалізуються у вигляді циліндричної булі на затравці, яка обертається.

Діагностичні ознаки:

1. Вигнуті лінії росту в рубінах (рис. 9) і сапфірах синіх.
2. Закруглені газові бульбашки в рубінах і сапфірах синіх.

**Метод Чохральського.** Суть методу полягає в тому, що кристал вирощується з розплаву за допомогою витягування під час повільного обертання.

Діагностичні ознаки: закруглені газові бульбашки в олександритах (рис. 10) і сапфірах синіх.



Рисунок 9. Вигнуті лінії росту в рубіні синтетичному (метод Вернейля), зб. 40

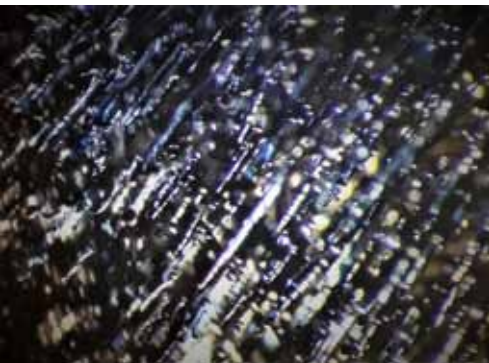


Рисунок 10. Закруглені та витягнуті газові бульбашки в сапфірі синтетичному (метод Чохральського), зб. 36

**Флюсовий метод** (метод вирощування з розчину в розплаві). Суть методу полягає в тому, що кристал виростає на затравці в розплаві із залученням флюсу.

Діагностичні ознаки: наявність розтягнутих залишків флюсу (вуалей) в рубінах, смарагдах (рис. 11) і олександритах (рис. 12).



Рисунок 11. Флюсові включення (вуалі) в смарагдах синтетичних, зб. 50



Рисунок 12. Флюсові включення (вуалі) в олександриті синтетичному, зб. 36

**Гідротермальний метод.** Суть методу полягає в тому, що кристал виростає на затравці в спеціальному розчині (кислотному або лужному за складом).

Діагностичними особливостями є наявність у зразках так званих шевроноподібних (вуглових) структур у синтетичних корундах, синтетичному смарагді (рис. 13), синтетичному олександриті.

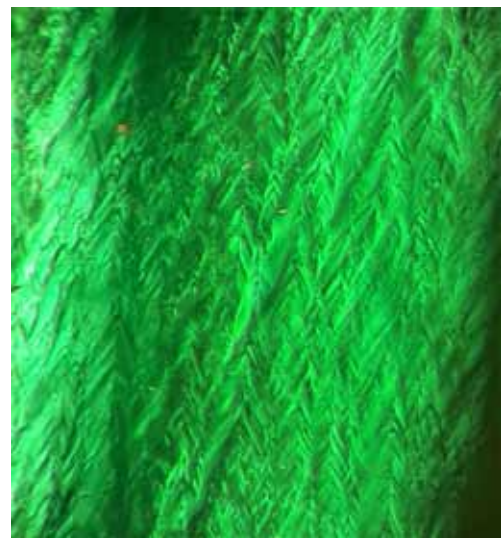


Рисунок 13. Шевроноподібний рисунок росту в гідротермальному синтетичному смарагді, зб. 44

**Висновки.** За результатами проведених мікроскопічних досліджень розроблено другу редакцію навчально-довідкового посібника «**Фотоатлас включень у дорогоцінному камінні**». Друга редакція Фотоатласу доповнена 43 фотографіями включень у рубінах, сапфірах синіх, смарагдах і олександритах. Усього фотоатлас містить 126 фотографій включень у природному, облагороженому і синтетичному дорогоцінному камінні першого-четвертого порядку (крім діамантів).

Фотоатлас буде використано під час вирішення широкого кола завдань наукової гемологічної експертизи та для підвищення якості гемологічної освіти.

## Використані джерела

1. Беліченко О.П. та ін. Формування комплексної бази даних діагностичних гемологічних фізико-хімічних характеристик дорогоцінного каміння з колекцій ДГЦУ: Звіт про н.-д. роботу. Київ. 2018. 103 с.
2. Gubelin E.J., Koivula J.I. Photoatlas of inclusions in Gemstones. Zurich: ABC Edition, 1992. 532 p.
3. Gems-inclusions. URL: <http://gems-inclusions.com> (дата звернення: 26.11.2019).
4. Microworld of gems. URL: <http://www.microworldofgems.com/news.php> (дата звернення: 26.11.2019).
5. GIA. URL: [www.gia.edu](http://www.gia.edu) (дата звернення: 26.11.2018).
6. Gemmology, Photomicrography and Wildlife Photography. URL: <http://anthonydegoutiere.com> (дата звернення: 26.11.2019).
7. Беліченко О.П. та ін. Фотоатлас включень у дорогоцінному камінні. Київ. 2018. 56 с.

UDC 549.091+549.086

Е.П. Беліченко, кандидат геологических наук, руководитель отдела экспертизы драгоценного камня, эксперт International Amber Association  
E-mail: [lbgems@gmail.com](mailto:lbgems@gmail.com)

Ю.Д. Гаевский, главный специалист отдела экспертизы драгоценного камня  
E-mail: [gud@gems.org.ua](mailto:gud@gems.org.ua)

Ю.И. Ладжун, кандидат геологических наук, главный специалист отдела экспертизы драгоценного камня  
E-mail: [ladg1978@gmail.com](mailto:ladg1978@gmail.com)

Е.В. Татаринцева, кандидат технических наук, главный специалист отдела экспертизы драгоценного камня  
E-mail: [tatarintseva.k@gmail.com](mailto:tatarintseva.k@gmail.com)

Государственный геммологический центр Украины  
ул. Дегтяревская, 38–44, г. Киев, 04119, Украина

## Мікромир мінералів.

Включення в рубінах, сапфірах синіх, изумрудах і александритах

Описаны основные виды включений в рубинах, сапфирах синих, изумрудах и александритах, которые различаются по составу (кристаллические, флюидные), по фазовому соотношению (однофазные, двухфазные, многофазные), по генетическому типу (протогенетические, сингенетические и эпигенетические). В облагороженных вставках включения классифицированы по способу облагораживания, в синтетических – по методу синтеза. Статья проиллюстрирована фотографиями, полученными при микроскопических исследованиях драгоценных камней в ГГЦУ. Исследования проводились с помощью геммологического микроскопа «Gemmaster L 230V» и иммерсионного микроскопа «Eickhorst Gemmoscope».

Ключевые слова: драгоценные камни, рубины, сапфиры синие, изумруды, александриты, минеральные включения, микроскопические исследования.

## References

1. Belichenko O. Formation of complex database of diagnostic gemological physical-chemical characteristics of precious gemstones from SGCU collections: Report. Kyiv. 2018. 103 p.
2. Gubelin E.J., Koivula J.I. Photoatlas of inclusions in Gemstones. Zurich: ABC Edition, 1992. 532 p.
3. Gems-inclusions. URL: <http://gems-inclusions.com> (дата звернення: 26.11.2019).
4. Microworld of gems. URL: <http://www.microworldofgems.com/news.php> (дата звернення: 26.11.2018).
5. GIA. URL: [www.gia.edu](http://www.gia.edu) (дата звернення: 26.11.2019).
6. Gemmology, Photomicrography and Wildlife Photography. URL: <http://anthonydegoutiere.com> (дата звернення: 26.11.2019).
7. Belichenko O. Photoatlas of Inclusions in Precious Stones. Kyiv. 2018. 56 p.

UDC 549.091+549.086

O. Belichenko, PhD (Geol.), Head of the Department of Examination of Precious Stones, expert of the International Amber Association  
E-mail: [lbgems@gmail.com](mailto:lbgems@gmail.com)

Yu. Gayevsky, chief specialist of the Department of Examination of Precious Stones  
E-mail: [gud@gems.org.ua](mailto:gud@gems.org.ua)

Yu. Ladzhun, PhD (Geol.), chief specialist of the Department of Examination of Precious Stones  
E-mail: [ladg1978@gmail.com](mailto:ladg1978@gmail.com)

K. Tatarintseva, Ph.D, chief specialist of the Department of Examination of Precious Stones  
E-mail: [tatarintseva.k@gmail.com](mailto:tatarintseva.k@gmail.com)

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

## Microworld of minerals.

Inclusions in rubies, blue sapphires, emeralds and alexandrites

The main types of inclusions in rubies, blue sapphires, emeralds and alexandrites are described. These inclusions differ in composition (crystalline, fluid), according to the phase ratio (single phase, two phase, multiphase), according to the genetic type (protogenetic, syngenetic and epigenetic). Inclusions are classified by treatment method in the treated inserts and by synthesis method in the synthetic stones. The article is illustrated with photos obtained by microscopic examination of precious stones in SGCU. The studies were performed using a Gemmaster L 230V hemological microscope and immersion microscope «Eickhorst Gemmoscope».

Key words: precious stones, rubies, blue sapphires, emeralds, alexandrites, mineral inclusions, microscopic examination.