

УДК 549.091+549.086

О.П. Беліченко, кандидат геологічних наук, керівник відділу експертизи дорогоцінного каміння, експерт International Amber Association  
E-mail: bel@gems.org.ua, lbgems@gmail.com

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

К.Є. Кормакова, провідний фахівець відділу експертизи дорогоцінного каміння. E-mail: kormakova.kater@gmail.com

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 ДОРОГОЦІННОМУ КАМІННІ

(Рекомендовано доктором геологічних наук, професором Деревською К.І.)

Описано основні види включень в дорогоцінному камінні, які розрізняються за складом (кристалічні, флюїдні), за фазовим співвідношенням (однофазні, двофазні, багатofазні), за генетичним типом (протогенетичні, сингенетичні та епігенетичні). Стаття проілюстрована фотографіями, отриманими під час мікроскопічних досліджень дорогоцінного каміння в ДГЦУ. Дослідження проводились за допомогою гемологічного мікроскопа «Gemmater L 230V» та промислового мікроскопа «Nikon Eclipse LV150».

Ключові слова: дорогоцінне каміння, мінеральні включення, мікроскопічні дослідження.

У 2017–2018 роках у Державному гемологічному центрі України проводилася науково-дослідна робота «Формування комплексної бази даних діагностичних гемологічних фізико-хімічних характеристик дорогоцінного каміння з колекції ДГЦУ». У рамках роботи були досліджені включення в дорогоцінному камінні з метою створення бази мікрофотографій включень для використання їх під час гемологічної експертизи і в навчальному процесі. Фотографії включень, отримані під час виконання НДР, були використані в цій статті.

**Методи досліджень.** Мікроскопічні дослідження проводились за допомогою гемологічного мікроскопа «Gemmater L 230V» та промислового мікроскопа «Nikon Eclipse LV150». Зразки були досліджені, описані і сфотографовані за збільшення від 16<sup>x</sup> до 700<sup>x</sup>. Діагностика включень проводилася за допомогою «Photoatlas of Inclusions in Gemstones» [1].

### Виклад основного матеріалу.

Для підготовки статті авторами проведено аналіз та узагальнення інфор-

мації щодо включень у дорогоцінному камінні, що наведена в монографіях і наукових публікаціях, авторами яких є Ед. Гюбелін [2], Ед. Гюбелін і Дж. Койвул (1986, 1992, 2005, 2008) [1, 3–5], і в джерелах з мережі Інтернет [6–11, 13].

Вивчення включень у дорогоцінному камінні, поряд з оптичними та фізичними властивостями, є важливою складовою гемологічної експертизи. Включення в мінералах прямо пов'язані із середовищем мінералоутворення і є важливим джерелом інформації щодо походження та облагородження об'єктів експертизи.

З винаходом мікроскопа у XVII ст. стало можливим розглянути і вивчити внутрішню будову дорогоцінних каменів. Уже на початку XIX ст. в роботах мінералогів точно описано флюїдні включення, в тому числі дво- і трифазні, а також «шок» у корундах.

Початок використання мікрофотографії для фіксування внутрішніх особливостей дорогоцінних каменів також відносять до XIX століття. Німецький мінералог Ferdinand Zirkel згадує про це

у своїй книзі в 1873 році. Проте автор ставився до цього методу з неабияким скептицизмом, він вважав, що мікрофотографія не надає можливостей для дослідження важливих частин мінералів. Однак мікрофотографія стала невід'ємним інструментом як в гемології, так і в інших науках.

Фундатором сучасного напряму гемологічних досліджень щодо включень у коштовному камінні є видатний гемолог сучасності доктор Едвард Дж. Гюбелін (Edward J. Gübelin). Доктор Едвард Гюбелін, один з провідних гемологів світу, засновник шведської гемологічної спілки, зіграв найважливішу роль у подальшому розвитку досліджень внутрішньої будови коштовного каміння. Його перша книга про включення була опублікована в 1953 році, але він більш відомий атласом «Внутрішній світ дорогоцінних каменів», який опубліковано в 1974 році [2]. Ця книга була кілька разів перевидана в розширеному і доповненому варіанті й досі вважається найавторитетнішим виданням у цьому напрямку гемології [3–5].

Будь-які порушення правильної будови кристала називають включеннями. Включення в кристалах – це тривимірні дефекти кристала, що істотно перевищують параметри елементарної комірки. Під час свого росту кристал взаємодіє не лише з живлячим його розчином, але й з механічними частинками або іншими кристалами чи речовинами, що потрапляють на його грані і знаходяться на шляху його росту. При цьому може відбуватися відштовхування або захоплення, обростання або огинання перешкоди.

До числа включень також відносять спотворення кристалічної структури, ознаки росту і фази кристалізації, кольорові смуги. Вони виникають через нерівномірний ріст мінералів в умовах мінливого характеру розчинів, з яких відбувалась кристалізація.

Науковці використовують різні підходи до класифікації включень у мінералах: за складом (кристалічні і флюїдні), за кількістю фаз у включеннях (однофазні, двофазні, багатофазні), за співвідношенням часу утворення включення і мінералу-господаря (протогенетичні, сингенетичні й епігенетичні) тощо.

За складом розрізняють **кристалічні і флюїдні (газові, рідинні) включення**.

Кристалічні включення (рис. 1) можуть мати добре виражені грані (ідіоморфні), можуть бути заокруглені і частково розчинені або заміщені (ксеноморфні), а також вони можуть бути зруйнованими.

Флюїдні включення (рис. 2) можуть складатися з рідини або газу, що займають внутрішні порожнини в кристалі. Ці порожнини іноді обмежені плоскими гранями, що відповідають простим формам з найбільшою ретикулярною щільністю, утворюючи «негативні кристали», але частіше рідинні, газові та газозво-рідинні включення мають неправильну форму. Візуально склад рідини визначити нелегко, але це може бути вода, двоокис вуглецю або залишок початкового материнського розчину, в якому ріс кристал. Часто зустрічаються двофазні (газово-рідинні) включення з пухирцем газу в рідині, і дуже рідко – дві не змішувані рідини. Газові включення можуть перебувати в кристалі як такі або утворювати пухирці в рідинних включеннях; також може мати місце і третя фаза – тверді кристалічні частки в рідинних включеннях (багатофазні включення).

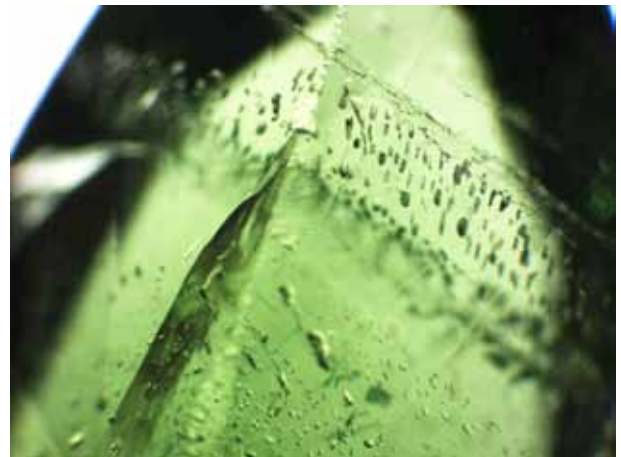
Включення в дорогоцінних каменях також можуть бути класифіковані за схемою, яку запропонували Ед. Гюбелін і Дж. Койвул [1], вона заснована на співвідношенні часу утворення включення і мінералу-господаря.

**Протогенетичні мінеральні включення** представлені мінералами, які утворилися до того, як почав рости кристал-господар (рис. 3). Вони були включені в кристал без змін або мають сліди руйнування внаслідок впливу більш ранніх процесів. Протогенетичні включення завжди є мінеральними.

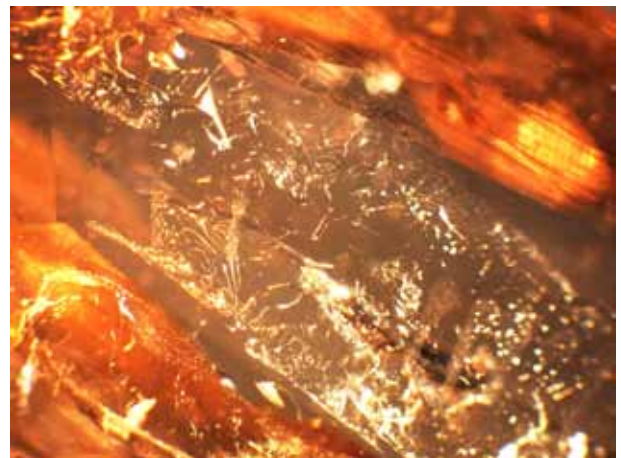
Протогенетичні включення являють собою зерна і кристали більш ранніх мінералів, які відігравали роль механічних перешкод під час росту кристала, тобто це механічні домішки. Іноді вони у вигляді присипок або «пилу» осідають на зворотній догори грані кристала, зверху на них наростають нові частинки – так утворюються «фантоми», коли зони скупчень сторонніх часток маркують зони росту кристалів. Кожен такий «налів/маркувальна поверхня» відповідає зміні умов кристалізації.



Рисунок 1. Кристалічні включення гетиту в аметисті, зб. 36

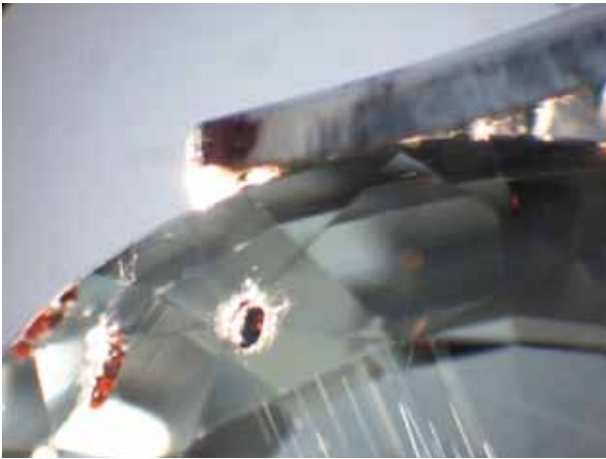


1

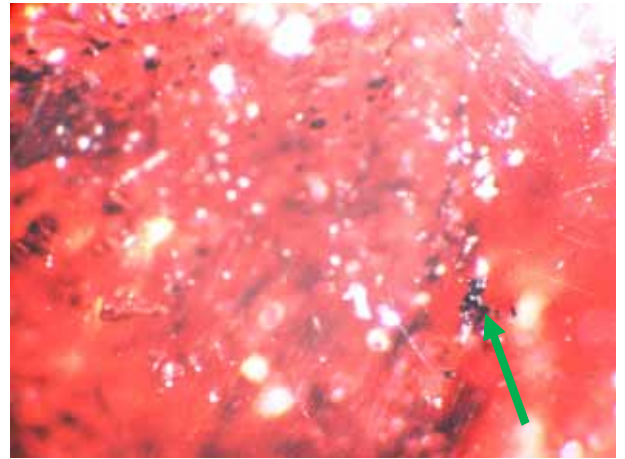


2

Рисунок 2. Газово-рідинні включення в хромдіопсиді (1) і оранжевому топазі (2), зб. 36



1



2

Рисунок 3. Протогенетичні вclusions – циркон (?) в зеленому сапфірі (1) і хрошпінеліди в альмандині (2), зб. 36

До типових протогенетичних мінералів-включень належать актиноліт і біотит у смарагді, епідот у кварці, піротин в алмазі, молібденіт у кварці і смарагді та шпінель у рубіні.

**Сингенетичні вclusions** утворилися одночасно з кристалом, що їх містить, це захоплені частинки мінералоутворювального середовища, в якому відбувалось зростання кристала (рис. 4–6). Вони можуть бути мінеральними і флюїдними.

Вclusions складені матеріалом, який існував одночасно з кристалом (вони могли рости з одного розчину, що і кристал-господар, або мати схожу атомну структуру). Такими мінеральними вclusions, які належать до тієї самої геохімічної породної асоціації, що і кристал-господар, вважаються (дуже часто) альбіт, мінерали колумбітової групи, мусковіт, кварц, спесартин і турмалін в аквамарині. Іншими приклада-



Рисунок 4. Негативні кристали (1) та вуалеподібні вclusions флюсоподібної речовини в рубіні, зб. 36 [12]

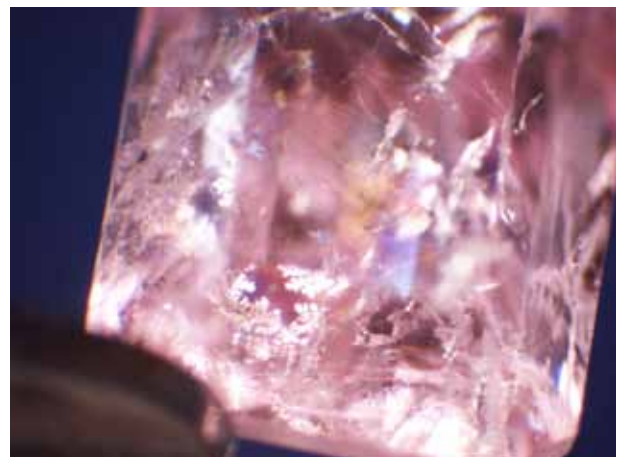
ми можуть служити олівін, гранат і піроксен в алмазі, кальцит і доломіт в рубіні, смарагді та шпінелі. Сингенетичні вclusions можуть бути присутніми у вигляді кристалів, у вигляді захоплених рідких вclusions або у вигляді рідини, що потрапила в тріщини, які потім закрилися в процесі росту кристалом-господарем (так звані «заліковані тріщини»). Такі тріщини, зазвичай, заповнені розсіяними групами окремих рідких крапель і добре видимі в корунді, хризоліті, шпінелі і топазі.

Двофазні і трифазні вclusions часто зустрічаються в смарагдах і топазах. Двофазні вclusions також можна побачити в аквамарині.

Порожнини в кристали можуть бути результатом перерви в рості. У цьому випадку порожнини, які утворилися, часто мають правильну форму і заповнені рідиною або газом. Через їхню характерну форму, що нерідко повто-



1



2

Рисунок 5. Канали росту в поліхромному турмаліні (1) і дендритоподібні вclusions в рожевій шпінелі (2), зб. 36

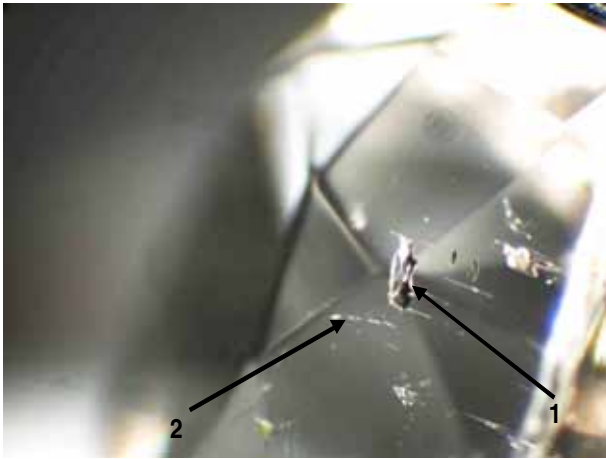
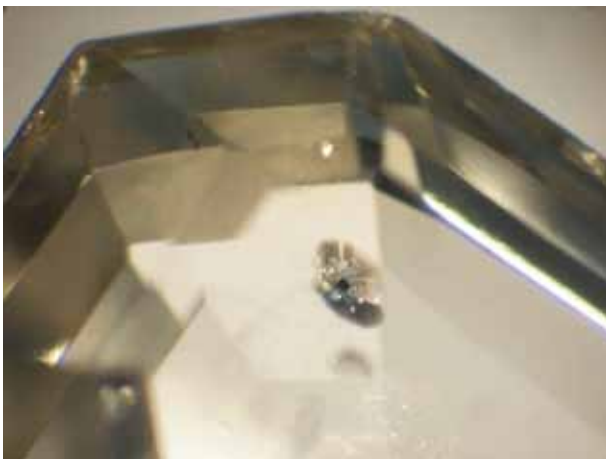


Рисунок 6. Газово-рідинні включення (1) і канали росту (2) в данбуриті, зб. 36



1



2

Рисунок 7. Епігенетичні включення – дископодібні включення в хризоліті (1) та радіогенний ореол циркону в жовтому сапфірі (2), зб. 36

рює форму кристала, їх називають «негативними» кристалами. Ці включення можна розпізнати за газовими бульбашками, що знаходяться всередині них. Негативні кристали зустрічаються в корунді і шпінелі (рис. 4).

**Епігенетичні включення** утворилися після кристалізації мінералу, що їх містить (рис. 7). Вони виникають в результаті:

- перекристалізації в тріщинах сторонніх матеріалів;
- утворення внутрішніх тріщин по спайності (в топазі і місячному камені);
- в результаті радіаційних змін в кристалічній ґратці, пов'язаних з радіоактивними матеріалами, які потрапили в кристал (як у випадку зелених і коричневих цирконів).

Вони можуть бути мінеральними і флюїдними.

Епігенетичні включення, які найчастіше спостерігаються в кристалах, утворюються по тріщинах у кристалі або в разі часткового заростання каналів росту з так званих ксенофізичних розчинів (забруднених чужорідним матеріалом). Такі розчини проникають по тріщинах в кристалі після його утворення і консервуються під час заліковування тріщини. В одному кристалі нерідко спостерігаються кілька систем залікованих тріщин, які перетинаються, що свідчить про різний час їх утворення. Розчинені речовини осідають у тріщинах як в аморфному, так і кристалічному стані. Такі тріщини дуже поширені в дорогоцінному камінні, а також є діагностичними для шпінелі. Деякі епігенетичні включення можуть з'явитися в дорогоцінному камінні в результаті облагороджування, а саме, залишки олій внаслідок заліковування тріщин.

За сучасними поглядами, включення мінералів, які утворилися в результаті кристалізації з твердого розчину (exsolution), також належать до епігенетичної фази, наприклад, голчасті виділення рутилу, які дають ефект «шовку» в рубіні і сапфірі. У результаті ексолуції відбувається поділ первинно однорідного твердого розчину (змішаний кристал) на дві різні кристалічні фази, у результаті чого менша складова кристалізується в більшій частині, наприклад, рутил в рубіні і сапфірі. Така кристалізація, як правило, має місце внаслідок охолодження твердого розчину, а мінеральні включення, утворені в процесі, часто мають кристалографічну орієнтацію. Треба зазначити, що в класичних працях Ед. Гюбеліна і Дж. Койвула включення, утворені процесом ексолуції, класифікуються як сингенетичні.

**Висновки.** Вивчення включень у дорогоцінному камінні є важливою складовою гемологічної експертизи. Вперше в ДГЦУ створено базу мікрофотографій включень у дорогоцінному камінні з навчальних колекцій, яка включає 623 фотографії і буде використана для вирішення широкого кола завдань наукової гемологічної експертизи та для підвищення якості гемологічної освіти.

## Використані джерела

- Gubelin E.J., Koivula J.I. Photoatlas of inclusions in Gemstones / Zurich: ABC Edition, 1992. 532 p.
- Internal world of gemstones: documents from space and time, E. Gübelin, Ed. ABC, Zurich, 1974, 234 p.
- Gübelin E.J., and Koivula J.I. Photoatlas of Inclusions in Gemstones. Vol. 1, Opinio Verlag, Basel, 1986, 532 p.
- Gübelin E.J., and Koivula J.I. Photoatlas of Inclusions in Gemstones. Vol. 2. Opinio Verlag, Basel, 2005, 830 p.
- Gübelin E.J., and Koivula J.I. Photoatlas of Inclusions in Gemstones. Vol. 3. Opinio Verlag, Basel, 2008, 672 p.
- Gems-inclusions. URL: <http://gems-inclusions.com>.
- Microworld of gems. URL: <http://www.microworldofgems.com/news.php>.
- GIA. URL: [www.gia.edu](http://www.gia.edu)
- Gemmology, Photomicrography and Wildlife Photography. URL: <http://anthonydegoutiere.com>.
- Сапфіри. URL: <http://sapphire.furs.com.ua>.
- Microsystemy. URL: <http://www.microsystemy.ru>.
- Беліченко О.П. та ін. Створення комплексної бази даних фізико-хімічних характеристик дорогоцінного каміння українського ювелірного ринку. Т. 3: звіт про н.-д. роботу. Київ, 2016. 94 с.
- Pooja Patil, Aditi Mookherjee, Tanuja Marathe, T.N. Sastry. Inclusions in Rubies from South India/ URL: [www.ijarse.com](http://www.ijarse.com).

УДК 549.091+549.086

*Е.П. Беліченко, кандидат геологічних наук, керівник відділу експертизи дорогоцінного каміння, експерт International Amber Association  
E-mail: [bel@gems.org.ua](mailto:bel@gems.org.ua), [lbgems@gmail.com](mailto:lbgems@gmail.com)*

*Ю.Д. Гаєвський, головний спеціаліст відділу експертизи дорогоцінного каміння  
E-mail: [gud@gems.org.ua](mailto:gud@gems.org.ua)*

*Е.Е. Кормакова, ведучий спеціаліст відділу експертизи дорогоцінного каміння  
E-mail: [kormakova.kater@gmail.com](mailto:kormakova.kater@gmail.com)*

*Ю.И. Ладжун, кандидат геологічних наук, головний спеціаліст відділу експертизи дорогоцінного каміння  
E-mail: [ladg1978@gmail.com](mailto:ladg1978@gmail.com)*

*Е.В. Татаринцева, кандидат геологічних наук, головний спеціаліст відділу експертизи дорогоцінного каміння  
E-mail: [tatarintseva.k@gmail.com](mailto:tatarintseva.k@gmail.com)*

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

## Микромир минералов.

## Включения в драгоценных камнях

*Описаны основные виды включений в драгоценных камнях, которые различаются по составу (кристаллические, флюидные), по фазовому соотношению (однофазные, двухфазные, многофазные), по генетическому типу (протогенетические, сингенетические и эпигенетические). Статья проиллюстрирована фотографиями, полученными при микроскопических исследованиях драгоценных камней в ГТЦУ. Исследования проводились с помощью геммологического микроскопа «Gemmaster L 230V» и промышленного микроскопа «Nikon Eclipse LV150».*

*Ключевые слова: драгоценные камни, минеральные включения, микроскопические исследования.*

## References

- Gubelin E.J., Koivula J.I. Photoatlas of inclusions in Gemstones / Zurich: ABC Edition, 1992. 532 p.
- Internal world of gemstones: documents from space and time, E. Gübelin, Ed. ABC, Zurich, 1974, 234 p.
- Gübelin E.J., and Koivula J.I. Photoatlas of Inclusions in Gemstones. Vol. 1, Opinio Verlag, Basel, 1986, 532 p.
- Gübelin E.J., and Koivula J.I. Photoatlas of Inclusions in Gemstones. Vol. 2. Opinio Verlag, Basel, 2005, 830 p.
- Gübelin E.J., and Koivula J.I. Photoatlas of Inclusions in Gemstones. Vol. 3. Opinio Verlag, Basel, 2008, 672 p.
- Gems-inclusions. URL: <http://gems-inclusions.com>.
- Microworld of gems. URL: <http://www.microworldofgems.com/news.php>.
- GIA. URL: [www.gia.edu](http://www.gia.edu)
- Gemmology, Photomicrography and Wildlife Photography. URL: <http://anthonydegoutiere.com>.
- Sapphires. URL: <http://sapphire.furs.com.ua>.
- Microsystemy. URL: <http://www.microsystemy.ru>.
- Belichenko O. Complex data base creation for physical-chemical features of precious stones considering to Ukrainian jewellery market. Vol. 3: Report. Kyiv, 2016. 94 p.
- Pooja Patil, Aditi Mookherjee, Tanuja Marathe, T.N. Sastry. Inclusions in Rubies from South India. URL: [www.ijarse.com](http://www.ijarse.com).

УДК 549.091+549.086

*O. Belichenko, Ph.D (Geol.), Head of the Department of Examination of Precious Stones, expert of the International Amber Association  
E-mail: [bel@gems.org.ua](mailto:bel@gems.org.ua), [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)*

*K. Kormakova, senior specialist of the Department of Examination of Precious Stones  
E-mail: [kormakova.kater@gmail.com](mailto:kormakova.kater@gmail.com)*

*Yu. Ladjun, Ph.D (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.

## Gemstone inclusions

*The main types of inclusions in precious stones 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). 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 a Nikon Eclipse LV150 industrial microscope.*

*Keywords: precious stones, mineral inclusions, microscopic examination.*