

THE APPLIED VALUE OF INCLUSIONS GENETIC CLASSIFICATION FOR GEMMOLOGICAL EXAMINATION AND DETERMINATION OF EMERALDS ORIGIN

P.M. Baranov¹, O.V. Slyvna², S.V. Shevchenko^{2},
¹DSRFC of MIA of Ukraine, Dnipro, Ukraine
²Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
Corresponding author: e-mail shevchenko.s.v@nmu.one

Abstract. Emeralds are among the most common and popular types of colored gemstones in the world market. The wide development of synthetic analogs, their stunning similarity with natural stones, together with low cost and unscrupulous sellers - all this forces gemologists to look for new criteria for distinction, in particular for natural emeralds, constantly moving to a higher level of research (study of microinclusions, internal defects of the crystal lattice with attracting new methods and high-precision equipment).

Keywords: emerald, protogenetic, singenetic and epigenetic inclusions, gemmological examination

ПРИКЛАДНЕ ЗНАЧЕННЯ ГЕНЕТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ВКЛЮЧЕНЬ ДЛЯ ГЕМОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ І ВИЗНАЧЕННЯ ПОХОДЖЕННЯ СМАРАГДІВ

П.М. Баранов¹, О.В. Сливна², С.В. Шевченко^{2},
¹ДНДЕКЦ МВС України, Дніпро, Україна
²НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна
* Відповідальний автор: e-mail shevchenko.s.v@nmu.one*

Анотація. Смарагди є одними з найбільш поширених і популярних різновидів кольорового дорогоцінного каміння на світовому ринку. Широкий розвиток синтетичних аналогів, їх приголомшлива подібність з природними каменями разом з низькою вартістю і несумлінністю продавців – усе це змушує гемологів шукати нові критерії відмінності, зокрема для природних смарагдів, постійно переходячи на більш високий рівень досліджень (вивчення мікровключень, внутрішніх дефектів кристалічної ґратки із залученням нових методів і високоточного обладнання).

Ключові слова: смарагд, протогенетичні, сингенетичні та епігенетичні включення, гемологічна експертиза

Вступ. Природні смарагди до недавнього часу можна було відрізнити від синтетичних аналогів за внутрішньою будовою – включеннями, зонами зростання, тріщинами. Ці дефекти в кристалах виникають внаслідок зміни умов їх зростання або впливу зовнішніх механічних факторів на кристал, і саме дефекти визначають властивості реальних природних кристалів. Однак зараз компанії, що займаються синтезом каменів, роблять виклик природі і заявляють про створення аналогічних дефектів у синтетичних каменях. Тому, в даному випадку, експерт-гемолог знаходиться в зоні ризику, і одним з його головних завдань було і залишається визначення походження цих каменів [1].

Методика досліджень. Вирішення цього завдання знаходиться в розробці чітких і точних критеріїв генетичної класифікації включень. Як показує досвід при вивченні включень у кварці вулканітів, гнейсів, гранітів, пегматитів, вони поділяються на чотири генетичні групи (прото-, син-, епігенетичні і вторинні) і мають різний агрегатний стан (розплавні, флюїдні, тверді) [2, 3].

Протогенетичні включення визначають склад вмісних порід, за рахунок (або серед) яких утворився мінерал-господар, і вказують на його метасоматичне походження. Розчини,

просочуючись по тріщинах і міжзерновому простору, сприяють утворенню мінералу-господаря, в якому залишаються релікти вмісних мінералів з характерною округлою формою з рідиною на периферії. Ця інформація дає підстави говорити про походження мінералу-господаря і про його географію (при наявності еталонної колекції або встановлених критеріях визначення генетичних типів включень для кожного родовища).

Сингенетичні включення тонко відображають геохімічну спеціалізацію мінералотвірного середовища під час кристалізації мінералу і навіть конкретної зони його зростання. Ці включення мають правильну форму, наслідуючи ідеальну форму мінералу-господаря. Вони формуються одночасно з мінералом-господарем і відображають генетичну індивідуальність кожного родовища, що дуже важливо при визначенні географії мінералу.

Епігенетичні включення відповідальні за геохімічну спеціалізацію мінералу-господаря і формуються на стадії становлення кристалічної ґратки після кристалізації мінералу. Це свідчить про геохімічну спорідненість основного мінералотвірного елемента з іншим. Так, алюміній може брати іон хрому, титану і будувати кристалічну ґратку, але в міру зниження температури кристалічна ґратка стабілізується, і елементи починають відокремлюватися в самостійні мінеральні фази, утворюючи тверді розчини. Такі включення, як правило, проявляються у вигляді чіткого орієнтування в мінералі-господарі.

Вторинні включення утворюються в результаті накладених процесів – зміни температури, дії розчинів і часу. Ці включення представлені дрібними дисперсними частинками складнодіагностованих фаз, за рахунок яких мінерал і певні зони або ділянки кристалу набувають молочного забарвлення зі слабкою прозорістю, тріщинуватістю.

Свою життєздатність ці включення довели на практиці. Вони дозволяють розчленовувати «німі» вулканогенні товщі, здійснювати кореляцію гранітоїдних товщ, розбракувати геохімічні аномалії на рідкіснометалеві родовища, прогнозувати сподуменові пегматити [4,5,6].

Основні результати. Смарагди мають широкий спектр родовищ, які формуються в певних геологічних умовах. У зв'язку з цим виникає необхідність у виявленні критеріїв відмінності смарагдів з різних генетичних типів родовищ. Така необхідність викликана, перш за все, вартістю каменів. Так, колумбійські смарагди на 20%, а іноді і на 50% коштують дорожче, ніж, наприклад, афганські. Хоча якість останніх не поступається колумбійським.

Експерту у своїй діяльності доводиться стикатися з необробленими і обробленими каменями. Необроблені смарагди при встановленні своєї генетичної природи мають певну перевагу перед огранованими, оскільки мають характерну природну форму кристалів, притаманну конкретному родовищу. Часто на гранях їх кристалів зберігаються фрагменти вмісних порід. Сюди ж можна віднести розмір і подовження кристалів, досконалість граней тощо.

В оброблених (ограних) каменях критерії розпізнання необхідно шукати у внутрішній будові кристала, а саме у хімічному складі, дефектах кристалічної ґратки.

До дефектів кристалічної ґратки відносять сторонні включення, тріщини, аномальне забарвлення, світіння. Найбільший інтерес представляють включення твердих мінералів, розплаву, рідини, газу та їх комбінацій. Вони несуть в собі інформацію про агрегатний стан середовища мінералоутворення, їх температуру утворення, тиск, склад, що дозволяє вирішувати багато практичних питань геології, мінералогії і гемології. У даний час завдяки розвитку високоточного обладнання з'явилися дослідження, орієнтовані на вивчення, перш за все, включень у дорогоцінному камінні, в тому числі і в смарагді [9].

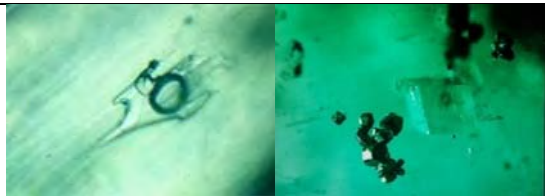
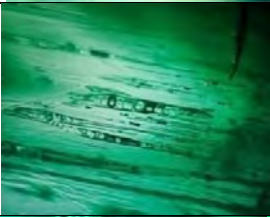

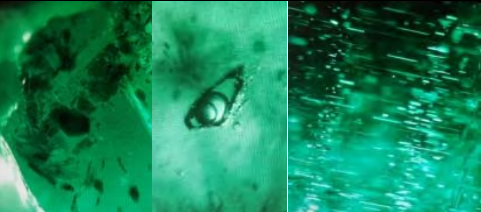
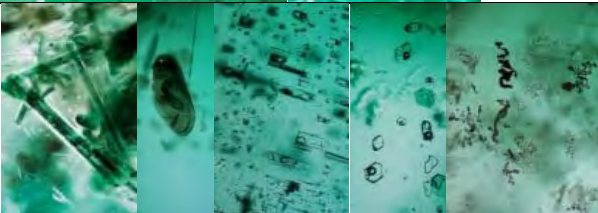

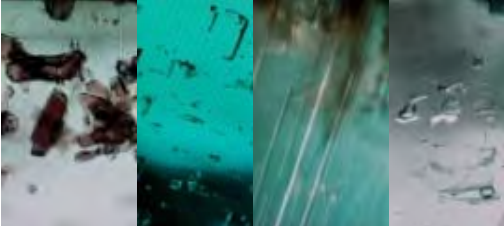

Слід зауважити, що смарагд – один з від природи дефектних дорогоцінних каменів, який, як правило, містить велику кількість включень і тріщин. Вони тонко фіксують процес зростання каменю і подальші його процеси облагородження, дорощування і тому подібне. Для всебічного вивчення включень у смарагді необхідні спеціальні знання в області термобарогеохімії, кристалографії, мінералогії, а також відповідне обладнання: мікроскоп з високою роздільною здатністю, спектроскоп, сучасні прилади з використанням ультрафіолетового світла.

За даними досліджень провідних світових лабораторій, що спеціалізуються на фундаментальних дослідженнях смарагду і його синтетичних аналогів [10,11], отримано

відомості про включення в смарагдах (таблиця). Включення смарагдів представлені трьома генетичними різновидами: протогенетичними, сингенетичними і епігенетичними.

Таблиця

Характерні ознаки природних смарагдів [10,11].

Родовище	Загальний вигляд включень	Включення
Колумбія		Включення (Ж + Г + К) з зубчастими контурами, кристали піриту, карбонату.
Афганістан		Трифазові (Ж+Г+К) подовжені по осі L6.
Китай		Зубчасті трифазові включення і подовжені.
Бразилія		Протогенетичний біотит, сингенетичні (Ж + Г + Жсо ₂), (Ж+Г+К), епігенетичний актиноліт.
Замбія		Протогенетичний актиноліт, біотит, сингенетичні (Ж+Г+К), біотит, вторинні оксиди марганцю.
Ефіопія		Включення (Ж+Г+Жсо ₂), (Ж+Г+К), (Ж+Г)
Росія (Урал)		Протогенетичний біотит, актиноліт, сингенетичні (Ж+Г), (Ж+Г+К), трубчасті вакуолі, вторинні
Індія		Включення газу у вигляді «кутів»

Протогенетичні включення – релікти вмісних біотитових кристалічних сланців, захоплені

в результаті формування кристалів смарагду. Біотит утворює як окремі пластинки, так і численні скупчення. Іноді пластинки біотиту повністю заміщуються мінералом-господарем (смарагдом), і їх межі трасуються рідиною і газом. На місці заміщених включень і навколо них спостерігається більш світлий колір.

Сингенетичні включення – флюїдні комбіновані включення, до складу яких входить рідина і газовий міхур з рідкою вуглекислою, яка при невеликому нагріванні переходить в газу. Вони, як правило, орієнтовані вздовж осі шостого порядку, мають прямокутну форму, у перпендикулярному перетині мають правильну форму негативних кристалів, наслідуючи форму ідеального кристалу мінералу-господаря.

Епігенетичні включення – це голчасті мікрокристали актиноліту, орієнтовані вздовж осі шостого порядку, місцями наповнені рідиною. Утворюють численні скупчення і описані в літературі як "схожі на дощ". Велика різниця в показниках заломлення між включеннями і мінералом-господарем викликає аномальну гру кольорів.

Приуроченість смарагдів до конкретного родовища в межах виділених груп не є такою оптимістичною. Результати вивчення включень у смарагдах вказують на відсутність чітких критеріїв їх географії для різних родовищ, хоча комбінації рідини, газу та кристалічних фаз багато в чому різняться як за формою, так і за складом, від родовища до родовища (таблиця). Наприклад, для ефіопських смарагдів характерні специфічні гвіздкоподібні включення, хоча вони описані і в багатьох інших роботах про смарагди. Аналогічною є ситуація і з включеннями актиноліту в уральських смарагдах.

Отже, для проведення гемологічної експертизи потрібні відповідні каталоги включень у смарагдах по кожному родовищу або еталонні зразки. Наведена таблиця чітко демонструє, перш за все, наочність використання включень у якості критеріїв для деяких родовищ, що полегшить експертизу смарагдів і дозволить експерту зорієнтуватися у визначенні походження і географії каменю. Саме тому провідні гемологічні лабораторії приділяють підвищену увагу до формування наукових колекцій дорогоцінного каміння, в тому числі і смарагду [12].

Таким чином, генетична класифікація включень, продемонструвавши свою працездатність на інших природних об'єктах, цілком може застосовуватися при гемологічній експертизі з метою з'ясування походження смарагдів.

Висновки.

Аналіз включень у смарагдах дозволив виділити два генетичних типи їх родовищ:

1. Смарагди, що містять газиво-рідинні включення, газиво-рідинні з кристалічною фазою, газиво-рідинні з рідкою вуглекислою всередині газивої бульбашки. Вони вказують на утворення смарагду з гідротермальних розчинів з високим вмістом вуглекислого газу. Вмісні породи представлені пегматитами гранітоїдних або метаморфічних комплексів. До цієї групи належать родовища смарагдів Колумбії, Афганістану, Китаю.

2. Смарагди з протогенетичними (біотит, актиноліт), сингенетичними (двофазними, трифазними, трубчастими вакуолями, виповненими рідиною) і вторинними (двофазними) включеннями. Формування смарагдів відбувалось під дією дифузійних флюїдів, що циркулюють по ослабленим зонам метаморфічних гірських порід (міжзерновий простір, спайність, тріщини). У цю групу входять родовища Бразилії, Ефіопії, Замбії, Росії (Урал).

Разом з тим, слід констатувати, що чіткі критерії географії смарагдів для різних родовищ поки що відсутні.

References

1. Про затвердження Інструкції з організації проведення та оформлення експертних проваджень у підрозділах Експертної служби МВС України. 17.07.2017 № 591. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1024-17>

Pro zatverdzhennya Instrukzii z organizazii provedennya ta oformlennya ekspertnyh provadzen' u pidrozdilakh Ekspertnoyi sluzhby MVS Ukrainy. 17.07.2017 № 591. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1024-17>

2. Баранов П.Н., Соболев В.В., Павлишин В.И. Топология включений в кристаллах кварца // Минералогический сборник. – 1992. - №467, вып. 2. – С. 94-97.
Baranov P.N., Sobolev V.V., Pavlishyn V.I. Topologiya vklyuchenij v kristallah kvarza // Mineralogicheskij sbornik. – 1992. - №467, Vypusk 2. – С. 94-97.
3. Баранов П.Н. Новый способ расчленения липарито-игнимбритового комплекса Береговского района (Закарпатье) // Онтогенез минералов и технологическая минералогия. - Киев: Наук. думка, 1988. - С. 183-188.
Baranov P.N. Novyj sposob raschleneniya liparito-ignimbritovogo kompleksa Beregovskogo rajona (Zakarpatyje) // Ontogeniya mineralov i technologicheskaya minaralogiya/ - Kiev: Naukova dumka, 1988. – С. 183-188.
4. Сливная Е.В. Расчленение гранитоидов зоны сочленения Среднеприднепровского и Приазовского блоков УЩ // Науковий вісник НГАУ, 2002. – С. 44-46.
Slivnaya Ye.V. Raschlenenie granitoidov zony sochleneniya Srednepridneprovskogo i Priazovskogo blokov Ukrainского shchita // Naukovyj visnyk NGAU, 2002. – С. 44-46.
5. Баранов П.Н. Закономерности распределения включений кварца в сподуменовых пегматитах и вмещающих их гранитоидах одного из районов Украинского щита // Минералогия и генезис пегматитов. - Миасс, 1991. – С. 102-104.
Baranov P.N. Zakonomernosti raspredeleniya vkluchenij kvarza v spodumenovyh pegmatitah i vmeshchayushchih ih granitoidah odnogo iz rajonov Ukrainского shchita // Mineralogiya I genesis pegmatitov. – Miass, 1991. – С. 102-104.
6. Slyvna, O.V. Graphic pegmatites in the evolution of the Azov block from Ukrainian Shield // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2015. –№ 6. – P. 5-10.
7. G. Giuliani, L.A. Groat. Geology of Corundum and Emerald Gem Deposits. – [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-emerald-geographic-origin-determination>
8. S. Saeseaw, N. Renfro, A. Palke, Z. Sun, S. McClure. Geographic Origin Determination of Emerald – [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-emerald-geographic-origin-determination>
9. N. Renfro, J. Koivula, J. Muiyal, S. McClure, K. Schumacher, J. Shigley. Chart: Inclusions in Natural, Synthetic, and Treated Emerald. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2016-inclusions-natural-synthetic-treated-emerald>
10. Emeralds. InColor. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.gemstone.org/incolor/40/>
11. Lotus Gemology Inclusion Gallery. – [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.lotusgemology.com/index.php/library/inclusion-gallery>
12. W. Vertriest, A. Palke, N. Renfro. Field Gemology: Building a Research Collection and Understanding the Development of Gem Deposits. – [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-building-research-collection-understanding-development-gem-deposits>