

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛАГОРОДЖЕННЯ ДОРОГОЦІННИХ КАМЕНІВ

Белевцев О.Р., Грущинська О.В., Смельянов І.О.

ДГЦУ, 04119, м.Київ, вул. Дегтярівська 38-44, (044) 492-93-23, belevtsev@gems.org.ua

У природі відносно рідко зустрічаються камені з яскравим забарвленням, прозорі та чисті, які придатні за показниками кольору, блиску, характеру малюнку та іншими властивостями до використання у ювелірних виробках [1, 3, 6, 9, 12]. Переважна більшість природних каменів мають непривабливе забарвлення (занадто світле, занадто темне або з негарним відтінком) та/або містять тріщини та включення, що сильно знижує їх ювелірні якості. Саме некондиційні сорти дорогоцінних каменів – слабо забарвлені, з невиразним малюнком тощо, поширені в природі значно більше. Крім того важливо підкреслити, що багато дорогоцінних каменів з часом втрачають інтенсивність забарвлення. Особливо цей процес прискорюється під впливом сонячних променів. Такі зміни в інтенсивності забарвлення фіксуються в топазах, фенакітах, аметистах, кунцитах, турмалінах та інших мінералах. Для збереження властивостей таких мінералів вже з давніх часів розроблялись різні прийоми та методи їх облагородження та підтримки їх стану. Інтенсивність забарвлення тріщинуватих каменів, особливо смарагдів, посилювали, проварюючи кристали в маслі у мідному посуді. Існували й інші способи фарбування самоцвітів, відомі ще з часів Давнього Риму. Природно, що протягом багатьох століть люди намагалися штучно покращити зовнішній вигляд каменя і напружували для цього певні прийоми і технології.

Промислове фарбування агатів здійснювали вже в XVIII столітті. Червоний колір отримували додаванням оксидів заліза, а чорний – глюкозним і цукровими розчинами з тривалою витримкою і підігрівом. Для отримання світло-зеленого забарвлення застосовували азотнокислий нікель. Халцедони і агати фарбували в сині кольори теплим розчином жовтої кров'яної солі з наступною обробкою залізним купоросом.

Досягнення сучасної науки і розвиток техніки дозволили в значній мірі досягти цієї мети і створити ефективні технології облагородження дорогоцінних каменів. Ці технології широко увійшли в ювелірну практику і спрямовані на поліпшення естетичних і вартісних властивостей природних, а іноді і синтетичних каменів.

Під терміном «*облагородження*» зазвичай розуміють спеціальні процеси обробки каменю, за винятком огранування і полірування, які покращують його зовнішній вигляд (колір, чистоту), міцність, підвищують його цінність або роблять камінь придатним для використання в ювелірних виробках [2, 5]. Облагородженим або обробленим називають природне каміння, яке пройшло будь-яку обробку без суттєвих змін хімічного складу та фізичних властивостей з метою надання йому більшої привабливості.

Властивості, отримані каменем в результаті облагородження, можуть бути нестійкими, тобто зовнішній вигляд облагородженого каменю може змінюватися з часом. Облагородження вважається стійким, якщо камінь не змінює свій зовнішній вигляд (колір і/або чистоту) при нормальному носінні (в ювелірному виробі), огрануванні, поліруванні або чищенні. До найбільш важливих методів облагородження відносяться: термічна обробка, опромінення, термодифузійне фарбування, просочення різними речовинами тощо [2, 5, 7-8].

Процес вибору технології облагородження того чи іншого виду дорогоцінних каменів і навіть однакового типу (з одного й того ж родовища але з різних його зон), як правило, вимагає проведення попередніх експериментальних досліджень.

У практиці, що склалася серед фірм-виробників дорогоцінного каміння, останні з метою недопущення конкурентів, тримають результати досліджень та розроблені технології облагородження дорогоцінних каменів у секреті. У зв'язку з цим, в світовій та вітчизняній навчальній та спеціальній літературі здебільше наводиться опис лише загальних принципів технологічних процесів облагородження дорогоцінних каменів без деталізації їх технологічних режимів, опису каталізаторів чи хімічних домішок, що сприяють наданню їм покращених ювелірних властивостей.

Термічна обробка (відпал).

Термічна обробка – нагрів у спеціальних печах з наступним охолодженням – дозволяє поліпшити природний колір або прозорість дорогоцінних каменів [5, 21]. Цей вид обробки каміння застосовується дуже широко, оскільки

допомагає покращити колір, змінити відтінок або покращити прозорість дорогоцінних каменів. Фізичні процеси, які відбуваються в мінералах під час термічної обробки, досить різноманітні.

Температура нагрівання може бути різною і залежить від матеріалу. Нагрівання кристалу до певних температур стимулює процеси валентного перетворення іонів-хромофорів, руйнування деяких «дефектних» (радіаційних) центрів забарвлення, дисоціації продуктів розпаду твердих розчинів чи, навпаки, створення самостійних мінеральних фаз у вигляді мікрочлеників, що «забарвлюють» безколірну матрицю [10]. Іони-хромофори — структурна одиниця молекули, яка відповідає за її оптичні властивості, поглинання й випромінювання світла. Хромофор відповідає за колір речовини, звідки й походить його назва (від дав.-гр. χρομα — колір, фарба та дав.-гр. φορος — носій).

Майже всі хромофори відносяться до одного з двох класів:

- фрагменти органічних молекул з подвійними зв'язками (в тому числі системами спряжених подвійних зв'язків) та/або гетероатомами;
- комплекси з іонами перехідних металів.

Варіюючи параметри відпалу, можна руйнувати одні і зберігати інші центри

забарвлення. Зазвичай, чим довше вплив робочої температури, тим ефективніше облагородження, що пояснюється дифузійним характером процесів і необхідністю витримки для зміни стану домішок.

Камені, призначені для відпалу, поміщають в спеціальну піч, де відбувається їх нагрівання (температура відпалу може перевищувати 2000°C) з подальшим їх охолодженням. Важливими параметрами термічної обробки є [21]:

- середовище, в якому відбувається відпал (відновне, окислювальне, нейтральне);
- швидкість нагріву та швидкість охолодження;
- час витримки при максимальній температурі.

Багато ювелірних каменів, такі як танзаніт, аквамарин, циркон, аметист піддаються відпалу вже протягом декількох десятиліть, причому облагородження є невід'ємною частиною виробничого процесу. У більшості випадків при продажу таких каменів факт облагородження не афішується.

У таблиці 1 наведені узагальнені дані щодо зміни кольору деяких прозорих мінералів після термічної обробки [7-8, 21].

Таблиця 1 - Результати зміни кольору каменів після термічної обробки

Назва каменів	Перетворення забарвлення
Берил	Із жовтувато-зеленого на блакитне, з оранжевого на рожеве
Сапфір синій	Із світло-синього на темно-синє, додається або знімається астеризм
Рубін	Послаблюється фіолетовий відтінок, додається або знімається астеризм
Димчастий кварц	Часто стає безбарвним, зеленувато-жовтим
Аметист	З фіолетового на жовте, коричневе, зелене або безбарвне
Циркон	Буре на безбарвне або блакитне, зелене на блакитне або жовте
Турмалін	Синє або синьо-зелене на зелене, червоне на більш ясне або безбарвне
Танзаніт	Із сіруватого чи коричневатого на фіолетово-синє

Існує така група каменів, для якої факт відпалу істотно впливає на вартість дорогоцінних каменів. До таких належать, наприклад, рубіни, сапфіри та діаманти.

У разі сапфірів і рубінів термічна обробка застосовується для видалення включень рутилу («шовку»), одержання зірчастого ефекту, фарбування або видалення небажаних відтінків. Наприклад, сапфіри Шрі-Ланки і Кашміру сіруватого кольору вважалися непридатними для огранування, однак при нагріванні до 1600-1900°C в певних умовах такі камені набувають синього забарвлення [21].

На початку 1999 року на ринку з'явилися алмази, які пройшли новий вид обробки (НРНТ-метод). Даний метод полягає у витриманні

алмазів при високих тисках (до 7 ГПа) і високих температурах (до 2100°C) (НРНТ - High Pressure High Temperature) з використанням апаратури, що застосовується при синтезі монокристалів алмазу (високобарний синтез в метал-вуглецевих системах) [11]. Новим методом звичайно облагороджуються тільки алмази з жовто-коричневим або коричневим відтінком. Результат НРНТ-обробки залежить від фізичного типу алмаза.

Нижче розглядаються нові технології термічної обробки дорогоцінних каменів [21]:

- з заповненням каменю природною пастою (fracture filled);

- з заповненням каменю скломасою (lead-glass filled);
- термодифузійного фарбування.
- берилієвого нагрівання (Beryllium Heated).

Технологія термообробки із заповненням каменю речовиною.

Технологія термообробки із заповненням каменю речовиною (fracture filled) застосовується в основному для корундів [20-21]. Оскільки велика частина сировини природних корундів не дуже високої якості, то великі кристали піддають зазначеному методу обробки.

Готується заповнювач на основі того ж типу корунду, який підлягає обробці. Для виготовлення пасти її розмелюють в мікроскопічний пил з іншого кристалу корунду. Оброблюваний камінь запікається в цій пасті протягом тривалого часу в печі при температурі 1400-1450°C. Волога, що перебуває всередині каменю, розчиняє всі доступні для розчинення природні включення, а зріджена в пасті фракція заповнює порожнини, що утворюються, витісняючи зайву вологу у повітря.

Такі камені, як правило, ненабагато дешевші необроблених. Даний метод останнім часом вкрай рідко застосовується, виключення роблять тільки для дуже великих, потенційно унікальних каменів.

Технологія термообробки з заповненням каменю скломасою.

Метод заповнення каменю скломасою (lead-glass filled) схожий на попередній, проте паста готується на основі скла. Всі порожнини та тріщини заповнюються скломасою. Вироби з такими каменями не можна паяти, бо вони можуть розпадатися через різний градієнт температурного розширення скла і власне корунду. Робота [17] містить відомості про те, що гарні результати при заповненні тріщин можна отримати при застосуванні суміші кремнію і свинцю. У якості домішок до скломаси можуть також використовуватись натрій, калій, кальцій, а також оксиди металів, типу ванадію чи вісмуту. Термічна обробка таких сумішей, в залежності від виду каменбарвної або ювелірної сировини, здійснюється при температурах 900-1400°C.

Технологія термообробки із застосуванням ефекту термодифузії.

Найбільшого поширення даний метод облагородження отримав стосовно корундів [18]. Проте метод застосовується також для поліпшення природного кольору інших каменів, найчастіше рубінів і сапфірів та інших мінералів [14-16]. Методика облагородження полягає в

тому, що при нагріванні в поверхневий шар каменю вводяться барвники. Це призводить до того, що колір каменю стає більш насиченим.

Цей метод має один суттєвий недолік - згодом камінь не можна полірувати, оскільки існує ризик пошкодити або видалити пофарбований шар.

Процес дифузійного облагородження проводиться в кілька етапів. Спочатку огранений, але не до кінця відполірований корунд поміщають в тигель, що містить оксиди алюмінію, титану та оксиди іонів-хромофорів (присутність титану збільшує дифузійну здатність і забезпечує рівномірність розподілу забарвлення). Потім тигель нагрівають до 1600-1800°C і витримують при цій температурі протягом декількох днів або тижнів. За цей час атоми речовин-добавок проникають в структуру корунду, обумовлюючи виникнення тонкого поверхневого пофарбованого шару (глибиною близько 0,1 мм).

Технологія берилієвого нагрівання.

Технологія берилієвого нагрівання (Beryllium Heated) часто використовується для обробки сапфіру з метою отримання жовтих або оранжевих відтінків [13]. Сапфір часто видобувається разом зі шпінеллю, турмаліном та хризобериллом. Ці мінерали впливають на колір сапфіру, якщо нагрівання відбувається разом з сапфіром. Важливим етапом перед стандартною процедурою нагріву є сортування каменів. При такому нагріванні, хризоберилл виділяє незначні випаровування берилію. Швидше за все, вони виконують функцію каталізатору, що спричиняє протікання термохімічної реакції в атомній структурі корунду. З тих пір, як це явище було виявлене, процедуру стали використовувати для отримання жовтих і оранжевих сапфірів. Проте процес зміни кольору досі залишається недостатньо вивченим.

Технологія термічного розпилення.

Розпилення або «поверхнєве фарбування» (Diffusion) це процедура, суть якої полягає в додаванні частинок заліза або титану під час стандартного процесу нагрівання каменю. Зазвичай воно використовується в корундах, при цьому розпилені частинки утворюють найтонший шар. Як правило, цей шар додає каменю певного відтінку. Ця процедура не складна, але поверхні зірчастих або звичайних сапфірів, які зазнали впливу цього процесу, вимагають надзвичайно обережного поводження, тому що розпилений шар в товщину складає всього одну десяту міліметра. Після цієї процедури, камінь може втратити свою привабливість при дряпанні, поліруванні,

повторному огрануванні або іншому пошкодженні розпиленого шару. Аналогічним способом оброблюються безбарвні кварци для отримання «містичних» різновидів. Крім того, це один із способів обробки кварцових друз, для досягнення бажаних відтінків.

Технологія опромінення дорогоцінних каменів.

Опромінення дорогоцінного каміння – це процес, при якому коштовний камінь штучно опромінюється для покращення його оптичних властивостей [4, 7]. Високий рівень іонізуючого випромінювання може змінити атомну структуру решітки кристалів дорогоцінних каменів, яка в свою чергу призводить до зміни оптичних властивостей в ній. У результаті, колір коштовного каменя може бути значно змінений або видимість його включень може бути зменшена. Цей метод широко використовується в ювелірній промисловості. Процес проходить в спеціальній камері ядерного реактора для нейтронного бомбардування, прискорювача частинок для бомбардування електронами або за допомогою опромінення каменя радіоактивним ізотопом кобальт-60. Опромінення дає змогу надати дорогоцінному камінню певних кольорів, які не існують або дуже рідкісні в природі.

Термін *опромінення* включає в себе і бомбардування субатомних частинок, і використання всього спектра електромагнітного випромінювання, у тому числі (у порядку зростання частоти і зменшенням довжини хвилі): інфрачервоне випромінювання, видиме світло, ультрафіолетове випромінювання, рентгенівські промені та гамма-промені.

Опромінення, що пов'язане з ядерним реактором, може призводити до того, що дорогоцінне каміння буде отримувати наведену радіоактивність за рахунок коротко живучих радіонуклідів. Тому, як правило, опромінені зразки каменебарвної сировини відкладаються на кілька місяців, для позбавлення залишкової радіоактивності.

Зазвичай даний метод облагородження застосовується для зміни кольору дорогоцінних каменів, таких як алмаз, топаз, кварц, берил. Каміні піддаються впливу одного або декількох типів випромінювання: ультрафіолетового, рентгенівського, гамма-випромінювання, або впливу потоку енергетичних частинок: електронів, протонів, нейтронів, альфа-частинок. Важливим параметром процесу облагородження є доза опромінення.

Для алмазів даний метод часто застосовується в поєднанні з подальшим відпалом. Розвиток зазначеного методу обробки пов'язан з

надзвичайною рідкістю кольорових алмазів, а між тим пофарбований алмаз доброї якості більш ніж на 25% дорожче своєї безбарвної різновиди. Нещодавно в міжнародній пресі повідомлялося про полеміку в Швейцарії з приводу оцінки одного каменя (60 000 або 600 000 фунтів стерлінгів), яка ставилася в залежність від того, піддавався алмаз опроміненню чи ні.

Найбільш поширеними в даний час є опромінення нейтронами в ядерному реакторі або електронами високих енергій. Отримане забарвлення: блакитне, блакитно-зелене або темно-зелене. Після відпалу забарвлення алмазів змінюється (в залежності від фізичного типу алмазу) на янтарно-жовте, коричнево-червоне або синьо-зелене.

У результаті впливу різних видів опромінення забарвлення алмазів змінюється, що супроводжується варіацією спектра абсорбції та ЕПР. Внаслідок утворення змішаних атомів і вакансій прозорі безбарвні або жовті алмази набувають густого темно-зеленого, а профарбовані індивіди - чорного кольору. Сірі різновиди при γ -опроміненні перетворюються у блакитні. Один з досить рідкісних відтінків колірної гами алмазів при опроміненні - зеленувато-блакитний (смарагдовий).

Топази, як правило, піддаються опроміненню з метою фарбування їх у блакитний колір. Блакитний топаз дуже рідко зустрічається в природі і майже завжди є результатом штучного опромінення. Топази, що надходять на ринок, найчастіше зазнають опромінення гамма-випромінюванням, електронами високих енергій або нейтронами з подальшим відпалом [4, 19]. Топази в залежності від типу та режиму опромінення можуть бути пофарбовані в різні відтінки коричневого і блакитного кольору. Однак при γ -опроміненні придбане забарвлення є нестійким і при впливі сонячного світла впродовж декількох місяців значно слабшає. Так, швидко сформований при γ -опроміненні (потужність експозиційної дози 0,01 А/кг) світло-коричневий колір вицвітає протягом 1-2 діб, а при більш тривалому впливі опромінення темно-коричневий колір слабшає при витримці зразків на сонячному світлі протягом декількох тижнів.

Жовті індивіди при опроміненні набувають коричневого кольору, який також швидко вицвітає. У той же час, деякі безбарвні топази з Бразилії і Мексики при опроміненні набувають стійкого коричневого забарвлення. Деякі опромінені темно-коричневі топази при частковому знебарвленні на світлі набувають димчастого забарвлення.

До 130-річчя з дня народження академіка Олександра Євгеновича Ферсмана

Генероване γ -опроміненням забарвлення зникає в процесі відпалу зразків при 200°C. Стійке блакитне забарвлення іноді виникає при відпалі (250°C) забарвлених в оливковий або зеленувато-коричневий колір топазів. Відпал до 250°C (впродовж 1 доби) не впливає на блакитне забарвлення, знебарвлення природних і опромінених блакитних топазів відбувається при 500°C. Природний блакитний топаз, який вицвів на світлі, не відновлює первісного забарвлення. Потужність експозиційної дози насичення блакитного і коричневого забарвлення складає 0,8 А/кг.

Опромінення широко застосовується для отримання димчастих, зеленувато-жовтих кварців з безбарвних, а також аметистів з блідо забарвлених цитринів. Подальший відпал при 350-500°C дозволяє отримувати цитрин, зелений і безбарвний кварц з аметисту і блакитний, зелений і безбарвний кварц з димчастого при температурі відпалу 140-380°C.

Камені, які піддавалися штучному опроміненню в цілому не виявляють видимих ознак цього процесу. В таблиці 2 наведено приклади зміни кольору при опроміненні дорогоцінного каміння [8]

Таблиця 2 – Результати зміни кольору каменів після опромінення

Назва каменів	Перетворення забарвлення
Берил	Безбарвне на жовте, голубе на зелене, бліде забарвлення на синє типу <i>Максіс</i>
Корунд	Безбарвне на жовте, рожеве на типу <i>надпараджа</i>
Алмаз	Безбарвне на синє, зелене, чорне, жовте, рожеве та ін.
Кварц	Безбарвне, жовте, зеленувате на димчасте, аметистове або аметринове
Скаполіт	Безбарвне, жовте на пурпурне або коричнево-оранжеве
Топаз	Безбарвне на жовте, оранжеве чи блакитне
Турмалін	Безбарвні чи блідо забарвлені зразки на жовті, рожеві, червоні, сині на пурпурні
Циркон	Безбарвне на коричневе та червонувате

Технологія «заліковування» тріщин.

Просочення (заповнення тріщин). При просоченні відбувається заповнення тріщин, що виходять на поверхню каменю, для чого застосовуються різні фарбувальні і безбарвні речовини (олії, смоли, рідке скло). В результаті покращується забарвлення і міцність каменю, а також зовнішній вигляд тріщинуватих каменів (тріщини стають менш помітними). Найчастіше цей метод застосовується для берилів, корундів, алмазів, жадеїта, опалів, бірюзи і деяких інших.

Олія просочується до середини каменя через тріщини, які досягають поверхні каменя, і візуально покращує чистоту і забарвлення смарагду. На жаль, результати такої обробки не дуже стійкі, камені вимагають спеціального догляду, і нерідко - повторного промаслення.

Заповнення тріщин у алмазах – це відносно новий процес, призначений для підвищення чистоти огранованих алмазів шляхом заповнення розколів і тріщин, які досягають поверхні каменя матеріалом з високим показником заломлення. Така обробка може потенційно змінити чистоту каменів з SI до VS.

Сьогодні методи поверхневого та об'ємного просочення з ціллю профарбовування, заліковування дефектів, структурного

зміцнення та стабілізації знаходять все більш широке застосування.

Заповнення тріщин гумою. Дуже часто зустрічаються смарагди гарного кольору, непоганої чистоти, але з такою сильною тріщинуватістю, що практично неможливо зберегти камінь цілим. Такі смарагди крім промаслення заповнюють спеціально підготовленою безбарвною гумою, яка працює і як клей, і як амортизатор при механічних навантаженнях. Як мінімум 50% всіх смарагдів на світовому ринку заповненні гумою.

Поверхнева дифузія. Застосовується в основному для виробництва блакитних сапфірів. Поверхня каменю покривається тонкою плівкою на основі легкоплавких оксидів металів з вмістом іонів титану і ванадію. Потім камінь поміщається в піч, де при прожарюванні плівка руйнується, а іони ванадію і титану проникають в поверхневі шари каменю. При цьому природно забарвлюється тільки поверхня, на глибину не більше ніж в кілька десятків мікрон. Фарбування надійне, колір вже ніколи не зміниться.

Інші методи. Крім перерахованих вище методів облагородження існує безліч інших більш-менш поширених. До них, наприклад, відносяться такі способи облагородження

ювелірних каменів, як: свердління лазером алмазів з метою видалення включень, покриття ювелірних каменів різними видами лаків, емалей, барвників, фольги або напилення (нарощування) плівок для поліпшення зовнішнього вигляду та/або отримання кольору [7].

1. Буканов В.В. Цветные камни: Энциклопедия. - Санкт-Петербург: Изд-во: Otava Book Printing Ltd (Финляндия), 2008. - 416 с.

2. Кафтanova Ю. Советы по облагораживанию натуральных камней. Ювелирное производство. – 2007. – № 1(5). – С. 52-60.

3. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. - М., Изд. Земля, 2000. - 582 с.

4. Комов И.Л. Радиационная минералогия и геохимия. – К.: Наукова думка, 2006. – 439 с.

5. Куликова С.А. Справочник эксперта геммолога и оценщика ювелирных изделий. - М.: АО «Клио», 2000. – 111с.

6. Лазаренко Е.К. Курс минералогии. М., "Высшая школа", 1971.

7. Лисиченко Г.В. та ін. Проведення комплексного аналізу сучасних методів облагородження дорогоцінних каменів (опромінення, вплив високого тиску і нагріву, відпал, тощо) та розробка концепції щодо інформаційного та інструментального забезпечення процесів облагородження дорогоцінних каменів. Звіт про науково-дослідну роботу. Державна установа "Інститут геохімії навколишнього середовища НАНУ" – Київ, 2012 – 85 с.

8. Мозоль С.В., Курилюк Ю.Л. Облагоджені коштовні камені на ювелірному ринку // Коштовне та декоративне каміння. – №1(15).-1999.- С.13-18.

9. Основи мінералогії України: підручник // О.Матковський, В.Павлишин, Є.Сливко. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. – 856 с.

10. Платонов А.Н. Природа окраски самоцветов / А.Н. Платонов, М.Н. Таран, В.С. Балицкий. – М.: Недра, 1984. – 195 с.

11. Прихна А.И. Аппарат высокого давления для синтеза сверхтвердых материалов // Сверхтв. материалы. — 1993. — № 3. — С. 14—18.

12. Ферсман А.Е. Рассказы о самоцветах. – М: Наука, 1974. – 252 с.

13. John L. Emmett, Kenneth Scarratt, Shane F. Beryllium diffusion of ruby and sapphire. Gems of Geology. Summer 2003. pp.84-135. <http://lgdl.gia.edu/pdfs/su03a1.pdf>

14. Koivula J.I., Kammerling R.c. {1988} Gem News: New evidence of treatment in Umba sapphires. Gems of Geology, Vol. M, No.4. - P.251.

15. Koripella C.R., Kroger F.A. {1986}. Electrical conductivity, diffusion of iron and the defect structure of α -Al₂O₃Fe. Journal of Physics and Chemistry of solids, vol.47, No. 6 pp.565 576.

16. Kvapil J., Perner B., Sulovsky J., Kvapil J. {1973}. Colour centre formation in corundum doped with divalent ions. Kristall and Technik, Vol. 8, No. 1-3, pp.247-251.

17. Pardieu Vincent. Lead Glass Filled/Repaired Rubies - Asian Institute of Gemological Sciences. 2005 – P.24. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.fieldgemology.org/Ruby_lead_glass_treatment.pdf

18. Schmetzer K., Bank H. {1981}. The colour of natural corundum. Neuse Jahrbuch für Mineralogie Monatshefts, No. 2, W. 59-58

19. S. Salama, A.I. Helal, M.A.M. Goma et al. Coloring of Topaz after Irradiation // Tenth Radiation Physics & Protection Conference, 27-30 November 2010, Nasr City - Cairo, Egypt.

20. Themelis T. Flux-enhanced ruby&sapphire. USA, A&T Publishers, 2004. – 74 p.

21. Themelis T. The heat treatment of ruby&sapphire. Second edition. A&T Publishers, 2010. – 384 p.

The article reviews current treatment methods of gemstones (irradiation, influence of high pressure and heating, annealing etc.) and determination of the most effective methods of gemstone treatment which are in use throughout the world and domestic jewellery market as well.