

Алхіміки сучасності

або довгий шлях до Ельдорадо

Дмитро ВЛАСЮК

Перед тим як вести мову про синтетичне дорогоцінне каміння, зробимо невеличкий екскурс в історію.

З давніх-давен мінерали та різноманітні кістки тварин використовувались людьми як прикраси та амулети для захисту від злих духів. Уперше ювелірні прикраси почали використовувати приблизно під час останнього льодовикового періоду, дець між 40000 та 20000 рр. до н. е., про що свідчать вирізані з кісток та бурштину предмети, знайдені в Моравії (Чехія), вік яких було визначено за допомогою радіовуглецевого аналізу, що становить 25000 років.

Дорогоцінні камені завжди були предметом відтворення. Розвиток виробництва ювелірних виробів, подібних до сучасних, розпочався в Західній Азії з виникненням перших цивілізацій в долинах річок Тигр та Євфрат (територія сучасного Іраку). Найдавнішим предметом на виставці 1976 року в Британському музеї «Ювелірне мистецтво протягом 7000 років» було намисто з Арпачії (Ассирія), датоване халафським періодом (приблизно 5000 р. до н. е.). У намисті були використані обсидіан (вулканічне скло), черепашки каури, намистинки з темної глини та кулон з чорного каменю. На думку Маллоуена та Розе, що знайшли це намисто, глиняна намистинка є підробкою під обсидіан. Ймовірно, це перша з відомих спроб людини імітувати природне коштовне каміння.

Археологічними дослідженнями встановлено, що у Стародавньому Єгипті (приблизно 3000 років до н. е.) виготовляли кольорове скло, яке використовувалось як прикраса чи амулет. Імітації

дорогоцінного каміння зі скла були широко розповсюджені у Стародавньому Римі. Пліній Старший у «Природничій історії» писав, що карбункули (рубіни) «підроблюються зі скла так само, як й інші дорогоцінні камені, розпізнаються вони за внутрішніми плівками та вагою, а іноді за бульбашками, що світяться подібно сріблуну». Ним же був описаний тришаровий сардонікс, що називається триплетом. Цей матеріал припасовувався та склеювався з трьох шарів – чорного, білого та червоного.

Немає більш вигідної справи, ніж підробка дорогоцінних каменів.

*Пліній Старший,
I ст. н. е.*

Синтез алмазу для сучасного хіміка настільки приваблива задача, як отримання філософського каменю для алхіміка.

*А. Ле Шателє,
1908 р.*

Середньовіччя було періодом розквіту алхімії. Цілоком можливо, що алхіміки робили спроби вирощувати дорогоцінні камені із сумішей мінералів і хімічних сполук мінералів або хімічних сполук шляхом їх нагрівання у печі. У звітах дослідів середньовічних алхіміків у більшості випадків достеменно не зрозуміло, що вони робили чи збирались робити. Не має даних і про синтез дорогоцінних матеріалів. Безперечно, головна мета алхіміків



була сконцентрована на отриманні золота з простих металів (зокрема, свинцю) та пошуках філософського каменю. Але цілком можливо припустити, що вони намагались отримати також рубін, алмаз, сапфір та інші дорогоцінні камені. Необхідно врахувати і той факт, що переважна кількість наукових праць алхіміків разом з авто-



ми згоріли в полум'ї інквізиції.

У 1758 р. австрійський хімік Йозеф Штрас розробив спосіб виготовлення скляного сплаву, чистого та безбарвного, з відносно високим показником заломлення. Сплав, що складається з кремнію, окису заліза, окису алюмінію, вапна та соди, дуже добре гранився та шліфувався, а після огранювання нагадував діамант. Таке штучне каміння сьогодні відоме як стрази.

Таблиця 1. Методи отримання синтетичних дорогоцінних каменів

| Метод синтезу | Синтетичні дорогоцінні камені та їх різновиди | | | | | | |
|---|---|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------|---|---------|
| | Алмаз | Берил (смарагд, аквамарин,morganit) | Хризоберил (олександрит) | Корунд (сапфір, рубін, лейко-сапфір) | Опал | Кварц (аметист, цитрин, гірський криштал) | Шпінель |
| Синтез з розчину | | | | | | | |
| Високотемпературний гідротермальний | | Ч | Р | Р | | Ч | |
| Високотемпературний розплав | | Ч | Р | Р | | | Ч |
| Високотемпературний під тиском в розплаві | Р | | | | | | |
| Синтез з розплаву | | | | | | | |
| Кристалізація в контейнері (тиглі) | | | | Р | | | |
| Витягування кристала з розплаву (метод Чохральського) | | | Р | Ч | | | |
| Плавлення в полум'ї (метод Вернейля) | | | | Ч | | | |
| Зональне вирощування із затравочного кристала | | | Р | Р | | | Ч |
| Осадження з гелю | | | | | Ч | | |

Примітка. Ч – часто зустрічається; Р – рідко зустрічається.

Але справжній переворот в отриманні синтетичних дорогоцінних каменів був зроблений французьким хіміком М.А. Вернейлем, який у 1892 р.¹ розробив метод отримання синтетичного рубіну.

У промисловості цей метод почали використовувати для вирощування синтетичних рубінів, а згодом й для синтезу інших дорогоцінних каменів: сапфіру; шпінелі; корунду, подібного до олександриту, тощо. З розвитком та вдосконаленням техніки вирощування монокристалів були розроблені нові способи, які дозволяли отримати низку інших синтетичних каменів – аналогів природного рутиту, кварцу, смарагду, алмазу та ін. Нарешті, заповітні мрії середньовічних алхіміків були втілені в життя.

У ХХ сторіччі були створені й нові види кристалів, аналогів яких не існує в природі, – ніобат літію, лантан – індій – галієвий гранат, барій – натровий ніобат «банана», фіаніт² та ін.

В таблиці 1 представлено список основних видів синтетичних коштовних каменів, які зустрічаються на ювелірному ринку. Інші синтетичні дорогоцінні камені та матеріали виробляються на експериментальних наукових заводах або окремих науково-дослідних лабораторіях та не доступні для ювелірного ринку. Незважаючи на те, що гранат, жадеїт, топаз, турмалін та ін. види штучного каміння синтезовано в лабораторних умовах, вони не завжди мають ювелірну якість.

На сьогоднішній день перелік синтетичних дорогоцінних каменів та заміників природних дорогоцінних каменів налічує декілька сот різновидів і постійно збільшується, адже наука не стоїть на місці.

¹ Насправді М.А. Вернейль отримав перші синтетичні кристали рубіну за кілька років до цього, у 1892 р. відбулося його депонування в Паризькій академії наук з даного приводу.

² Наприкінці 70-х років ХХ ст. в СРСР було відкрито новий мінерал – тажераніт, який являє собою кубічну модифікацію ZrO₂, що вміщує незначну кількість CaO та TiO₂. Таким чином, було знайдено природний аналог фіаніту.

Таблиця 2. Діагностичні властивості штучних дорогоцінних каменів, у тому числі заміників алмазу

| Назва матеріалу | Хімічна формула | Структура кристала (сингонія) | Густина, г/см ³ | Твердість за шкалою Мооса | Показник заломлення | Дисперсія | Двозаломлення |
|--------------------------------|--|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|-------------|---------------|
| Синт. алмаз ^C | C | Кубічна | 3,52 | 10 | 2,417-2,42 | 0,044-0,063 | 0 |
| Фіаніт (КОЦ(C)) ^C | ZrO ₂ (± рідкі землі) | Кубічна | 5,65-6,1 | 7,5-8,25 | 2,16 | 0,060 | 0 |
| Синт. рутит ^C | TiO ₂ | Тетрагональна | 4,25-4,32 | 6-6,5 | 2,61-2,9 | 0,180-0,300 | 0,287 |
| Синт. шпінель ^C | MgAl ₂ O ₄ | Кубічна | ~3,6 | 8,00 | 1,720-1,728 | 0,020 | 0 |
| Фабуліт ^C | SrTiO ₃ | Кубічна | 5,13-5,15 | 5,5-6,5 | 2,41 | 0,10-0,20 | 0 |
| Циркон ^C | Zr[SiO ₄] | Тетрагональна | 3,95-4,8 | 6,5-7,5 | 1,920-2,010 | 0,039 | 0,036-0,059 |
| Синт. шеєліт ^C | Ca(WO ₄) | Тетрагональна | 6,1 | 5 | 1,918-1,934 | 0,026 | 0,016 |
| Синт. кварц ^C | SiO ₂ | Тригональна | 2,65 | 7 | 1,544-1,553 | 0,013 | 0,009 |
| ІАГ ^C | Y ₃ Al ₅ O ₁₂ | Кубічна | 4,57-7,09 | 6,5-8,5 | 1,834 | 0,028-0,038 | 0 |
| Муасаніт ^C | SiC | Гексагональна | 3,16-3,22 | 9,25 | 2,648-2,691 | 0,104 | 0,043 |
| ГГГ ^C | Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂ | Кубічна | 7,08 | 6,5-7 | 2,02 | 0,038 | 0 |
| Синт. лейкосапфір ^C | Al ₂ O ₃ | Тригональна | 3,99-4,05 | 9 | 1,76-1,77 | 0,018 | 0,008 |
| Ніобат літію ^C | LiNbO ₃ | Тригональна | 4,64 | 5,5 | 2,30 | 0,120 | 0,09 |
| Танталат літію ^C | LiTaO ₃ | Тригональна | 7,45 | 5,5-6 | 2,22 | 0,087 | 0,005 |
| Алюмінат ітрію ^C | YAlO ₃ | Кубічна | 5,35 | 8,0-8,5 | 1,938 | 0,039 | 0 |
| Синт. топаз ^C | Al ₂ SiO ₄ (F,OH) ₂ | Ромбічна | 3,49-3,57 | 8 | 1,607-1,637 | 0,014 | 0,010 |
| Синт. жадеїт | NaAlSi ₂ O ₆ | Моноклінна | 3,34 | 7 | 1,66 | д/в | 0 |
| Синт. бірюза | CuAl ₆ (PO ₄) ₄ (OH) ₈ ·4H ₂ O | Триклінна | 2,6-2,9 | 5-6 | 1,60-1,65 | д/в | 0,040 |
| Синт. опал | 3SiO ₂ ·xH ₂ O | Аморфна | 1,98-2,25 | 5,5-6,5 | 1,43-1,47 | д/в | 0 |
| Синт. олександрит | BeAl ₂ O ₄ | Ромбічна | 3,72 | 8,5 | 1,74-1,75 | 0,015 | 0,008-0,011 |
| Синт. смарагд | Be ₃ (Al,Cr) ₂ Si ₆ O ₁₈ | Гексагональна | 2,64-2,69 | 7,5-8 | 1,56-1,57 | 0,014 | 0,004-0,008 |

Примітка. С – синтетичні дорогоцінні камені, які переважно використовуються як замітники алмазу та його імітацій; д/в – дані відсутні; фіаніт (КОЦ(C)) – від рос. «Физический институт Академии наук СССР им. П.Н. Лебедева» (кубічний окис цирконію (стабілізований)); ІАГ – ітрію-алюмінієвий гранат; ГГГ – галій-гадолінієвий гранат.

Так що ж все-таки криється під терміном «синтетичні дорогоцінні камені»? Слово «синтетичний» означає, що вони синтезовані з їх хімічних складових. Синтетичний аналог каменю, що зустрічається у природі, має той самий хімічний склад, що й природний камінь (за виключенням незначних відмінностей, які відображаються вмістом домішок), та аналогічні властивості (кристалічну структуру, фізичні властивості і т. ін.). В протилежність синтетичним аналогам імітації дорогоцінних каменів за зовнішнім виглядом подібні до природного мінералу, але мають відмінний від нього хімічний склад, фізичні властивості та кристалічну структуру.

Таким чином, в наш час існують наступні види синтетичного коштовного каменю та його імітацій:

- синтетичні ювелірні камені, що мають природні аналоги: корунди – рубін, сапфір та лейкосапфір; шпінель; рутит; алмаз; берили – смарагд, аквама-

рин, морганіт та ін.; кварц; опал; бірюза тощо;

- синтетичні матеріали, що не мають природних аналогів: титанат стронцію (фабуліт), ніобат літію, фіаніт, ітралокс, галій-гадолінієвий гранат і т. ін.;
- імітації ювелірного каміння – скло, дублети та триплети.

Незважаючи на це, Міжнародна конфедерація ювелірних виробів, виробів зі срібла, діамантів, перлів і дорогоцінного каміння (CIBJO) характеризується вкрай консервативним відношенням до дорогоцінного каміння, створеного або відтвореного людиною, навіть висловлюється проти використання терміну «дорогоцінне каміння» при характеристиці синтетичних матеріалів. Відповідно до такого підходу справжнім дорогоцінним камінням вважається лише те, яке створено природою без участі людини. Враховуючи це, камінь, який призначено для продажу, повинен бути описаний у суворій відповідності до

встановлених правил, що цілком виправдано, оскільки покупець повинен чітко знати, що він купує.

Сьогодні на ринку ювелірного каміння та коштовностей зустрічаються як обласроджені природні, так і синтетичні дорогоцінні камені.

В деяких випадках ціни на ці камені можуть бути дуже близькими або дорівнювати вартості природних дорогоцінних каменів. Незважаючи на те, що вони мають яскраво виражені відмінності гемологічних характеристик, гемологам та ювелірам дуже важко ідентифікувати деякі види обласроджених та синтетичних дорогоцінних каменів, головним чином, через недостатню кваліфікацію та брак досвіду або відсутність спеціального обладнання. В таких випадках вкрай необхідне проведення експертизи в гемологічній лабораторії. Головною метою гемологічних досліджень є стовідсоткове визначення й ідентифікація дорогоцінного каміння та надання га-

Таблиця 3. Методи облагороджування дорогоцінних природних та синтетичних каменів

| Методи облагороджування | Алмаз | Берил (смарагд, аквамарин, морганіт) | Хризоберил (олександрит) | Корунд (сапфір, рубін, лейкосапфір) | Жад (жадеїт, нефрит) | Перли | Опап | Топаз | Турмалін | Кварц (аметист, цитрин, пірський кришталь) |
|---|-------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------|-------|------|-------|----------|--|
| Зміна кольору | | | | | | | | | | |
| Радіоактивне опромінення | Р | Р | Р | Р | | Р | | Ч | Р | Ч |
| Нагрівання | Р | Р | | Ч | | | | Ч | Р | Ч |
| Хімічне відбілювання | | | | | Р | Р | | | | |
| Нейтронне опромінення | Р | | | | | | | | | Р |
| Опромінення електронами та нагрівання | Ч | Р | Р | Ч | | | | | | Ч |
| Фарбування | | Р | | Ч | Р | Ч | Р | Р | | Р |
| Поверхнево-кольорова дифузія | Р | Р | | Р | Ч | Ч | | Р | | Р |
| Нагрівання під високим тиском | Р | | | | | | | | | |
| Зміна чистоти | | | | | | | | | | |
| Заповнення тріщин та порожнин | Ч | Ч | | Ч | Ч | | | | Р | |
| Видалення включень | Р | | | Ч | | | | | | |
| Видалення включень за допомогою лазера (свердління) | Ч | | | | | | | | | |
| Термоіндукційний шок | | | | Р | | | | | | Р |
| Просочування | | | | | Ч | | Р | | | |

Примітка. Ч – часто застосовується; Р – рідко застосовується.

Таблиця 4. Обладнання, яке найчастіше використовується для ідентифікації природних і синтетичних дорогоцінних каменів

| | Прилади | Коротке технічне пояснення |
|------------------------------------|----------------------------|--|
| Стандартне обладнання | Ручна лінза, або лупа | 10-кратне збільшення об'єкта |
| | Бінокулярний мікроскоп | 10-кратне – 60-кратне збільшення об'єкта (часто використовується з різноманітним освітленням, поляризацією, фотографічною та іншою технікою, що фіксує зображення) |
| | Рефрактометр | Визначення показника заломлення, двозаломлення, оптичних властивостей |
| | Спектроскоп | Визначення видимого спектру |
| | Полярископ | Анізотропний чи ізотропний |
| | Ультрафіолетова лампа | Люмінесценція |
| | Терези | Визначення ваги, питомої густини |
| | Кальцитовий дихроскоп | Плеохроїзм кольорів |
| | Кольорові фільтри | Діагностика присутності (наявності) кольору |
| | Рефлектометр | Визначення відбивної здатності |
| | Тепловий кондуктометр | Визначення теплопровідності |
| | Електричний кондуктометр | Визначення електропровідності |
| | Наукове обладнання | Спектрофотометр |
| FTIR-спектрометр | | Інфрачервоний спектр |
| Мікроспектрометр Рамана | | Рамана-спектр коштовного каменю або включень |
| Люміноскоп | | Катодолюмінісценція |
| Рентгенофлуоресцентний спектрометр | | Неруйнівний хімічний аналіз певної ділянки зразка |
| Мікроаналізатор електронів | | Неруйнівний хімічний аналіз маленької ділянки зразка |
| Скануючий електронний мікроскоп | | Максимальне збільшення зображення, поелементний розподіл, неруйнівний хімічний аналіз невеликої площі зразка |
| Радіограф | | Фотографічне тіньове зображення |
| Дифрактометр | Рентгеноструктурний аналіз | |

Примітка. Стовідсоткову гарантію щодо ідентифікації природного і синтетичного дорогоцінного камення можна дати, використовуючи комплекс приладів, зазначених у таблиці.

рантії і практичної допомоги ювелірам та гемологам із забезпечення порядності та достовірності на світовому ринку дорогоцінних матеріалів. Діагностичні властивості всіх природних облагороджених та синтетичних дорогоцінних каменів публікуються в професійних гемологічних та спеціалізованих ювелірних журналах, що дає змогу кваліфікованим гемологам та ювелірам підвищити свій рівень та ідентифікувати будь-який матеріал, з яким вони стикаються в своїй професійній діяльності.

Світовими центрами сучасних лабораторій із синтезу дорогоцінного каміння є: Інститут кристалографії ім. О.В. Шубнікова (м. Москва, Росія), Фізико-технічний інститут ім. А.Ф. Іоффе (м. Санкт-Петербург, Росія), Інститут мінералогії та петрографії (м. Новосибірськ, Росія); Royal Signals and Radar Establishment (Великобританія); Du Pont de Nemours & Co., General Electric, Union Carbide, Deltronic Crystal Industries Inc. та ін. (США); Iimori Laboratory, Ltd., Університет Гунма, Nakazumi Crystal Co. та ін. (Японія). Також слід відзначити стрімкий розвиток цього напрямку в Китаї та Індії.

В Україні також є науково-технічний потенціал для виробництва синтетичних дорогоцінних каменів. Але на даний час у великих промислових обсягах вони не виробляються. На базі Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля та Інституту проблем матеріалознавства ім. Францевича є можливість синтезувати дорогоцінні камені, і маємо надію, що незабаром за підтримки держави буде опановано та налагоджено їх випуск. Адже, крім ювелірної галузі, синтетичні дорогоцінні камені та матеріали широко використовуються в лазерних установках, електронно-оптичних приладах, комп'ютерній техніці та інших високотехнологічних сферах, забезпечуючи належний рівень розвитку держави.

Література

- Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни. – М.: Недра, 1983. – 239 с.
- Элуелл Д. Искусственные драгоценные камни. – М.: Мир, 1986. – 160 с.
- Shigley J.E. Treated and synthetic gem materials. Current science, vol. 79, no. 11, 10 dec. 2000, p. 1566-1571.
- Jayaraman A. A brief overview of gem materials: Natural and synthetic. Current science, vol. 79, no. 11, 10 dec. 2000, p. 1555-1565.
- Nassau K. Synthetic Moissanite: A new man-made jewel. Current science, vol. 79, no. 11, 10 dec. 2000, p. 1572-1577.