

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

(інститут)

Факультет природничих наук та технологій

(факультет)

Кафедра Геології та розвідки родовищ корисних копалин

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

кваліфікаційної роботи ступеня магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенки Семенченко Владислави Олександрівни

академічної групи 103-22-1

(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Геологія, гідрогеологія, геофізика»

(офіційна назва)

на тему: Геологічні особливості світових родовищ корундів (рубін, сапфір)

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Шевченко С.В.			
розділів:				
Загальний				
Рецензент	Нікітенко І.С.			
Нормоконтролер	Хоменко Н.В.			

Дніпро  
2023

## ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Геології і розвідки родовищкорисних копалин

(повна назва)

Жильцова І.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« 07 » вересня 2023 року

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Семенченко Владислави Олександрівниакадемічної групи 103-22-1

(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Геологія, гідрогеологія, геофізика»

(офіційна назва)

на тему: Геологічні особливості світових родовищ корундів (рубін, сапфір)

(назва за наказом ректора)

наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 05.09.2023 р. № 1036-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	1, 2. Описати генетичні типи родовищ рубінів і сапфірів	15 жовтня 2023 р.
	3. Розкрити проблему визначення географії походження рубінів і сапфірів для сучасних гемологічних досліджень	25 жовтня 2023 р.
	4. Навести приклади найбільш типових і особливих включень у рубінах і сапфірах родовищ світу	30 листопада 2023 р.
	5. Навести результати власних досліджень рубінів і сапфірів з колекції кафедри ЗСГ	5 грудня 2023 р.

Завдання видано

(підпис керівника)

Шевченко С.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

15 вересня 2023 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії

10 грудня 2023 р.

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Семенченко В.О.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 с., 2 табл., 39 рис., 3 додатки, 15 джерел.

РУБІН, САПФІР, ГЕНЕТИЧНІ ТИПИ РОДОВИЩ, РЕНТГЕН-ФЛУОРЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ, ВКЛЮЧЕННЯ, РЕГІОН ПОХОДЖЕННЯ

Актуальність. Сьогодні географічне походження є одним з показників рідкості та краси дорогоцінного каменю, що безпосередньо визначає його вартість. Сучасні гемологічні дослідження дозволяють визначити генетичний тип родовищ корундів та регіон або навіть країну їх походження.

Предмет досліджень: генетичні типи родовищ корундів світу, включення, інші діагностичні характеристики рубінів і сапфірів.

Об'єкт досліджень: родовища дорогоцінного каміння групи корунду.

Мета роботи: дослідження особливостей генезису і геологічної будови основних світових родовищ рубінів і сапфірів.

Завдання:

- 1) Виконати аналіз генетичних типів родовищ дорогоцінного каміння групи корунду (рубін, сапфір).
- 2) Показати взаємозв'язок між особливостями генезису, геологічною будовою родовищ та фізико-хімічними властивостями рубінів і сапфірів.
- 3) Описати стан та шляхи вирішення проблеми визначення регіону походження рубінів і сапфірів при сучасних гемологічних дослідженнях.
- 4) За допомогою рентген-флуоресцентного аналізу дослідити зразки рубінів і сапфірів природного походження з навчальної колекції кафедри.

Наукова новизна. Охарактеризовано основні генетичні типи родовищ рубінів і сапфірів, показано типові і особливі включення, продемонстровано можливості РФА для визначення регіону походження цих різновидів дорогоцінного каміння. Аналітичні матеріали та висновки пройшли апробацію на студентській науково-технічній конференції «Молодь: наука та інновації» (листопад 2023 р.).

## ЗМІСТ

Вступ .....	5
1 Генетичні типи родовищ рубінів.....	6
1.1 Рубіни магматичних родовищ.....	7
1.2 Рубіни метаморфогенних родовищ.....	12
2 Генетичні типи родовищ сапфірів .....	18
2.1 Сапфіри магматичних родовищ.....	18
2.2 Сапфіри метаморфогенних родовищ.....	20
3 Проблема визначення регіону походження рубінів і сапфірів .....	22
3.1 Особливості визначення географії походження рубінів.....	22
3.2 Особливості визначення географії походження сапфірів.....	27
4 Найбільш типові і особливі включення у рубінах і сапфірах родовищ світу.....	33
4.1 Включення у рубінах.....	33
4.2 Включення у сапфірах.....	43
5 Рентген-флюоресцентний аналіз зразків рубінів і сапфірів з навчальної колекції кафедри.....	57
Висновки .....	60
Список літератури .....	61
Додаток А Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи.....	63
Додаток Б Відгук керівника кваліфікаційної роботи.....	
Додаток В Рецензія .....	

## ВСТУП

Рубін і сапфір є найбільш відомими коштовними каменями групи корунду (від санскритського Kuruwinda). Висока твердість корунду, що поступається тільки алмазу, водночас поєднується з податливістю при обробці, що й зробило цей камінь ювелірним хітом із давніх часів.

Світовий ринок рубінів різко змінився в наш час, особливо в останнє десятиліття з відкриттям і розвитком видобутку рубінів у Мозамбіку. Оскільки торгівля дорогоцінними каменями стала свідком бурхливих і драматичних змін у ланцюжку постачання рубінів, концепція географічного походження стала все більш важливою для людей, які купують і продають рубіни. Часто походження рубіна відіграє важливу роль у оцінці каменю, особливо для рубінів виняткової якості з М'янми.

Двадцять століття стало свідком сплеску відкриттів родовищ рубінів і блакитного сапфіру по всьому світу. Оскільки торгівля дорогоцінними каменями розвивалася разом із цими подіями, визначення географічного походження стало основним фактором при купівлі та продажу рубінів і сапфірів. У деяких випадках вартість каменю може сильно залежати від його походження, як от кашмірські сапфіри. Торгівля значною мірою покладається на авторитетні гемологічні лабораторії для визначення походження, яке базується на порівнянні з великими довідковими колекціями.

У наступних розділах детально описано дані про походження рубінів і сапфірів з родовищ світу, описано методологію використання цих даних для визначення географічного походження.

## 1 ГЕНЕТИЧНІ ТИПИ РОДОВИЩ РУБІНІВ

У корундоносних провінціях, поясах та рудних районах визначаються моногенетичні та полігенетичні родовища. До перших відносяться родовища магматичного, пегматитового та власне метасоматичного (постмагматичного) походження, до других – поліхронні та поліфаціальні власне метаморфічні та метаморфогенно-метасоматичні родовища.

Перша група представлена магматичними родовищами Східної Австралії, Далекого Сходу, Східного Китаю, Індокитайського півострова, Нігерії, Колумбії, штату Монтана (США), пегматитовими родовищами Бразилії, метасоматичними родовищами Кенії, Танзанії, Малаві та ін.

Друга група поєднує однотипні за генезою (метаморфогенно-метасоматичні) родовища Азії (М'янма, Таджикистан, Афганістан, Шрі-Ланка та інші країни), Східної Африки (Мадагаскар, ПАР), Східної Бразилії (штат Мінас-Жерайс та ін), Північної Кароліни (США), Канади, Гренландії. Корінні родовища шляхетних корундів другої групи за часом формування в основному належать до докембрійських утворень.

Дорогоцінні різновиди корунду зустрічається рідко, тому що вони вимагають середовища, збагаченого глиноземом і збідненого кремнеземом, але також присутність Cr, Fe і Ti як замітники Al у структурі, і сприятливих термобарометричних умов кристалізації та стабільності. Корунд може бути присутній в різних типах порід, але науковці виділяють два основних сприятливих геологічних середовища. До першого типу відносяться фації метаморфізму від амфіболітових до середнього тиску гранулітових. Умовам утворення дорогоцінного корунду відповідає домен з тиском понад 3 кбар і температурою між 500 і 800°C. Літологічно це багаті глиноземом та/або бідні кремнеземом породи, такі як мрамур, глиноземистий гнейс, мафічні та ультраосновні породи, або кислі та бідні кремнеземом породи (вапняк, мрамур), що зазнали контактового метаморфізму з циркуляцією флюїдів при їх контакті з інтрузіями, а також породи, змінені шляхом метасоматозу

(десилікатизований пегматит, скарн та ін.). Другим типом сприятливого геологічного середовища є лужний базальтовий вулканізм при континентальному рифтогенезі [2].

Первинні родовища корунду поділяються на два типи залежно від геологічного середовища утворення: магматичні та метаморфічні.

Магматичні родовища корундів включають дорогоцінний корунд у лужних базальтах, як у східній Австралії, і сапфір у лампрофірі та сієніті, як у Монтані (США), Гарба-Тула (Кенія), Ambondromifehy (північ Мадагаскару), а також рубіни родовищ Таїланду і Камбоджі (рис. 1.3).

Метаморфічні родовища корундів поділяються на два підтипи (рис. 1.5):

- метаморфічні родовища *sensu stricto* (у мармурі; мафічні та ультраосновні породи)

- метаморфо-метасоматичні родовища, що характеризуються високою взаємодією флюїд-порода та метасоматизмом.

Приклади першого підтипу включають рубінові родовища в мармурі у М'янмі (Могок і Монг Хсу), В'єтнамі, Таджикистані, Афганістані (характеризуються меншим вмістом Fe), або мафічні та ультраосновні породи, рубіни з яких відрізняються високим вмістом Fe – Монтепуес (Мозамбік) і Аапалутток (Гренландія). Другий підтип стосується сапфіру з Кашміру, що міститься в плюмазитах у мафічних та ультраосновних породах, та сапфірах з родовищ центральної частини Мадагаскару [3-4].

### 1.1 Рубіни магматичних родовищ

Магматичні родовища рубінів відомі у Таїланді і Камбоджі. Рубіни тут видобувалися ще в стародавньому Сіамському королівстві вздовж сучасного тайсько-камбоджійського кордону протягом сотень років. Рубіни з Таїланду практично ідентичні рубінам Камбоджі, оскільки, це, по суті, одне родовище.

На рис. 1.1. наведено схему родовищ цього регіону.

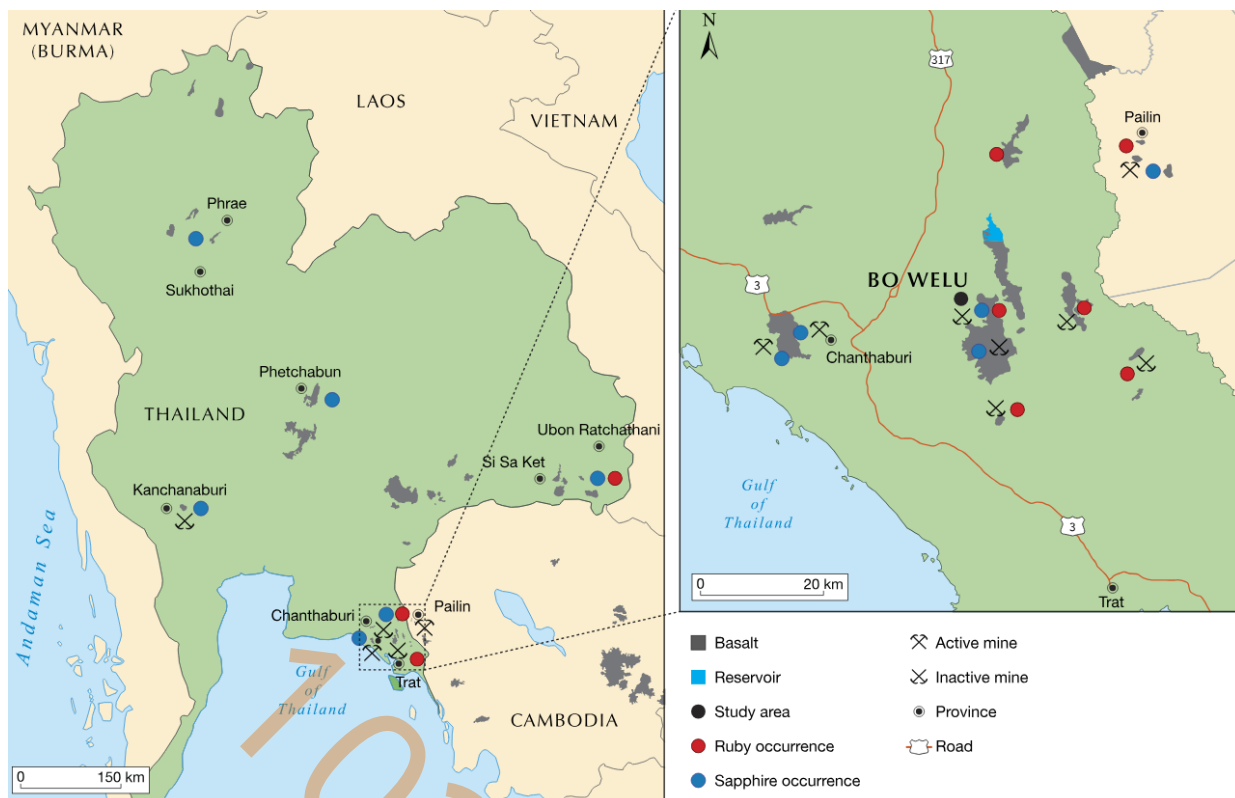


Рисунок 1.1. Схема родовищ рубіну і сапфіру Таїланду і Камбоджі

До середини 1980-х років тайські родовища становили близько 80 відсотків світових запасів рубінів. Тайські рубіни, як правило, темніші, ніж рубіни з інших країн, але термічна обробка може усунути поширені, але небажані, коричневі та блакитні тони. Тайські рубіни також відомі своєю прозорістю та відсутністю шовку (рис. 1.2).



Рисунок 1.2. – Рубін вагою порядка 1 кар. з родовищ Таїланду



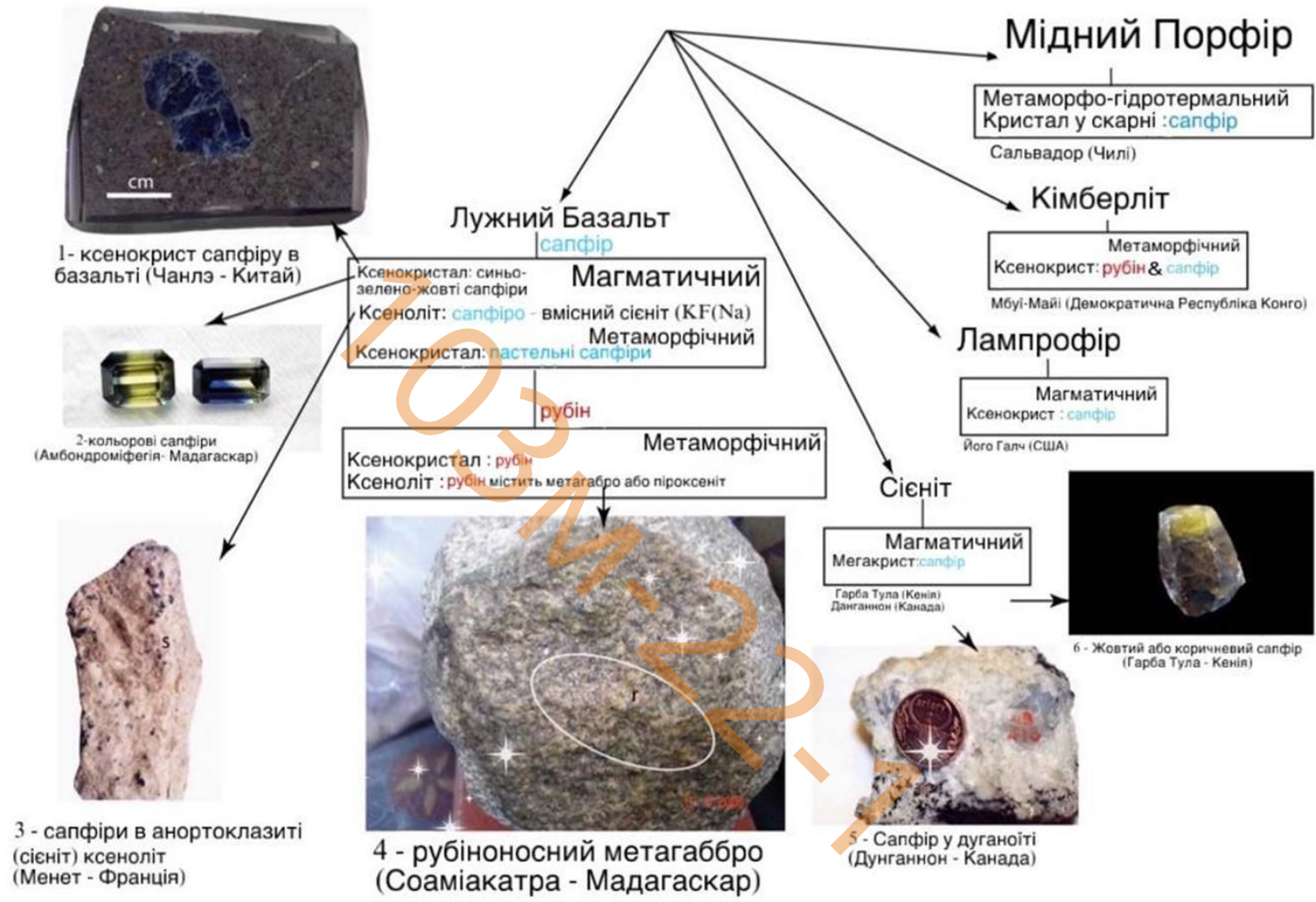


Рисунок 1.3– Основні типи магматичних родовищ корундів [Giuliani et al., 2014]

Більшість рубінів Таїланду видобуто на шахтах Чантабурі в південно-східній частині країни. Там рубіни знаходяться в алювіальних відкладах вивітрених лужних базальтів, що пояснює високий вміст заліза та відсутність флуоресценції.

Незважаючи на те, що тайські родовища зараз вичерпані, країна зберегла свою позицію як центр світової промисловості рубінів. І Бангкок, і Чантабурі стали головними центрами огранювання, облагородження та маркетингу рубінів, що приваблює міжнародну клієнтуру. Оскільки ринок рубінів у Камбоджі набирає обертів, багато досвідчених шахтарів і тайських гірничодобувних компаній переїжджають у сусідню країну, щоб продовжити там пошуки рубінів.

Набагато менше значення мають родовища, в яких рубін захоплюється у вигляді ксенокристів у кайнозойських лужних базальтах; це родовища Барінго у Кенії та Соаміакатра (рис. 1.3) у Мадагаскарі.

Родовище рубінів Соаміакатра у провінції Антананаріву, було економічним місцем видобутку *in situ*, як наприклад у Пайліні, Камбоджа, де рубін було знайдено або у вигляді ксенокристів у лужному базальті, або в ксенолітах, винесених на поверхню кайнозойським вулканізмом. Родовище Соаміакатра було відкрито в 1997 році. Рубін видобувався шляхом викопування з алювіальних пластів і ґрунтів, але розвідка та механізація операцій виявили вивітроване первинне родовище у верхній частині базальтової пробки. Рубіноносну глину та філітовий матеріал білуватого кольору розробляли протягом двох років, перш ніж було досягнуто корінні породи. Вторинне родовище забезпечувало легке та ефективне виробництво рубінів високої якості.

Дослідники зазначають, що більшість рубінів у лужних базальтах можна вважати фактично метаморфічними за походженням, але наявність первинних включень розплаву в рубіні вказує на те, що фаза вільної магми існувала під час росту рубіна.

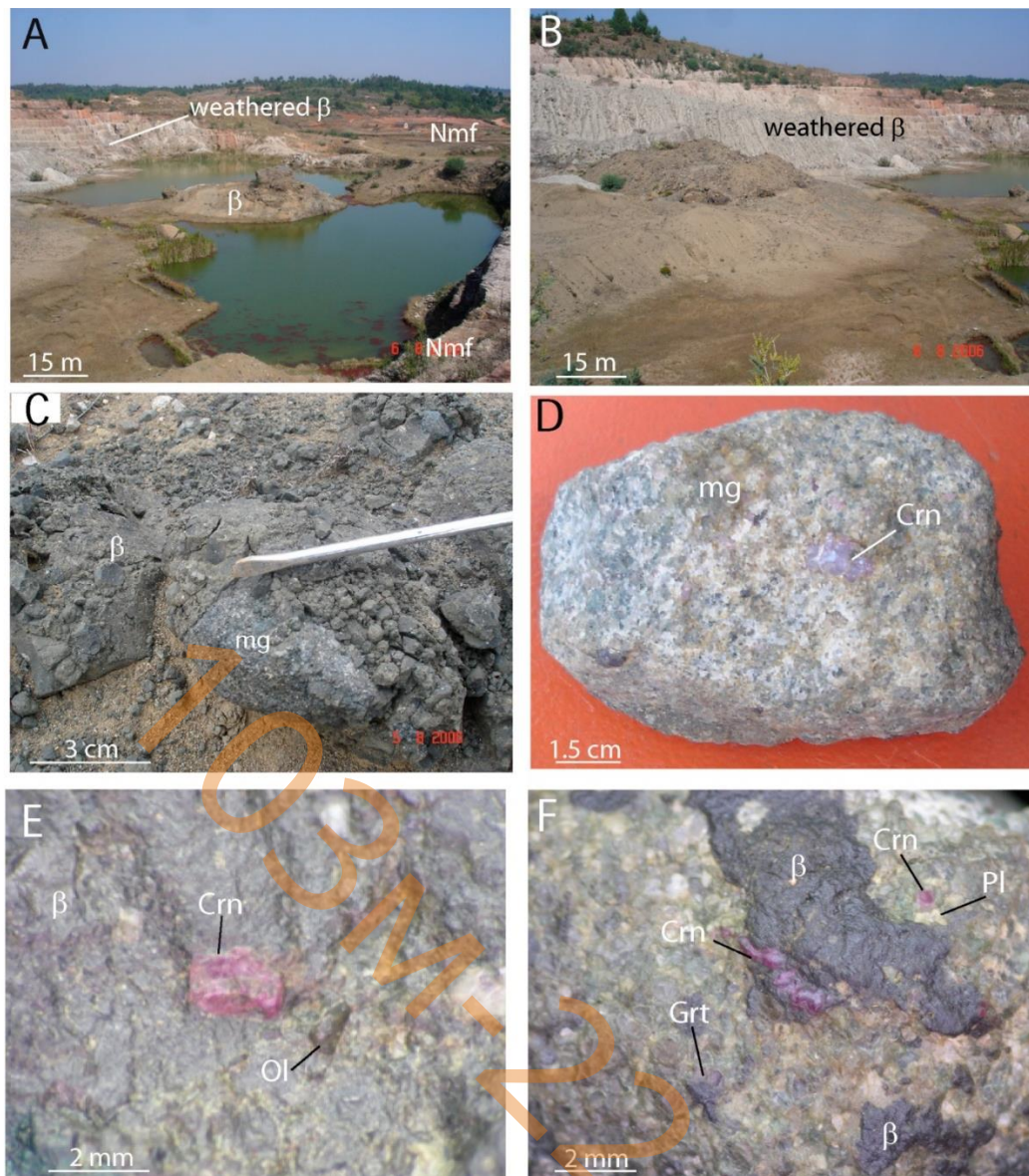


Рисунок 1.4– Родовище рубінів Соаміакатра, Мадагаскар

А) Вид кар'єру, що показує контакт лужно-базальтової ( $\beta$ ) пробки з неопротерозойськими метаморфічними утвореннями (Nmf). Вивітрена верхня зона лужного базальту ( $\beta$ ), що розроблялася у минулому до невивітреного базальту; (В) вигляд рубіноносної вивітреної базальтової зони, потужністю близько 20 м; (С) рубіноносний метагаббро ксеноліт (mg), перенесений лужним базальтом ( $\beta$ ); (D) макроскопічний вигляд ксеноліту метагаббро, що містить рубін (Crn) (mg); (E) ксенокрист рубіна з кристалом олівину (Ol) у лужному базальті ( $\beta$ ); і (F) рубіново-гранатовий (Grt)-плагіоклаз (Pl) метагаббро, що містить перетин потоком лужного базальту ( $\beta$ ).

Метаморфічне походження рубінів з ксенокристалів, як у Східній Австралії, родовищах Канчанабурі, Бо Рай і Нам Йен у Таїланді, Пайлін у Камбоджі та Центральному та Східному Мадагаскарі, характеризується їхнім розподілом мікроелементів і включеннями. Класична діаграма хімічних варіацій Fe/Ti проти Cr/Ga, запропонована, дозволяє охарактеризувати «метаморфічний» рубін і рожевий корунд, багатий Cr і бідний Ga (співвідношення  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Ga}_2\text{O}_3 > 3$ ), і містить включення хромистої шпінелі, плеонасту, діопсиду (багатого на Al) і сапфірину [1].

Рубін також був описаний як мікрометричні кристалічні включення в алмазі родовища Жуїн у Бразилії. У кімберліті Мбуджі-Майї в Демократичній Республіці Конго знайдено кристали рубіну і ксенокристалів Cr-вмісного корунду розміром до 2 см.

Кімберліти, як і лужні базальти, є такими собі «конвеєрами» дорогоцінних каменів (відповідно алмазу та корунду) з астеносфери та/або літосфери у верхні шари земної кори. Включення рубінів і сапфірів в алмазі зустрічаються рідко, а ксенокристи або мегакристи корунду в кімберлітах зустрічаються винятково. Навпаки, алмаз ніколи не був знайдений у вигляді включень у корунді або в ксенокристах лужних базальтів.

Хімічний склад і ізотопний склад кисню рубіна з Мбуджі-Майї у ДР Конго допускають різне можливе походження: (1) Матеріал верхньої мантії (гранатовий лерцоліт, гранатит і піроксеніт), який міг бути проникнутий і метасоматизований кімберлітовим розплавом, або орогенний перидотит високого тиску; або (2) ксеноліти еклогітового типу (омфацитові клінопіроксенові метагаббро та/або клінопіроксеніт), уражені ретроградною метаморфічною стадією в гранулітній фації в основі континентальної кори [1].

## 1.2 Рубіни метаморфогенних родовищ

Родовищ даного типу значно (у кілька разів) більше, ніж родовищ першого типу. Вони відносяться до кількох основних рубіноносних провінцій.



Поліхромні сапфіри з родовища Вінца, Танзанія

Рисунок 1.5– Основні типи метаморфічних родовищ корундів [Giuliani et al., 2014]

До метаморфогенно-метасоматичних родовищ відносять родовища у Південно-Азійській провінції, Східно-Африканському рубін-сапфіроносному поясі Африканської платформи, Східно-Бразильському рубін-сапфіроносному поясі, Східно-Американському рубіноносному районі, Гренландському південно-західному рубіноносному поясі.

Для Південно-Азійської сапфір-рубіноносної провінції, найвідомішої у світі завдяки великій кількості самоцвітів, в тому числі і благородного корунду, характерний широкий прояв утворених на великій площі (450 тис. км<sup>2</sup>) родовищ благородного корунду пізньомезозойсько-кайнозойської складчастості і активізованих в нижньому палеозої, що включає сім країн: Афганістан (родовище Jegdalek), Непал (Chumar, Ruyil), Пакистан (Hunza valley, Batakundi) Таджикистан (Turakuloma, Badakhshan), М'янма (Mogok, Mong Hsu), Індія (Kalahandi, Mysore), Шри-Ланка (Ratnapura, Vakamuna).

Родовища благородного корунду цієї провінції рідко супроводжуються пов'язаними з ними розсипами. Рубіни і сапфіри добуваються безпосередньо з корінних порід, представлених мраморами, кристалічними сланцями, гнейсами і слюдит-плагиоклазитами на прикладах родовищ Таджикистану, Афганістану, Пакистану і Непалу. Характерна наявність пурпурно-червоних рубінів (типу "голубина кров") (Могок) і рубінів з фіолетово-синім відтінком забарвлення на родовищах Таджикистану, Афганістану, Непалу і М'янми.



Рисунок 1.6– Пара бірманських рубінів з Могок (М'янма), загальна вага приблизно 4 карати [4].

У Східно-Африканському рубін-сапфіроносному поясі зосереджено цілу низку великих родовищ благородних корундів: Танзанія - Umba valley, Longido, Winza Morogoro, Mahenge, Songea, Tunduru; Кенія - West Pokot, Baringo. West Pokot, Baringo, Kitui, Mangare; Малаві - Chimwadzulu; Зімбабве - O'Briens; Конго-Кіншас - Mbuii-Mavi; ПАР - Barberton; Мозамбік - Montepuez; Мадагаскар - Maniry, Gogogogo, Vohitany, Ejeda.

Геологічна особливість цього поясу полягає в тому, що він складається зі стабільних ізометричних глибоко метаморфізованих блоків (гнейсо-мігматитові куполи) і вузьких рухливих метаморфізованих рухливих метаморфізованих зон. З першими пов'язані, наприклад, корінні рубіни у мармурах на північному сході ПАР і сапфіри на півдні острова Мадагаскар, тоді як більшість інших родовищ локалізовані в основних і ультраосновних тілах, схильних до метасоматичних змін на межі хімічно різнорідних порід. Вік корінної мінералізації благородних корундів, як правило, протерозойський.

Для метасоматичних родовищ Танзанії, Кенії, Малаві, Зімбабве та інших об'єктів Східно-Африканського поясу надзвичайно типова зональність і строкатість забарвлення рубінів і сапфірів, які отримали спеціальний торговий термін - "строкатий сапфір-танзанія". Метаморфогенні сапфіри Мадагаскару нагадують за морфологічними особливостями кристали сапфіра з родовищ індійського Кашміру, близькі до рубінів з мармурів ПАР і до рубінів метаморфічних порід Афганістану, Таджикистану, М'янми та інших країн Південно-Азіатської корундоносною провінції. Рубіни з Кенії та Танзанії дивують ще з часів їх відкриття в 60-х роках своїм красивим насиченим кольором, що варіює від світло- до темно-червоних тонів.

Східно-Американський рубіноносний район географічно розташований у Північній Кароліні (США). Рубіни фіксуються тільки у сучасних алювіальних рубіноносних алювіальних піщано-гравійних дрібних розсипах басейну р. Мала Теннессі (Corundum Hill, Cowee Valley, Buck Creek). Колір рубінів червоний, з інтенсивним плеохроїзмом. В огранованому вигляді

кристали рідко перевищують вагу, що дорівнює 1-2 каратам. Корінними джерелами рубінів Північної Кароліни розглядаються корундовмісні докембрійські гнейси, кристалічні сланці, інші метаморфічні породи і, можливо, генетично пов'язані з ними плагіоклазити.

Комплекс Фіскенесет із віком 2,97 млн років є однією з найбільш добре збережених розшарованих багатофазних архейських інтрузій у світі. Він складається з анортозиту, лейкогабро, габро і метаморфізованих ультрабазитів у Гренландському південно-західному рубіноносному поясі.

Рубіни з комплексу Фіскенесет відрізняються високим вмістом Cr, проміжним вмістом Fe, низьким вмістом V, Ga і Ti, низьким вмістом ізотопів кисню (1,6-4,2 %), рідкісними мінеральними включеннями (наприклад, антофіліт+біотит).

Нині на південному заході Гренландії відкрито перспективне родовище рубінів і рожевих сапфірів. Після оцінки гірничо-геологічних, технологічних, економічних та екологічних умов експлуатації родовища в результаті спільної роботи уряду Гренландії та міжнародних експертів данської компанії "True North Gems-TNG" видано дозвіл на початок будівництва відкритого руднику з видобутку благородних корундів.

Рудник Aappaluttoq розташований на південно-західному узбережжі Гренландії за 160 км на південь від столиці Нуук і за 15 км на південний схід від поселення Фіскенесет. Родовище і сам рудник мають назву, яка в перекладі з гренландської означає "червона гора", що свідчить про давню популярність знахідок красивого мінералу корунду місцевими жителями в цьому районі.

Прогнозні запаси благородних корундів родовища Aappaluttoq, за оцінками незалежних експертів, становлять 340-400 млн каратів, що виводить його в розряд унікальних об'єктів світового значення. Термін експлуатації родовища складе 30-40 років. Знахідки окремих кристалів і проявів рубінової та сапфірової мінералізації різного масштабу концентруються вздовж великого регіонального розлому в породах анортозит-метагаббрового складу.



Основні регіони надходження рубіну на світовий ринок показано на рис. 1.7 (за даними Американської асоціації з торгівлі дорогоцінним камінням).

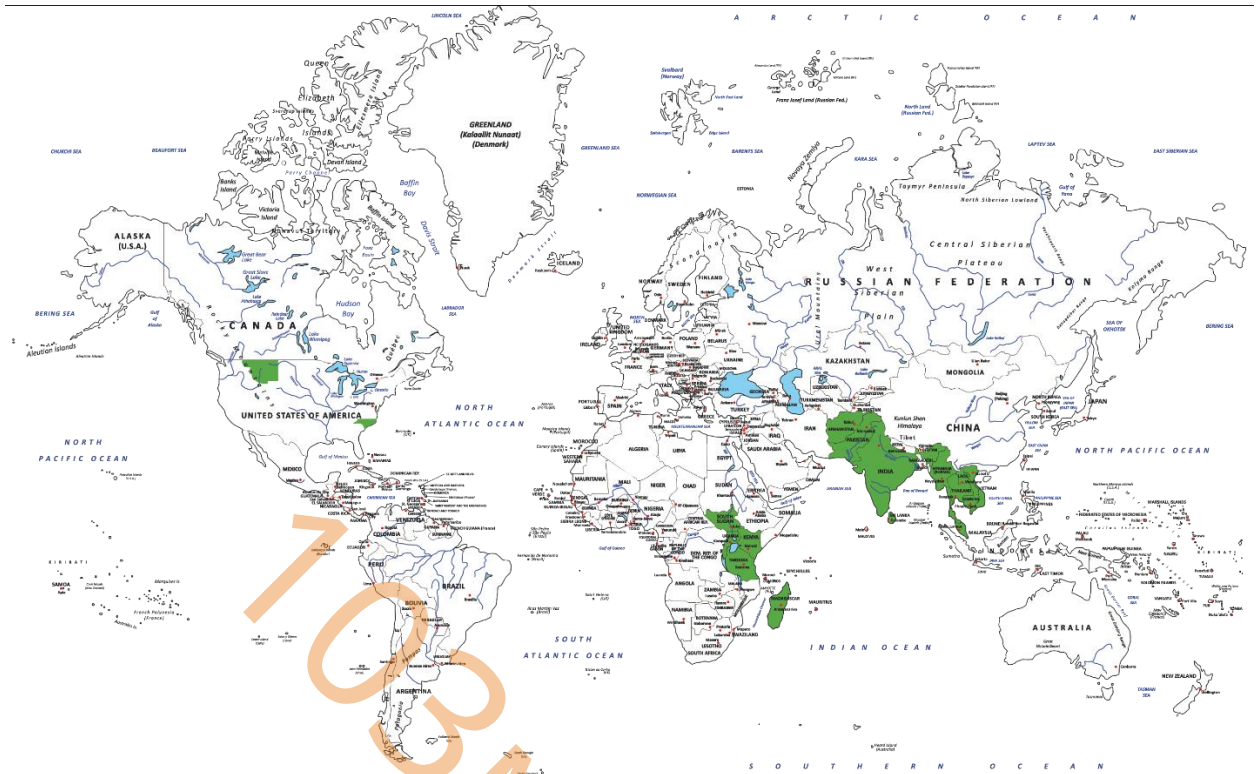


Рисунок 1.7 – Основні регіони надходження рубіну на світовий ринок показано на рис. 1.7 (за даними AGTA)

Висновки до розділу 1.

1. Первинні родовища рубінів класифікуються за двома основними типами на основі їх геологічного середовища утворення: магматичні і метаморфічні.

2. Рубіни магматичного типу генезису відомі як ксенокристали або зустрічаються в ксенолітах, розміщених у магматичних породах, таких як лужні базальти (Мадагаскар та інші). Другим підтипом такого генезису є ксенокристали рубіна в кімберліті (ДР Конго).

3. Рубіни метаморфічного генезису у свою чергу поділяються на два підтипи:

- у метаморфізованих основних і ультраосновних породах – Монтепуес (Мозамбик), регіон Бекілі-Вохібори (Мадагаскар) – і у мармурі (знаменитий пояс Могок у М'янмі);

- метаморфо-метасоматичні родовища, що характеризуються високою взаємодією флюїд-порода та метасоматозом (десилікатні пегматити, Кенія), метасоматити у метаморфізованих мафічних і ультрамафічних порід (Аапалутток, Гренландія), і мармурові, і метасоматично-метаморфічні відкладення, пов'язані зі зоною зсуву або контрольовані складками в різних субстратах, корундовмісні Mg-Cr-біотитові сланці та гнейс або мармур (Саамбано, Зазафоці та Амбатомена на Мадагаскарі, а також Махендже і Улугуру в Танзанії).

103М-22-1

## 2 ГЕНЕТИЧНІ ТИПИ РОДОВИЩ САПФІРІВ

### 2.1 Сапфіри магматичних родовищ

Наразі основними джерелами базальтових сапфірів дорогоцінної якості, які надходять через лабораторію, є Австралія, Таїланд (рис. 2.1), Камбоджа, Нігерія та Ефіопія. Звичайно, є й інші родовища, де базальтові блакитні сапфіри активно видобуваються або видобувалися в недавньому минулому, включаючи Камерун, Лаос, В'єтнам, північний Мадагаскар і Китай. Однак очікується, що вони будуть менш економічно важливими у світовій торгівлі дорогоцінними каменями.



Рисунок 2.1 – Сапфіри родовища Чантанабурі, Таїланд

Підхід до визначення географічного походження базальтових сапфірів дещо відрізняється від метаморфічних сапфірів. Зокрема, хімія мікроелементів, як правило, набуває більшого значення для висновків про походження. Характеристики включення все ще розглядаються, але існує тенденція до більшого перекриття та подібності в сценах включення для базальтових сапфірів з різних місцевостей. Однак різні джерела базальтового каміння, як правило, мають більш чіткі профілі мікроелементів, що дозволяє в багатьох випадках успішно визначити походження. Тим не менш, все ще існує значне перекриття, і визначення походження для базальтових сапфірів може бути більш складним, ніж для метаморфічних сапфірів.

Базальтові сапфіри з класичного району видобутку Пайлін, Камбоджа (рис. 2.2), часто мають певні діагностичні включення. Вони зазвичай мають товсті щільні смуги молочних хмар, розташованих у вигляді шестикутників (рис. 2.3), що нагадує ті, які можна побачити в кашмірських сапфірах. Найкращі камбоджійські сапфіри можуть нагадувати камені з Кашміру, маючи схожий оксамитовий вигляд завдяки наявності щільних молочних смуг.



Рисунок 2.2 – Облагороджені нагріванням сині сапфіри і ненагріте кристал сапфіру «трапиче» молочного типу, Пайлін, Камбоджа

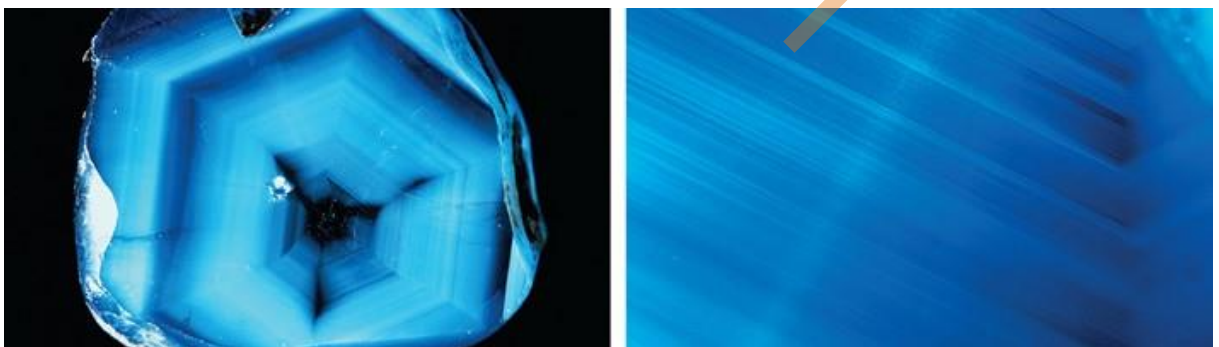


Рисунок 2.3 – Щільні молочно-білі смуги, що дрібно чергуються, є типовими для камбоджійських сапфірів [5].

Фактично, колір гарного камбоджійського каміння часто можна використовувати як індикатор походження сам по собі, оскільки більшість

інших базальтових сапфірів набувають набагато темнішого синього кольору на відміну від часто яскравого, яскравого та насиченого синього кольору камбоджійських сапфірів. Включення пірохлору також можуть допомогти в ідентифікації цих сапфірів. Хоча пірохлор можна знайти в базальтових сапфірах з багатьох інших родовищ, пірохлор у камбоджійських каменях має тенденцію набувати більш насиченого червоного кольору, а не більш коричнево-помаранчевого кольору, який спостерігається в каменях з інших родовищ.

## 2.2 Сапфіри метаморфогенних родовищ

Метаморфічні сапфіри є продуктом катаклізмів тектонічних подій, під час яких земні континенти зіткнулися, утворивши масивні гірські террейни, що складаються з високоякісних метаморфічних порід, у яких сапфіри утворилися в результаті перекристалізації твердих порід, що існували раніше. Існує багато відкритих питань щодо точних геологічних умов утворення в цих родовищах, але метаморфічні сапфіри, як правило, пов'язані з мармурами, гнейсами, глиноземистими сланцями або (у випадку М'янми) сієнітоподібними породами, пов'язаними з цими високоякісними метаморфічними породами. Класичні джерела Шрі-Ланки, М'янми та Кашміру (рис. 2.4) включені до групи метаморфічних сапфірів, а також більш сучасне джерело Мадагаскару [2].



Рисунок 2.4– Кашмірський сапфір вагою приблизно 15 кар. [5]



Рисунок 2.5– Пара кашмірських сапфірів загальною вагою 7 кар. [5]



Рисунок 2.6– Кристал сапфіру зі Шрі-Ланки [5]

Основні регіони надходження сапфіру на світовий ринок показано на рис. 2.7 (за даними Американської асоціації з торгівлі дорогоцінним камінням).

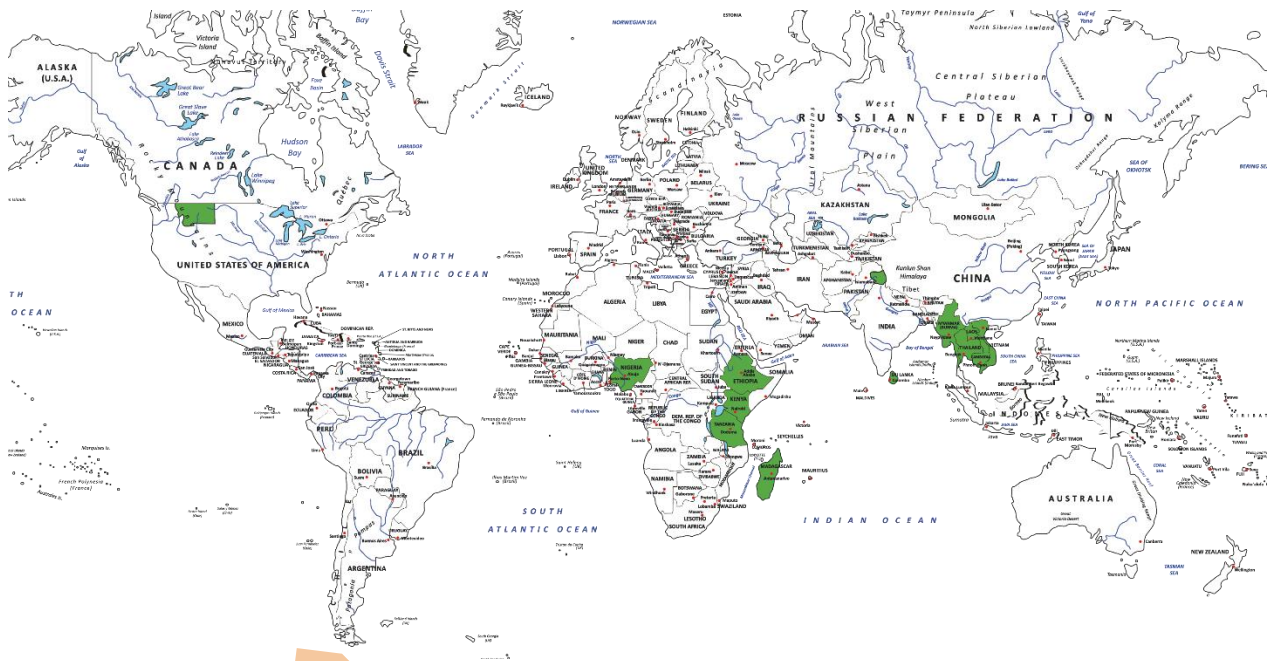


Рисунок 2.7– Основні регіони надходження сапфіру на світовий ринок показано на рис. 2.7 (за даними AGTA)

#### Висновки до розділу 2.

1. Магматичні родовища сапфірів включають представлені лужними базальтами, як у східній Австралії, Таїланді і Камбоджі, Нігерії та Ефіопії, а також лампрофірами і сієнітами, як у Монтані (США), Гарба-Тула (Кенія), Ambondromifehy (північ Мадагаскару).

2. Метаморфічні родовища сапфірів поділяються на два підтипи:

- метаморфічні родовища *sensu stricto* у мармурі (М'янма) і мафічних та ультраосновних породах (Шри-Ланка, Мадагаскар);
- метаморфо-метасоматичні родовища, що характеризуються високою взаємодією флюїд-порода та метасоматизмом (Кашмір, родовища центральної частини Мадагаскару, Умба і Сонгеа у Танзанії тощо).

### 3 ПРОБЛЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РЕГІОНУ ПОХОДЖЕННЯ РУБІНІВ І САПФІРІВ

#### 3.1 Особливості визначення географії походження рубінів

За останні кілька десятиліть визначення географічного походження чистих рубінів набуло все більшого значення в торгівлі дорогоцінними каменями. У гемологічній лабораторії рубіни, як правило, поділяються на дві групи залежно від хімічного складу мікроелементів: рубіни з мармуровим вмістом (з низьким вмістом заліза) і рубіни з високим вмістом заліза. Рубіни з високим вмістом заліза зазвичай легко ідентифікуються на основі їх включень і профілів мікроелементів. Рубіни, розміщені в мармурі, можуть бути більш складними, оскільки деякі родовища демонструють перекриття в деяких сценах включення. Але багато мармурових рубінів, особливо бірманські камені з Могок і Монг Хсу, можна точно ідентифікувати на основі їхніх внутрішніх особливостей і профілів мікроелементів. Цей внесок окреслить методи та критерії, які використовуються в GIA для визначення географічного походження рубіна.

У багатьох випадках географічне походження рубінів, розміщених у мармурі, важко визначити в лабораторії. Історично все було б простіше. Протягом сотень, якщо не тисяч років, шахтарське місто Могок у Бірмі (нині М'янма) було практично єдиним джерелом цієї групи рубінів. На афганських рубінових копальнях у Джегдалек протягом кількох сотень років видобувався певний видобуток, але видобуток ніколи не зрівнявся з Могоком за кількістю чи якістю. Однак у двадцятому столітті з новими знахідками рубінів з мармуром у В'єтнамі, Таджикистані та іншому родовищі в М'янмі в Монг Хсу конкуренція з рубінами Могок стала набагато більшою. Оскільки всі ці рубіни були утворені в тій самій геологічній події за схожих геологічних умов, їхні сцени включення та особливо їхній хімічний склад мікроелементів іноді можуть бути подібними до тих, що були з легендарного родовища в Могоку.



Для багатьох каменів, які проходять через лабораторію GIA, достатньо включення та хімічного складу мікроелементів, щоб точно визначити географічне походження. Зазвичай це стосується бірманських рубінів з Mogok і Mong Hsu, які часто мають типові включення. Однак реальна ситуація полягає в тому, що в деяких випадках камінь може не містити сцену діагностичного включення, а хімічний склад мікроелемента може бути неоднозначним. У таких ситуаціях «непереконливе» визначення походження є єдиною прийнятною відповіддю.

Включення часто є основною частиною доказів для встановлення географічного походження рубінів, розміщених у мармурі. На жаль, «діагностичних» мінеральних включень для рубінів не існує. Усі рубіни з мармуру можуть містити вкраплення кальциту, апатиту та інших поширених твердих мінералів. Частіше визначальні сцени включення складаються з характерних візерунків шовку, молочних хмар і візерункових хмар.

У М'янмі рубіни походять із двох окремих родовищ: історичного регіону Могок і новішого родовища Монг Хсу. Загалом Могок виготовляв більш важливі рубіни кращої якості (рисунки 3.1 і 3.2), тоді як Монг Хсу в основному постачав комерційний матеріал.



Рисунок 3.1– Бірманський рубін з Могока, приблизно 4 карата. [6]

Кілька мікрофотографій, що зображують типові сцени включення в рубіни Могок, показані на рис. 3.1-3.2. Шовк у рубінах Могок часто зустрічається у вигляді вкладених концентрацій тонких рутилових голок від довгих до коротких (рис. 3.1). Ці гнізда шовку часто зустрічаються поблизу центру каменю, іноді супроводжуються включеннями кальциту та інших мінералів. Шовк у рубінах Могок часто зустрічається у вигляді коротких світловідбиваючих голок рутилу зі сплющеною стороною, можливо, демонструючи форму наконечника стріли через парування рутилу (рис. 3.2). Однак довший шовк також часто зустрічається в рубінах Могок (рис.3.3). Зверніть увагу, що на відміну від багатьох рубінів з інших родовищ, рубіни Могок зазвичай не потребують термічної обробки для оптимізації свого кольору. Це означає, що шовк у цих каменях зазвичай залишається недоторканим. Хоча термічна обробка блакитних сапфірів має тенденцію знищувати докази походження у вигляді візерунків шовку, це рідко трапляється з шовком, який можна побачити в рубінах Могок.



Рисунок 3.2– Щільна концентрація шовку та округлих кристалічних включень свідчить про походження цього рубіна з Могока, М'янма [6]

Іншою сценою включення, яка свідчить про походження Могок, є характерна звивиста зернистість, ймовірно, спричинена бурхливим і швидким ростом кристалів під час формування рубінів. Виразна червона і безбарвна зональність часто асоціюється з цією зернистістю. Рубіни з Могока часто

можна розпізнати за характерними вкрапленнями, такими як райдужні короткі голки або вкладений шовк, хоча можуть бути пограничні випадки, коли включення не є однозначно Могоком, але все одно можуть вказувати на таке походження.



Рисунок 3.3– Короткий рутиловий шовк зі сплющеною стороною, типовий для рубінів Могок, створює яскраві райдужні відтінки при перегляді з інтенсивним волоконно-оптичним освітленням [6]



Рисунок 3.4– Суміш сплющених голок рутилу супроводжується тонким напленням частинок шовку в цьому рубіні Могок [6]

При визначенні географічного походження рубінів, розміщених у мармурі, можна стикатися з тією ж проблемою, що й у випадку з

метаморфічними блакитними сапфірами: дорогоцінні камені з цих родовищ були здебільшого утворені в тій самій геологічній орогенній події, з дуже схожих геологічних утворень і, ймовірно, за схожих умов тиску, температури і хімізму. З цієї причини існує тенденція до значного збігу в їхніх гемологічних властивостях, а саме включеннях і хімії мікроелементів. Слід бути обережним, особливо з в'єтнамськими рубінами та рубінами Могок, оскільки інколи їх сцени включення збігаються. Важливо, що в'єтнамські рубіни іноді можна знайти з візерунками рутилового шовку, які можуть створити перше враження про походження Могок.

Однак варто підкреслити, що гемологічний світ не ідеальний. Не кожен гранований камінь міститиме сцени включення, які є діагностичними для певної місцевості. Крім того, багато каменів не мають сцен включення, які б навіть наводили на думку про походження одного над іншим. Рубіни, розміщені в мармурі, можуть не мати молочних або візерункових хмар і містити лише грубий рутиловий шовк, який не є особливо вкладеним і щільним, і не райдужним. У цьому випадку сцена включення може справляти враження або бірманського, або в'єтнамського походження, пропонуючи мізерні докази, що вказують одне походження над іншим. У цих випадках єдиний чіткий вибір – запропонувати «непереконливе» визначення походження. На жаль, завжди будуть камені, для яких лабораторії будуть змушені робити «непереконливі» виклики через відсутність будь-яких діагностичних доказів, що вказують на конкретний висновок.

Рубінові включення з високим вмістом заліза. Якщо аналіз мікроелементів поміщає камінь у групу рубінів з високим вмістом заліза, процес визначення географічного походження йде іншим шляхом, ніж рубіни, розміщені в мармурі, з чітким набором можливих джерел походження. Це рубіни з Таїланду і Камбоджі, Мадагаскару, Мозамбіку, а також менші родовища в Танзанії, Кенії та Гренландії. На щастя, «рубін з високим вмістом заліза» є більш широким загальноприйнятим терміном із відносно вільними наслідками щодо геологічних умов утворення. Наприклад, рубіни з високим

вмістом заліза з Мозамбіку та Мадагаскару утворилися під час регіонального метаморфізму при високому тиску та високій температурі, тоді як рубіни, видобуті поблизу тайсько-камбоджійського кордону, пов'язані з базальтом і, певним чином, геологічно більше схожі на класичні магматичні блакитні сапфіри. Спільною ниткою, здається, є походження рубінів із подібних вміщуючих порід. Хоча існує багато відкритих питань щодо їх точного геологічного походження, рубіни з високим вмістом заліза, як правило, вважаються похідними від того, що спочатку було основним або (ультра)основним магматичним скельним порід. Тим не менш, варіації в конкретних геологічних обставинах, що оточують походження рубінів, спричинили відмінності в їхніх гемологічних властивостях, що дозволяє в більшості випадків просто визначити походження.

Рубіни з більшості родовищ рубінів з високим вмістом заліза (Мозамбік, Мадагаскар і Таїланд/Камбоджа) часто можна відокремити лише на основі включень, але навіть якщо мікроскопічні спостереження не дозволяють зробити висновок, хімічний склад мікроелементів майже завжди може дати остаточну частину доказів.

### 3.2 Особливості визначення географії походження сапфірів

Визначення географічного походження, одне з найактуальніших питань, з якими стикаються сучасні гемологічні лабораторії, є особливо складним для блакитного сапфіра. Надійне визначення походження вимагає ретельного аналізу включень каменю та хімічного складу мікроелементів, а також спектроскопічних даних. Деякі камені мають характерні вкраплення або хімічний склад мікроелементів, що дозволяє легко визначити їхнє походження, але в багатьох випадках блакитний сапфір з різних географічних місць значно збігається. Найбільш часто зустрічаються включення - це рутиловий шовк і хмари частинок. У деяких каменях шовк або хмари можуть

набувати чіткого вигляду, і їх походження можна точно визначити. Але в багатьох випадках докази, представлені включеннями в камені, неоднозначні.

Часто найпростішим підходом до визначення географічного походження є просто виключити якомога більше джерел походження, залишивши лише кілька кандидатів для остаточного рішення. Блакитний сапфір можна умовно розділити на дві групи на основі геологічних умов утворення, даючи нам «метаморфічний» і «базальтовий» блакитний сапфір. Блакитні сапфіри, пов'язані з базальтом, — це ті, які були підняті з невідомих великих глибин землі як ксенокристи (чужорідні кристали) під час вулканічних вивержень лужних базальтів і споріднених порід. Вважається, що самі сапфіри перебували в рівновазі з якоюсь іншою магмою, яка відрізнялася б від базових базальтів. Класичні джерела, такі як Австралія, Таїланд і Камбоджа, виробляли ці сапфіри більше 100 років, але сапфіри, пов'язані з базальтом, також знайдені в деяких важливих нещодавно відкритих джерелах, таких як Нігерія та Ефіопія.

Метаморфічний блакитний сапфір створює одну з найбільших проблем у визначенні географічного походження. Сто років тому це було набагато меншою проблемою, коли єдиними основними джерелами цих сапфірів були Кашмір, М'янма та Шрі-Ланка. У той час вважалося, що ці сапфіри мали більш-менш діагностичний вигляд і комплекти включення. Значна перешкода для визначення походження метаморфічних сапфірів виникла за останні 25 років, коли Мадагаскар почав виробляти великі обсяги сапфірів, які могли збігатися з будь-яким із трьох класичних метаморфічних джерел. Навіть без появи мадагаскарських сапфірів не завжди можливо розділити три класичні джерела зі 100% впевненістю. Ще більше ускладнює відкриття в сучасний час нових місць видобутку в одній країні, наприклад, у Катарагамі на Шрі-Ланці в 2012 році. Ситуація стає ще більш небезпечною, враховуючи різку різницю у вартості цих родовищ: класичний кашмірський сапфір можна продати у багато разів дорожче, ніж мадагаскарський сапфір виняткової якості та розміру. За цих обставин визначення географічного походження метаморфічних сапфірів вимагає особливої обережності та зваженості.

Для метаморфічного блакитного сапфіру докази географічного походження здебільшого отримані завдяки ретельним мікроскопічним дослідженням включень. Хоча деякі мінеральні включення іноді вважаються діагностичними, наприклад, кристали турмаліну в кашмірських сапфірах, такі включення зустрічаються рідко. Здебільшого доказом включення є загальний вигляд шовку та хмар у метаморфічному синьому сапфірі. Хоча ці більш поширені включення можуть допомогти визначити географічне походження, їх слід використовувати як підтверджуючий доказ на додаток до хімічного аналізу, оскільки ці ознаки часто значно збігаються.

Внутрішній світ кашмірських сапфірів. Найбільш затребуваними є сапфіри з кашмірським родоводом. Класичні кашмірські сапфіри (рисунок 3.5) часто містять характерні включення, які можуть бути корисними для їх ідентифікації. Широко відомо, що кашмірські сапфіри також можуть містити певні діагностичні мінеральні включення, які можуть остаточно визначити їх походження. Наприклад, включення турмаліну, паргазиту (або рогової обманки) і подовженого, але часто корозійного циркону, як правило, можна вважати доказом кашмірського походження (рисунок 3.6). На жаль, такі мінеральні вкраплення дещо рідко зустрічаються в тонких каменях Кашміру.

Отже, те, що залишається, щоб розшифрувати походження кашмірського сапфіра, часто те саме, що й у інших сапфірів: візерунки шовку та хмари частинок різної текстури. Зокрема, особливості, які часто називають «хмарами з малюнком», можуть бути особливо корисними для кашмірських сапфірів. Візерунчасті хмари включають так звані драбинки, сніжинки та хвилясті стрингероподібні включення. Іншими корисними ознаками кашмірського походження є щільні хмари молочного кольору, розташовані у чітко визначених шестикутних візерунках. Термін «молочний» використовується для опису хмар, що складаються з субмікроскопічних частинок, які розсіюють світло, але не можуть бути розпізнані як окремі частинки в мікроскопі. Ці молочні хмари часто мають те, що описується як «блоковий» візерунок, де перетин шестикутних смуг відбувається у дещо

ступінчастому візерунку (рис. 3.7). Ці молочні смуги є причиною оксамитової текстури, якою так захоплюються вишукані кашмірські сапфіри.

Мінеральні включення уранініту іноді зустрічаються в кашмірських сапфірах, але не вважаються характерними, оскільки вони також зустрічаються в каменях з інших родовищ.



Рисунок 3.5– Кашмірський сапфір зі східчастою огранкою, приблизно 5 карат



Рисунок 3.6– Скупчення подовжених включень циркону часто можна побачити в кашмірських сапфірах

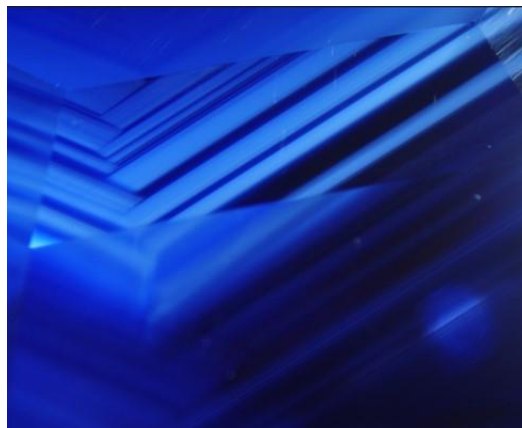


Рисунок 3.7– Щільні смуги молочного кольору з гострими краями зі ступінчастими шестикутниками у сапфірі свідчать про походження з Кашміру



Після більш ніж 10 років відділи польової гемології та дослідження GIA зібрали величезну кількість даних про гемологічні властивості блакитного сапфіра з основних родовищ по всьому світу. Незважаючи на ці зусилля, неминучий висновок, здається, полягає в тому, що часто існує значне перекриття між каменями з різних географічних місць, що ускладнює, а іноді й унеможлиблює визначення походження кожного синього сапфіра. У деяких випадках можуть бути корисними включення та мікроелементна хімія. Деякі сині сапфіри мають діагностичні мінеральні включення або характерні візерунки шовку, які допомагають відстежити камінь у певній географічній місцевості. Особливо для метаморфічних блакитних сапфірів камені зі Шрі-Ланки, М'янми, Кашміру або Мадагаскару часто мають характерні включення, які дозволяють остаточно визначити походження. Багато критеріїв, які використовуються для висновку про походження дорогоцінного каменю, випливають із багаторічного досвіду старших гемологів, які вивчають каміння. Впевненість у багатьох з цих визначень походження випливає зі спостереження за еталонними каменями, зібраними відділом польової гемології GIA, які підтвердили критерії, розроблені протягом багатьох років. Особливо для сапфірів, пов'язаних із базальтом, порівняння з надійними хімічними мікроелементами з контрольних зразків польової гемології може показати, що камінь відповідає лише одному можливому місці видобутку, підтверджуючи його походження. Але багато каменів, особливо каміння високого класу, які, як правило, дуже чисті, можуть мати неоднозначні сцени включення або так мало включень, що перешкоджають визначенню походження. Або профіль мікроелементів каменю може точно збігатися з довідковими даними з двох або більше різних географічних місць. Хоча визначення географічного походження блакитного сапфіра залишатиметься головним напрямком подальших досліджень GIA з метою вдосконалення та вдосконалення наших методів, очевидно, що жодна кількість додаткових даних або збір більш надійних зразків не розв'яже деякі з цих випадків, коли збіг даних виключає визначення походження.

### Висновки до розділу 3.

1. За останні кілька десятиліть визначення географічного походження чистих рубінів набуло все більшого значення в торгівлі дорогоцінними каменями. У гемологічній лабораторії рубіни, як правило, поділяються на дві групи залежно від хімічного складу мікроелементів: рубіни з мармурів (з низьким вмістом заліза) і рубіни з високим вмістом заліза. Рубіни з високим вмістом заліза зазвичай легко ідентифікуються на основі їх включень і профілів мікроелементів. Рубіни, що походять з мармурів, можуть бути більш складними, оскільки деякі родовища демонструють перекриття в деяких сценах включення. Але багато рубінів з мармурів, особливо бірманські камені з Могок і Монг Хсу, можна точно ідентифікувати на основі їхніх внутрішніх особливостей і профілів мікроелементів.

2. Існує значний збіг у гемологічних характеристиках між зразками з різних географічних місць, що ускладнює, а іноді й унеможлиблює визначення походження синього сапфіра. Деякі сині сапфіри мають діагностичні мінеральні включення або характерні візерунки шовку, які допомагають відстежити камінь у певній географічній місцевості. Але багато каменів, особливо сапфіри високого класу, які, як правило, дуже чисті, можуть мати неоднозначні сцени включення або так мало включень, що перешкоджають визначенню походження. У деяких випадках можуть бути корисними включення та мікроелементна хімія.

## 4 НАЙБІЛЬШ ТИПОВІ І ОСОБЛИВІ ВКЛЮЧЕННЯ У РУБІНАХ І САПФІРАХ РОДОВИЩ СВІТУ

### 4.1 Включення у рубінах

Рубін відтінку голубиної крові і бархатисті волошково-сині кашмірські сапфіри Індії видобувають в розсипах на півночі країни. Родовища Індії практично відпрацьовані, тому рубіни, сапфіри ювелірної якості можна зустріти лише в антикварних виробках.

Афганські рубіни характеризуються тонкими голками рутилу у вигляді невеликих скупчень. Дисперсні включення флюїду утворюють молочні площини по зональності. Є включення стрингерного типу, утворені з найдрібніших частинок, але вони також виявлені в рубінах з Таджикистану. Заповнені рідиною тріщини напруги у вигляді відбитків пальців є «візитною карткою» для в'єтнамських, таджицьких сапфірів, тому що вони генетично пов'язані з мармурами (рис. 4.1.).



Рисунок 4.1– Характерні включення в рубінах Афганістану з різних родовищ

У таджицьких рубінах, як і в афганських, домінуючими ознаками є заліковані тріщини (відбитки пальців) (рис. 4.2.). Індикаторами служать мінеральні включення з тріщинами напруги навколо (парасольки, гало) і сині (сапфірові) зони. Їх можна відрізнити від аналогічних ознак, характерних для в'єтнамських рубінів, по кутовому і дуже плоскому характеру синьо-блакитних зон. Ще один вид включень, характерний для таджицьких рубінів – мікрористаліки турмаліну. Слід зауважити, що і для пакистанських рубінів властиві включення турмаліну.



Рисунок 4.2– Характерні вклучення в рубінах Таджикистану з різних родовищ

У Танзанії зустрічаються прекрасні рубіни і строкаті сапфіри, часто з блідим забарвленням (рис. 4.3). У тому ж районі добувалися помаранчеві сапфіри. У 1980 р. ще одне родовище прозорого рубіна відкрито у провінції Морогоро. На кордоні з Мозамбіком відкрито два розсипних родовища сапфіру, багатих й іншими самоцвітами, а також присутні сапфіри з ефектом зміни кольору – вдень блакитно-коричневі, сірувато-фіолетові, а при штучному освітленні – сіруваті зелено-сині. В горах Матабу зустрічається зелена амфібол-цоїзитова порода з вкрапленістю великих кристалів рубіна до 4 см в діаметрі.

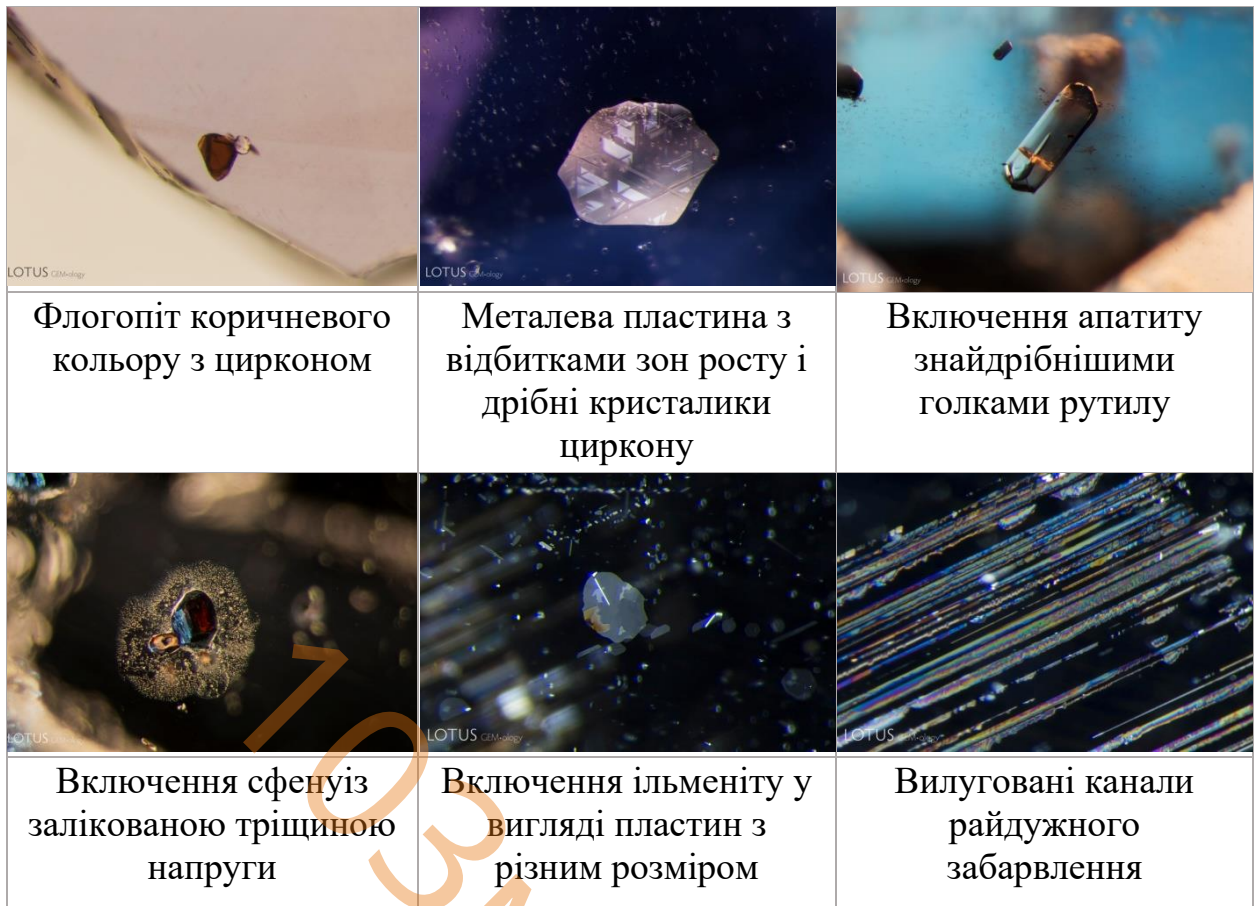


Рисунок 4.3– Характерні включення в рубінах Танзанії з різних родовищ

У таджицьких рубінах, як і в афганських, домінуючими ознаками є заліковані тріщини (відбитки пальців). Індикаторами служать мінеральні включення з тріщинами напруги навколо (парасольки, гало) і сині (сапфірові) зони. Їх можна відрізнити від аналогічних ознак, характерних для в'єтнамських рубінів, по кутовому і дуже плоскому характеру синьо-блакитних зон. Ще один вид включень, характерний для таджицьких рубінів – мікрокристалики турмаліну. Слід зауважити, що і для пакистанських рубінів властиві включення турмаліну.

Рубінове родовище Монтепез розташоване на північному сході Мозамбіку в провінції Кабо Дельгадо. Гірничодобувний район має два типи мінералізації: первинний і вторинний. У корінних породах рубіни знаходяться в тісній зв'язці з білим польовим шпатом, слюдою та темно-зеленими амфіболами. Рубіни первинного типу, як правило, представляють собою

плоскі кристали, зберігаючи свою первинну форму. Рубіни вторинного типу накопичилися в алювіальних відкладах.



Рисунок 4.4– Рубіни Монтепез у корінній породі і з алювію [21]

Родовища рубінів генетично приурочені до метаморфічних комплексів порід. Індикаторами для мозамбіцьких рубінів є мінеральні включення сірувато-зелених амфіболів і гексагональні слюдисті мінерали з тріщинами напруги. Також спостерігаються включення сульфідів і шпінелі. Мозамбіцькі рубіни також можуть містити хмари у вигляді найдрібніших частинок з характерними відбивними здатностями.

Родовища рубінів у Монг Хсу, М'янма, були відкриті зовсім недавно, наприкінці двадцятого століття. На щастя, рубіни Mong Hsu, як правило, мають характерні сцени включення, які дозволяють їх легко відокремити від рубінів з Mogok та інших рубінів, розміщених у мармурі. Оскільки темно-сині зони та розломи дуже поширені в рубінах Mong Hsu в їхньому природному стані, більшість каменів із цього родовища проходять термічну обробку при високих температурах. Ненагріті рубіни Mong Hsu часто відрізняються темно-синім

ядром. Однак ненагрітий матеріал з Mong Hsu зустрічається рідко. Частіше спостерігається біле каламутне ядро, утворене в процесі термічної обробки.

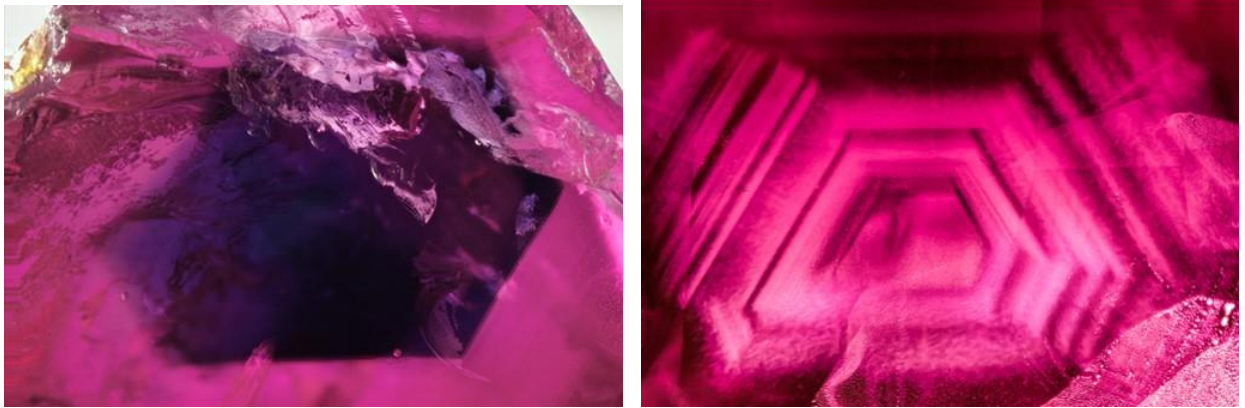


Рисунок 4.5—Темно-синє шестикутне ядро є ознакою походження ненагрітого рубіна Mong Hsu (ліворуч). Нагріті рубіни Mong Hsu часто ідентифікуються за щільними шестикутними білими хмарами в їх ядрах (праворуч)

Родовища рубінів у В'єтнамі, відкриті наприкінці двадцятого сторіччя, дали чудові рубіни виняткової якості, які не поступаються рубінам зі знаменитої долини Могок. Як і у випадку з більшістю мармурових рубінів, у різних географічних місцевостях існує тенденція до значного збігу їх властивостей, особливо коли йдеться про хімію мікроелементів. Однак в'єтнамські рубіни можуть мати характерні включення, які допомагають визначити їхнє походження. Особливо характерна наявність щільної кутастої молочної смуги (рис. 4.6). Грубі візерунчасті хмари, такі як сніжинки та драбини, відносно поширені у в'єтнамських рубінах і мають тенденцію бути більшими, ніж ті, що зустрічаються в рубінах. Грубий орієнтований шовк також можна побачити в деяких в'єтнамських рубінах, іноді нагадуючи шовк у рубінах Могок, хоча досвідчений геммолог зазвичай може розрізнити їх крапління. В'єтнамські рубіни часто мають зони синього кольору, які можуть бути дещо нерегулярними за своєю природою, а також мають гострий візерунок росту в деяких каменях. Теплова обробка часто використовується, щоб усунути зони синього кольору в цих рубінах, але це часто відбувається при досить низькій температурі, щоб шовк каменю не постраждав. Округлі



мінеральні кристали також можна побачити у в'єтнамських рубінах, хоча вони не вважаються діагностичними.

		
Світіння синім кольором і найдрібніші включення рутилу	Щільні молочні хмари	Зонування синім кольором
		
Мінеральні включення з щільними молочними хмарами	Рутиловий шовк з молочними хмарами	Голки рутилу, що утворюють т. зв. шовк

Рисунок 4.6–Характерні включення в рубінах В'єтнаму з різних родовищ

Мадагаскарські рубіни є ще одним східноафриканським новачком на ринку рубінів. Незважаючи на те, що вони ніколи не досягали комерційного значення Мозамбіку, і більша частина продукції є комерційним, деякі виняткові рубіни були отримані з Мадагаскару. Гемологічно та геологічно рубіни Мадагаскару найбільше схожі на рубіни Мозамбіку. Включення мусковіту іноді зустрічаються в рубінах з Мадагаскару, а також амфібол, який, як правило, може мати характерну морфологію з довгими, більш призматичними кристалами, схожими на стрижні (рис. 4.7.). Однак більш поширеним і характерним включенням в рубіни з Мадагаскару є циркон, особливо широко розповсюджені скупчення маленьких округлих цирконів. Також можна зустріти блокові та призматичні помаранчеві, коричневі або чорні вкраплення рутилу, що свідчить

про походження з Мадагаскару. Також можна зустріти хмари частинок, які часто складаються з коротких голок і дрібних частинок, але іноді з домішкою довгих голок (рис. 4.7.). Хмари частинок зазвичай демонструють чітке шестикутне розташування, і існує ймовірність сплутати їх із подібними деталями мозамбікських рубінів. Іноді мадагаскарські рубіни також містять кутасті молочні хмари, що не характерно для інших великих родовищ рубінів з високим вмістом заліза. Мадагаскарські рубіни, як правило, легко ідентифікувати в лабораторії на основі їх включень і хімічного складу мікроелементів.

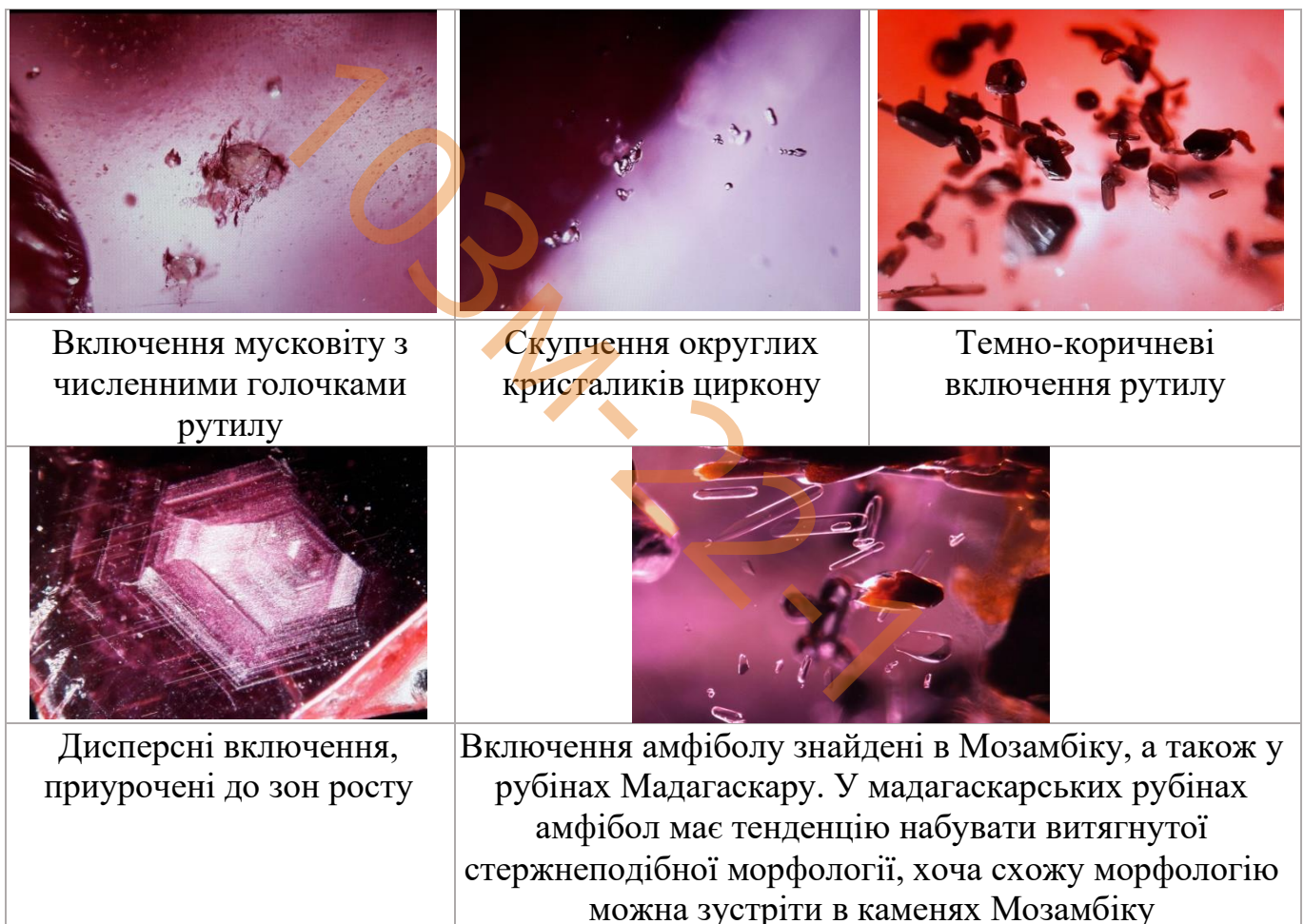


Рисунок 4.7 – Характерні включення в рубінах Мадагаскару з різних родовищ

## 4.2 Включення у сапфірах

Шрі-Ланка. Цейлонські сапфіри – національний камінь Шрі-Ланки. Поряд з корінними родовищами у мармурах і гнейсах навколо м. Ратнапура на площі близько 2000 км<sup>2</sup> знаходяться найбагатші розсипи рубіну і сапфіру. Для цих родовищ характерні різнокольорові сапфіри, зокрема блакитні цейлонські сапфіри з плямистим розподілом забарвлення, кольору морської хвилі, сапфіри-падпараджа, рубіни з суничним відтінком, рубіни і сапфіри з ефектом астеризму, сапфіри з ефектом зміни кольору.

Про метаморфічну природу ланкійських сапфірів говорять включення амфіболів, біотиту, уранініту, кальциту, циркону, зелена шпінель (табл. 4.6.). Це, по суті, протогенетичні включення, запозичені з вмисних метаморфічних порід. Аналогічні включення зустрічаються у сапфірах з родовищ М'янми, Мадагаскару, Індії (Кашмір), що свідчить про їх приналежність до єдиного генетичного типу, тобто метаморфічного.

Шрі-Ланка була важливим джерелом високоякісного блакитного сапфіра протягом багатьох тисячоліть протягом більшої частини історії людства. Ограновані камені часто виготовляють із необроблених сапфірів, які утворилися у вигляді біпірамідальних кристалів. Кілька мікрофотографій, що зображують типові включення в сапфірах Шрі-Ланки, показані на рисунках 4.8. і 4.9. Відмітною ознакою сапфірів Шрі-Ланки є довгі тонкі рутилові голки (рис. 4.8). У шріланкійському сапфірі цей довгий рутиловий шовк часто відносно рідкісний і рівномірно розподілений, з поодинокими голками, що демонструють виняткову суцільність, іноді перетинаючи весь камінь. Проте шовк у шрі-ланкійських сапфірах також може зустрічатися у вигляді тонких пластинок неправильної форми або у вигляді більш щільно упакованих хмар частинок, які зазвичай складаються з коротших голок, але це не обов'язково вказує на походження Шрі-Ланки. Прямолінійні, частково загоєні переломи частіше зустрічаються у сапфірах Шрі-Ланки, ніж у сапфірах з інших джерел. Ці зигзагоподібні відбитки пальців вважаються більш вказівними на походження Шрі-Ланки, і їх спостереження може вплинути на висновок про

географічне походження. Те ж саме стосується негативних кристалів, заповнених  $\text{CO}_2$ , які зустрічаються в метаморфічних сапфірах з багатьох місцевостей, але часто асоціюються зі Шрі-Ланкою в умах багатьох гемологів і можуть дати перше враження про це походження (рис. 4.8.). Сапфіри Шрі-Ланки часто мають ці негативні кристали, розташовані в площинах, схожих на відбитки пальців. Подібним чином зелена ганоспінель колись вважалася діагностичною для сапфірів Шрі-Ланки. Хоча зелену шпінель тепер можна побачити в метаморфічних сапфірах з інших родовищ, вона все ще свідчить про походження Шрі-Ланки. На жаль, зелені гахноспінелі є рідкісними включеннями. Включення піриту, часто в темних, круглих кулястих кристалах, також частіше зустрічаються в каменях Шрі-Ланки, ніж в інших родовищах, і також можуть вважатися натяками на походження Шрі-Ланки, але не остаточним доказом. Інші мінеральні включення, які іноді можна побачити в сапфірі Шрі-Ланки, це слюда, уранініт, кальцит і циркон. Однак такі мінеральні включення також зустрічаються в сапфірах з інших родовищ і не вважаються характерними для походження Шрі-Ланки. Шрі-ланкійські сапфіри часто демонструють кольорові зони у вигляді прямих чергуючих смуг синіх і безбарвних зон, як правило, з різкими межами.

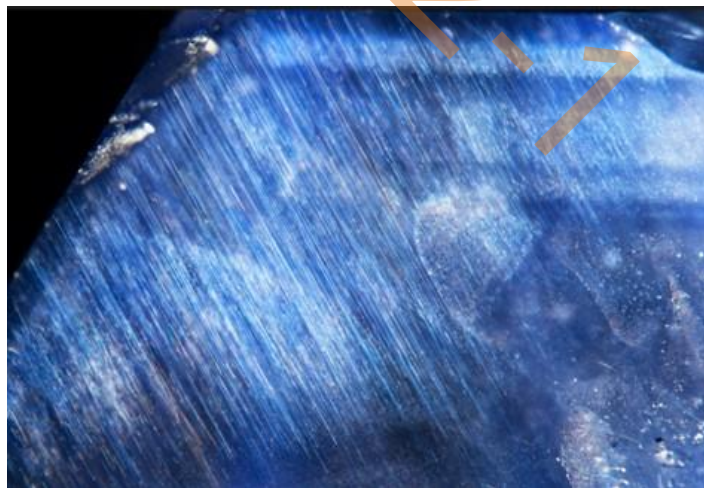


Рисунок 4.8 – Довгий, тонкий рутиловий шовк у цьому сапфірі свідчить про його походження зі Шрі-Ланки.



Рисунок 4.9— Характерні включення в сапфірах Шрі-Ланці з різних родовищ

М'янма - ще одне класичне джерело сапфірів. Каміні, вироблені з Могок Кам'яного Тракту, іноді мають погано здобуту репутацію надто темних, тоді як насправді М'янма виготовила багато виняткових каменів із яскравими та яскраво-синіми відтінками, які конкурують з кольорами каменів з інших класичних джерел (рис. 4.10.). У той час як шрі-ланкійські сапфіри мають довгий, тонкий шовк, бірманські сапфіри, як вважають, характеризуються коротшим, світловідбиваючим рутиловим шовком, який іноді зустрічається у формі наконечника стріли. Зауважте, що, незважаючи на ці загальні відмінності, природа шовкових візерунків на каменях із Шрі-Ланки, М'янми та інших джерел значно збігається. Крім того, багато каменів мають шовк або інші вкраплення, які, здається, не є характерними для будь-яких родовищ. Далі

наведено опис загальноприйнятих характеристик бірманського шовку та інших внутрішніх особливостей.



Рисунок 4.10– Сапфір з М'янми, приблизно 8 карат.

Шовк у бірманських сапфірах може бути щільно упакований у дещо дискретні смуги (рис. 4.11.), і багато бірманських сапфірів мають поєднання короткого та довгого шовку. Часто шовк має гніздовий візерунок, подібний до соломи, в якому решітка шовку щільно зрослася сама з собою, хоча може знадобитися обережність, щоб відрізнити таку сцену включення від довгого шовку, який іноді можна побачити на сапфірах Шрі-Ланки. Рутіловий шовк у бірманських сапфірах, як правило, має дещо сплющений вигляд. Результатом часто є дикі відображення спектральних кольорів через ефект тонкої плівки при використанні інтенсивного оптоволоконного освітлення лише під правильним кутом. Двійникування зазвичай спостерігається в бірманських сапфірах, особливо з пересічними трубочками, іноді заповненими діаспорою або іншими (окси)гідроксидами алюмінію, і може використовуватися як доказ, що підтверджує визначення походження. Бірманські сапфіри зазвичай однорідного кольору. При спостереженні колірні зони розмиті або «нечіткі» без чітких меж, які спостерігаються в метаморфічних сапфірах з інших родовищ.

Мінеральні включення, які іноді зустрічаються в бірманських сапфірах, включають кальцит, слюду та циркон, хоча жодне з них не вважається характерним для бірманського походження.



Рисунок 4.11– Характерні включення в сапфірах М'янмі (Бірма) з різних родовищ

Мадагаскар виробляє метаморфічні сапфіри (рис. 4.12.) з кількох географічно відмінних родовищ. Крім того, деякі райони видобутку, такі як Ілакака, є великими вторинними родовищами, в яких сапфіри, ймовірно, були отримані з кількох різних геологічних утворень. З цих причин Мадагаскар виробляє сапфіри з ширшим спектром властивостей і включень, ніж де-небудь ще. Крім того, кінцевим результатом цього геологічного різноманіття є те, що мадагаскарські сапфіри можуть збігатися (іноді значно) з метаморфічними сапфірами з усіх інших основних джерел. Тим не менш, деякі сцени включення вважаються більш характерними для мадагаскарських сапфірів і можуть бути використані для ідентифікації цього походження. Наприклад, яскраво виражена молочна смуга часто може вказувати на походження з Мадагаскару. Молочні хмари з незвичайними або хаотичними геометричними візерунками, які часто виникають у тонко повторюваних шарах як так звані складені молочні хмари, також можуть свідчити про те, що сапфір був видобутий на Мадагаскарі.

Інколи потрібне дуже досвідчене око, щоб відрізнити шестикутні молочні смуги кашмірського сапфіру від тих, які можна побачити на невеликій підмножині кашмірських сапфірів з Мадагаскару. У кашмірських сапфірах перетин цих смуг часто має ступінчастий візерунок, тоді як на Мадагаскарі їх перетин часто є більш нерегулярним і хаотичним. Іноді можна побачити сильну зернистість та інтенсивне кольорове зонування, іноді з хаотичним або нерегулярним (але все ще геометричним) малюнком. Зауважте також, що багато мадагаскарських сапфірів мають хмари, які здаються молочними при малому збільшенні, але окремі частинки можна помітити при більшому збільшенні в гемологічному мікроскопі (наприклад, приблизно 40-кратне збільшення). Такі хмари слід називати «частинковими», а не «молочними». Вони відрізняються від класичних кашмірських молочних хмар. Нарешті, хоча трубки травлення зустрічаються майже в усіх метаморфічних сапфірах, вони, як правило, більш поширені в каменях Мадагаскару і, разом з іншими доказами, можуть привести до висновку про географічне походження Мадагаскару. Мінеральні вclusions, які іноді зустрічаються в сапфірах Мадагаскару, включають кальцит, ураніт, циркон і слюду, хоча жодне з них не можна вважати характерним для походження з Мадагаскару, оскільки вони зустрічаються в сапфірах з багатьох метаморфічних родовищ.



Рисунок 4.12– Синій сапфір з Мадагаскару, 11,16 кар.



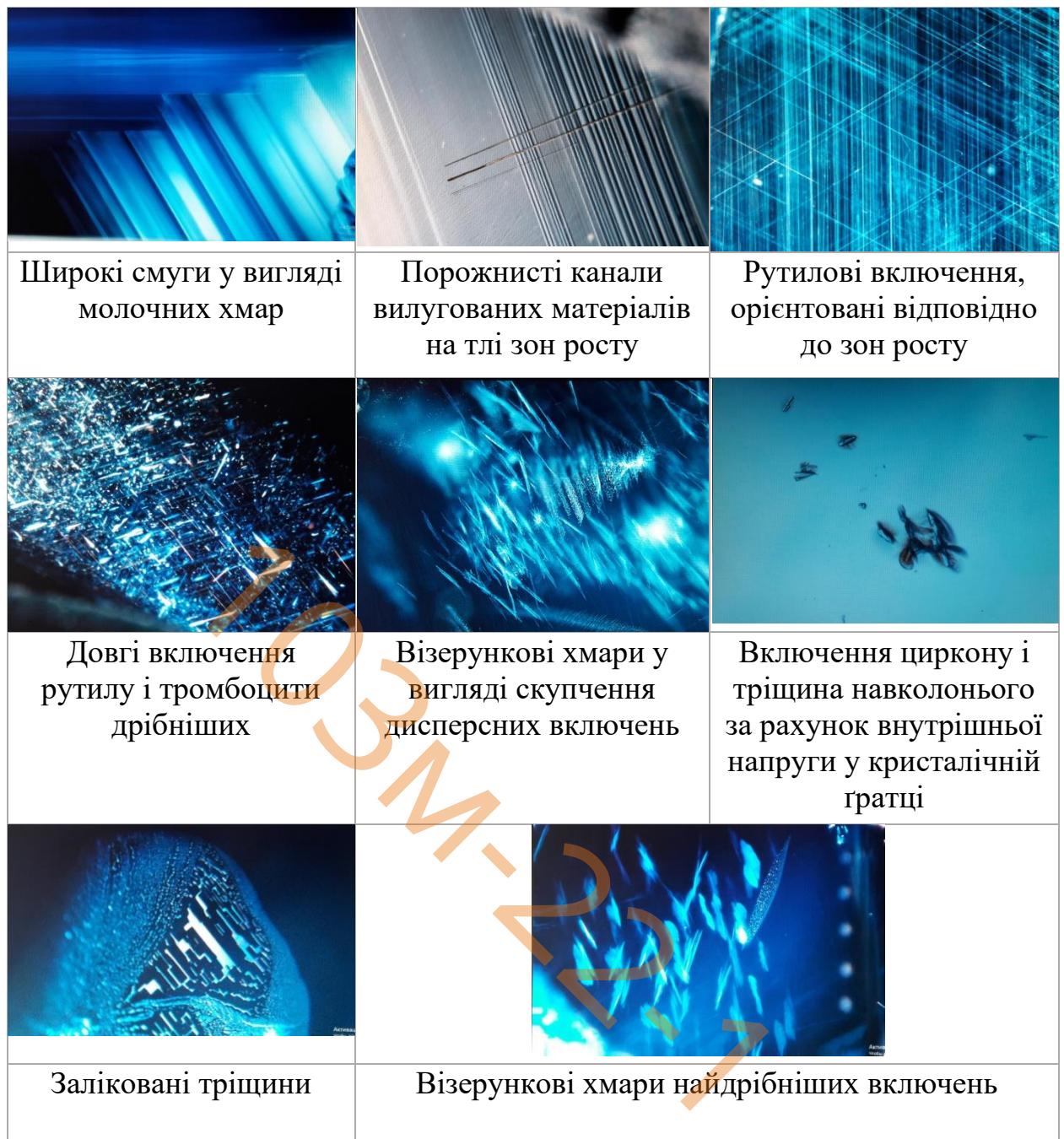


Рисунок 4.13– Характерні включення в сапфірах Мадагаскару з різних родовищ

Як згадувалося вище, мадагаскарські сапфіри іноді можуть містити вкраплення, які імітують майже будь-яке інше джерело метаморфічних сапфірів. Подвійні та короткі, короткі світловідбиваючі голки та шовк наконечників стріл, знайдений у сапфірах Мадагаскару, показаних на рисунках, могли б інакше вказувати на бірманське походження. Походження з

Кашміру стало особливо проблемним у лабораторії після того, як мадагаскарські сапфіри були знайдені з деталями, схожими на Кашмір, такими як візерункові хмари, показані на рисунках. Мадагаскарські сапфіри також іноді можуть містити злегка подовжені включення циркону, створюючи принаймні початкове враження сцени з кашмірськими включеннями. Хоча візерунчасті хмари в мадагаскарських сапфірах можуть мати загальний вигляд, відмінний від тих, що виявляються в кашмірських сапфірах, є достатній потенціал перекриття, особливо при першому огляді, що ці камені повинні бути ретельно досліджені в лабораторії.

Іноді бірманські сапфіри можуть залишитися невпізнаними, якщо їх включення особливо нагадують сапфіри з Мадагаскару або Шрі-Ланки. Однак іноді ситуація не така вже й жахлива. Бірманський сапфір на перший погляд може здатися Шрі-Ланкійським із його довгим, тонким і нещільно укладеним рутиловим шовком. Однак при більш детальному розгляді та використанні інтенсивного волоконно-оптичного світла можна побачити світловідбиваючі та коротші рутилові голки та шовк із наконечниками стріл, що більше свідчить про справжнє бірманське походження каменю. Нігерія. В лужних базальтах (плато Mambilla) знаходиться родовище синього, зеленого і жовтого сапфіра (штат Taraba). Сапфіри мають характерний насичений синій колір і відмінну чистоту. Маса необроблених каменів іноді досягає 300 карат [19].

Нігерійські сапфіри, як показують дослідження, схожі з сапфірами родовищ Камбоджі, Південного В'єтнаму та Австралії.

Включення в нігерійських сапфірах через малі розміри кристалів зустрічаються вкрай рідко. Іноді дослідникам вдається виявити включення пірохлору і слюдистих мікромінералів з тріщинами напружень (рис. 4.14).

Мадагаскарські сапфіри важко відокремити від інших метаморфічних сапфірів (Шрі-Ланка, М'янма, Кашмір). Мінеральні включення, що іноді зустрічаються в сапфірах і представлені кальцитом, уранінітом, цирконом і слюдою, не можна вважати характерними для даного типу, оскільки вони зустрічаються в сапфірах інших метаморфічних родовищ.

Тим не менш, деякі ознаки вважаються більш характерними для мадагаскарських сапфірів і можуть використовуватися для ідентифікації їх походження. Наприклад, яскраво виражені молочні смуги. Молочні хмари з незвичайними або хаотичними геометричними візерунками, часто зустрічаються в тонко повторюваних шарах зростання. На користь мадагаскарського походження свідчать довгі пронизливі канали вилуговування.

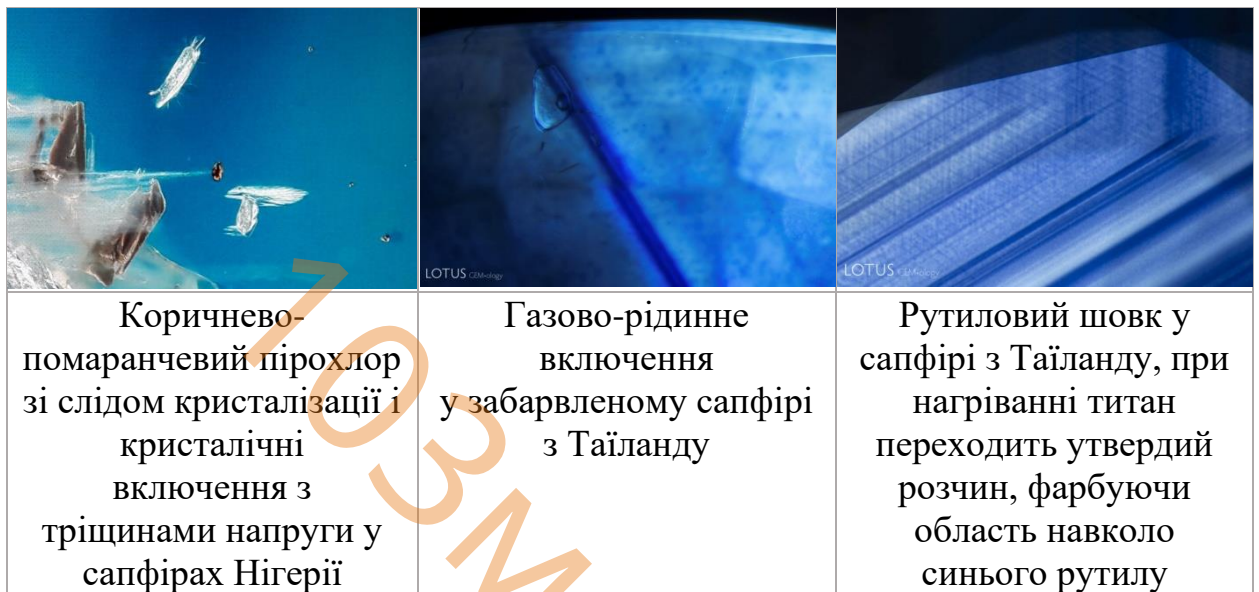


Рисунок 4.14– Характерні включення в сапфірах Нігерії з різних родовищ

Австралія. Перші великі родовища сапфіру в базальтах. Типовий австралійський анакський або квінслендський сапфір характеризується різноманітним забарвленням, іноді дуже густий, часто зональний з поєднанням жовтого кольору із зеленим і синім. При штучному освітленні глибокий синій колір цих каменів стає чорнильним, зеленуватим або майже чорним. Тому більшість такої сировини піддається термообробці.

Сапфір має ознаки, характерні для базальтових родовищ: яскраво виражену зональність, включення пірохлору, кальциту (рис. 4.15.).

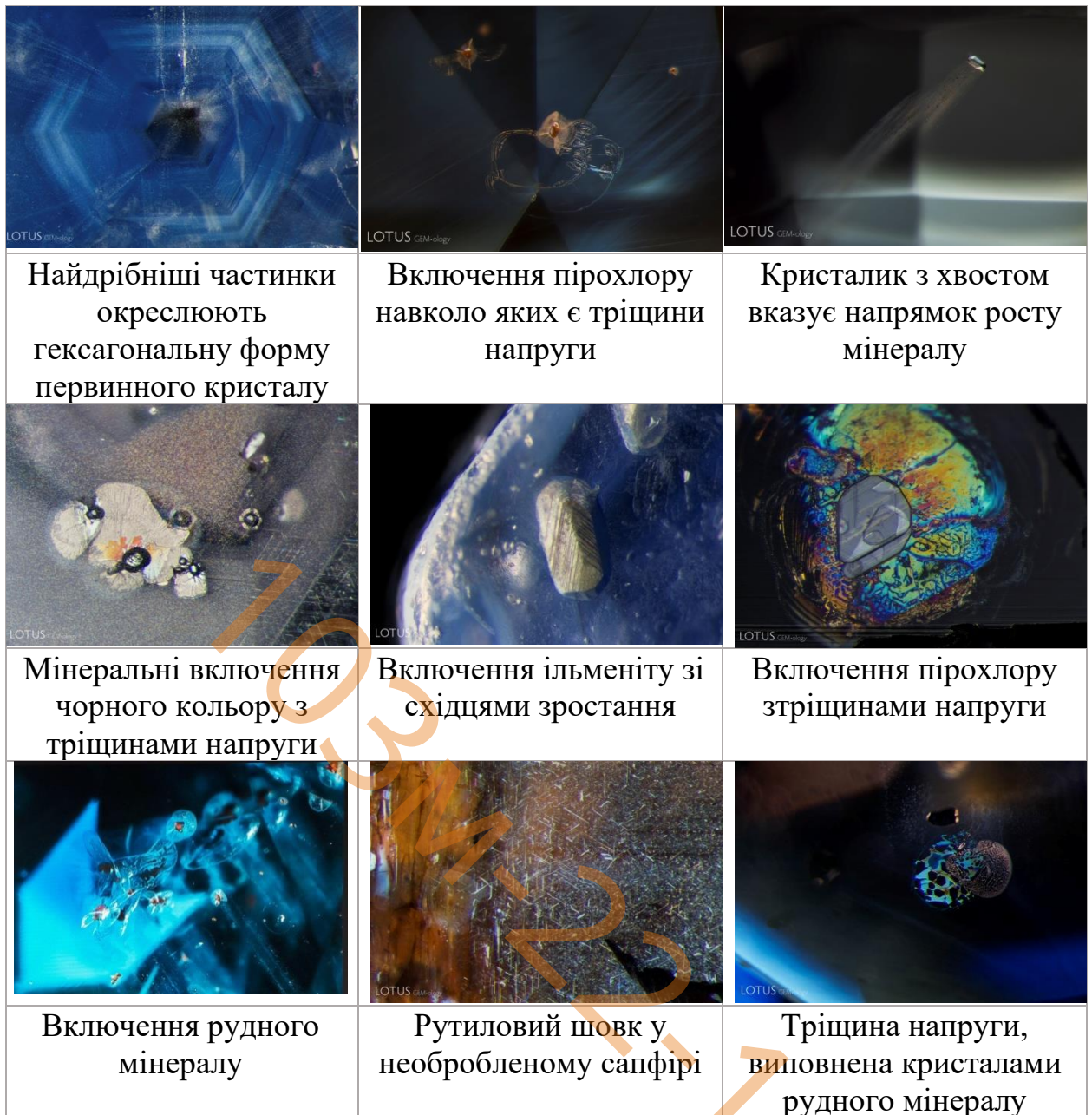


Рисунок 4.15 – Характерні включення в сапфірах Нігерії з різних родовищ

Зустрічаються камені з шовковистим блиском, астеризмом і ефектом зміни кольорів. У західній Австралії на родовищі Пуна рубін і сапфір зустрічаються разом з олександритом, смарагдом і топазом. Відомі знахідки напівпрозорого рубіна-баркліта, придатного лише для огранювання кабошоном.

Сапфіри Індії приурочені до карбонатних порід (мармурів) у північно-східній частині країни (Кашмір), їх прояви поширюються на територію Непалу. Індикаторами для кашмірських сапфірів є включення турмаліну, амфіболу і подовженого, але часто кородованого циркону (рис. 4.16.).

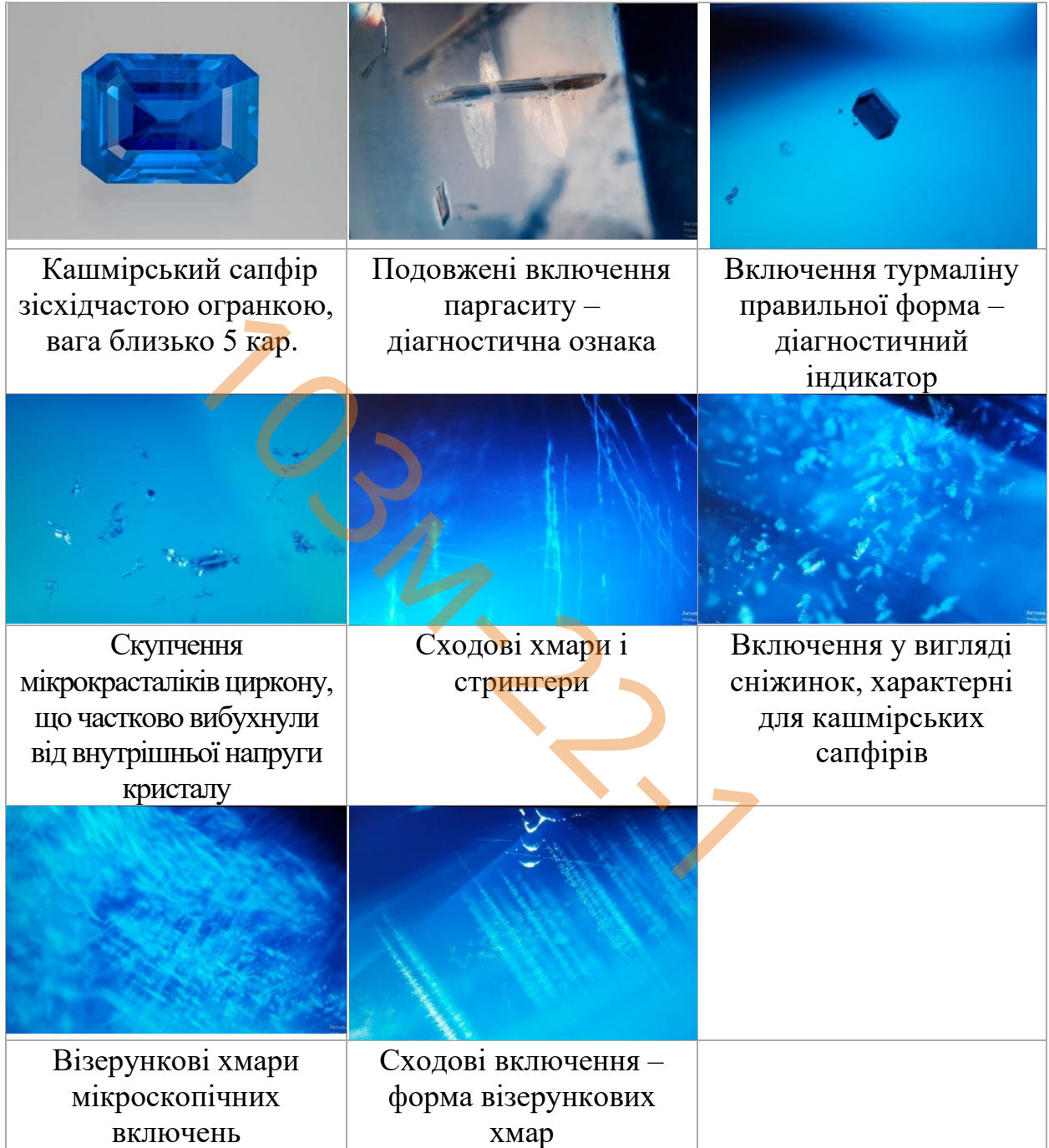


Рисунок 4.16– Характерні включення в сапфірах Індії з різних родовищ

Часто спостерігаються візерункові хмари, які включають в себе так звані сходи, сніжинки і хвилеподібні струноподібні включення (стрингери). Також в якості індикаторів можуть служити щільні молочні хмари (субмікроскопічні

частинки, що розсіюють світло), розташовані в чітко визначених гексагональних візерунках.

Висновки до розділу 4.

1. Блакитні сапфіри метаморфічного генезису зі Шрі-Ланки, М'янми, Кашміру або Мадагаскару часто мають характерні включення, які дозволяють остаточно визначити походження. Індикаторами для кашмірських сапфірів є включення турмаліну, амфіболу і подовженого, але часто кородованого циркону. Часто спостерігаються візерункові хмари, які включають в себе так звані сходи, сніжинки і хвилеподібні струноподібні включення. Також в якості індикаторів можуть служити щільні субмікроскопічні частинки, що розсіюють світло (молочні хмари), розташовані у гексагональних візерунках.

Індикаторними включеннями для сапфірів Шрі-Ланки вважається наявність довгих тонких голок з рутилу. У ланкійському сапфірі ці видовжені включення рутилу іноді перетинають весь камінь. Зустрічається і специфічний шовк у вигляді тонких пластинок слюди, що утворюють щільно упаковані хмари. Ланкійські сапфіри також часто демонструють кольорові ефекти у вигляді прямих чергованих смуг синіх і безбарвних зон, зазвичай з різкими межами.

Бірманські сапфіри мають шовк за рахунок голчастого рутилу, який щільно упакований в кілька окремих зон росту. Зустрічаються канали вилуговування, іноді заповнені гідроксидами алюмінію, і може використовуватися як доказ, що підтверджує визначення походження. Сапфіри зазвичай мають однорідний колір. Мінеральні включення, що іноді зустрічаються у цих сапфірах і представлені кальцитом, слюдою і цирконом, хоч і не вважаються характерними для бірманського походження, але вказують на генетичний тип.

Деякі ознаки вважаються більш характерними для мадагаскарських сапфірів і можуть використовуватися для ідентифікації їх походження. Наприклад, яскраво виражені молочні смуги з незвичайними або хаотичними геометричними візерунками, що часто зустрічаються в тонко повторюваних

шарах зростання. На користь мадагаскарського походження свідчать також довгі пронизливі канали вилуговування.

2. Заповнені рідиною тріщини напруги у вигляді відбитків пальців є «візитною карткою» для в'єтнамських, таджицьких сапфірів, тому що вони генетично пов'язані з мармурами. Афганські рубіни характеризуються тонкими голками рутилу у вигляді невеликих скупчень. Дисперсні включення флюїду утворюють молочні площини по зональності. Є включення стрингерного типу, утворені з найдрібніших частинок, але вони також виявлені в рубінах з Таджикистану. Індикаторами служать мінеральні включення з тріщинами напруги навколо (парасольки, гало) і сині (сапфірові) зони. Їх можна відрізнити від аналогічних ознак, характерних для в'єтнамських рубінів, по кутовому і дуже плоскому характеру синьо-блакитних зон. Ще один вид включень, характерний для таджицьких рубінів (але і для пакистанських теж) – мікрокристаліки турмаліну.

Мадагаскарські рубіни характеризуються включеннями мусковіту, найбільш поширеними є циркон, рутил у вигляді призматичних кристаликів оранжевого, коричневого, а іноді і чорного кольорів (додаток 8). Поряд з цими включеннями зустрічаються своєрідні хмари, що складаються з коротких і довгих голок рутилу, а також мікродисперсних частинок.

Іноді в цих рубінах зустрічаються скупчення дисперсних частинок згідно зонам росту, що не характерно для інших великих родовищ рубіну з високим вмістом заліза. Мадагаскарські рубіни, як правило, досить легко ідентифікувати на підставі включень і хімічного складу мікроелементів.

Бірманські рубіни, як багато інших рубінів метаморфічних родовищ, містять включення апатиту, рутилу, біотиту. Для рубіну характерна шкаралупувата поверхня, викликана турбулентним і швидким зростанням кристалів. Спостерігаються різні кольорові зони – червоні і безбарвні, сині. Бірманські рубіни можна ідентифікувати за характерними включеннями, такими як райдужні короткі голки.

## 5 РЕНТГЕН-ФЛЮОРЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ ЗРАЗКІВ РУБІНІВ І САПФІРІВ З НАВЧАЛЬНОЇ КОЛЕКЦІЇ КАФЕДРИ

Нами було досліджено 10 зразків рубінів і сапфірів природного походження, деякі з них були облагородженими (рис. 5.1).



Рисунок 5.1– Досліджувані зразки рубінів і сапфірів

Для аналізу рубінів і сапфірів з колекції кафедри загальної і структурної геології нами було використано кількісну методику визначення елементів-домішок у складі корундів методом рентгенофлуоресцентного аналізу, розроблену фахівцями Державного гемологічного центру України (рис. 5.2), яка дозволяє отримати інформацію про генезис корундів [12].

Вміст металів визначено рентген-флуоресцентним аналізатором «ElvaX Plus», аналітик к.т.н Коверя А.С. Результати спостережень наведено у табл. 2.

Сапфіри, відповідно до відомої серед науковців діаграми співвідношення оксидів Fe і Ti та Cr і Ga поділяються на дві великі групи – з метаморфічних і магматичних родовищ. На діаграмі нижче (рис. 5.3) можна бачити відповідні зони, де згруповані метаморфічні дорогоцінні сапфіри з розсіпів Ілакака на Мадагаскарі, Ратнапура на Шрі-Ланці та Могок у М'янмі, а також магматичні сапфіри з розсіпів Бо Плой і Канчанабурі в Таїланді і



Чангле в Китаї. Також показано хімічне поле сапфірів синьо-зелено-жовтого кольору (BGY blue-green-yellow).

Таблиця 5.1– Результати вивчення зразків рубінів з колекції ДГЦУ [2]  
(високозалістисті рубіни – верхнє поле, малозалістисті рубіни – нижнє)

№ з/п	Номер зразка	Методика емпіричного калібрування				
		TiO <sub>2</sub> (СКВ)	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (СКВ)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (СКВ)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (СКВ)	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (СКВ)
1.	Ук-75	0,025 (0,012)	0,019 (0,009)	0,74 (0,073)	1,12 (0,58)	0,043 (0,044)
2.	Ук-90	0,013 (0,012)	0,019 (0,009)	0,4 (0,073)	1,07 (0,58)	0,009 (0,002)
3.	Ук-69	0,13 (0,116)	<LOD (0,000)	0,4 (0,256)	1,07 (0,35)	0,009 (0,002)
4.	Ук-50	0,095 (0,053)	<LOD (0,000)	0,56 (0,042)	0,41 (0,263)	<LOD (0,000)
5.	Кс-28	0,066 (0,021)	0,023 (0,006)	0,67 (0,120)	<0,013 (0,000)	0,039 (0,021)
6.	Кс-27	0,13 (0,031)	0,071 (0,018)	0,91 (0,124)	0,031 (0,019)	0,016 (0,006)
7.	Кс-26	0,13 (0,018)	0,061 (0,005)	1,1 (0,067)	0,016 (0,004)	<LOD (0,000)
8.	Кс-41	0,14 (0,009)	0,052 (0,012)	0,53 (0,016)	0,016 (0,002)	0,027 (0,006)

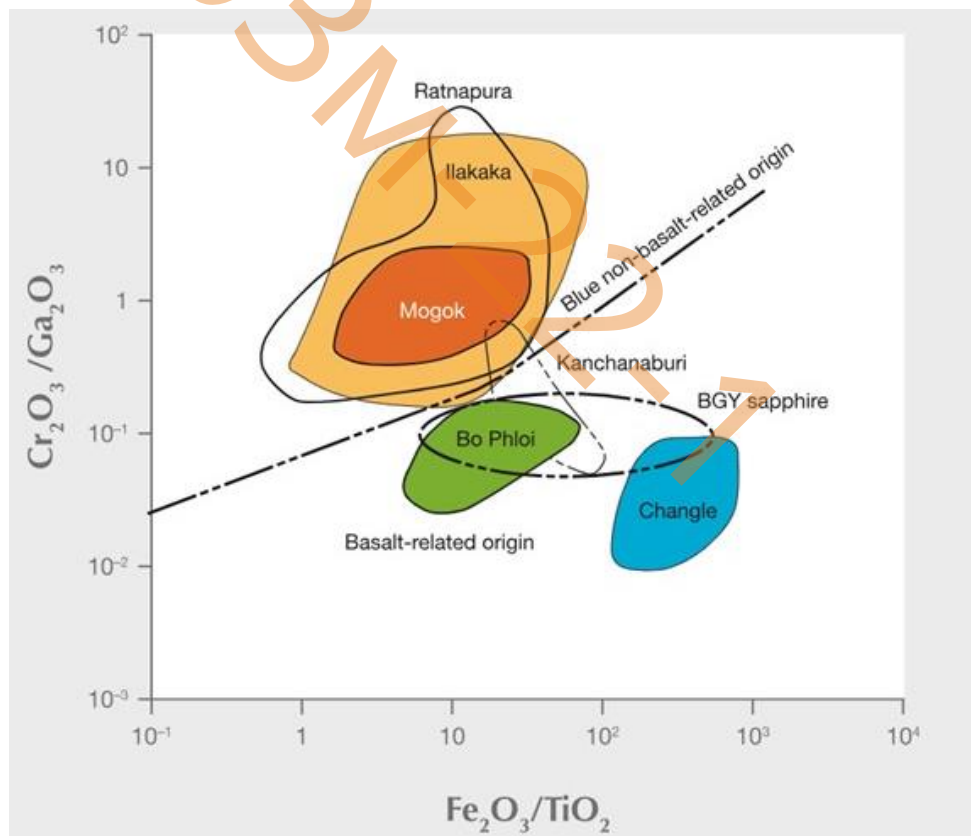


Рисунок 5.2 – Діаграма Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> проти Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, яка використовується для геологічного розрізнення блакитних сапфірів метаморфічного та базальтового походження [5]

Таблиця 5.2–Вміст елементів-хромофорів у досліджуваних зразках, у відсотках

№	Різновид	$Fe_2O_3$	$Cr_2O_3$	$V_2O_5$	$TiO_2$	$CaO$	$SiO_2$	Регіон або країна
1	Рубін	-	1,290	-	2,203	-	13,768	М'янма (Монг-Хсу)
2	Рубін	1,317	0,770	0,337	0,638	1,934	2,363	Камбоджа, Таїланд
3	Сапфір зелений	1,899	0,008	-	-	-	-	Таїланд
4	Сапфір-падпараджа	1,287	0,118	-	-	-	-	Шрі-Ланка
5	Сапфір	1,723	0,006	0,006	0,045	-	-	Камбоджа, Таїланд
6	Сапфір облагородж.	2,615	-	0,339	-	-	-	Таїланд
7	Рубін не огранований	0,222	1,223	0,319	-	6,678	6,134	Таджикістан
8	Рубін облагороджений	0,672	0,694	-	0,063	-	2,207	Гренландія, Мадагаскар
9	Сапфір	-	-	-	0,203	-	-	? дифузія Ті
10	Сапфір	2,383	-	-	-	-	-	Таїланд

За результатами РФА встановлено, що два зразки рубінів з колекції кафедри мають походження, пов'язане з мармурами – це регіон Монг-Хсу у М'янмі (відсутність Fe) і Таджикистан, а зразки з високим вмістом заліза походять з метаморфічних родовищ Гренландії або Мадагаскару (зразок характеризується відсутністю Ca) і базальтів Південно-Східної Азії (Камбоджа, Таїланд).

Сині сапфіри без облагороження мають походження виключно з базальтів (Камбоджа, Таїланд, Шрі-Ланка).

Наявність значної кількості Si у зразках рубінів чітко дозволяє говорити про їх облагороження методом склозаповнення, а наявність Ti за відсутності Fe у зразку синього сапфіру – про облагороження методом дифузії.

Наведені вище результати є висновками до розділу 5.

## ВИСНОВКИ

1. Рубіни магматичного генезису відомі як ксенокристали або зустрічаються в ксенолітах, розміщених у магматичних породах, таких як лужні базальти (Мадагаскар та інші). Другім підтипом такого генезису є ксенокристали рубіна в кімберліті (ДР Конго).

2. Рубіни метаморфічного генезису відомі на:

- родовищах метаморфізованих основних і ультраосновних порід – Монтепуес (Мозамбік), регіон Бекілі-Вохібори (Мадагаскар) – і у мармурі (знаменитий пояс Могок у М'янмі);

- метаморфо-метасоматичних родовищах, що характеризуються високою взаємодією флюїд-порода та метасоматозом (десилікатні пегматити, Кенія), метасоматити у метаморфізованих мафічних і ультрамафічних порід (Аапалутток, Гренландія), у мармурових, і метасоматично-метаморфічних відкладеннях, пов'язаних із зоною зсуву або контрольовані складками в різних субстратах (Мадагаскар, Танзанія).

3. Магматичні родовища сапфірів включають представлені лужними базальтами, як у східній Австралії, Таїланді і Камбоджі, Нігерії та Ефіопії, а також лампрофірами і сієнітами, як у Монтані (США), Гарба-Тула (Кенія), Ambondromifehy (північ Мадагаскару).

4. Метаморфічні родовища сапфірів поділяються на два підтипи:

- метаморфічні родовища *sensu stricto* у мармурі (М'янма) і мафічних та ультраосновних породах (Шри-Ланка, Мадагаскар);

- метаморфо-метасоматичні родовища, що характеризуються високою взаємодією флюїд-порода та метасоматизмом (Кашмір, родовища центральної частини Мадагаскару, Умба і Сонгеа у Танзанії тощо)

5. Найбільш коштовні сапфіри, що походять з Кашміру, мають індикаторні включення турмаліну, амфіболу і подовженого, але часто кородованого циркону. Часто спостерігаються візерункові хмари, які включають в себе так звані сходи, сніжинки і хвилеподібні струноподібні

включення. Також в якості індикаторів можуть служити щільні субмікроскопічні частинки, що розсіюють світло (молочні хмари), розташовані у гексагональних візерунках.

6. Найбільш коштовні рубіни з Могок (М'янма), як багато інших рубінів метаморфічних родовищ, містять включення апатиту, рутилу, біотиту. Для них характерна шкаралупувата поверхня, викликана турбулентним і швидким зростанням кристалів. Спостерігаються різні кольорові зони – червоні і безбарвні, сині. Бірманські рубіни можна ідентифікувати за характерними включеннями, такими як райдужні короткі голки.

7. За результатами проведених нами досліджень РФА встановлено, що два зразки рубінів з колекції кафедри загальної та структурної геології мають походження, пов'язане з мармурами – це регіон Монг-Хсу у М'янмі (відсутність Fe) і Таджикистан, а зразки з високим вмістом заліза походять з метаморфічних родовищ Гренландії або Мадагаскару (зразок характеризується відсутністю Ca) і базальтів Південно-Східної Азії (Камбоджа, Таїланд). Сині сапфіри без облагородження мають походження виключно з базальтів (Камбоджа, Таїланд, Шрі-Ланка). Наявність значної кількості Si у зразках рубінів чітко дозволяє говорити про їх облагородження методом склозаповнення, а наявність Ti за відсутності Fe у зразку синього сапфіру – про облагородження методом дифузії.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Giuliani G., Groat L., Fallick A., Pignatelli I., Pardieu V. (2020). Ruby Deposits: A Review and Geological Classification. <https://doi.org/10.3390/min10070597>
2. Giuliani G., Groat L. (2019). Geology of Corundum and Emerald Gem Deposits: A Review. *Gems&Gemology*, 4. URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-geology-of-corundum-and-emerald-gem-deposits>
3. Белєвцев О.Р., Грущинська О.В., Ємельянов І.О., Андрєєв О.О., Ковтун О.В. (2019). Дослідження домішкового складу рубінів з колекції ДГЦУ методом кількісного рентген-флюоресцентного аналізу. *Коштовне та декоративне каміння*, 4, 15-18.
4. Palke A., Saeseaw S., Renfro N., Sun Z., McClure Sh. (2019). Geographic Origin Determination of Blue Sapphire. *Gems&Gemology*, 4. URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-blue-sapphire-geographic-origin-determination>
5. Palke A., Saeseaw S., Renfro N., Sun Z., McClure Sh. (2019). Geographic Origin Determination of Ruby. *Gems&Gemology*, 4. URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-ruby-geographic-origin-determination>
6. The Geology and Genesis of Gem Corundum Deposits (2018). [https://www.researchgate.net/profile/AeFallick/publication/271198687\\_The\\_Geology\\_and\\_Genesis\\_of\\_Gem\\_Corundum\\_Deposits/links/5b45bde20f7e9b1c722387ba/The-Geology-and-Genesis-of-Gem-Corundum-Deposits.pdf](https://www.researchgate.net/profile/AeFallick/publication/271198687_The_Geology_and_Genesis_of_Gem_Corundum_Deposits/links/5b45bde20f7e9b1c722387ba/The-Geology-and-Genesis-of-Gem-Corundum-Deposits.pdf)
7. The Geographic Origin Dilemma. URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-geographic-origin-dilemma>
8. Corundum Source Types. URL: <https://www.gia.edu/corundum-report-cover-source-type>

9. Фізико-хімічні дослідження синіх сапфірів. URL: [https://www.researchgate.net/publication/323520544\\_Fiziko-himicni\\_doslidzenna\\_sinih\\_sapfiriv](https://www.researchgate.net/publication/323520544_Fiziko-himicni_doslidzenna_sinih_sapfiriv)
10. Rubies: Connecting Sources, Treatment and Science (2020). *GIA Knowledge Sessions Webinar Series*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=rWbKmTcu9T0&t=43s>
11. Sapphires: From Ceylon to Ethiopia (2021). *GIA Knowledge Sessions Webinar Series*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=lazbcA2ieR4&t=173s>
12. Семенченко В.Ю. (2023). Щодо особливостей визначення географічного походження рубінів і сапфірів. *Молодь: наука та інновації: матеріали наукової конференції студентів і молодих науковців (НТУ «Дніпровська політехніка», 23 листопада 2023 р.)*. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка».
13. A Review of Analytical Methods Used in Geographic Origin Determination of Gemstones. (2019). URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-analytical-methods-geographic-origin-determination-gemstones>
14. Sapphire and Ruby. (n.d.). URL: <https://www.ga.gov.au/education/minerals-energy/australian-mineral-facts/sapphire>
15. King H. Ruby and Sapphire. (n.d.). URL: <https://geology.com/gemstones/ruby-and-sapphire/>

## ДОДАТОК А

## ВІДОМІСТЬ

матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
			<b>Документація</b>		
1	A4	ТСТ. ОППМ. 23.12 ПЗ	Пояснювальна записка	65	
2			<b>Графічні матеріали</b>		Електронний ресурс
			Презентація Microsoft PowerPoint		Слайди

## ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу магістра

«Геологічні особливості світових родовищ корундів (рубін, сапфір)»

студентки групи 103-22м-1 Семенченко Владислави Юріївни

Представлена кваліфікаційна робота виконується з метою дослідження особливостей генезису і геологічної будови основних світових родовищ рубінів і сапфірів.

Здобувачем виконано аналіз генетичних типів родовищ дорогоцінного каміння групи корунду (рубін, сапфір), показано взаємозв'язок між особливостями генезису, геологічною будовою родовищ та фізико-хімічними властивостями рубінів і сапфірів, описано стан та шляхи вирішення проблеми визначення регіону походження рубінів і сапфірів при сучасних гемологічних дослідженнях, за допомогою рентген-флуоресцентного аналізу досліджено зразки рубінів і сапфірів природного походження з навчальної колекції кафедри загальної та структурної геології.

Пояснювальна записка відповідає змісту роботи, вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми. Результати досліджень мають наукову новизну та практичне значення і були апробовані на студентській науково-технічній конференції «Молодь: наука та інновації» (листопад 2023 р.).

Вважаю, що виконана кваліфікаційна робота відповідає усім необхідним вимогам, заслуговує на оцінку «відмінно» за умови відповідного рівня під час доповіді, а студентка Семенченко В.Ю. може бути допущена до її захисту.

Керівник кваліфікаційної роботи

зав. кафедри ЗСГ, канд. геол. наук, доц.

Сергій ШЕВЧЕНКО



## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

«Геологічні особливості світових родовищ корундів (рубін, сапфір)»

студентки групи 103-22м-1 Семенченко Владислави Юріївни

Кваліфікаційна робота здобувача присвячена дослідженню питань генезису, феноменальних властивостей та важливих діагностичних характеристик дорогоцінного каміння біогенного походження.

У першому і другому розділах авторкою охарактеризовано основні генетичні типи родовищ сапфірів і рубінів. У третьому розділі показано проблеми, що виникають під час визначення регіону або країни походження рубінів і сапфірів. Четвертий розділ присвячено особливостям будови цих різновидів дорогоцінного каміння на мікрорівні (включення, ростові особливості). У п'ятому розділі наведено результати власних досліджень (рентген-флюоресцентний аналіз) зразків натуральних рубінів і сапфірів з навчальної колекції кафедри загальної та структурної геології.

Результати роботи автора висвітлювались на студентській науково-технічній конференції «Молодь: наука та інновації» (листопад 2023 р.).

Пояснювальна записка відповідає змісту роботи, вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми.

Вважаю, що кваліфікаційна робота студентки Семенченко В.Ю. відповідає усім необхідним вимогам і заслуговує на оцінку «відмінно».

Рецензент

проф. кафедри ЗСГ, доктор геол. наук, доц.

Ігор НІКІТЕНКО