

Драгоценные и поделочные
камни в Минералогическом
музее им. А.Е. Ферсмана РАН

С.н.с. М.С. Алферова

1. Драгоценные камни
2. Ювелирные камни
3. Синтетические аналоги
4. Поделочные и облицовочные камни

Классификация природных источников самоцветов:

- По отношению к геологическим структурам и породам, в которых происходило формирование самоцвета:
Коренные и Россыпные
- По типам минералообразующих процессов (от высокоТ до низкоТ):
Магматические, Гидротермальные, Метаморфические, Гипергенные, Импаكتиты

Магматические источники

- Алмазоносные кимберлиты и лампроиты
- Щелочные базальты
- Гранитные пегматиты (глубинные, средних глубин, малых глубин)
- Сиенитовые пегматиты

Алмазоносные кимберлиты

- Кимберлиты – лифт алмазов из мантийных эклогитов
- Кимберлиты: Сибирская (Мир, Айхал, Удачная), Африканская (Kimberley, Jwaneng), Русская платформа (Ломоносовское)
- Трубки взрыва содержат пироп, хризолит, циркон
- Являются россыпеобразующими
- Включения: сульфидные капли, железо, вюстит, газовые $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, CO_2 тв.

Алмазоносные лампроиты

- Лампроиты – высокок лифт алмазов из мантийных эклогитов
- Лампроиты: Австралийская платформа (Argail)
- Технические алмазы (40 млн. ст/год), редко – ювелирные
- Экзотические по цвету алмазы – розовые и карминно-красные



Мирный – столица алмазного края





Мирный: начало



Август **1949**

Находка
алмазов в
долине р.
Виллюй



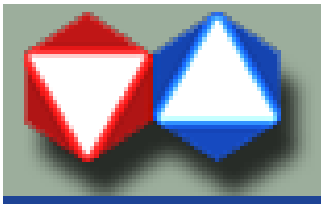
Август **1954**
Лариса
Попугаева на
следующий день
после находки
алмазоносной
ассоциации



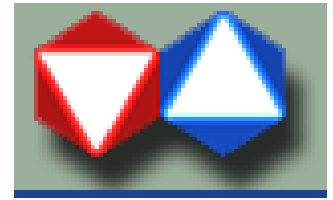
В течение **1955** были открыты
3 кимберлитовые трубки



1957 были добыты
первые алмазы



ALROSA Co. Ltd.



Since 1993 **ALROSA**, the assignee of ‘**Yakutalmaz**’ Company (1957-1992), is one of the world's major rough diamond producers. It is Russia's largest diamond company engaged in

- exploration
- mining
- manufacture
- sales of diamonds

ALROSA accounts for about 100% of all rough diamonds produced in Russia and for about 20% of the world's rough diamond output

ALROSA has sufficient diamond reserves to maintain production at the current level for the next 50 years.



Кимберлитовая трубка «Мир»



Карьер «Мир»
(525м)
1957-2001



Подземный рудник «Мир»
(≥1235м) 2003 - ...



Другие кимберлитовые трубки региона



2003. «Удачная»
(открыта в 1955)



Комплекс
«Интернациональный». Начало
подземных работ - 1976



2002. Трубка «Дачная» до эксплуатации



Добыча алмазов



Открытым способом: (Мир, Удачная, Юбилейная, Айхал, Нюрбинская и пр.)



Драгами:
Ирелях,
Анабарский щит



Подземным способом:
(Интернациональная, Мир, Накын)



Извлечение алмазов



Фабрика № 3



«Сырые» алмазы



Цех дробления

Processing:

- дробление
- сепарация
 - гравиметрическая
 - магнитная
 - жировая
 - УФ
- химическая очистка



Сортировка сырья



Сортировка по ситовым классам



Сортировка вручную



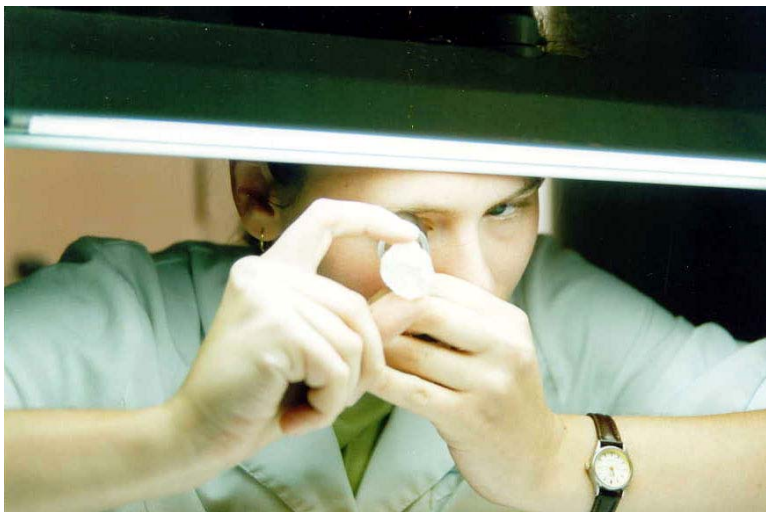
Сортировка по цвету



Сортировка сырья



ЦСА, Мирный



Сортировка крупных алмазов +1.8 ct



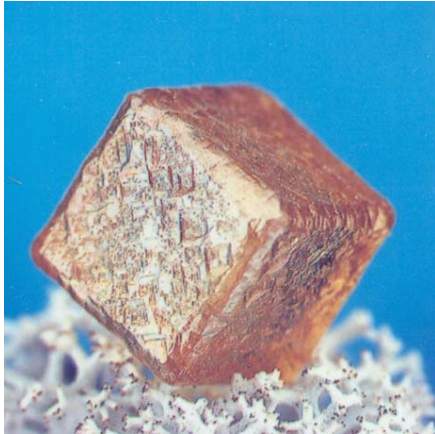
Ограниченное производство





Разнообразие цветов и форм алмаза

форма



Кубический



Сросток 2х
шпинелевых
двойников



Шпинелевый
двойник



Тройник
прорастания



цвет

розовый, шампань,
коньяк, желтый,
черный...

Щелочные базальты

- Содержат мегакристы и вкрапленники сапфира, рубина, хризолита, пироба, санидина, лабрадора, анортоклаза, гаюина
- Пироп – Монголия, Шотландия
- Сапфир синий, голубой, зеленый, желтый, розовый, коричневый, белый – В.Австралия ([New England](#), [Anakie](#)), [Камбоджа](#), [Таиланд](#), Вьетнам, Китай, Колумбия, США
- Хризолит – США (Аризона, Невада), Китай, Мьянма, Танзания, Антарктида
- Санидин – Германия
- Лабрадор – США (Орегон)
- Анортоклаз (с эффектом лунного камня) – Австралия
- Гаюин - Италия

Пироп щелочных базальтов Шотландии



Хризолит месторождения Перидот, Аризона (США)



Расположена на территории
индейской резервации апачей



Хризолит месторождения Перидот, Аризона (США)



Гранитные пегматиты

- Остаточные дифференциаты малого объема в гранитоидных плутонах, продукты кристаллизации богатого флюидами расплава
- Камерные в верхней части, жильные в материнском плутоне
- Зональные: графическая-блоковая-кварцевое ядро (магматическая стадия)
- Переход к гидротермальному этапу – α - β с объемным эффектом: формирование самоцветов топаза, турмалина, мориона, сподумена, берилла и др.
- ГП: глубинные, средних глубин, малых глубин

Гранитные пегматиты глубинные

Р 6-10 кб

- Розовый кварц – Бразилия, Россия (Карелия). Окраска $2\text{Si} \leftarrow \text{Al}^{3+} + \text{P}^{5+}$

Гранитные пегматиты средних

глубин Р 3-6 кб

- Амблигонит, петалит, мангантанталит – редкометальные пегматиты Ц.Африки, Канады, США, Индии

Гранитные пегматиты малых глубин Р 1-3 кб

- Максимально насыщенные флюидами – большое разнообразие: кварц, берилл, топаз, турмалин, сподумен, флюорит, апатит, андалузит, спессартин...
- Бразилия, Россия (Урал, Забайкалье), Украина, США, Мадагаскар, Афганистан
- Морион, дымчатый кварц – Бразилия, Урал, Украина
- Аметист – Бразилия, Казахстан

Гранитные пегматиты малых глубин Р 1-3 кб

- Берилл – гелиодор, аквамарин, морганит, (пеццоттаит) – Средний Урал, Украина (Волынь), Бразилия (Минас Жерайс), Афганистан, США (Пала)
- Топаз – Средний и Южный Урал, Забайкалье (р. Ургучан), Бразилия, Афганистан, Пакистан
- Апатит – США
- Спессартин – США, Болгария, Урал

Гранитные пегматиты малых глубин Р 1-3 кб

- Турмалин – рубеллит, верделлит, индиголит – Урал, Забайкалье (Малхан), Памир, Бразилия (Минас Жерайс), Нигерия, США (Пала), Мадагаскар, Афганистан
- Сподумен. Кунцит – Афганистан, Пакистан, США, Бразилия. Гидденит – там же при наличии источника Sr
- Данбурит – Забайкалье, Памир
- Гамбергит, еремеевит – Забайкалье, Памир
- Бразилианит - Бразилия

Алабашское пегматитовое поле, копь «Мурзинка»

1668-1721 одиночные находки

1721-1765 добыча узаконена

1802-1861 расцвет добычи: жила Мокруша, Казенница, Тысячная, Мыльница и др.

1865-1917 Открытие Липовки, создание А.Е. Ферсманом теории пегматитов

1932-1990 картирование, поиски и оценка. Массовая добыча

С **1990s** работы прекращены



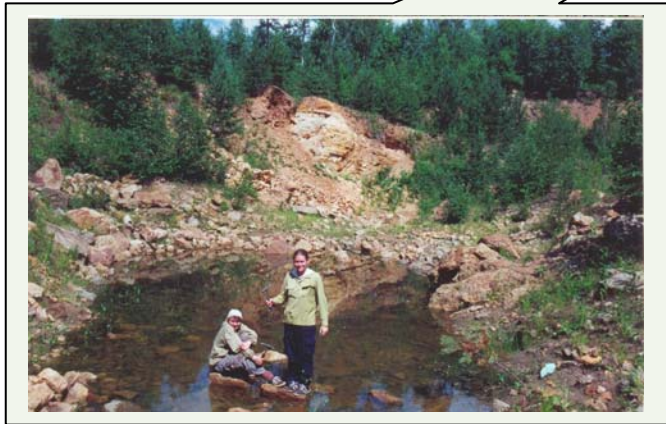
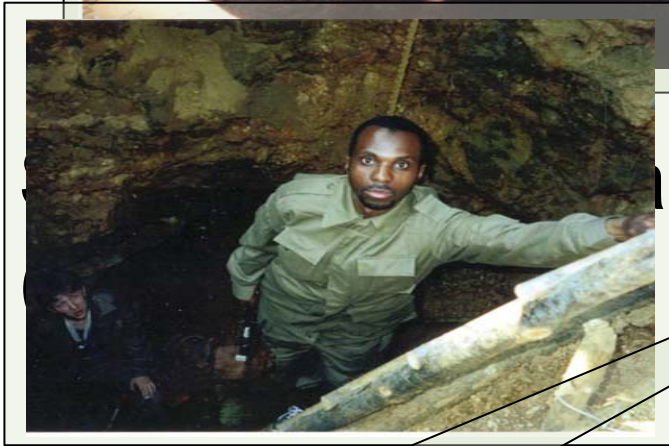
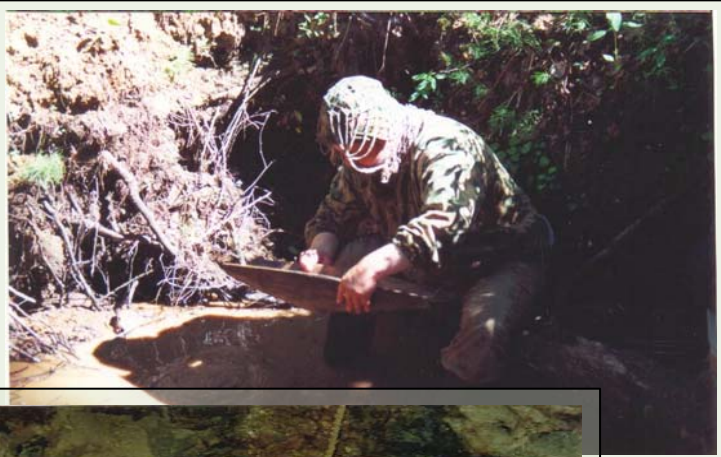
В.А. Попов

Алабашское пегматитовое поле



На пути туда...

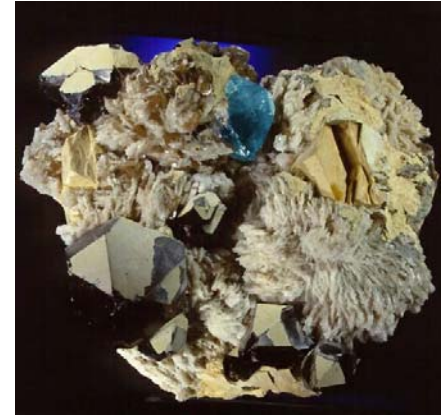
Алабашское пегматитовое поле



Мурзинка. Жила Мокруша



1875 – открытие жила
Главный минерал Мокруши
топаз; в ассоциации с
шерлом, бериллом,
морионом, микроклином и
лепидолитом



В советский период открыто 56 занорышей,
добыто 91кг топаза, 31кг турмалина, 1кг берилла
и 200кг мориона

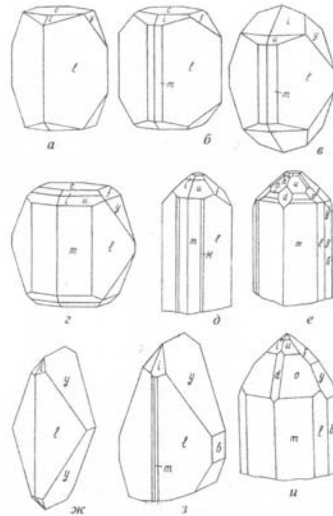


За 1971-1990 найдены большие топазы: 8.4кг
(‘Урал’), 13.8кг (‘Мурзинка’) и 43кг (‘Победа’)

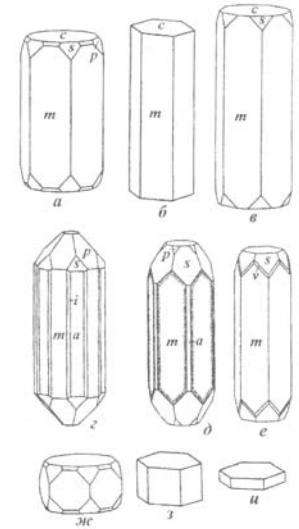
В настоящее время – маленький карьер

Алабашское пегматитовое поле

Топаз



Берилл



Липовка



Полихромный турмалин встречается в жилах среди серпентинитов, в ассоциации с кварцем, альбитом, лепидолитом



Турмалин добывался с **1900** по **1980**, штореки были засыпаны.

Вновь разрабатывался в **2000**х сотрудниками Музея





Обратный путь...



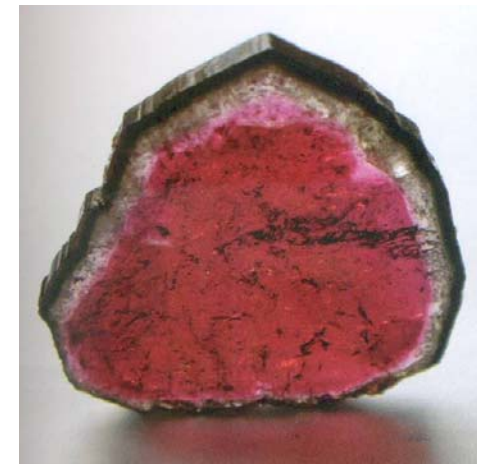
Р. Чикой

Малхан

Месторождение полихромного турмалина



Путь туда



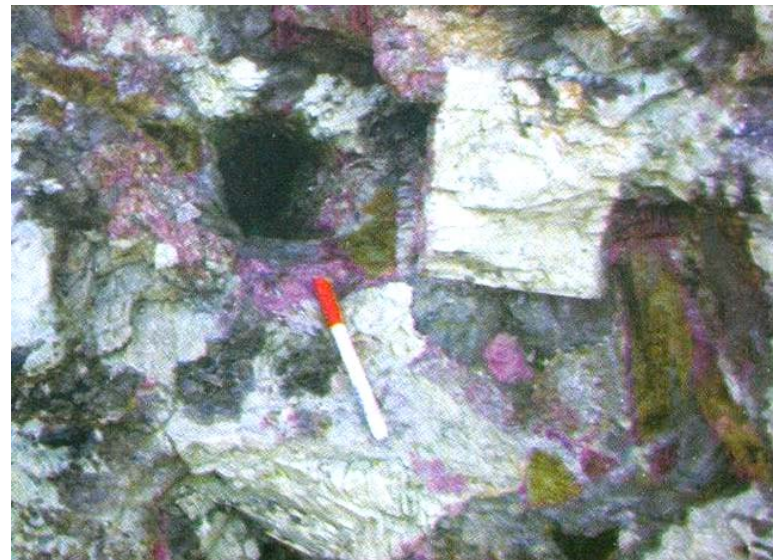
Малханское пегматитовое поле



Площадь Малханского пегматитового поля 60 км², на северном склоне Малханского хребта. Оно объединяет жилы : «Орешная» , «Моховая», «Соседка»...

Жила «Орешная» найдена в 1980 году

Фрагмент жилы «Моховая», полихромным турмалином

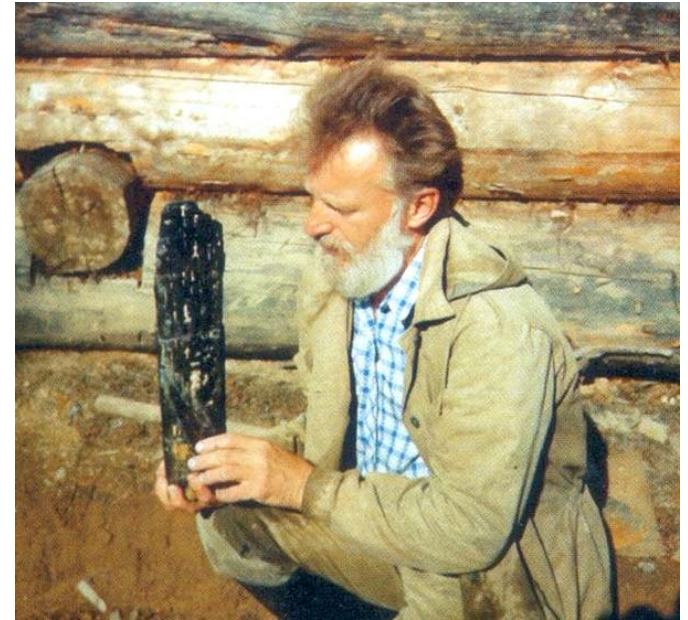


Малхан 2005



Малханское пегматитовое поле.

Гиганты

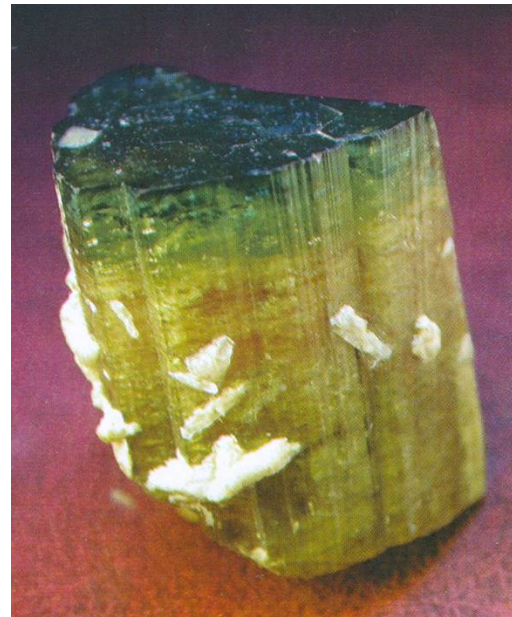


Гигантский кристалл эльбаита с кварцем и альбитом (Моховая)

Полихромный турмалин «в рубашке». 47см длиной (Октябрьская)

Малханское пегматитовое поле

Полихромные турмалины



3.5X8см

2.5X3.5см

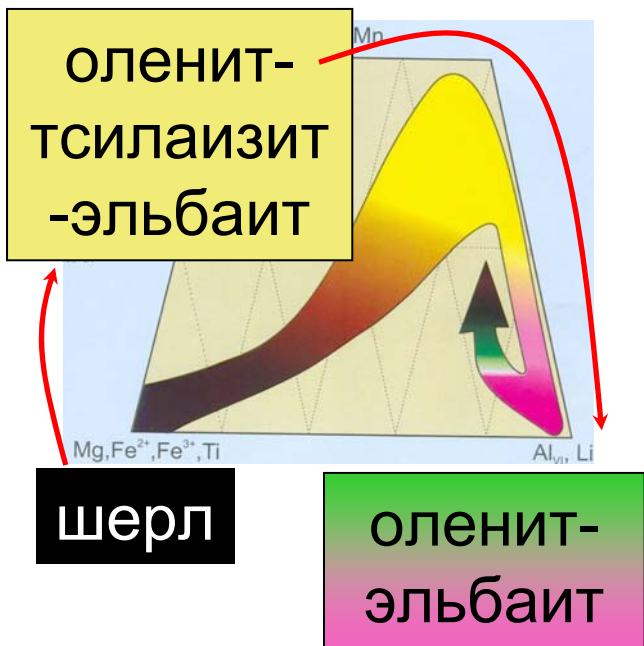
2X3см

Ограночные кристаллы



Малханское пегматитовое поле

Полихромные турмалины



5X7 cm



11X15 cm



10X16 cm



up to 8X9 cm



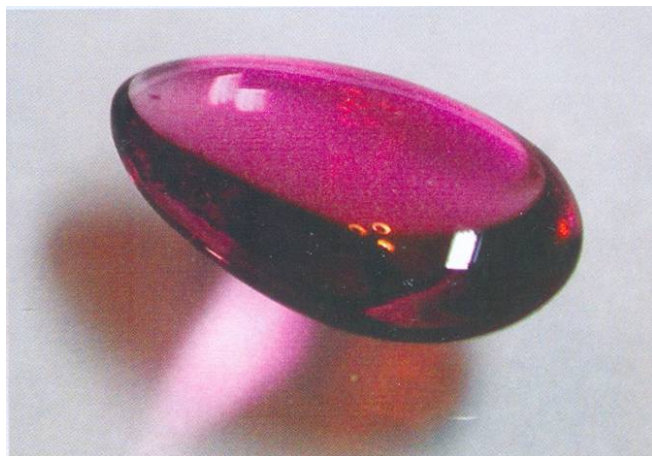
5X5 cm

Малханское пегматитовое поле

Ограненные турмалины



Кабошоны



Малханское пегматитовое поле.

Добыча



бурение



добыча



промывка



сбор



сортировка

Малханское пегматитовое поле



продажа



Другие самоцветы:



Спессартин



Данбурит
2.5X3 см

голубой

топаз

- гамбергит
- поллуцит
- аксинит

Пегматиты района Пала, Калифорния (США)



Пегматиты района Пала, Калифорния (США)

Турмалин Кинг
Турмалин Куин
Гималая
Стюарт
Оушнвью
Элизабет-Р
Кармелита



Oceanview mine



Сиенитовые пегматиты

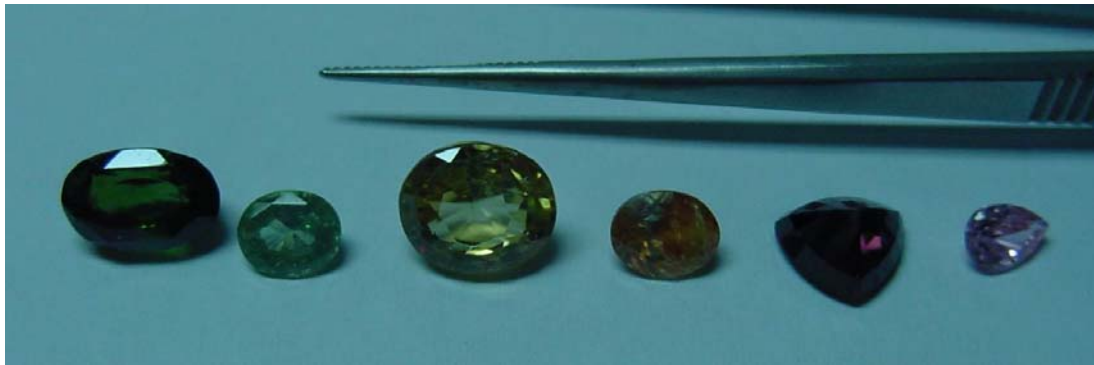
- Ортоклаз – Мадагаскар, Бразилия
- К-На ПШ с эффектом лунного камня – Шри-Ланка
- Сапфир синий, черный, с эффектом астеризма – Шри-Ланка, Индия (Кашмир)

Гидротермальные источники

- Послемагматические метасоматиты щелочных магматитов К и Na
- Mg скарны
- Са скарны
- Цвиттеры
- «Телетермалиты»
- Аргиллизиты

Послемагматические метасоматиты щелочных магматитов К и Na

- Na – циркон
- К – хромдиопсид (Россия: Инагли)



Инаглинское месторождение хром-диопсида



Mg скарны

- Содержат благородную шпинель, рубин, сапфир, гумит, скаполит
- Шпинель – Кухи-Лал (Памир), Таиланд, Могок (Мьянма), Прибайкалье
- Рубин – Могок (Мьянма), Таиланд, Пакистан, Вьетнам, Южный Урал
- Сапфир – Шри-Ланка, Мадагаскар
- Гумит – Кухи-Лал, США, Швеция, Карелия
- Скаполит – Могок (Мьянма), Бразилия

Са скарны: андрадит (Азербайджан), скаполит (Китай)



Прибайкалье

Слюдянка известна как источник ювелирной и коллекционной шпинели, апатита, диопсида-лавровита и лазурита

Мраморный карьер «Перевал»



Голубая шпинель в мраморе



Розовая шпинель в мраморе

Цвиттеры

- Цвиттеры = темнослюдистые высокотемпературные грейзены, состоят из циннвальдита, кварца и топаза
- Аквамарин – Россия (ШГ в Забайкалье), Бразилия (Минас Жерайс)
- Изумруд – Россия (Средний Урал), Австрия (Хабахталь), Пакистан (Свот), Бразилия (Сокото, С.-Терезина)
- Александрит – Россия, Шри-Ланка

Изумрудные Копи Урала



Emeralds were discovered in December **1830** by Maksim Kozhevnikov, on the banks of Tokovaya river (Sretenskiy mine)

1831-1835 exploration works were carrying out. The biggest sample was 2226g, named 'Kochubei's crystal'

1860 continued investigation of Emerald Mines deposits

1899 deposits were leased to English-French Emerald company, the owner of Muso mines in Colombia

1919 Emerald mines deposits were nationalized

Izumrudnye Kopi (Emerald Mines)

The Soviet and post-Soviet Era



1921 Emerald mines area was divided into plots, that increased unsystematic mining and disorder

1931-1989 Deposits were transferred to the authority of Rare Metals State Association, and became the strategic beryllium ore mine

Current history is conflicting and dramatic. After being bankrupt in **1995**, Emerald mines were disintegrated into several joint-stock adversarial companies:

- Malyshevo mining department
- Izumrudnue kopi of the Urals
- Russian-Israel joint venture Emural
- Russian-Irish mining company

Izumrudnye Kopi (Emerald Mines)

Emerald



Emerald forms metacrysts grown in a phlogopite schist, plagioclase-quartz-fluorite nests, actinolite aggregates

The habit is short-columnar: prism $\{1010\}$ and pinakoid $\{0001\}$



The ratio $a:c$ is usually 1:3, elongated crystals 1:20 are rare



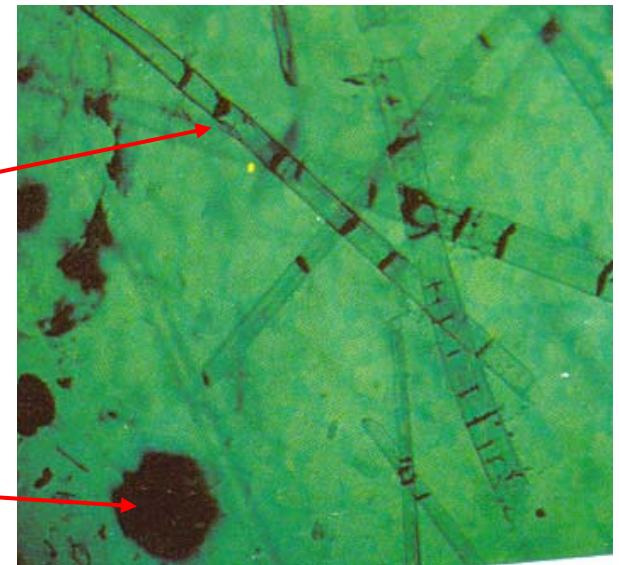
Distortion if the habit is caused by tectonic deformation

Izumrudnye Kopi (Emerald Mines)



- The **colour** is caused by Cr^{3+} . The green shade is visible at concentration of 0.05 wt.% Cr_2O_3
- Colour zoning and sectoring are typical for Urals emerald. Spotted colour of emeralds is due to emerald growth on chromite, around which deep green halo is observed

Typical **mineral inclusions** in Russian emeralds are: talk, tremolite-actinolite, chromite, fluorite, apatite, phenakite, chrysoberyl, sulphides, etc. Fissures are filled with phlogopite, plagioclase



Izumrudnye Kopi (Emerald Mines)

According to Russian trade classification ('Technical conditions') raw **emerald** is divided by quality and colour



By quality:

1. Cuttable
2. Cabochon

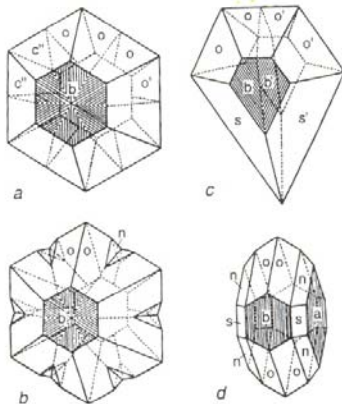
By colour:

1. For cuttable: 1st to 5th colour
2. For cabochon: 1st and 2nd

Others are considered to be named '**beryls**'

Izumrudnye Kopi (Emerald Mines)

Alexandrite



Ordinary **chrysoberyl** has a yellow colour, it forms single crystals and (rarely) trillings

Alexandrite – named after Czar Alexander II – changes colour from green to red; as a rule, it forms trillings up to 9cm. It occurs at distance from emerald-bearing zones and associates with pink fluorite, margarite and talc



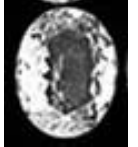
≈100% colour 'reverse'

Izumrudnye Kopi (Emerald Mines)

Phenakite



Phenakite forms crystals up to 15 cm in size; it occurs in cavities and therefore can have up to 56 faces.



Habit is rhombohedral or short prismatic.



Cuttable phenakite is pink, yellowish-brown, colourless, the largest crystals have tea-colour.



Izumrudnye Kopi (Emerald Mines)

List of some big named
emeralds and alexandrites

1982 Kommercheskiy 12900ct

1979 Druza Shipanova 7000ct

1990 Novogodniy 6900ct

1993 President 5860ct

2000 Patriot >2500ct

Цвиттеры

- Фенакит – Россия
- Рубин, сапфир – Австралия (Пуна)
- Шеелит - Китай



Шерловая Гора

**Месторождение
Шерлова Гора находится в
Забайкалье, на пути из Читы в
Манчжурию через р. Онон**



Шерлова гора

Апогранитные грейзены



Проявления топаза и берилла

Шерлова Гора



Доставка «на дом»





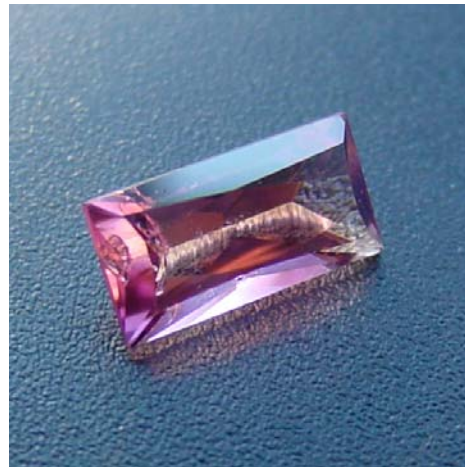
Чита



Ювелирное производство



Аквамарин 14,91ct



Турмалин 1,35 ct



Топаз 9,34 и 10,0ct

«Телетермалиты»

- Флюиды мигрируют далеко за пределы гранитных массивов; минерализация кажется не связана ни с чем
- Топаз (оранжевый, империал) – Германия-Чехия, Бразилия (Ouro-Preto, МинЖер), Россия (Ю.Урал), Пакистан
- Эвклаз (зеленый, голубой), цитрин – там же



«Телетермалиты»

- Изумруд – Колумбия (Muzo, Chivor)
- 80% ювелирного изумруда
- Главный хромофор – V, голубой оттенок
- Содержится в альбит-карбонатных жилах среди битуминозных известняков и сланцев
- Во включениях часто содержатся пирит, карбонаты

Аргиллизиты: Аметист (Урал, Ватиха)



1999, the ruins of Vatikha mine, explored to 75m depth

- Vatikha is situated 5 km east from Murzinka
- Amethyst mineralization is confined to close tectonic fractures in altered granites
- The host rock for amethyst is 'zelenchuki' – green powdered material, represented by sericite, quartz, albite, chlorite

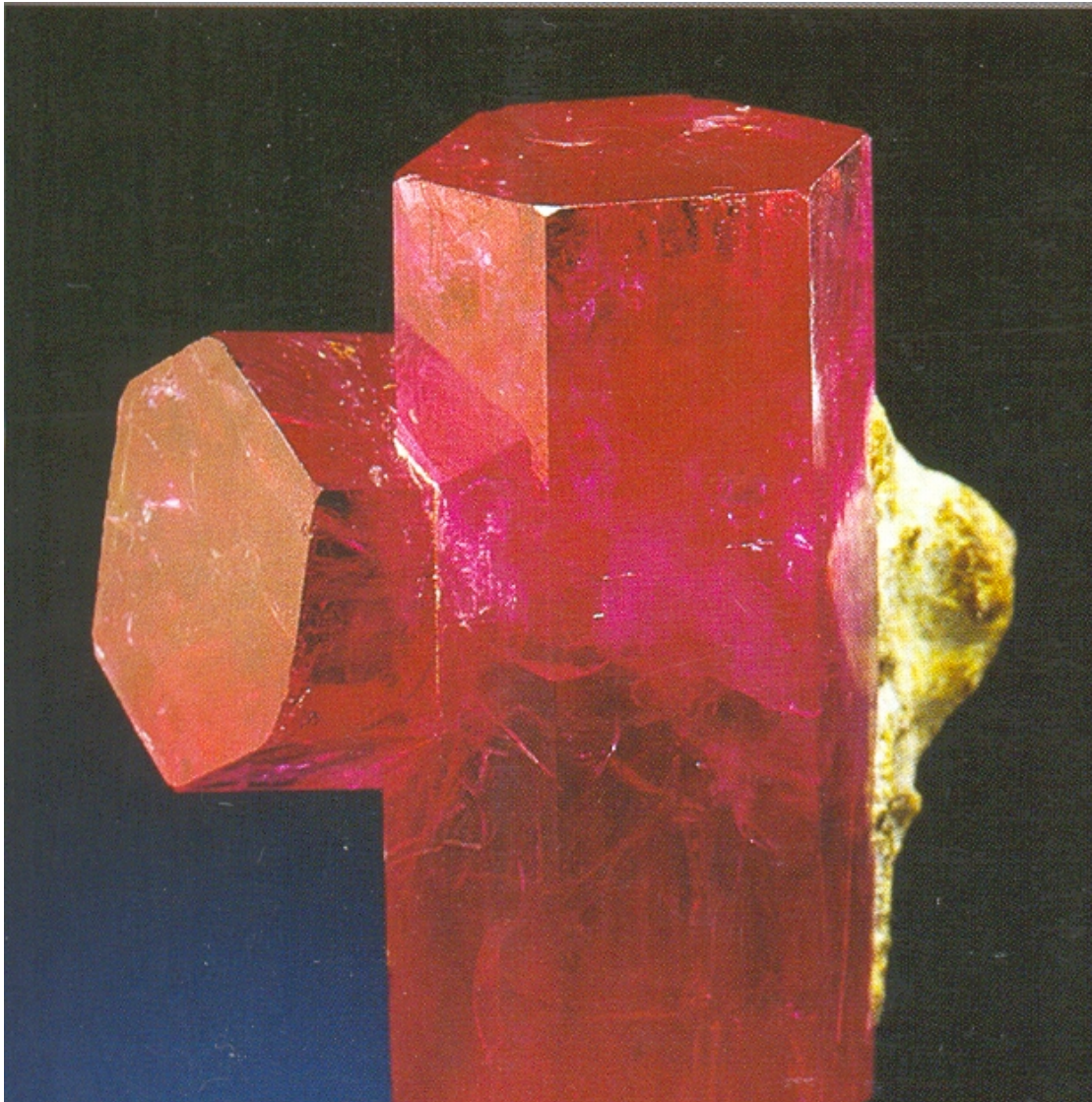
The crystals of amethyst occurring in veins among altered substance are mace-shaped, sector-coloured

In cavities (up to several m³) occur rock crystal and amethyst



discolouring

Аргиллизиты: Биксбит – красный берилл



**Wah-Wah Mt.,
Thomas Ridge
Utha, USA**



Метаморфогенные источники

- Цеолитовой фации
- Пренит-пумпеллиитовой фации
- Пумпеллиит-актинолитовой фации
- Фации голубых сланцев
- Зеленых сланцев
- Амфиболитовой фации
- Гранулитовой фации
- Эклогитовой фации

Цеолитовая фация

- Низкотемпературные минералы, редкие в огранке
- Пренит («капский изумруд») – ЮАР, Австралия, США, Шотландия
- Кальцит – Индия, Тура
- Апофиллит – Индия, Норильск
- Сфалерит – Испания, Мексика

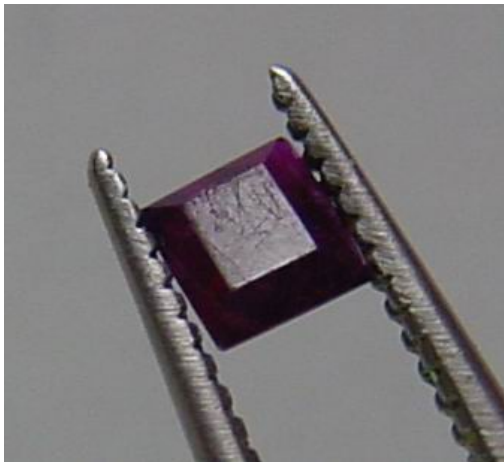


Пренит-пумпеллиитовая фация

- $T 300 \pm 50^{\circ}\text{C}$, $P 2-6.5$ кб, флюид – H_2O
- Распространение – в зеленокаменных поясах: Урала, Ср. Азии, Дальнего Востока
- Ограночные камни – в родингитах
- Гроссуляр – Россия (Вилюй), Гессонит – Канада (Jeffrey Mine, Asbestos), Мексика
- Везувиан – Канада, Россия
- Диопсид – Канада

Пренит-пумпеллиитовая фация

- Уваровит, Cr гроссуляр – Россия (Сараны, Талнах)
- Cr титанит – Россия, Италия
- Кеммерерит (до 3 см) – Турция
- Диаспор (до 10 см) – Турция, Россия



Сарановское месторождение хромита



The old quarry

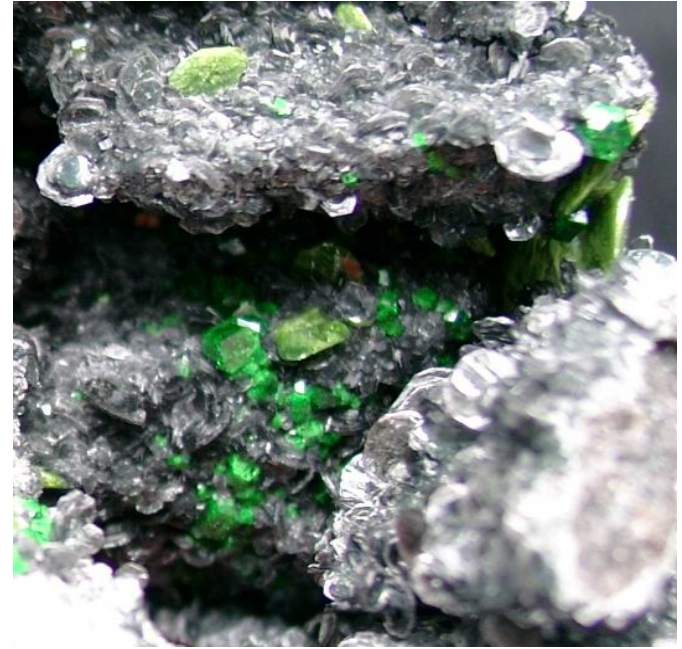


The working shaft

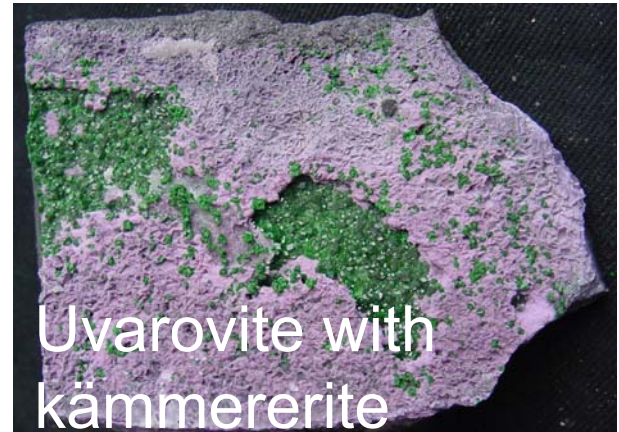
Sarany



The mining engineer and collector-amateur Talgat G. Fattykhov

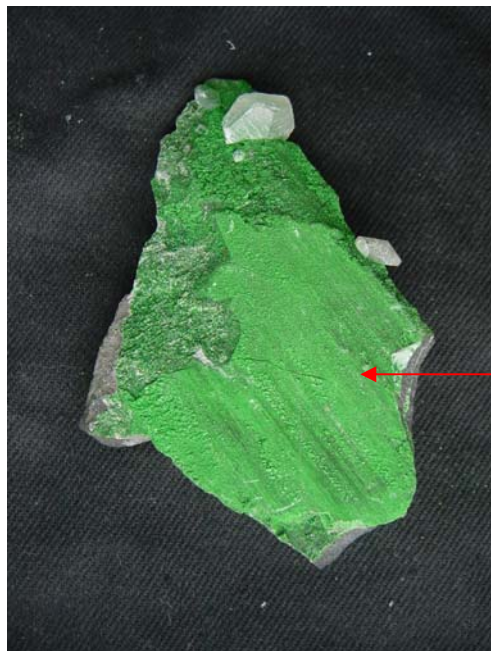


Cutable uvarovite with Cr-titanite and amesite

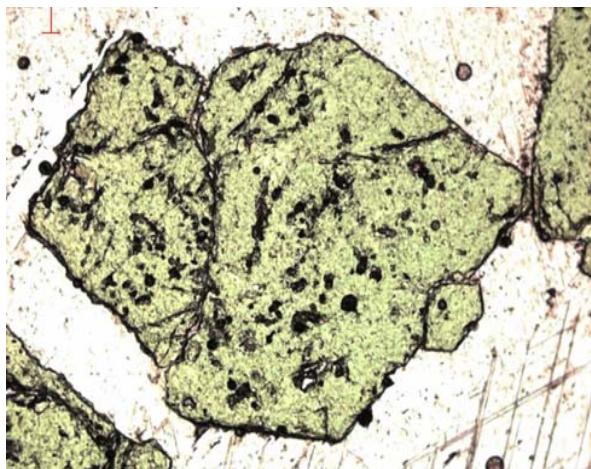
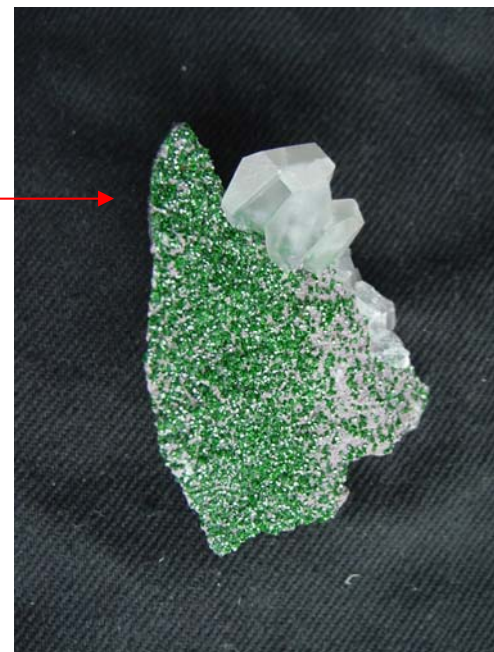
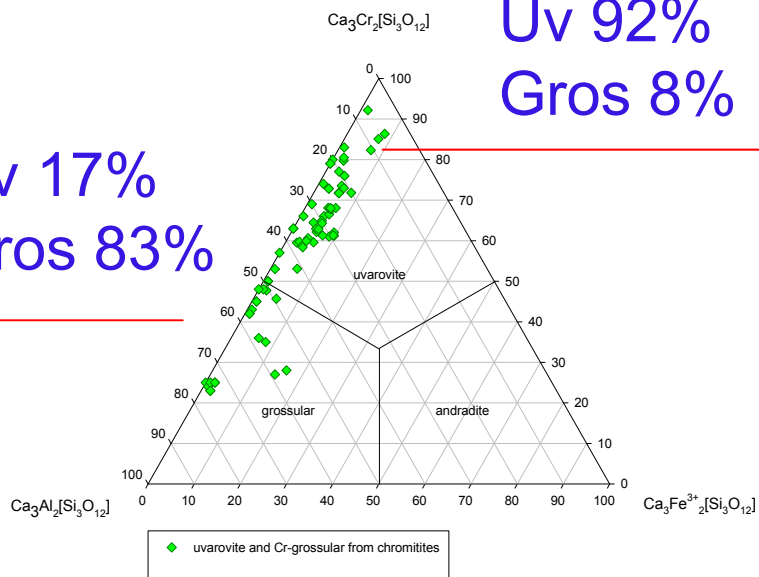


Uvarovite with k ammererite

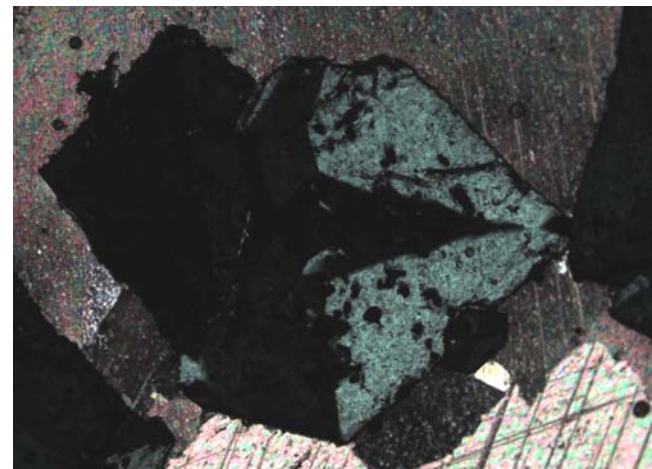
Sarany. What is uvarovite



Uv 17%
Gros 83%



Transmitted light



Polarized light

Sarany. Chrome-titanite

Cr-titanite forms transparent crystals from almost isometric to tabular, various twins. Their sizes are up to 45x25x3 mm. Colour – superb emerald-green of different intensity to light-green, often with golden tint.



Sarany. Chrome-titanite



Faceted Cr-titanite by brilliance is comparable with best demantoid.



Transparent thick tabular crystals of Cr-titanite crystals of deep-green colour 35x22x14 mm shows strong trichroism from apple-green (across $\{100\}$) to olive-green (along $\{100\}$)

Sarany. Chrome-amesite

Chrome-amesite of violetish-lilac colour with pearly lustre contains 1-4 wt.% Cr_2O_3 and shows the strong colour-change effect



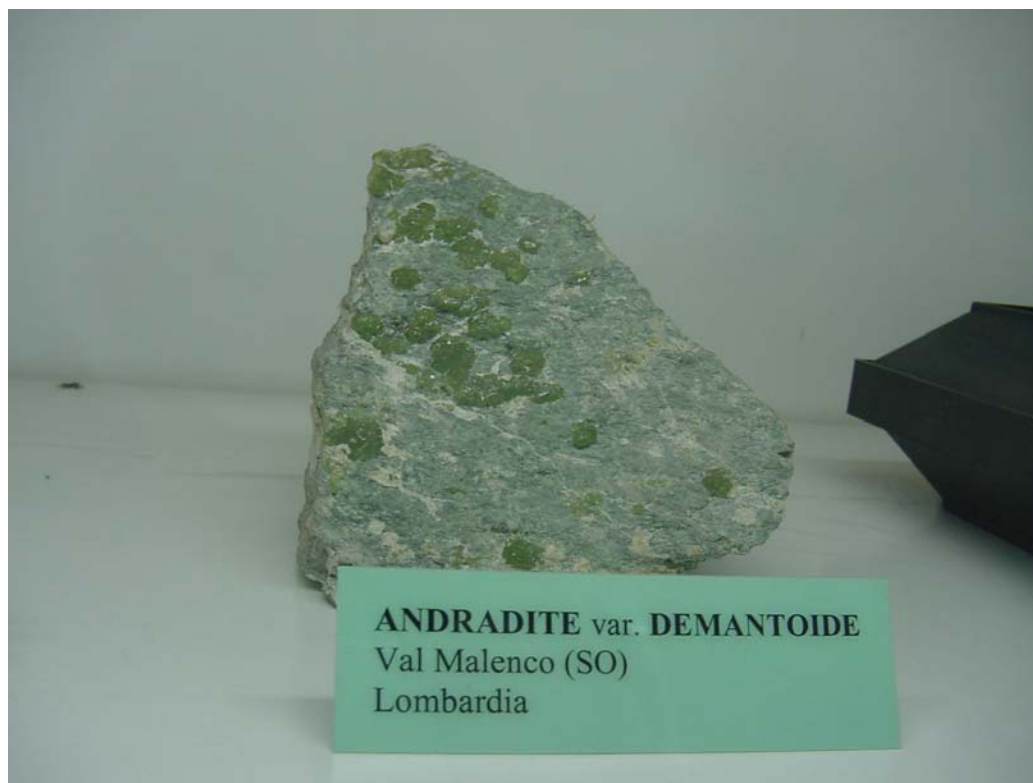
By day light



By tungsten light

Пумпеллиит-актинолитовая фация

- Демантоид – в родингитах России, Италии, Ирана



Полдневское россыпное месторождение демантоида



- Poldnevka placer is one of historical sources of 'Urals' chrysolite
- for its bright, diamond-like lustre it was named 'demantoid'
- in 1913 there was mined 130 kg of gem-quality demantoid

'Chrysolite' river – the branch
of Poldnevka



Lucky find



Common
material



Cut placer demantoid

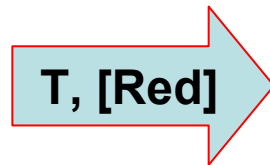
Каркодинское коренное месторождение демантоида



The open cast
permanent works

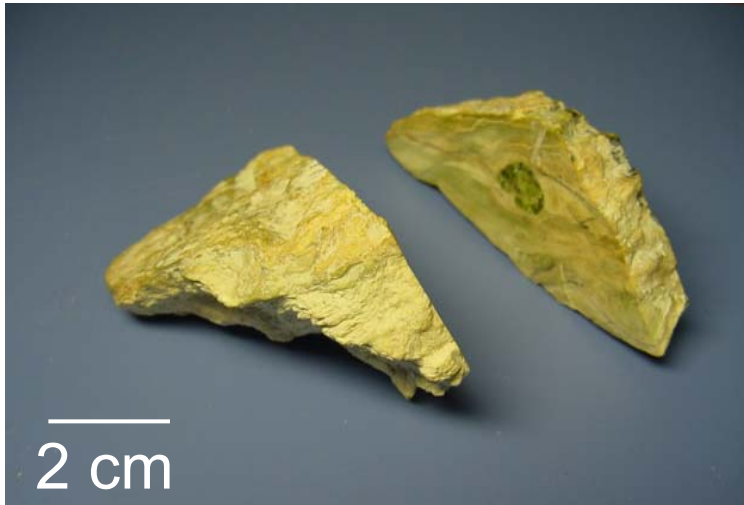


Rough demantoid



Heated demantoid

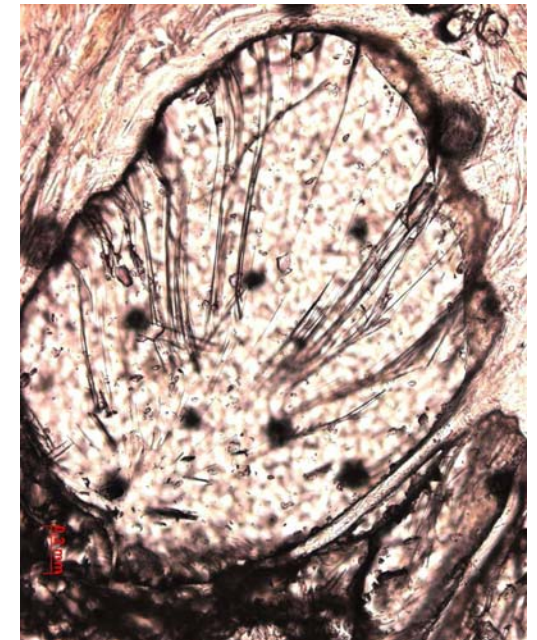
Demantoid crystal shape and horsetail



Clinochrysoile 'lens' with rounded demantoid crystal



Demantoid forms split grains with co-grown clinochrysoile needles.



Фа́ция голубых сланцев

- Бенитоит – США (Сан Бенито, Калифорния), на контакте серпентинитов и голубых сланцев



Фа́ция зеленых сланцев

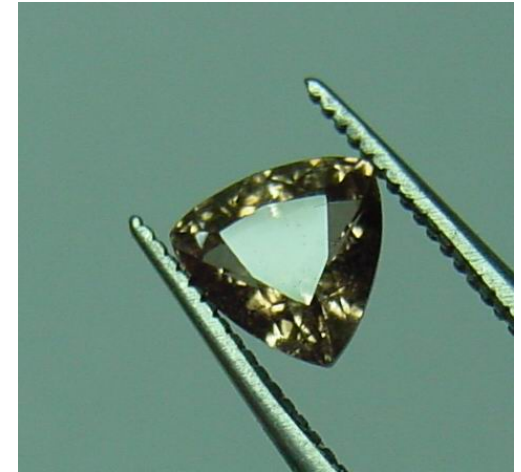
- Типичные образования – альпийские жилы с кварцем, аксинитом, апатитом, титанитом
- Горный хрусталь, дымчатый кварц, цитрин, аметист – Швейцария, Австрия, Франция (Альпы), Норвегия, Россия (Приполярный Урал), Бразилия, Аргентина, Канада, Нигерия
- Аметрин – Южная Боливия
- Аксинит – Альпы, Урал

Приполярный и Полярный Урал

On the eastern slope of the Subpolar Urals there are several famous rock crystal deposits: Dodo, Pujva, Zhelannoye. Quartz veins in metamorphic rocks contain smoky quartz, citrine, rutilated quartz, axinite, titanite, anatase etc.



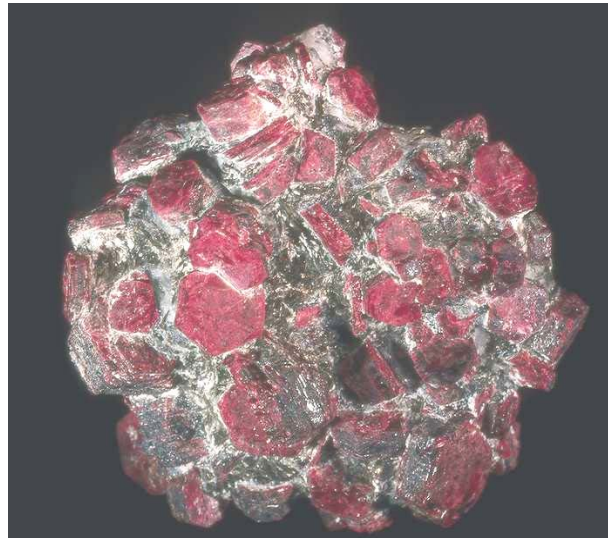
Rutilated quartz



Axinite

Амфиболитовая фация

- В складчатых структурах Индокитая, Урала, Памира
- Рубин – Могок (Мьянма), Пакистан, Афганистан, Индия*, Шри-Ланка*, Вьетнам, Россия (Макар-Рузь)
- Сапфир – Мьянма, Танзания, Шри-Ланка



Амфиболитовая фация

- Кордиерит – Памир, Забайкалье
- Скаполит – Памир, Африка, Канада, Афганистан
- Цаворит – Кения, Танзания, Мадагаскар, Пакистан
- Умбалит – сп-п – там же
- Уваровит – Финляндия (Оутокумпу)
- Танзанит – Танзания
- Кианит – Мьянма, Индия, Кения, Россия
- Алмандин - Россия

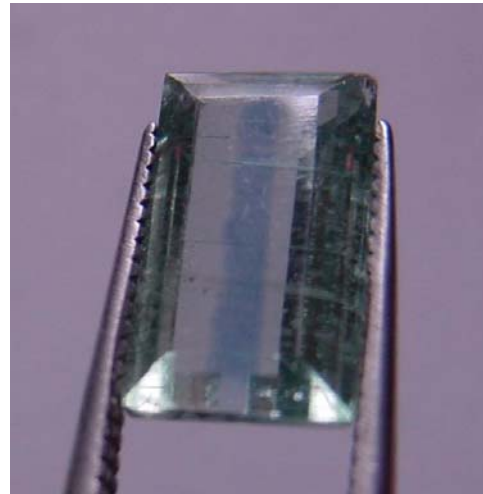




Karelia



Pink corundum,
6mm, Chupa



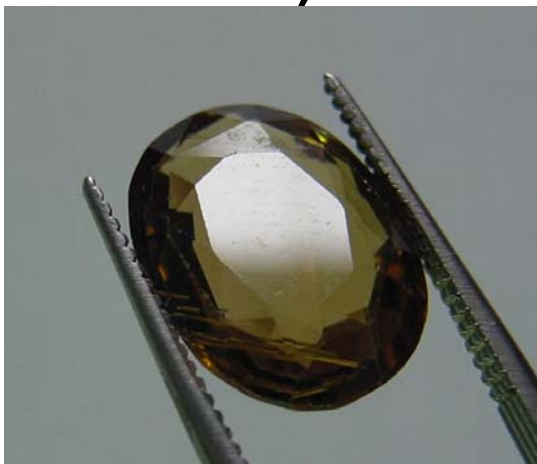
Kyanite



Almandine 12mm
Pitkyaranta

Гранулитовая фация

- Родолит – п-альм – В гнейсах Балтийского щита и Ц. Африки
- Шпинель – Шри-Ланка
- Корнерупин – Шри-Ланка
- Родонит ограночный – Австралия (Broken Hill)



Эклогитовая фация: алмаз (Казахстан)

Гипергенные источники

- Отложения горячих источников
- Коры выветривания
- Янтареносные осадки
- Жемчуг

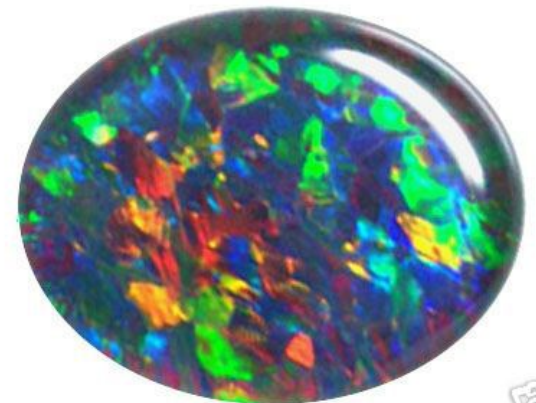
Импактиты

Отложения горячих источников

- Опал огненный – Мексика, Казахстан

Коры выветривания

- Опал благородный – правильно упакованные микросферы кремнезема – в аридных регионах: Австралии, Эфиопии, Индонезии, Бразилии, Гондурасе, Мексике, США



Янтарь

- Древние смолы в осадочных породах
- Балтийский 45-30 млн. лет Китайский 60-35
- Доминиканский 25-15 Романит 100
- Мексиканский, Бурмит ~70 Симетит 30-25

Жемчуг

- Морской – Индийский океан
- Речной - Сев. полушарие

Импактиты

- Чехия, Молдавия



Крупнейшие промышленные камнесамоцветные провинции

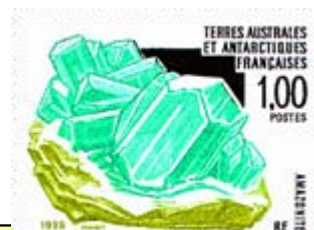
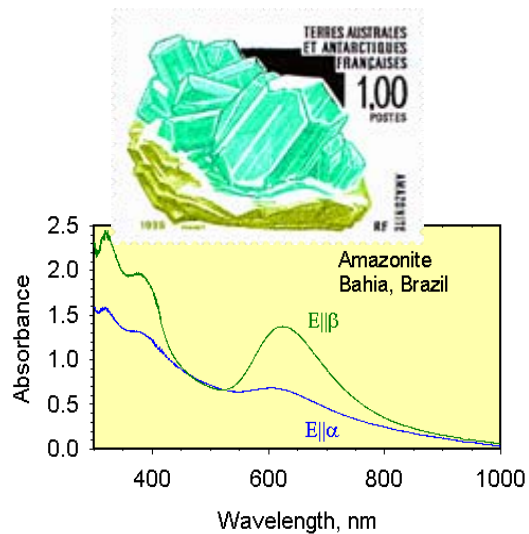
- Алмаз – Россия, Южная Африка, Австралия
- Рубин, сапфир – Юго-Восточная Азия
- Изумруд – Колумбия, Россия, Средняя Азия
- Берилл, турмалин, топаз, кварц, сподумен – Бразилия, Средняя Азия, Россия
- Демантоид – Россия, Иран, Мадагаскар
- Опал – Австралия, Эфиопия

Редкие ювелирные и поделочные камни

ПШ – минеральные виды

α :1.514-1.529 β : 1.518-1.533 γ 1.521-1.539

○ Микроклин



Ethiopia

ПШ – минеральные виды

○ Микроклин



ПШ – минеральные виды

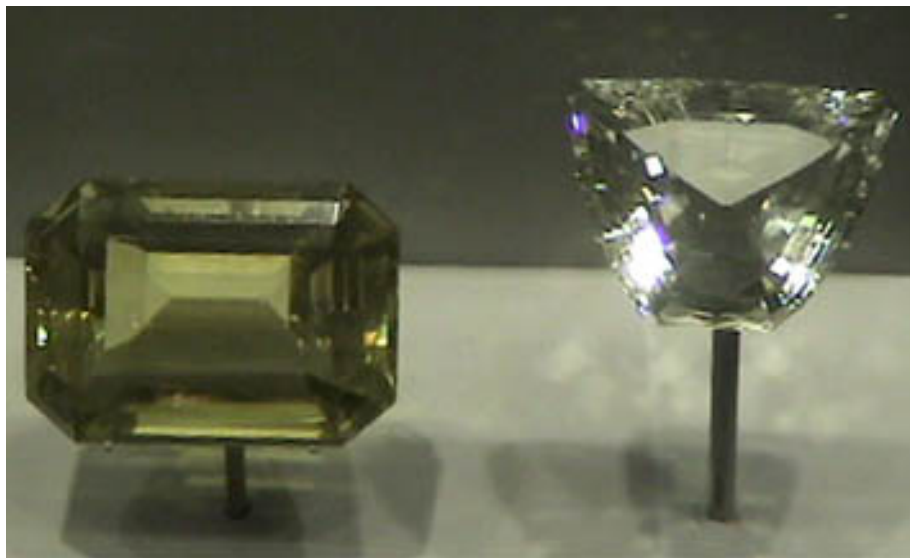
○ Микроклин



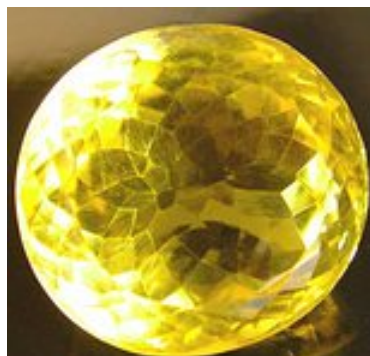
ПШ – минеральные виды

○ Ортоклаз

α 1.518-1.529 : β 1.522-1.533 : γ 1.522 -1.539



Мадагаскар



Эфиопия



Танзания

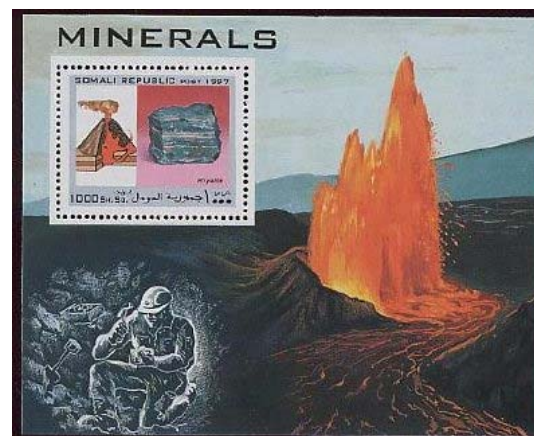
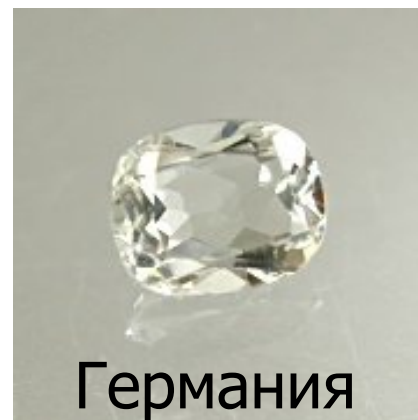


ПШ – минеральные виды



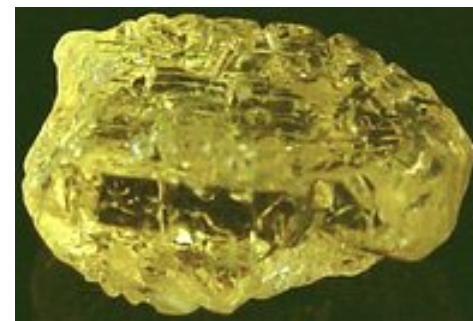
Санидин

α : 1.518-1.527 β : 1.523-1.532 γ 1.524-1.534



ПШ – минеральные виды

○ Санидин α : 1.518-1.527 β : 1.523-1.532 γ : 1.524-1.534



ПШ – минеральные виды

○ Анортоклаз

α 1.518-1.527; β 1.522-1.532; γ 1.522-1.534



ПШ – минеральные виды

Альбит

α 1.528 - 1.533: β 1.532 -1.537: γ 1.538 -1.542



Швейцария



Бразилия



Бирма 558 cts 205\$

ПШ – минеральные виды

Олигоклаз

α 1.533 – 1.543; β 1.537 – 1.559; γ 1.542 – 1.552



Бразилия



ПШ – минеральные виды



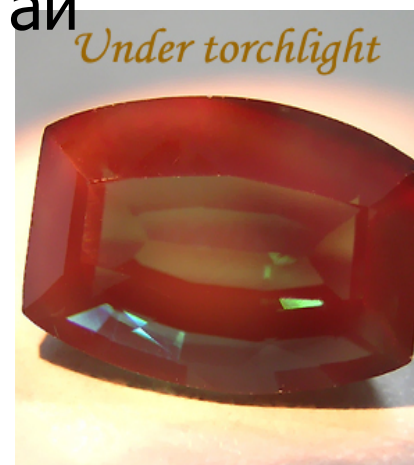
Андезин



Конго – 2.71cts



Китай



ПШ – минеральные виды



Лабрадор



ПШ – минеральные виды

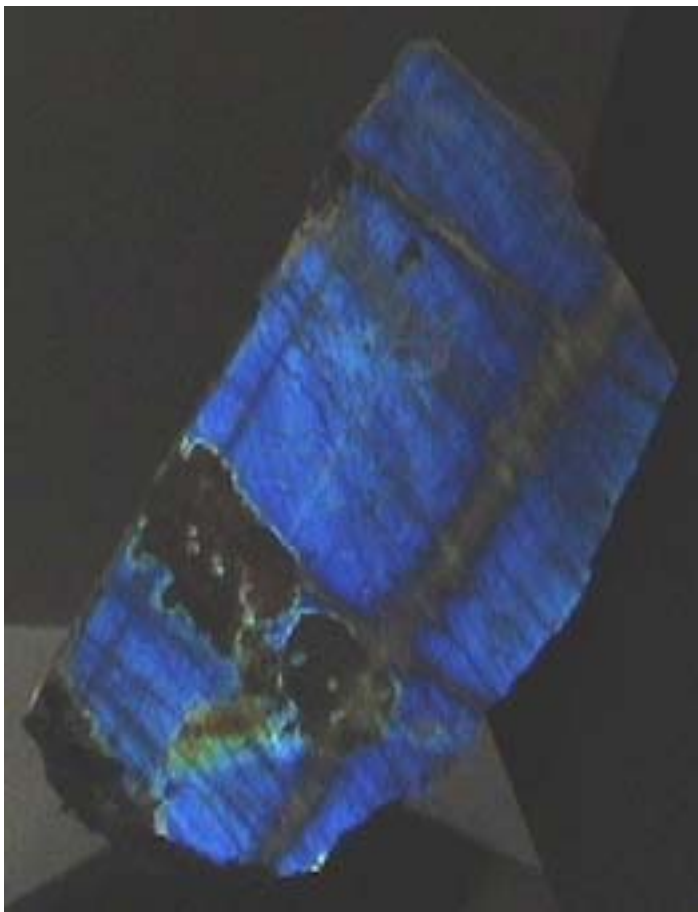


Лабрадор



ПШ – минеральные виды

○ Лабрадор



ПШ – минеральные виды



Лабрадор



ПШ – минеральные виды



Лабрадор



«Солнечный шпат»

ПШ – минеральные виды

○ Лабрадор



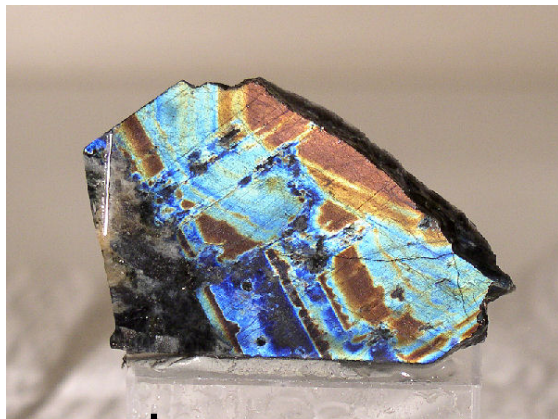
«Радужный лунный камень»

ПШ – минеральные виды

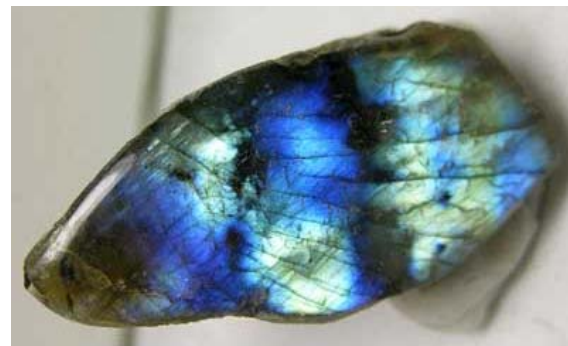


Лабрадор

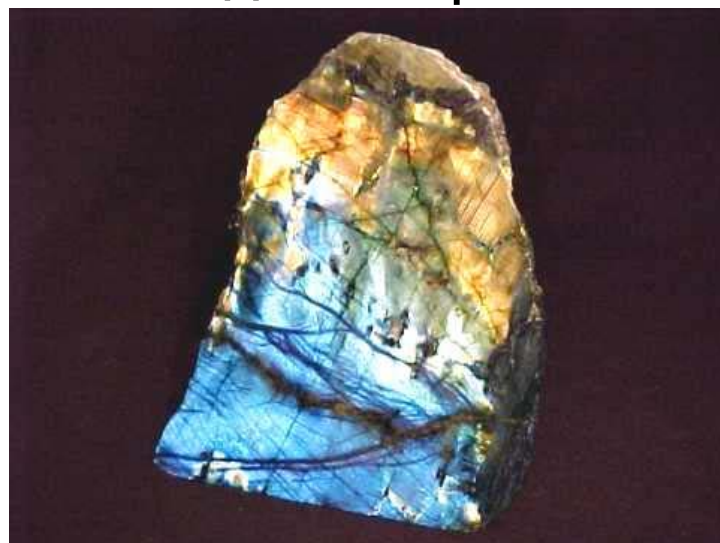
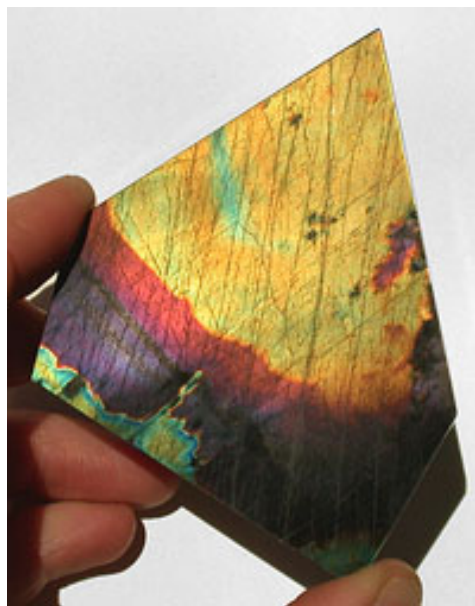
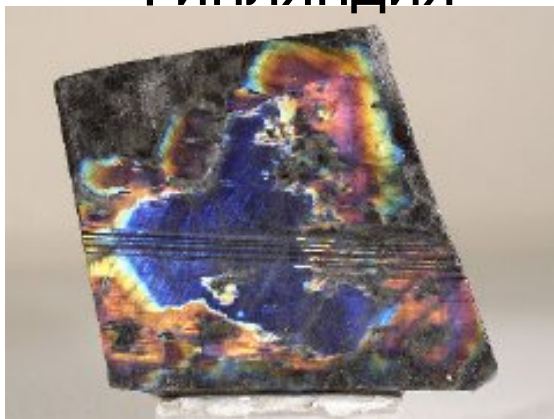
Спектролит



Финляндия



Мадагаскар



ПШ – минеральные виды



БИТОВНИТ



Мексика

ПШ – минеральные виды



Анортит



Япония

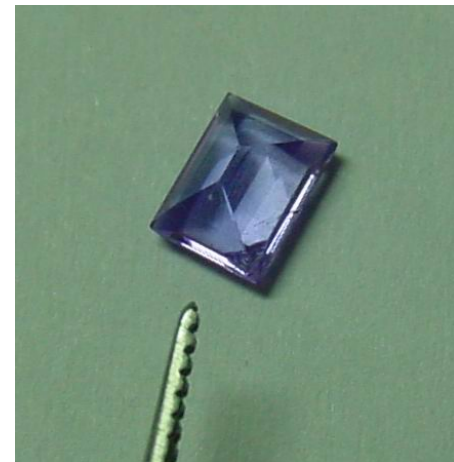
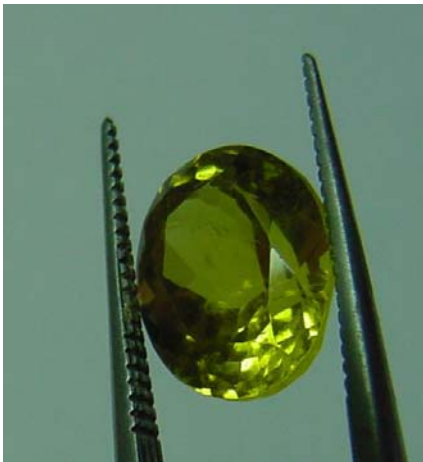


Шамони, Франция

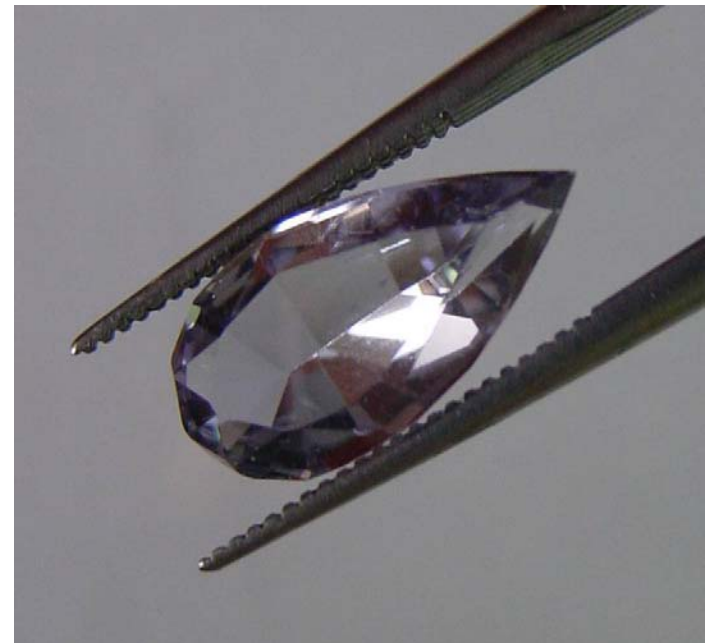
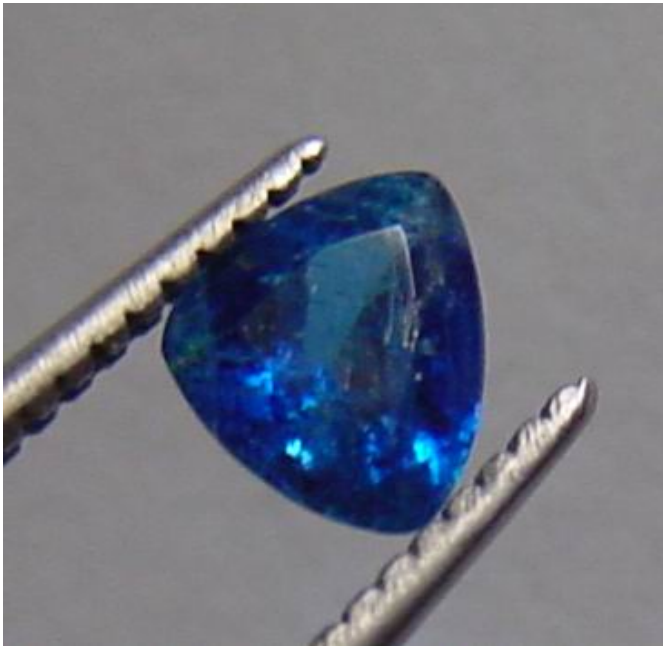
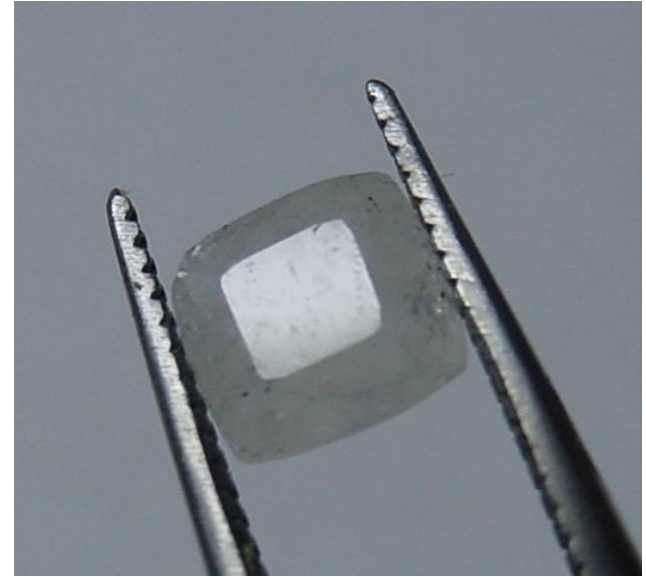
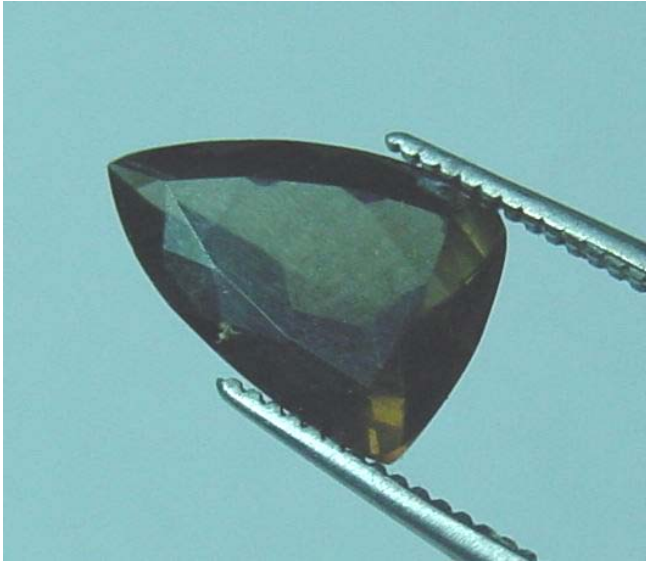
Галоиды: Флюорит



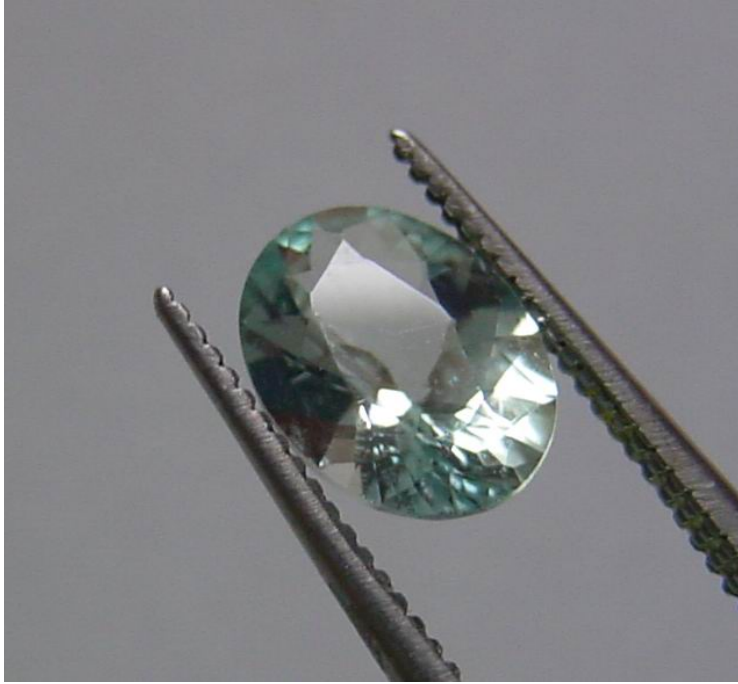
Фосфаты: Апатит...



Трифиллин, вардит, лазулит, гердерит



Амблигонит, бразилианит



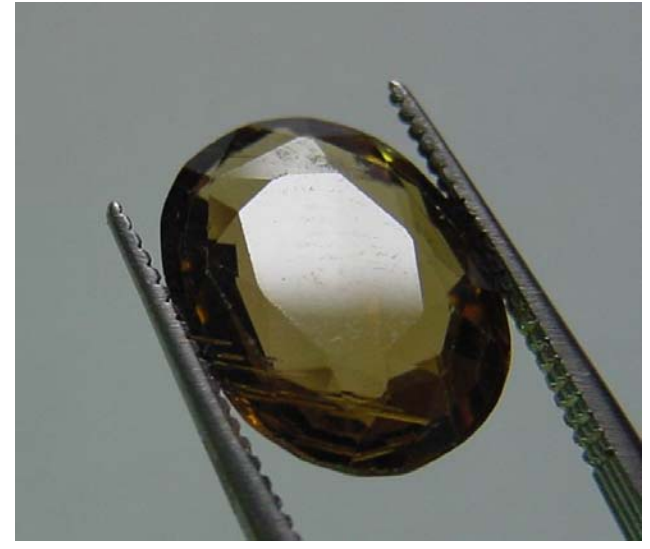
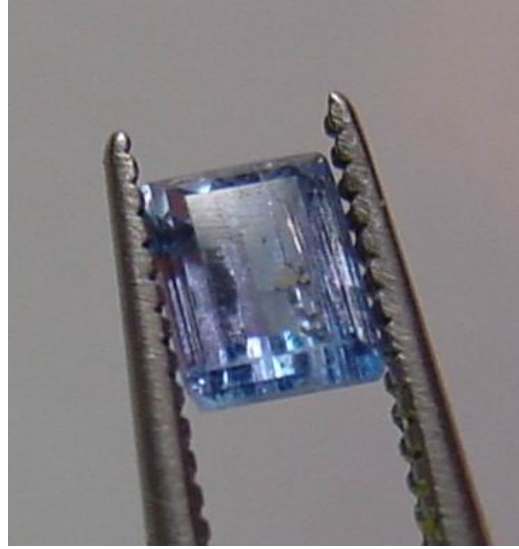
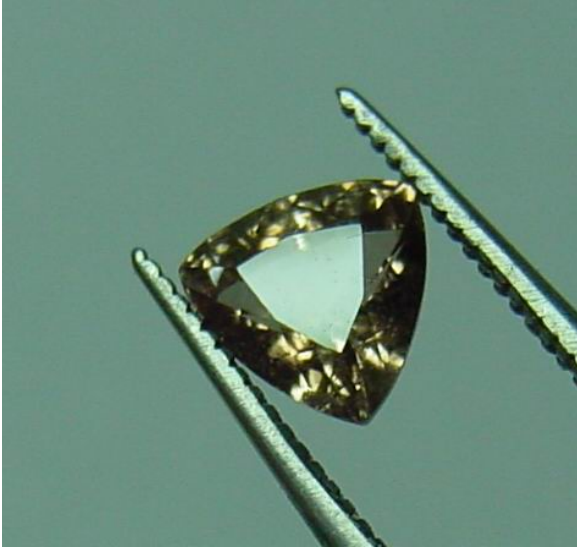
чилдренит,
эосфорит



Карбонаты: арагонит, бастнезит, сидерит, магнезит, родохрозит



бораты и силикаты В: аксинит, еремеевит, сингалит



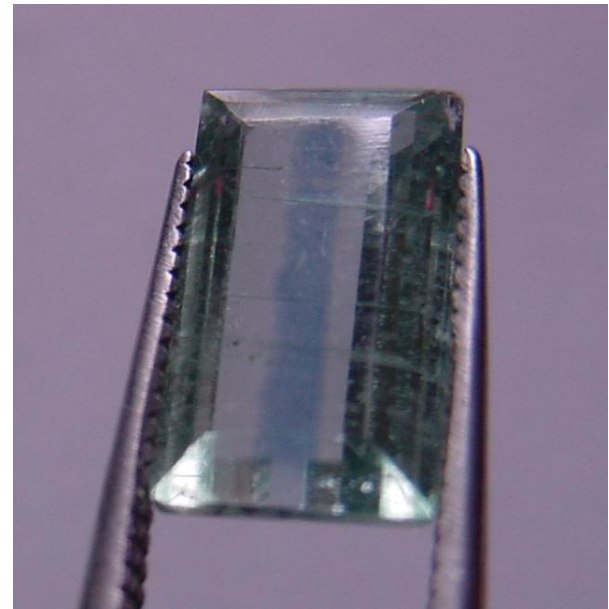
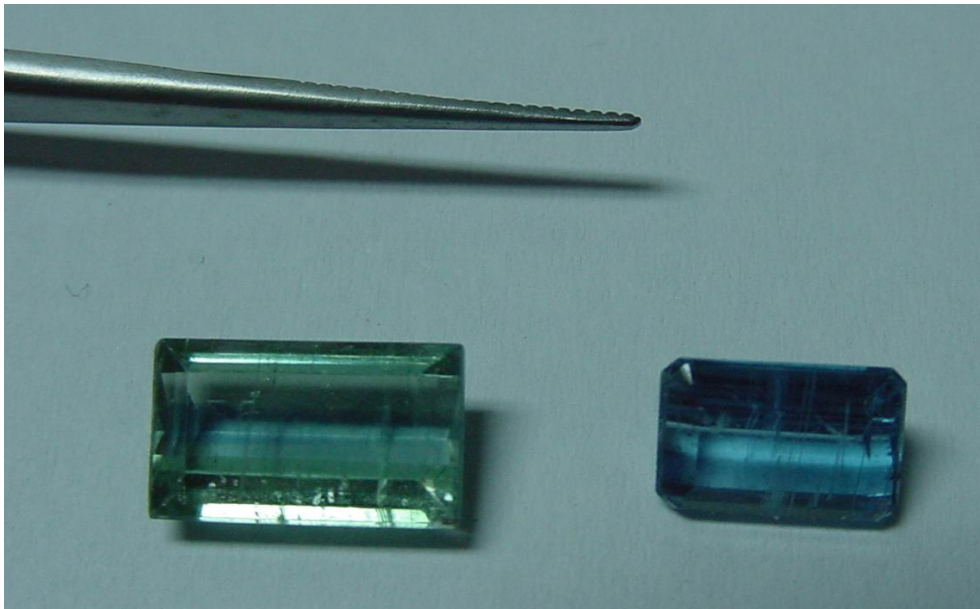
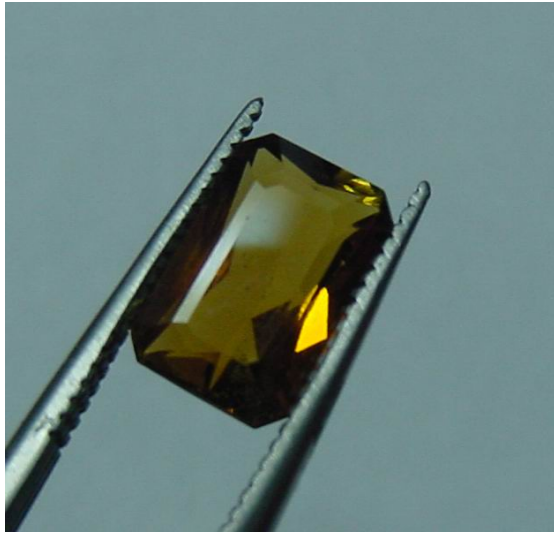
данбурит,
датолит



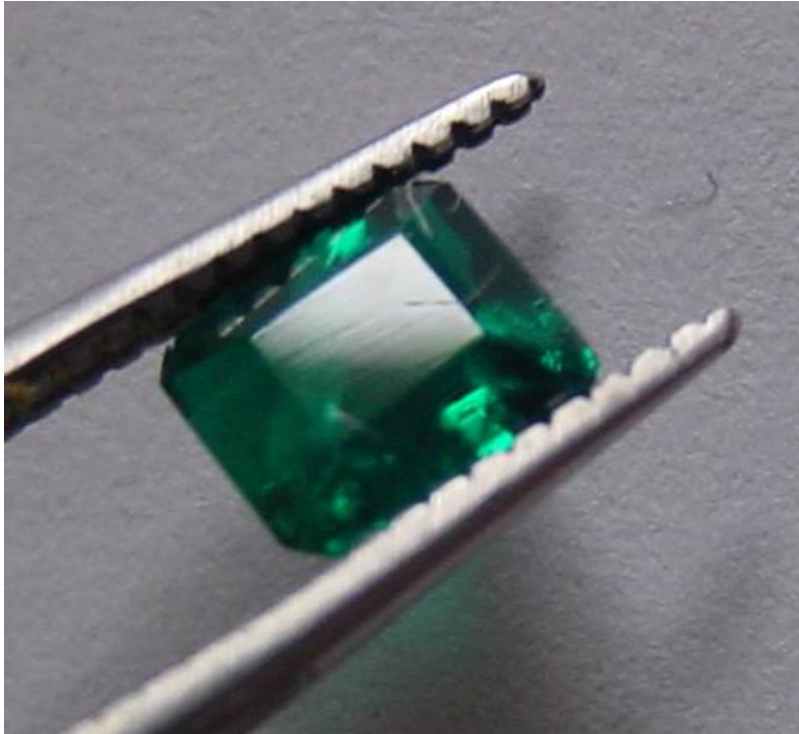
актинолит, тремолит, родонит



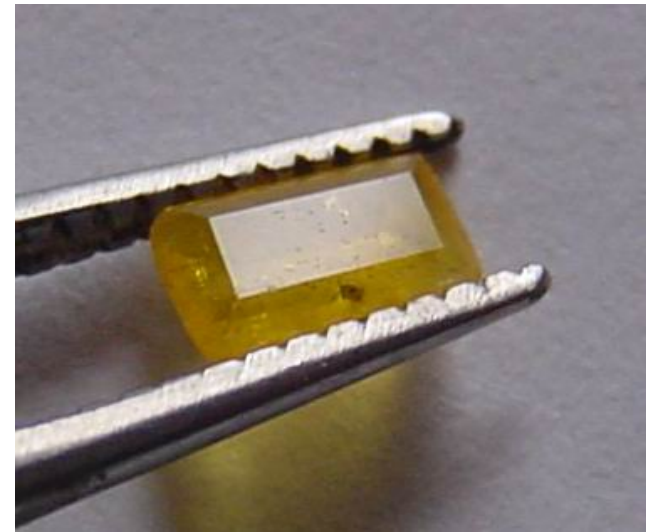
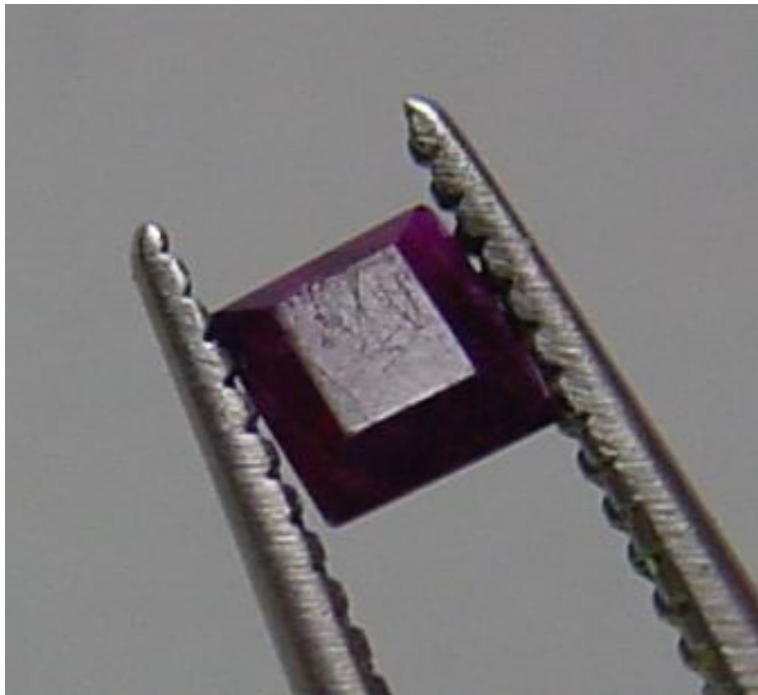
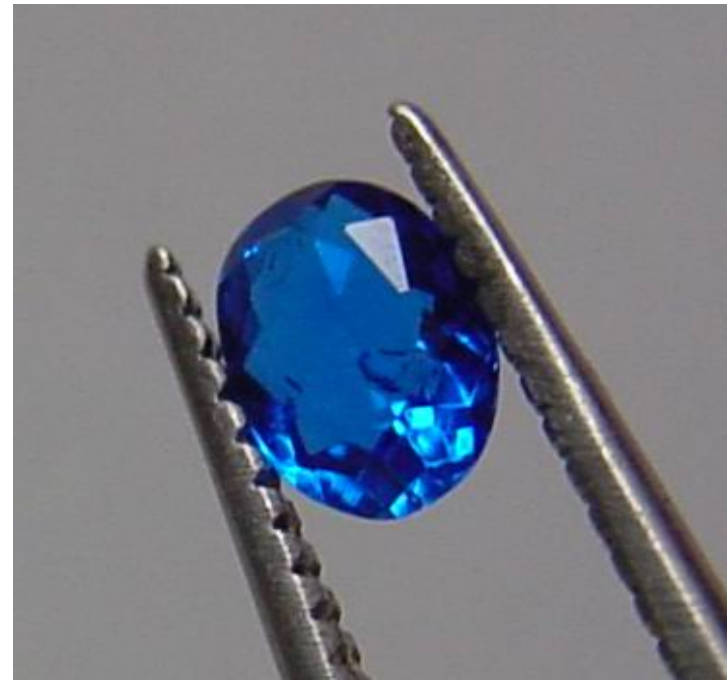
андалузит-силлиманит-кианит



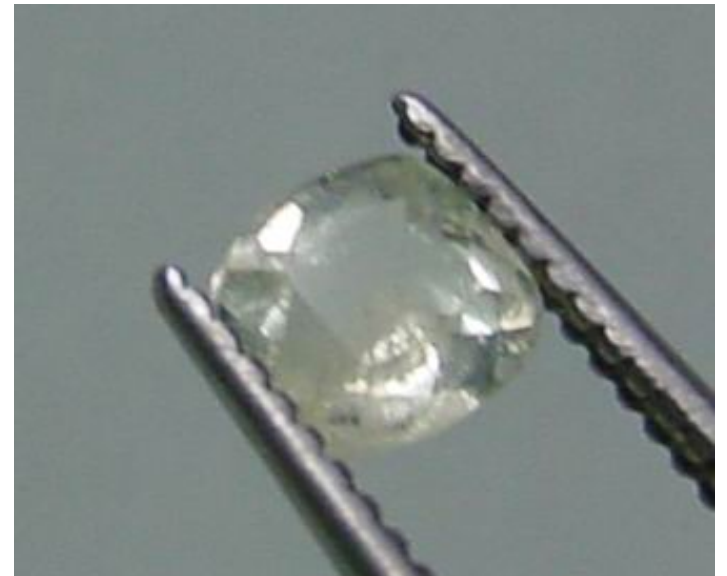
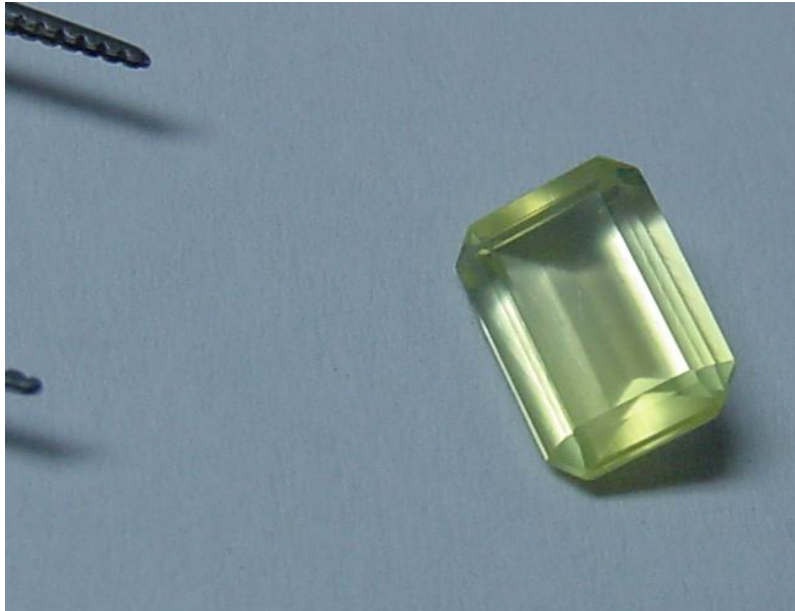
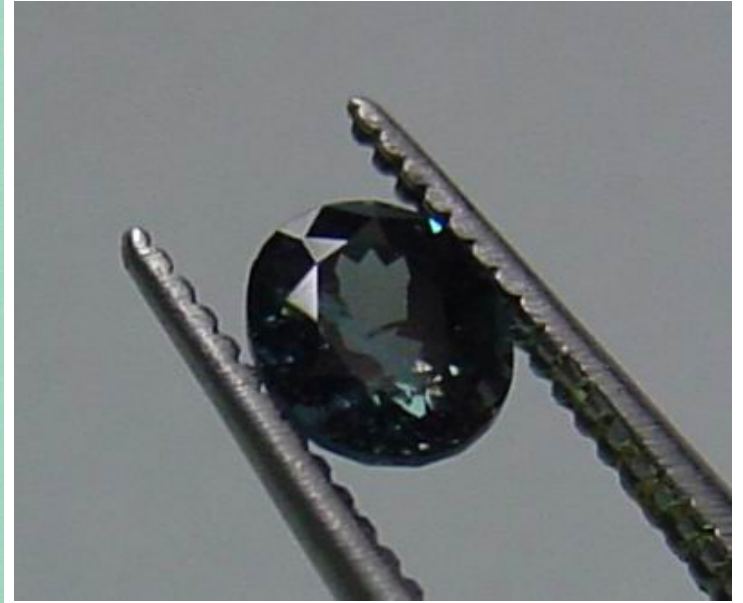
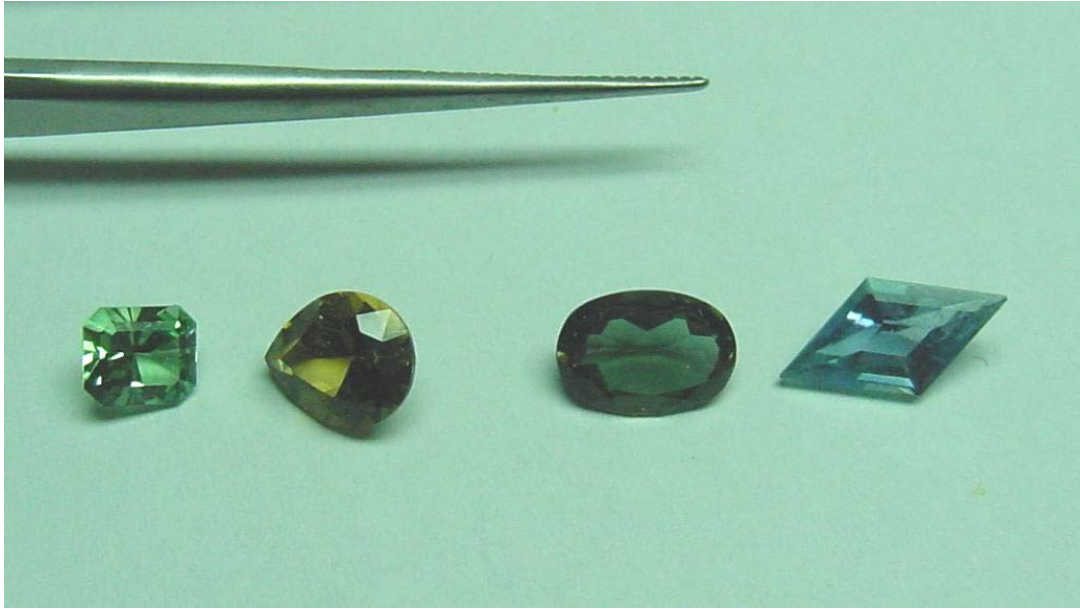
бенитоит, клиногумит, диоптаз, эвклаз



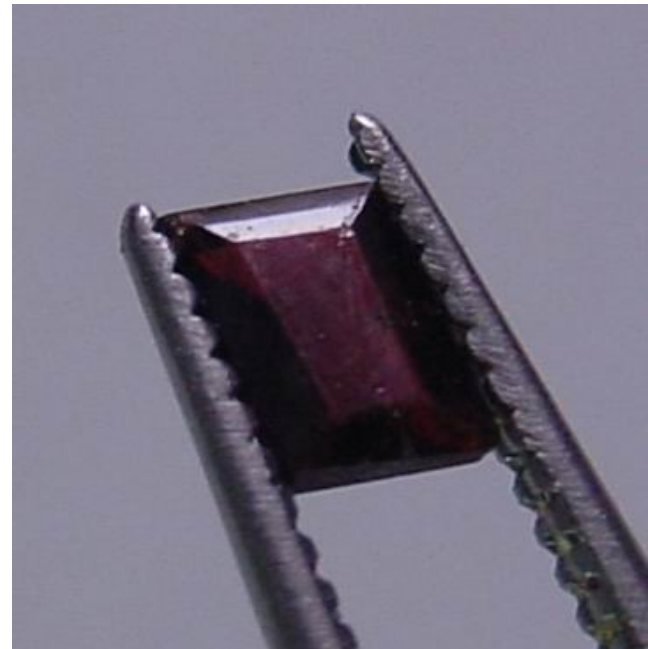
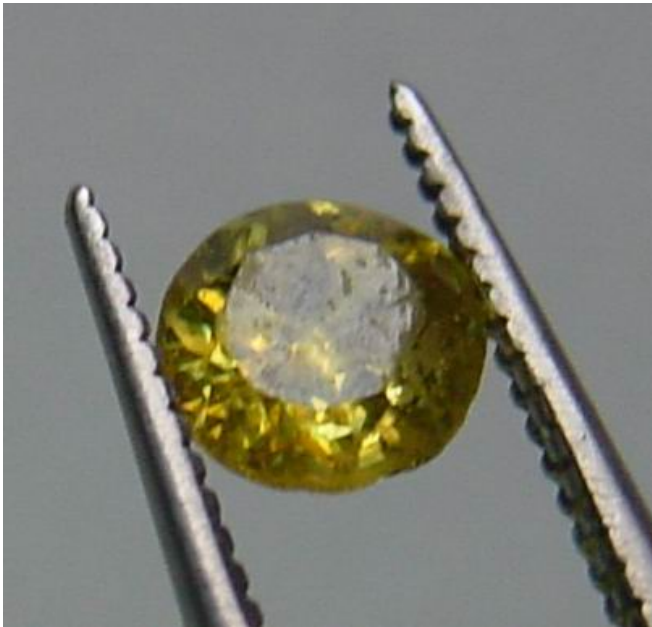
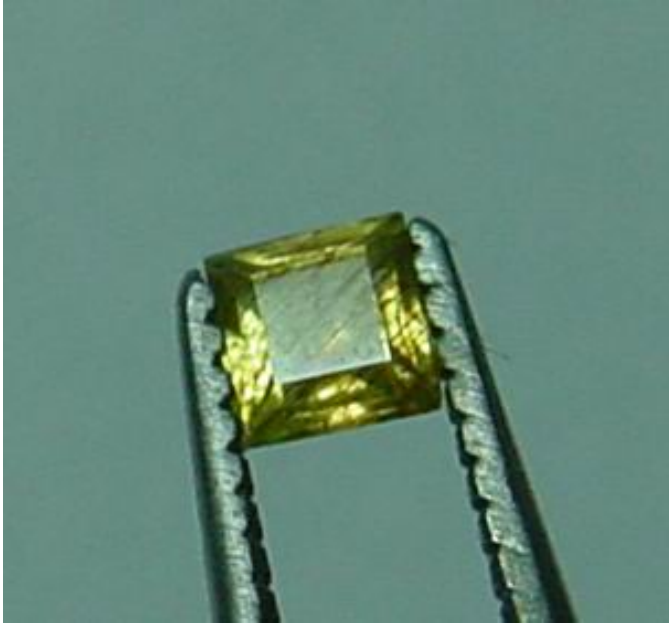
Эвдиалит, гаюин, кеммерерит, канкринит



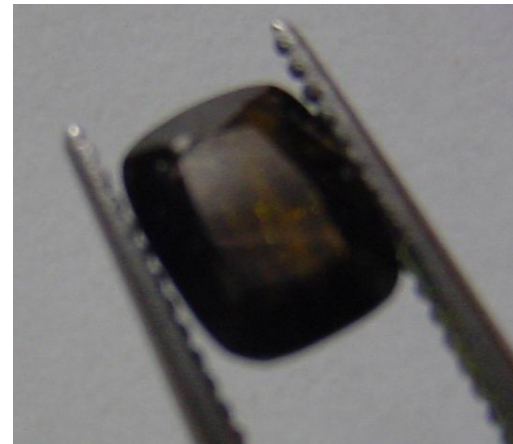
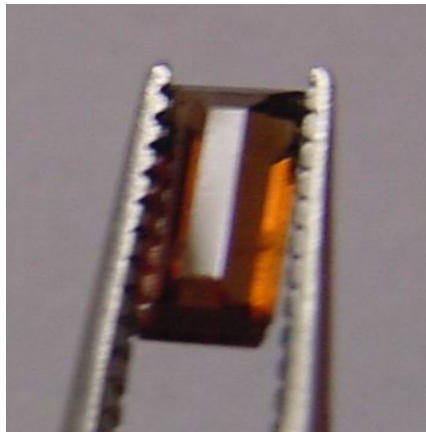
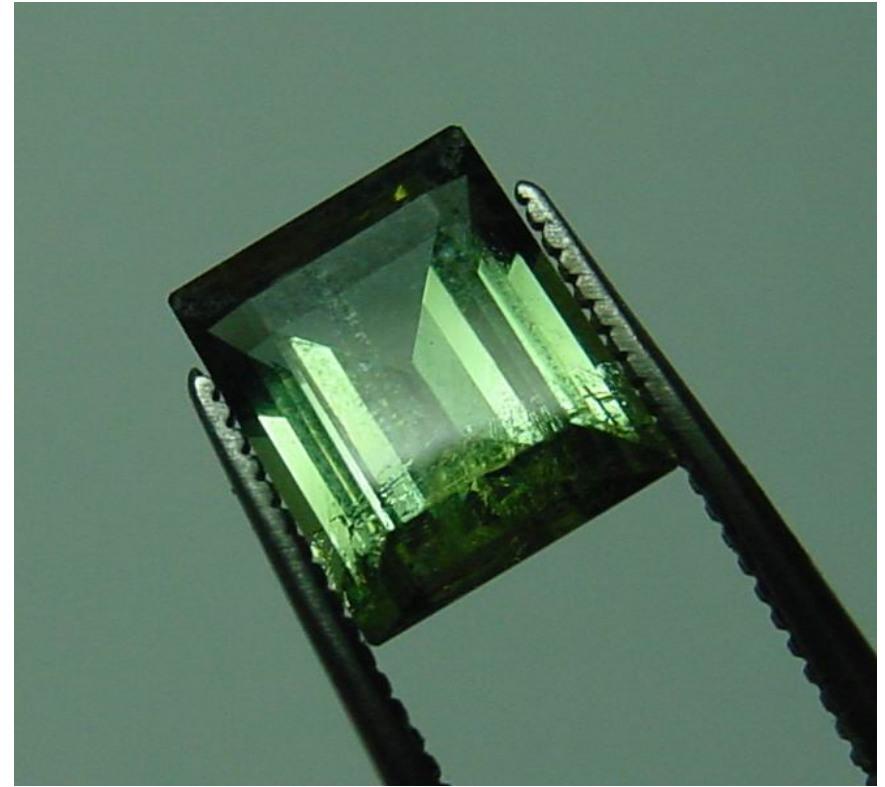
Корнерупин, сапфирин, пренит, миларит



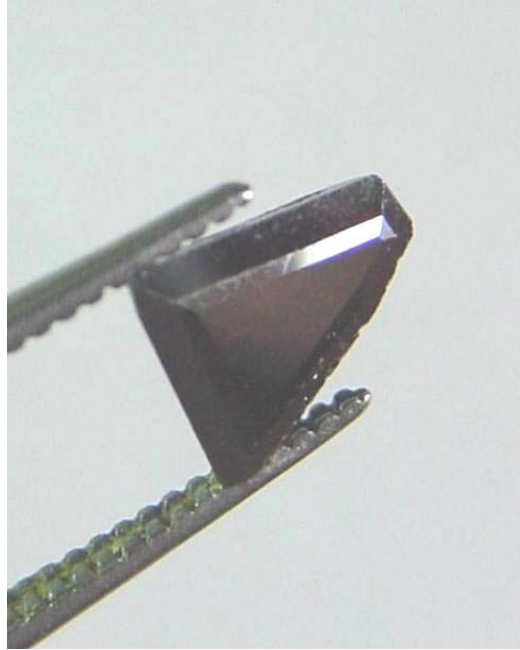
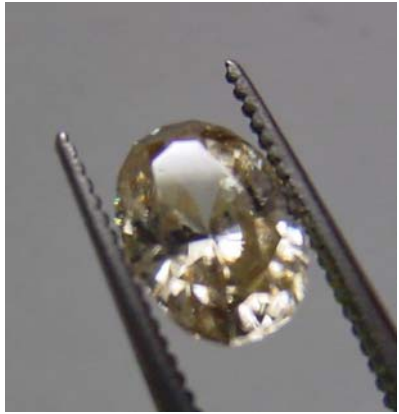
ВИЛЛЕМИТ, ВЕЗУВИАН, ТИТАНИТ, СТАВРОЛИТ



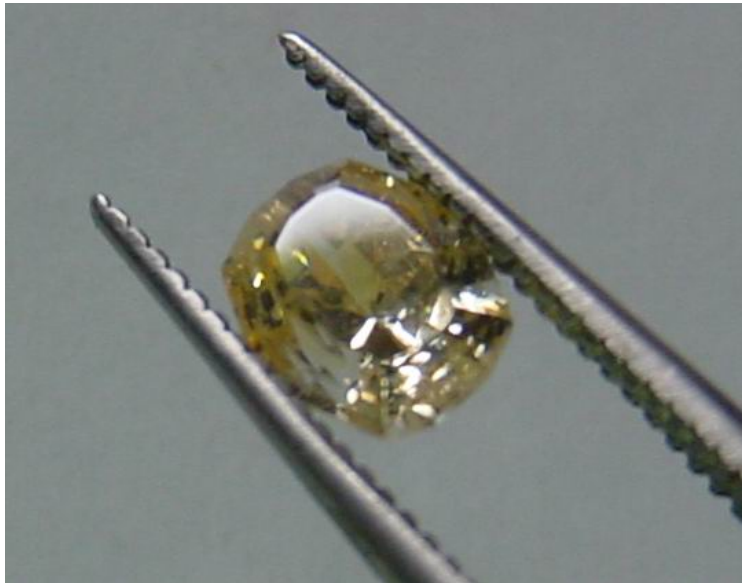
КЛИНОЦОИЗИТ, ЦОИЗИТ, ГИПЕРСТЕН, ЭПИДОТ



касситерит, рутил, диаспор, сфалерит



Мангантанталит, повеллит, шеелит



Синтетические драгоценные камни

Методы синтеза драгоценных камней

1. из расплава (ДСК – переохлаждение)

Вернейля: Sr	корунд, шпинель, рутил, титанат
Чохральского: зонная плавка: флюорит	шеелит, флюорит, YAG, GGG корунд, шеелит, alexandrit,
«гарнисажная» плавка:	фианит

2. из растворов (ДСК – пересыщение)

раствор в расплаве («флюс»):	изумруд, рубин, шпинель, alexandrit
гидротермальный:	кварц, рубин, изумруд, малахит
сверхвысоких давлений:	технические алмазы

3. другие

осаждение глобуль опала
производство бирюзы, смол
культивирование жемчуга

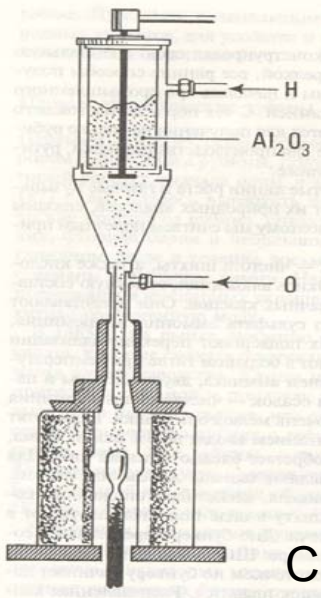
Метод Вернейля

В 1892 французский химик О. Вернейль получил синтетический рубин.

Основная энергия плавления
 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + Q$ (557 Ккал/моль)

Размер були до 20 мм в диаметре, редко – до 30-40 мм, при длине 50-80 мм

Синтез: корунд (*), шпинель, рутил, фабулит



корунд: шихта Al_2O_3

рубин	до 8% Cr_2O_3
синий сапфир	$\text{FeO} + \text{TiO}_2$
желтый сапфир	NiO
с александритовым эффектом	V_2O_3

шпинель: шихта $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (ratio 3,5)

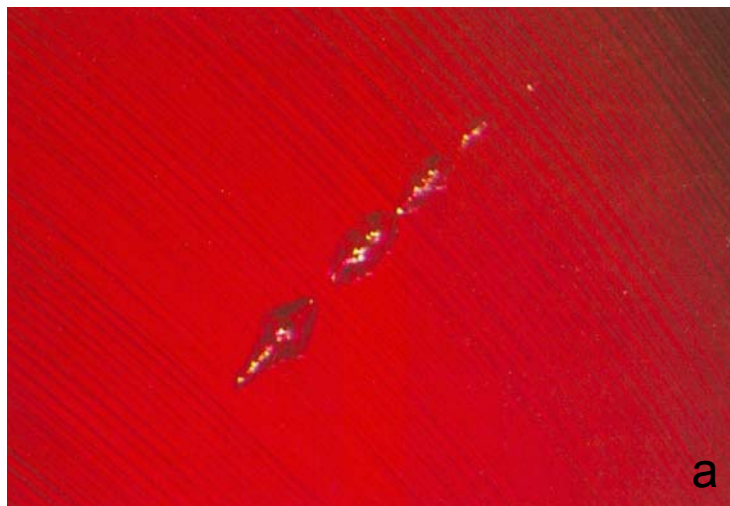
синяя	CoO
бледно-зеленая	Mn_xO_y
розовая	Fe_xO_y



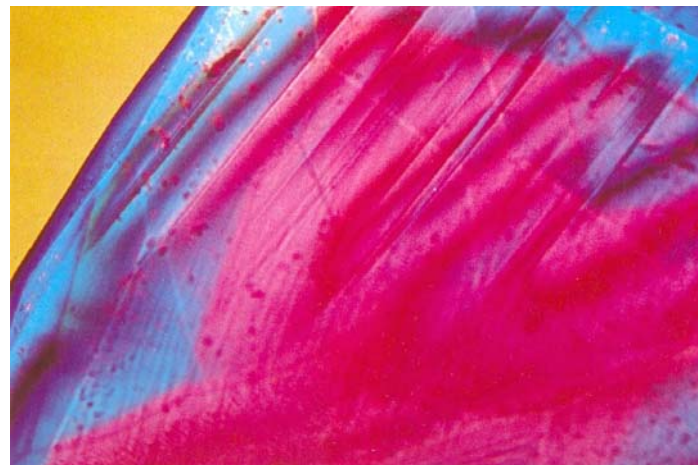
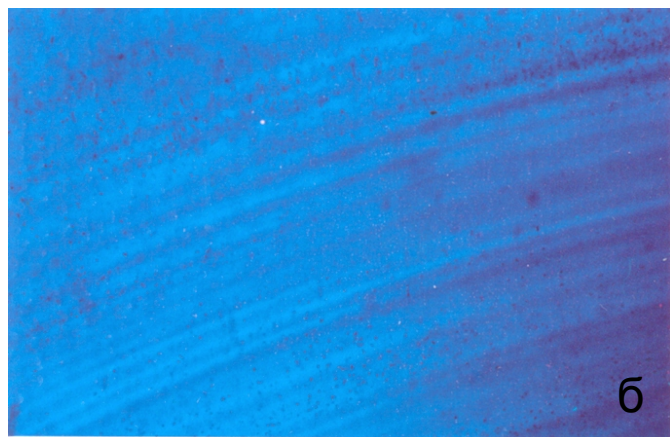
Внутренние напряжения приводят к раскалыванию були по длине

Диагностические особенности камней, выращенных методом Вернейля

КОРУНД



Интерференционные полосы



Эффект Плато – прямые линии роста

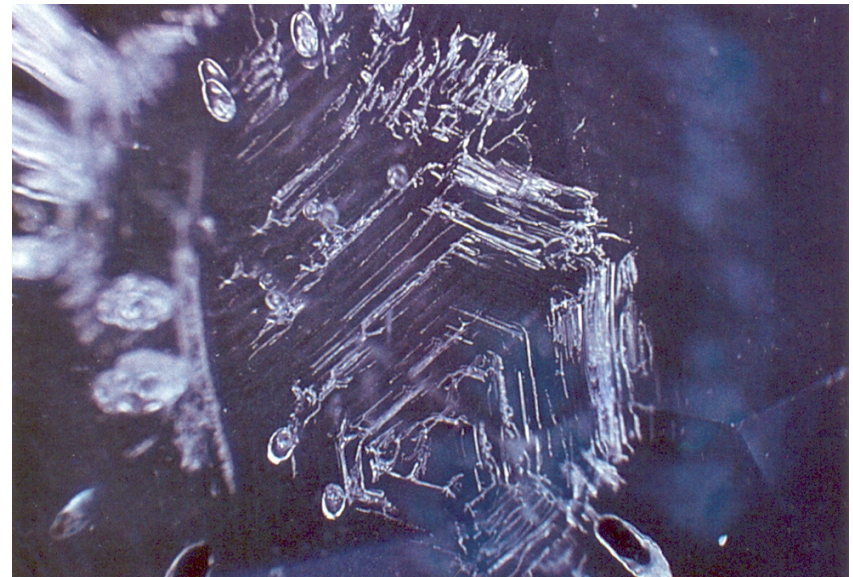
Изогнутые линии роста в рубине (а)
и сапфире (б). Включения газовых
пузырьков с хвостиками

Диагностические особенности камней, выращенных методом Вернейля

ШПИНЕЛЬ



Псевдогексагональный отрицательный кристалл, заполненный газовой фазой



Крупные и мелкие газовые включения, Расположенные в псевдогексагональном порядке.

Метод Чохральского

Метод «вытягивания» из расплава

Синтез: чистый корунд, рубин, сапфир, александрит, YAG ($Y_3Al_5O_{12}$), GGG ($Ga_3Gd_5O_{12}$)

Фронт кристаллизации выше зеркала расплава.

Шихта: простые окислы Al_2O_3 , BeO, Y_2O_3 , Ga_2O_3 , Gd_2O_3

Контейнер с расплавом должен соответствовать требованиям условий синтеза (Т и среда)

примеры материалов тиглей

	maxT, °C	среда
Ir	2200	Vac, Noble, Red
Mo	2500	Vac, Noble (Ar)
W	3000	
Al_2O_3	1800	любая
Pt, Rh	1500,1700	Vac, Noble, Ox
Fe,Cu,Al	1300,800,500	Non-Ox
тефлон	200	любая

некоторые свойства YAG

	цвет	г/см ³
Y	G	4.60
Tb	sY	6.06
Dy	YG	6.20
Ho	goldenY	6.30
Er	YPink	6.43
Tm	sG	6.48
Yb	sY	6.62
Lu	sY	6.69



Высоко-частотный нагреватель расположен вокруг тигля

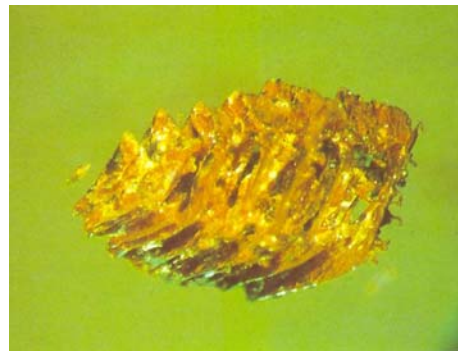
Диагностические особенности YAG, GGG

YAG и GGG применяются в качестве имитации камней с RI>1.81

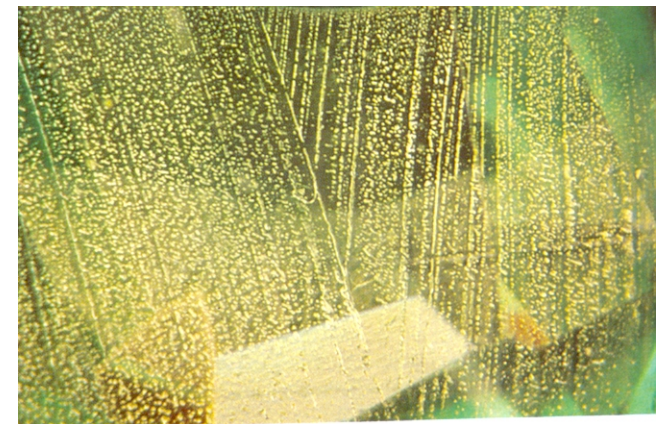
	↙	Ⓜ	цвет	UV	твердость
алмаз	3.515	0.044	с/л - с	b	10
демантоид	3.85	0.057	с	-	6.5
YAG	4.57-6.69	0.028	с/л - с	y	8
GGG	7.05	0.038	с/л (brownish)	G, Y, P	6.5
ZrO ₂	5.65 – 5.95	0.060			8
SrTiO ₃	5.13	0.200			5.5

Рутил и циркон анизотропны.

Оптические спектры YAG, GGG содержат полосы редкоземельных элементов

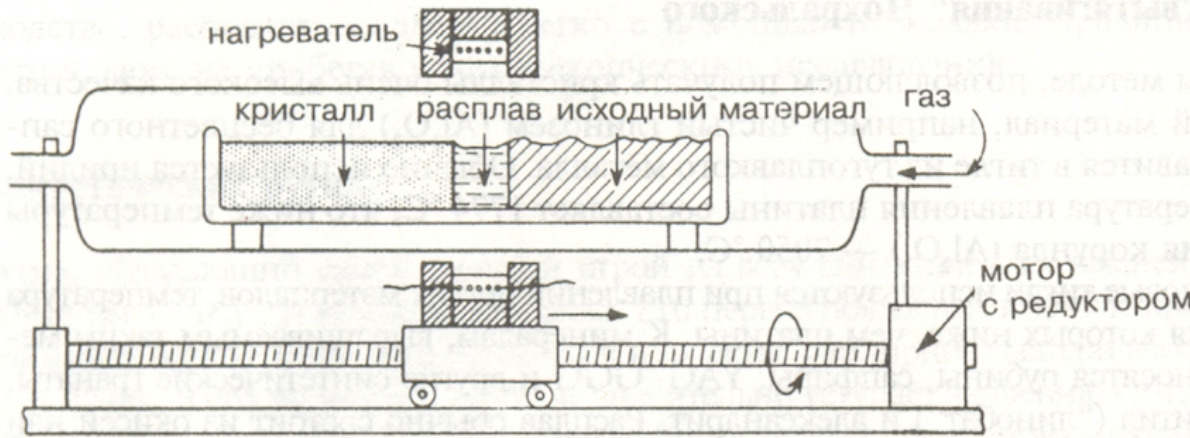


Включение расплава в ИАГ (им. демантоида)



«Зернистые» группы флюидных включений

Метод зонной плавки



Метод используется для синтеза и облагораживания синтетического корунда, шеелита, флюорита, александрита

Метод гарнисажной плавки

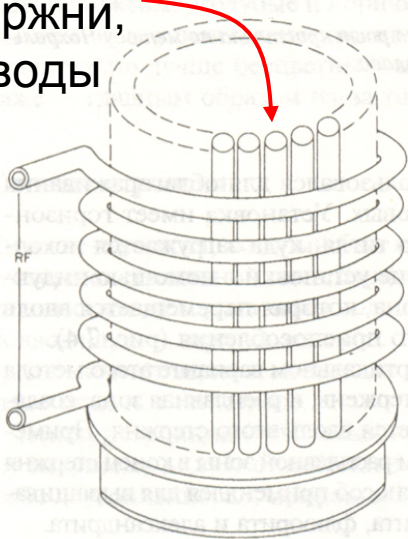
$T_{\text{плавления}}(\text{ZrO}_2) = 2750^\circ\text{C}$

Плавление происходит в контейнере из «гарнисажного», т.е. его собственного материала

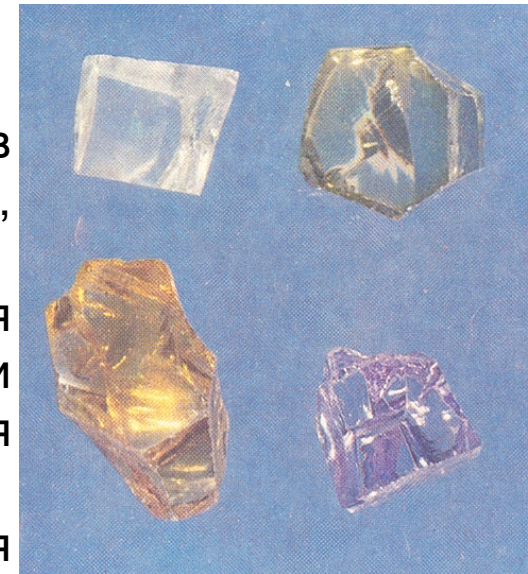
После первого плавления добавляют еще ZrO_2 и стабилизатор, т.к. кубическая модификация неустойчива

Отжиг – для снятия внутренних напряжений.

Си-стержни,
поток воды



нагреватель



фианиты

Раствор-расплавный метод («флюс»)

Для большинства силикатов расплавный метод синтеза неприменим, поскольку при быстром охлаждении они превращаются в аморфное стекло.

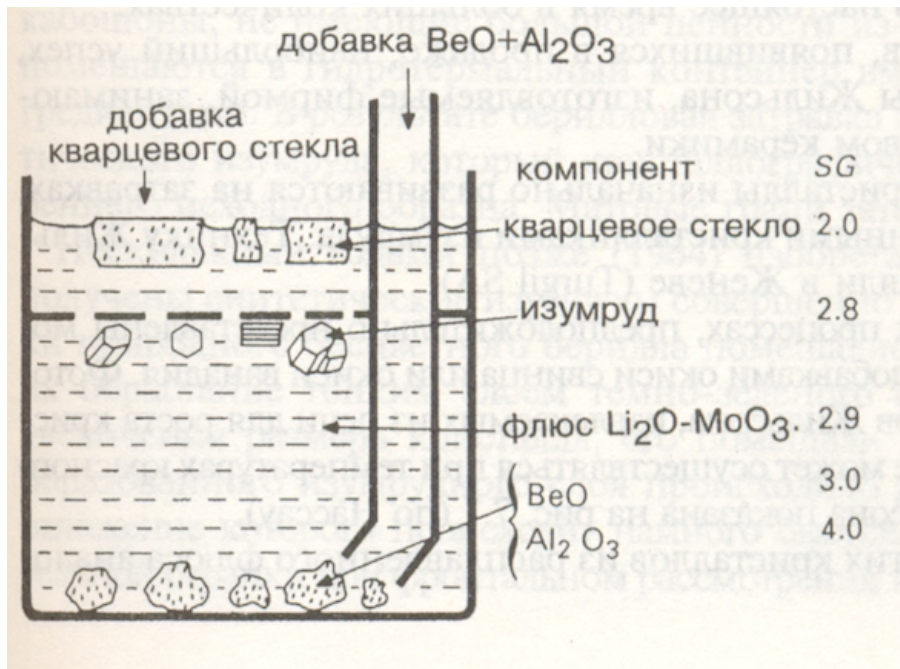


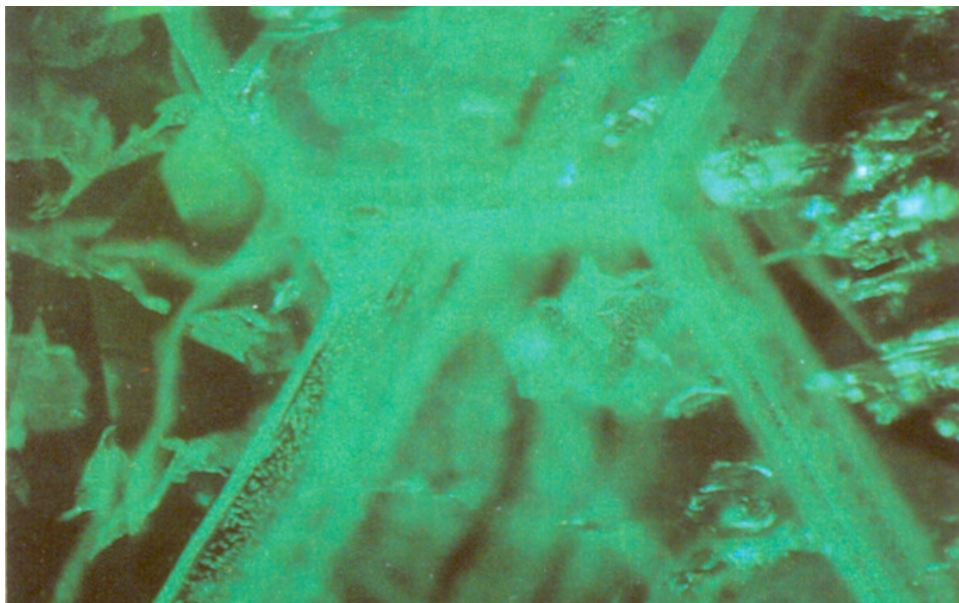
схема флюсового синтеза изумруда

В платиновом тигле BeO и Al_2O_3 растворяют в расплавленном флюсе – Li_2MoO_4 . На поверхности плавает SiO_2 , ниже – на Pt сетке находятся затравочные кристаллы изумруда. В состав флюса должны входить хромофоры.

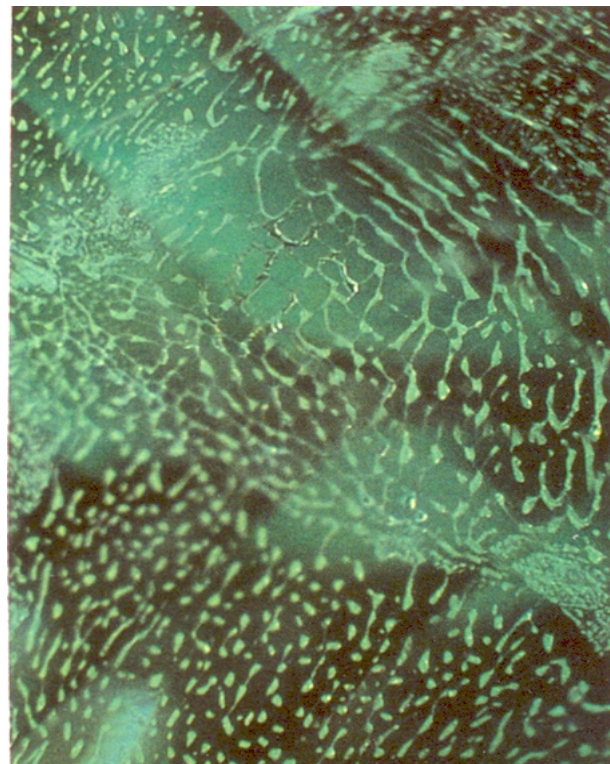
$T = 800^\circ\text{C}$, в течение нескольких месяцев. В процессе роста флюс подпитывается BeO и Al_2O_3 .

Данным методом синтезируют изумруд, alexandrit, рубин, шпинель

Диагностические особенности флюсового изумруда



«Вуали» (во всем объеме) и
гексагонально расположенные
«занавеси» - плоскости флюидных
включений. IG-Farben



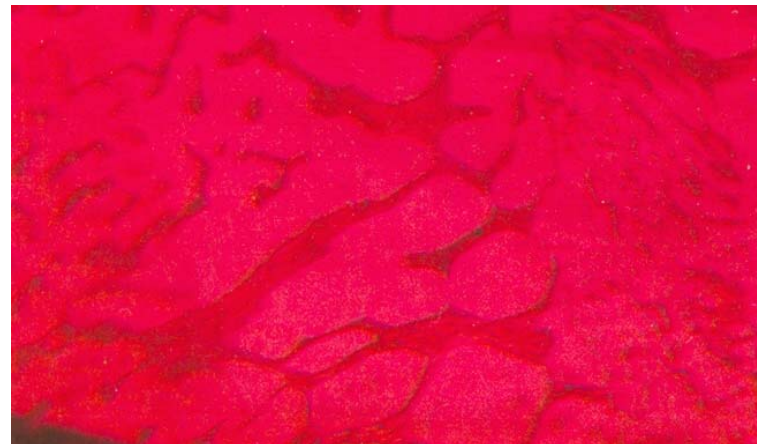
«Отпечаток пальца» в
синтетическом изумруде Biron.

В глубине кристалла –
характерные «облака» и «вуали»

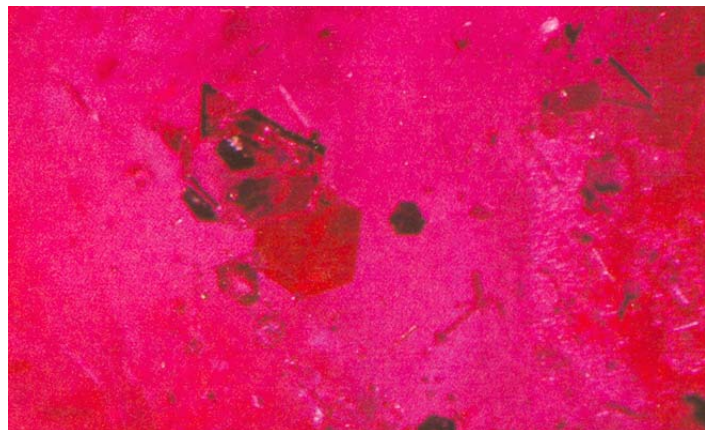
Диагностические особенности флюсового рубина



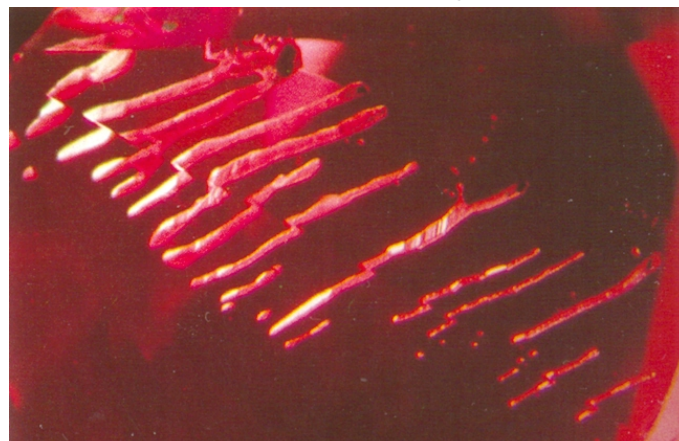
«Вуали» в рубине Chatam



Включения флюса в рубине Chatam

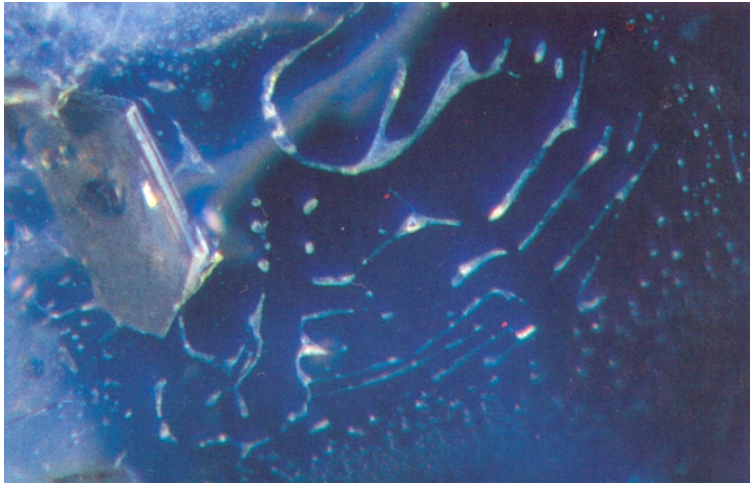


Включения гексагональных пластинок Pt. Chatam

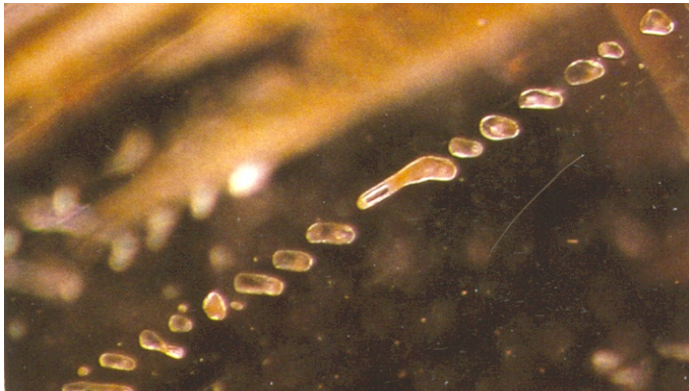


Группа параллельных удлиненных пустот типа «брызг краски». Kashan

Диагностические особенности флюсового сапфира и александрита



Включения флюса и Pt пластинки в сапфире



Цепочка включений флюса в синтетическом александрите

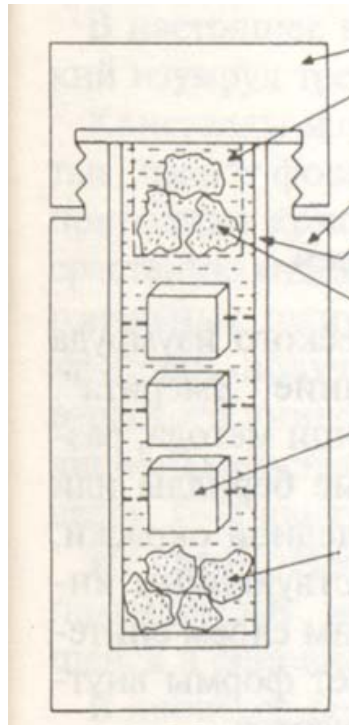


а) включения флюса и Pt в сапфире Chatam

б) включения призматического циркона и анальцима в природном сапфире (Монтана, США)

Гидротермальный метод

Синтез: рубин, изумруд, кварц, малахит



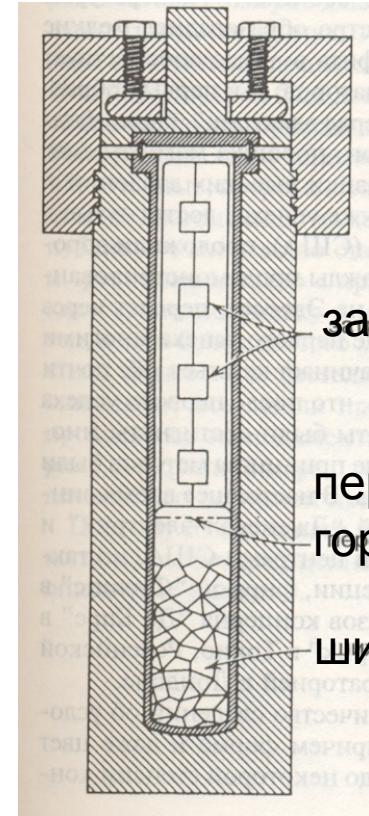
H₂O + минерало-
образующая среда
стальной автоклав

источник SiO₂

затравки

источник
Al₂O₃ + BeO

Рост изумруда на затравках из берилла в кислой среде при $T = 500-600^\circ\text{C}$, $P = 0.7-1.4$ кбар. Температурный градиент между дном и верхом автоклава до 25° . Источник Al – Al(OH)₃, Be – Be(OH)₂, Si – SiO₂, Cr – CrCl₃. Скорость роста – несколько недель
Производители: Lechleitner, Linde, Таурис, Новосибирск



затравки

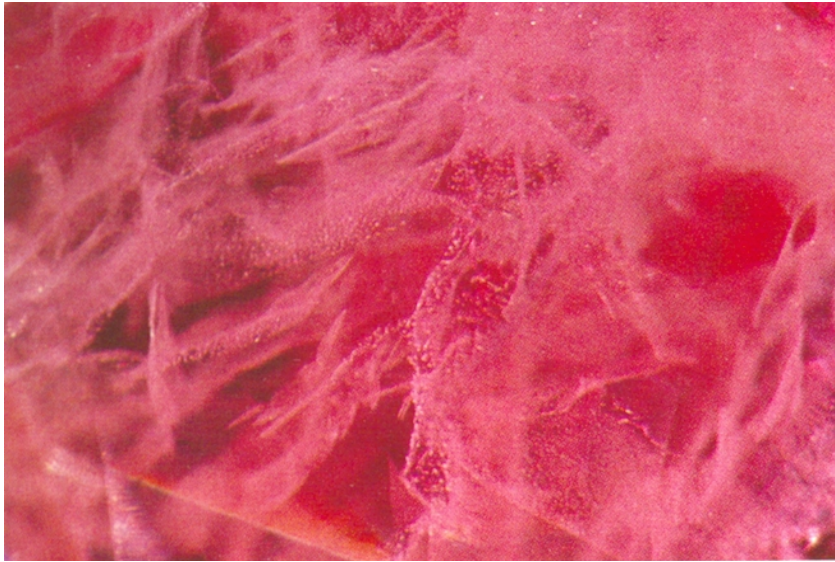
пере-
городка

шихта

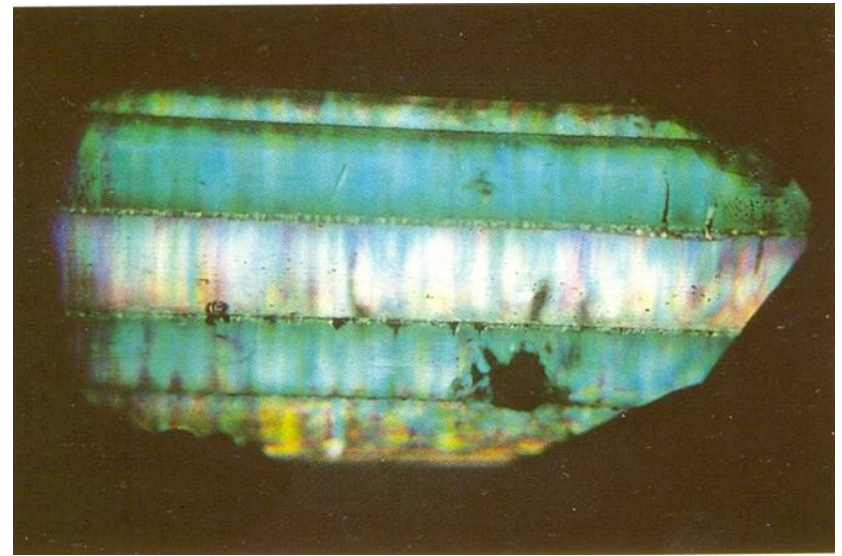
Рост кварца на затравках – ориентированных пластинах кварца в щелочной среде при $T \cong 330^\circ\text{C}$, $P \cong 50$ атм (для аметиста 700-800 атм). Температурный градиент между дном и верхом автоклава 12° .

Производители: ВНИИСИМС, ...

Диагностические особенности гидротермального рубина и изумруда

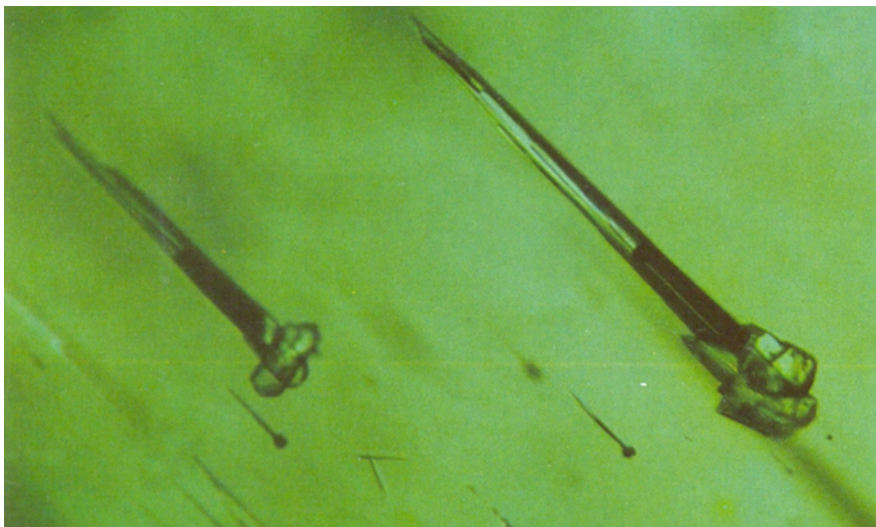


«Вуали» и «кружева» в гидротермальном рубине



Изумруд Lechleitner: видна затравка бесцветного берилла, по обе стороны которой наращен изумруд

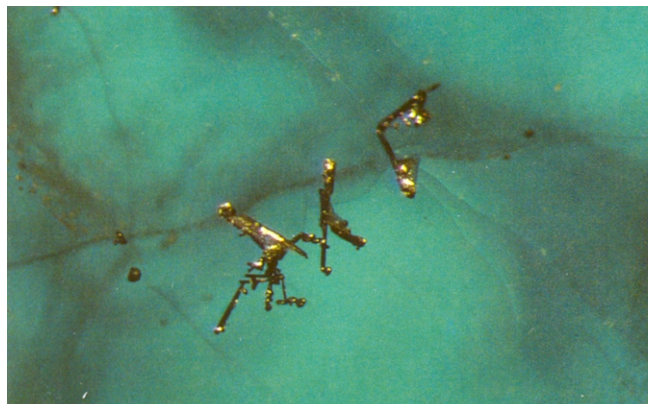
Диагностические особенности гидротермального изумруда



Типичные включения типа «шляпки гвоздя»: кристаллик фенакита с хвостиком флюидного включения. Viron



Параллельные или зигзагообразные внутренние структуры роста «ёлчатость» – в изумрудах российского производства, Новосибирск

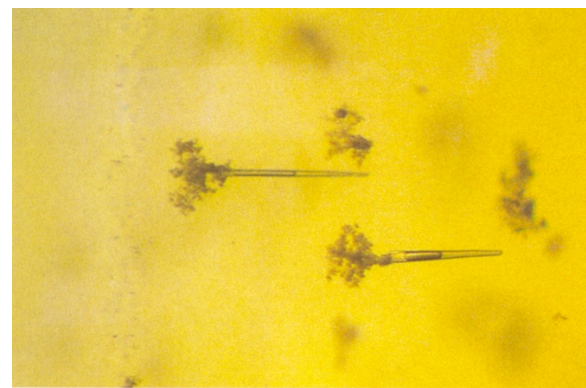


Pt-человечки:
фрагменты
деталей
автоклава

Гидротермальный кварц



Кварц на затравках. Музей ВНИИСИМС



Включения типа «хлебных крошек» и 2-фазовых гжв в синтетическом цитрине

Гидротермальный кварц



Fe³⁺ структурная, радиационная окраска 1-3x10⁶ рентген, отжиг.
Рост на ромбоэдрических затравках



Na₂CO₃



Fe²⁺ неструктурная, K₂CO₃; Fe-стружка на Z затравках. Нет в природе



Co²⁺ неструктурная; Na₂CO₃. Нет в природе



Fe³⁺ неструктурная, Высокая концентрация K₂CO₃ + MnNO₃
В природном цитрине окраска – радиационная, Al → 2□Si
Синтезирован аметрин = аметист + цитрин



P: добавка H₃PO₄ и облучение 0.5 Мрад



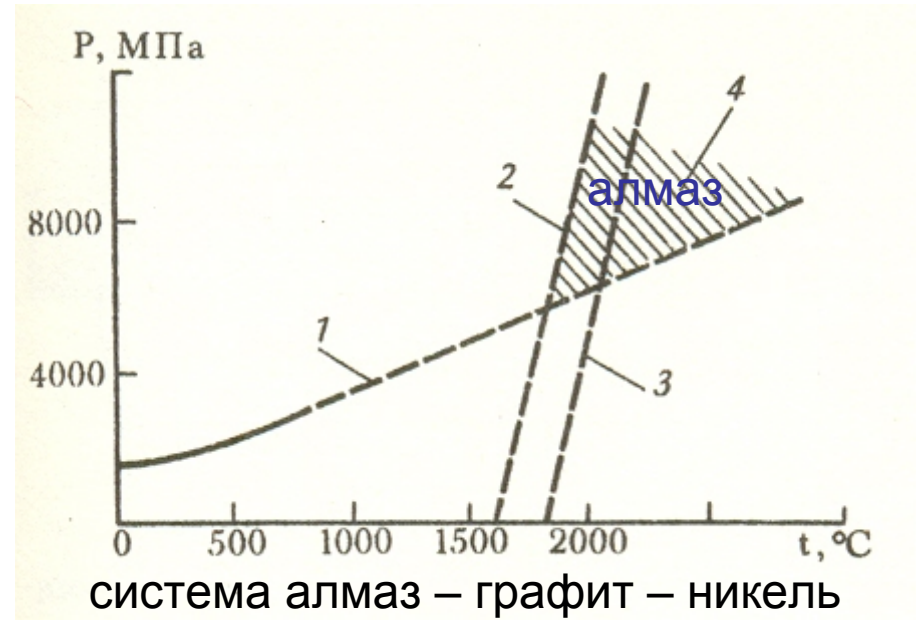
Fe²⁺, Fe³⁺, K₂CO₃, на Z затравках.
При отжиге при T = 450-470°C бурый переходит в зеленый

Авантюриновый кварц = добавление медной стружки в кварц

Синтетический алмаз



Камера для создания высоких давлений – для синтеза алмаза



Алмаз образуется при кристаллизации углерода из его раствора в расплаве металла-катализатора (Ni, Pt, Cr, Mn, Fe, Co...) при $P > 5000$ МПа и $T = 1800-2500^{\circ}\text{C}$.

Синтетический опал



Белый и черный синтетический благородный опал. ВНИИСИМС



Черный опал. Gilson

COLOUR REFERENCE CHART



SO-01



SO-04



SO-05



SO-06



SO-07



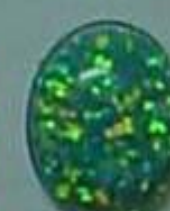
SO-08



SO-09



SO-10



SO-11



SO-13



SO-14



ST-14



SO-15



ST-15



SO-16



SO-17



ST-17



CT-17



SO-18



SO-19



SO-20



SO-21



SO-22



SO-23



SO-24



SO-25



SD-26



SO-27



SO-28



SO-29



SO-30



SO-31



SO-32



SO-33



SO-34



SO-35

Поделочные камни

Генезис ювелирно-поделочных, поделочных и облицовочных камней

◆ *Магматический*

- » Анортозиты
- » Габбро, габбро-долериты
- » Нефелиновые сиениты и пегматиты: нефелин-сиенитовые и сиенитовые
- » Граниты и гранитные пегматиты
- » Вулканические стекла

◆ *Гидротермальный*

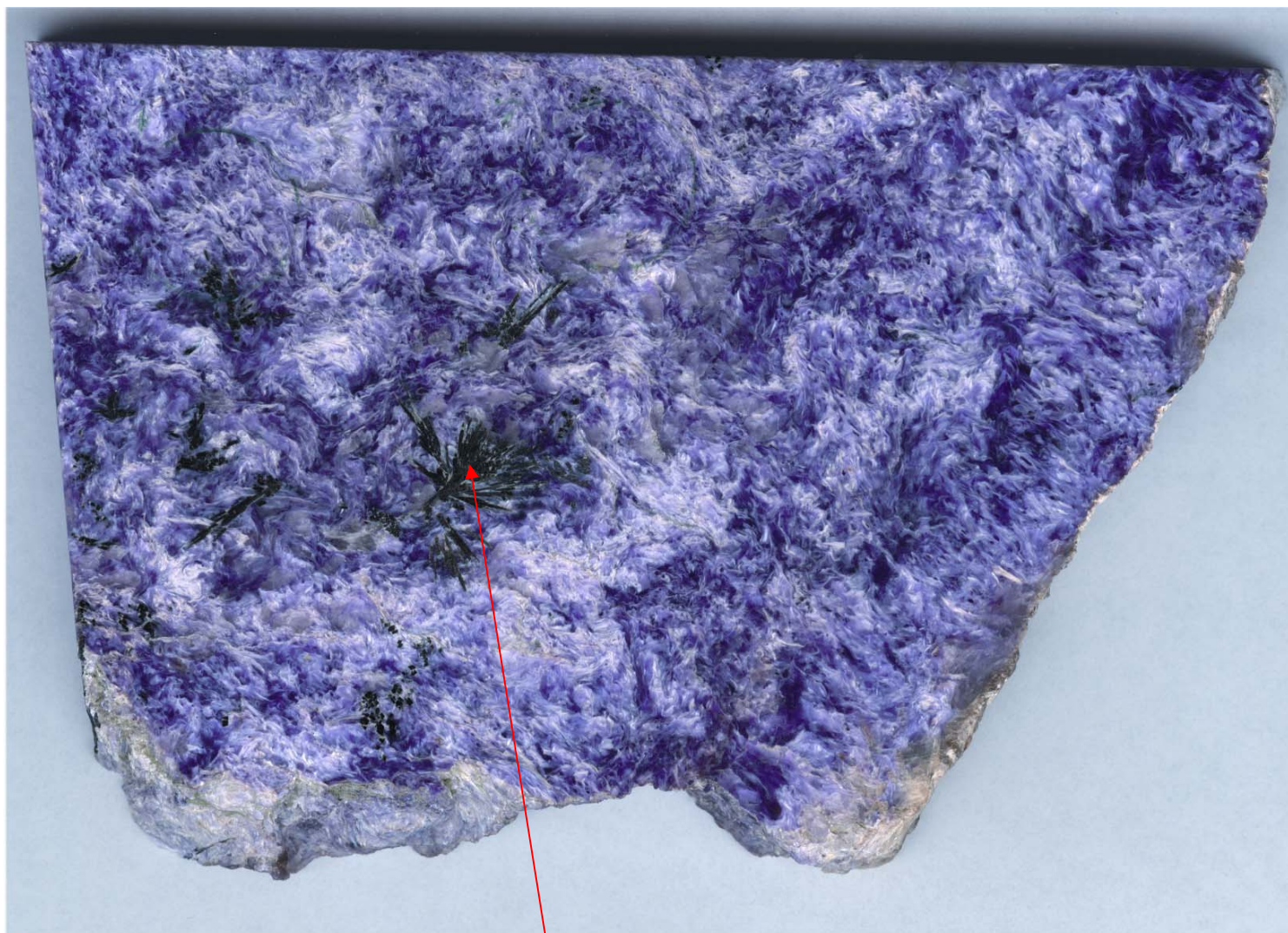
- » Щелочные фениты
- » Магнезиальные скарны
- » Известковые скарны
- » Листвениты
- » Щелочные метасоматиты зон разломов среди джеспилитов

◆ *Метаморфогенный*

- » Цеолитовой фации
- » Пренит-пумпеллиитовой фации и пумпеллиит-актинолитовой фации
- » Фации голубых сланцев
- » Фации зеленых сланцев
- » Амфиболитовой фации
- » Эклогитовой фации

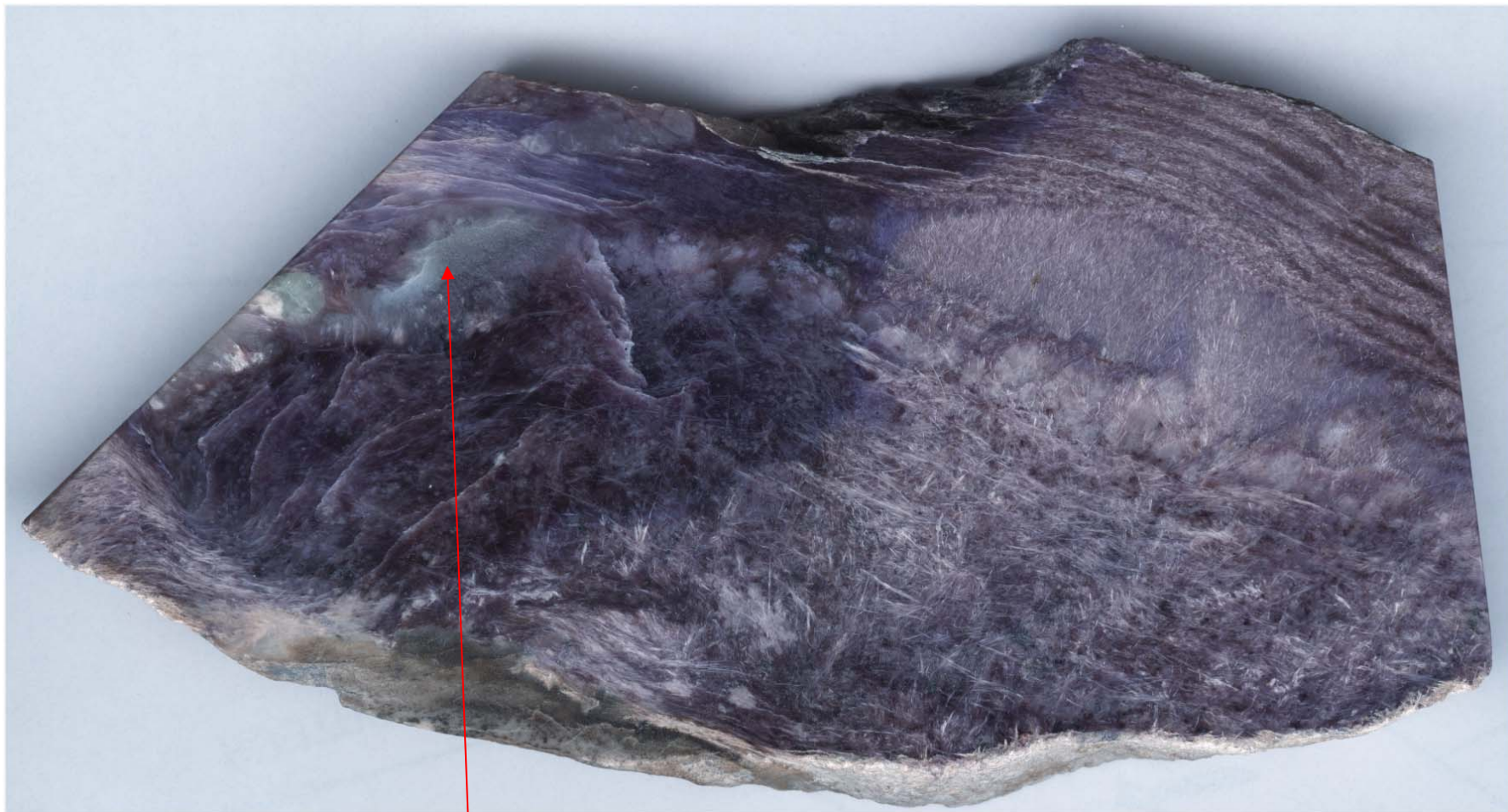
◆ *Гипергенный*, ◆ *Биогенный*, ◆ *Импактиты*

Волокнистая



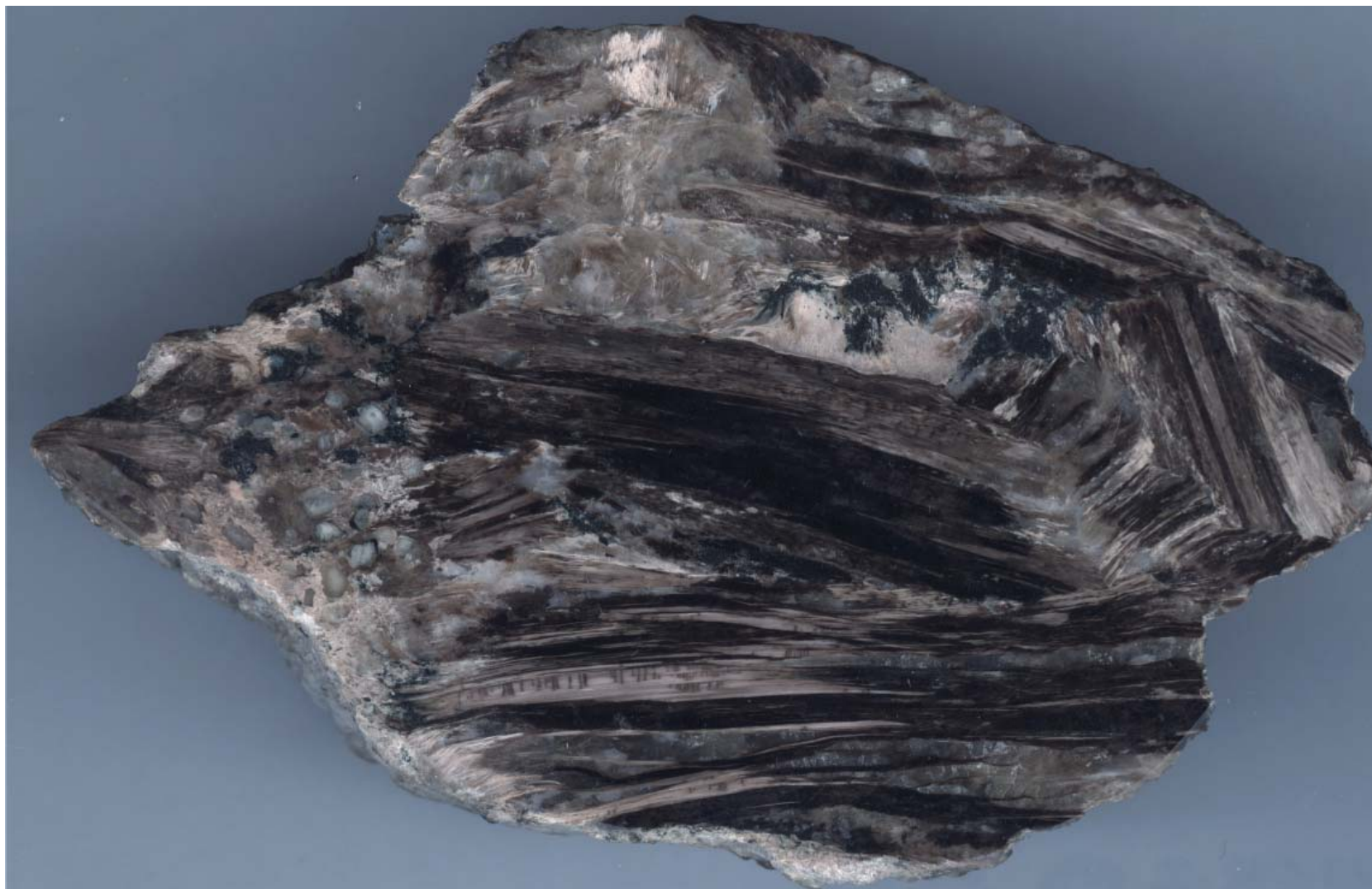
Радиально-лучистые агрегаты - эгирин

Сливная и полосчатая

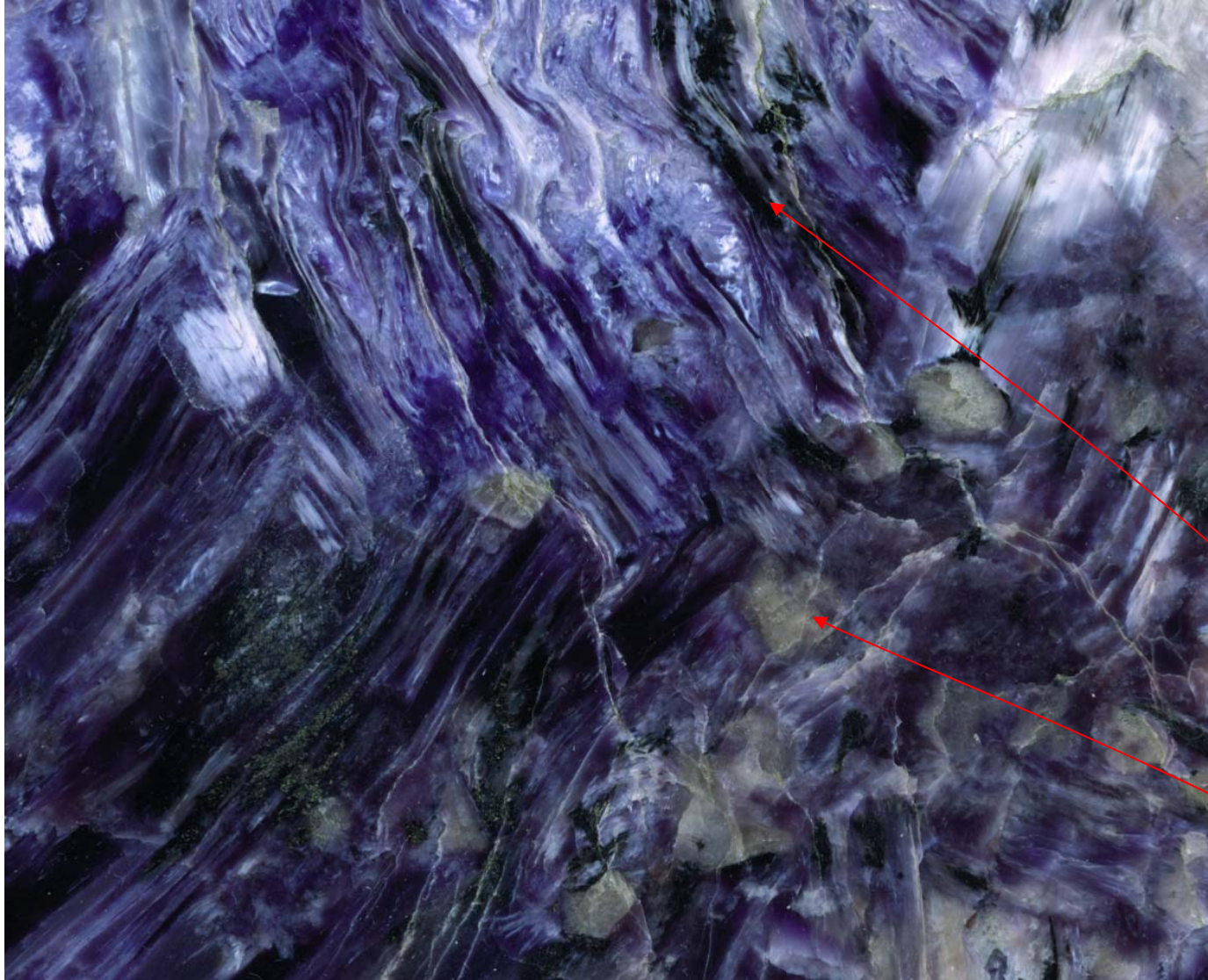


Зеленовато-голубой - пектолит

Параллельно-шестоватая



Гигантоплойчатая



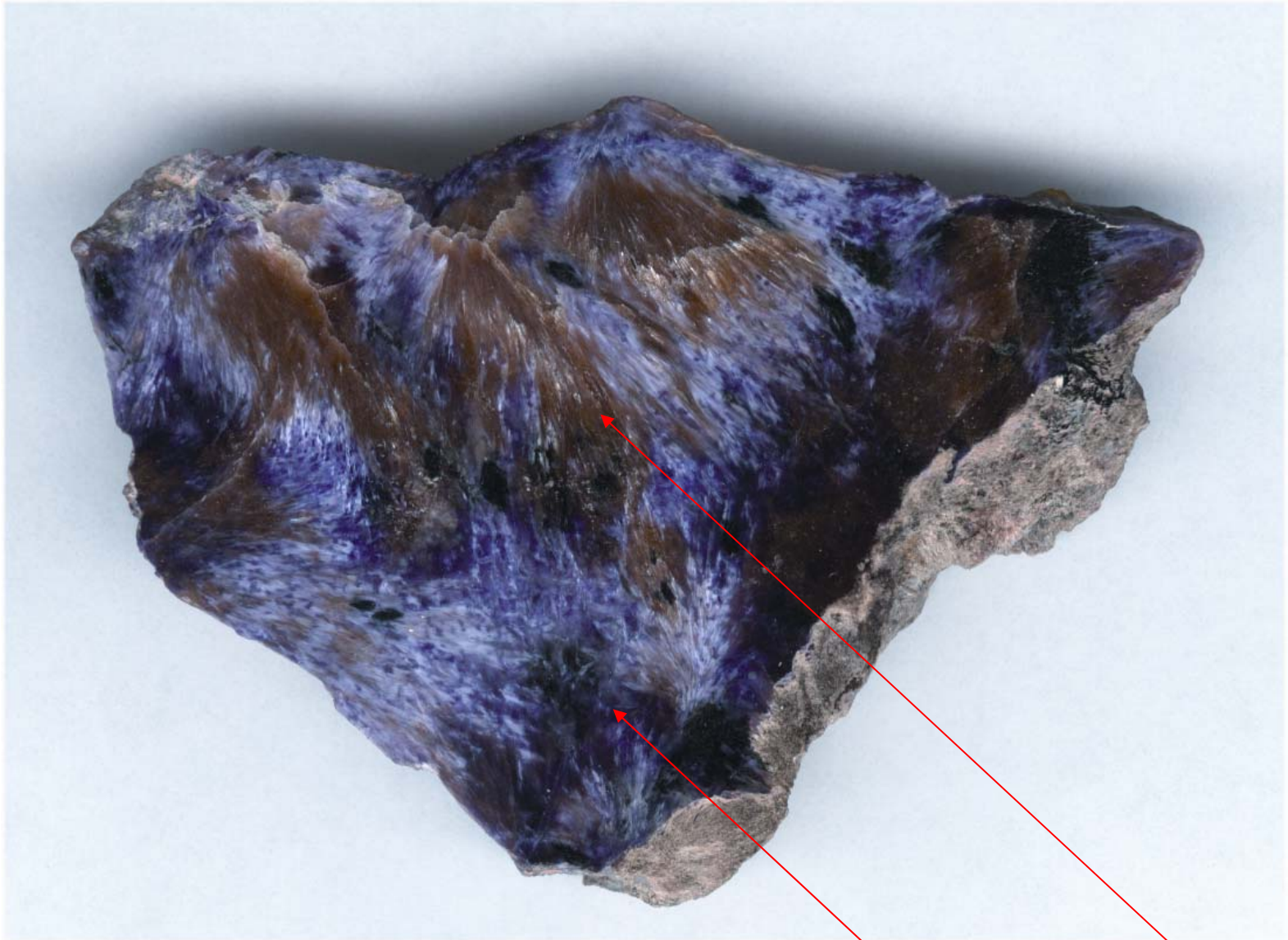
Серо-зеленые «глаза» микроклина и агрегаты черного тонкоигльчатого эгирина

Волокнисто-пластинчатая и паркетовидная



Сноповидные выделения тинаксита

Метельчатая текстура чароитита



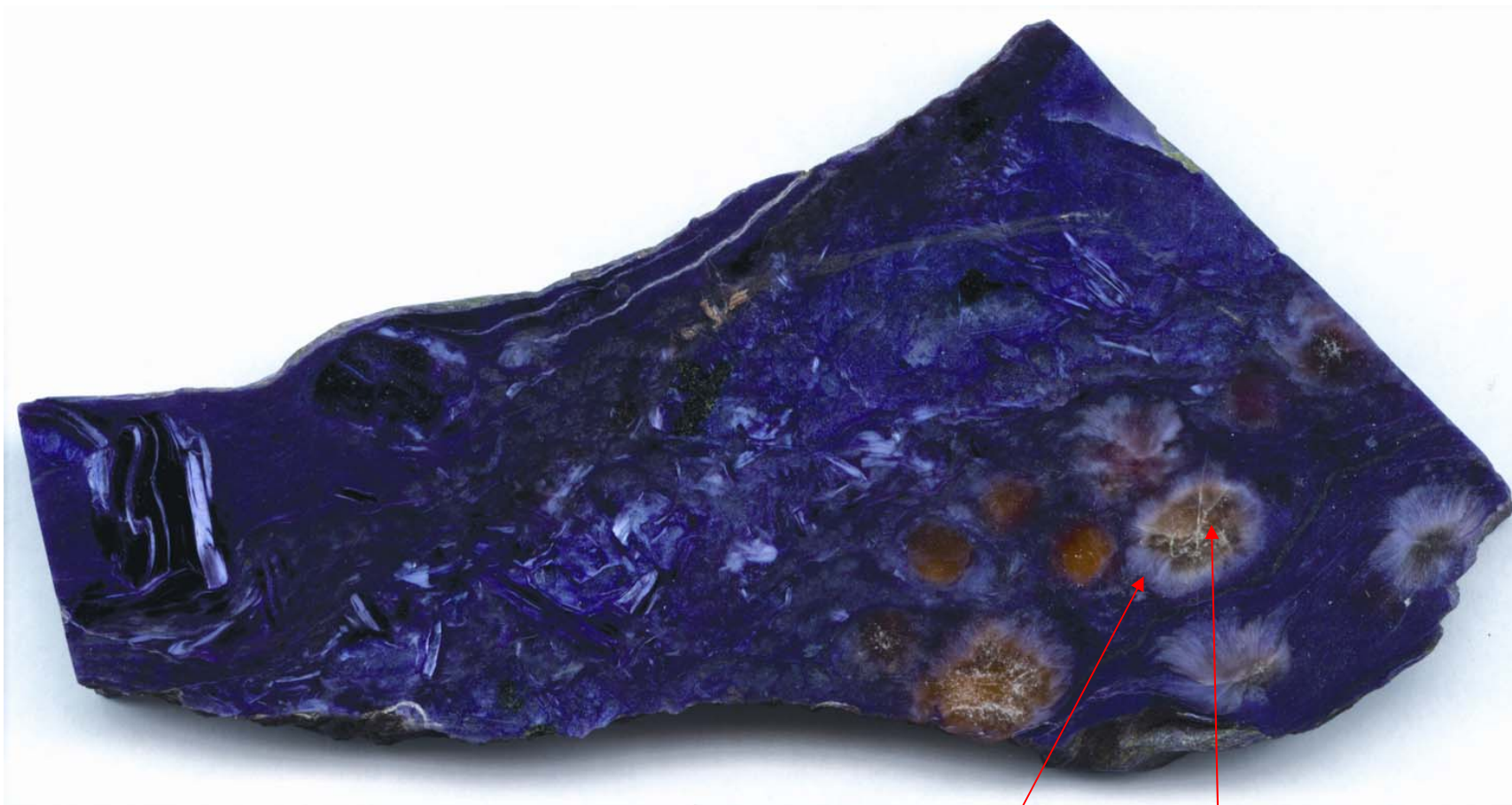
Параллельно-игольчатые агрегаты чароита и токкоита

Крупноочковая и розетковидная



«глаза» пектолита и гнезда эгирина

Массивный, волокнистый и крупноочковый чароитит



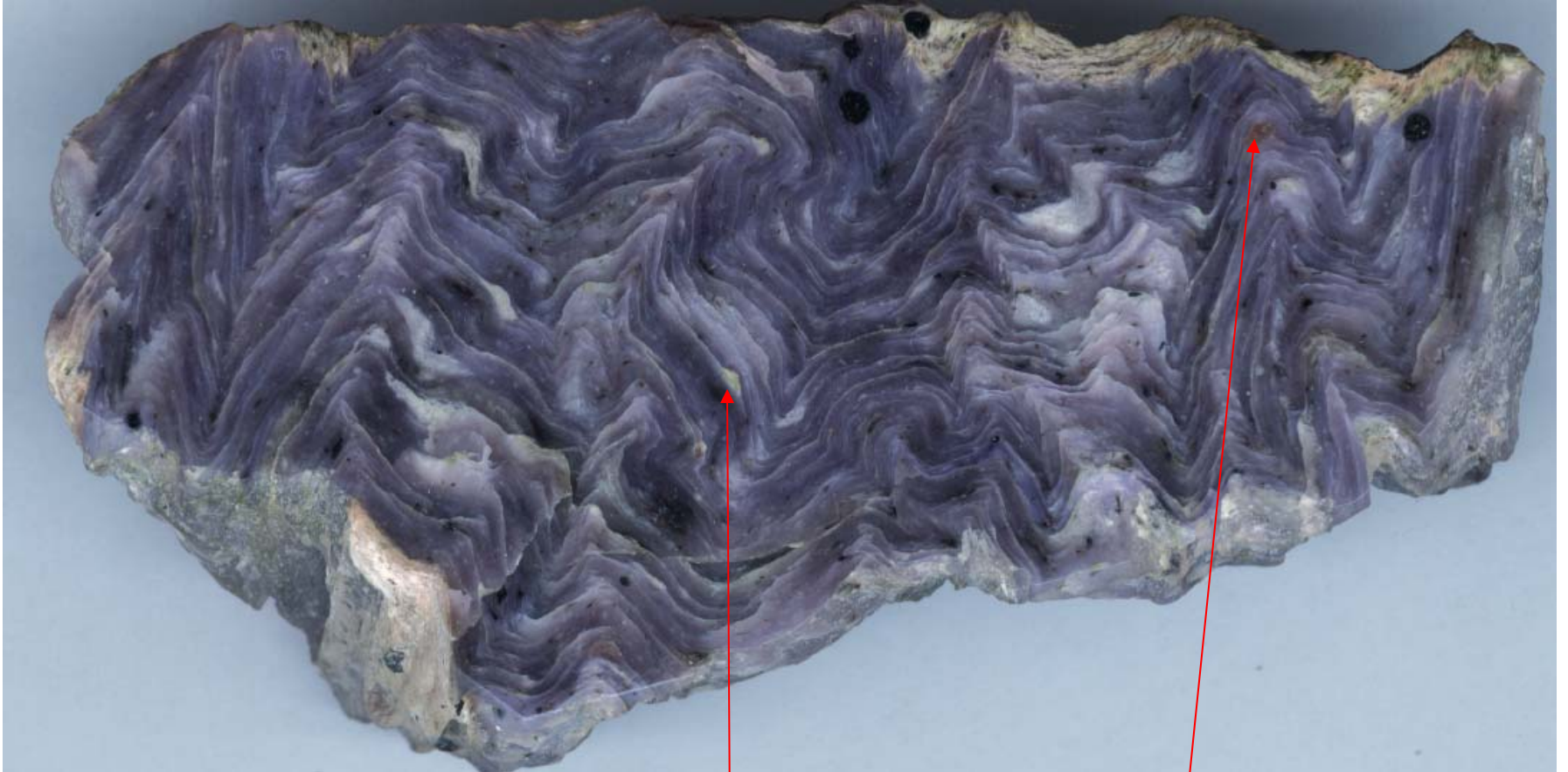
«Глаза» = сферолиты чароита и тинаксита

Гофрированная



Микроклин

Тонкоплойчатая



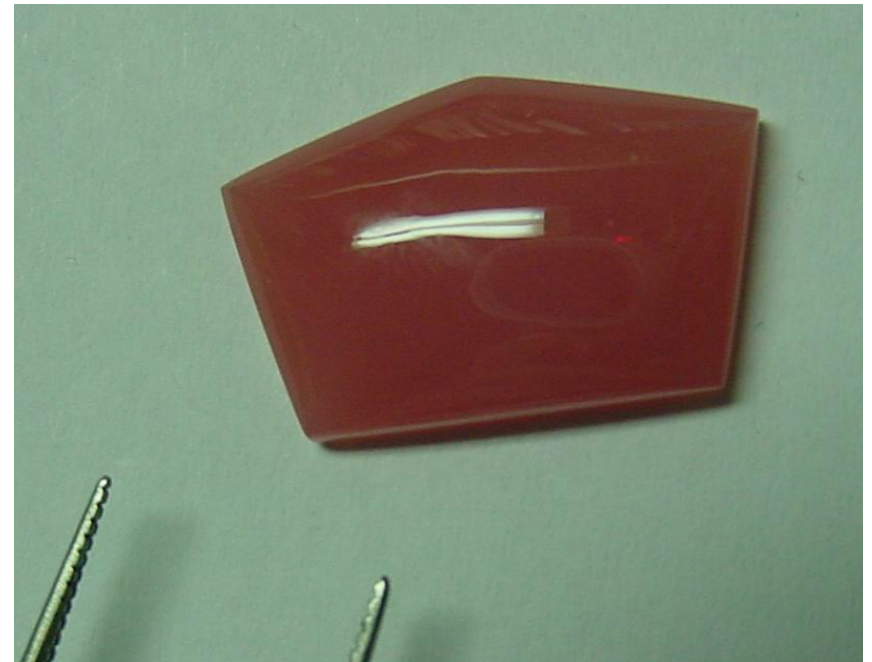
Кварцевые «глаза» и медово-желтый апофилитизированный федорит

Редкие поделочные камни

Облицовочные камни

Бустамит

- $(\text{Mn}, \text{Ca})_3\text{Si}_3\text{O}_9$
- RI 1,64 – 1,71 (2-)
- Тв. 5-5,5
- Люминесцирует
- Метаморфогенный
- Мексика, Австралия



Намбулит

- $(\text{Li,Na})\text{Mn}^{++}_4[\text{Si}_5\text{O}_{14}(\text{OH})]$
- RI 1,70-1,73 (2+)
- Тв. 6.5
- Не люминесцирует
- Метаморфогенный (Mn-руды)
- Япония



Родохрозит

- MnCO_3
- RI 1,58-1,81 (1-)
- Тв. 3-4
- Метаморфогенно-гидротермальный
- Везде



Сугилит (гр. миларита)

- $\text{KNa}_2\text{Li}_3(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Al})_2\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$
- RI 1,57-1,61 (1-)
- Тв. 6-6,5
- Япония, Канада, ЮАР



Содалит

- $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$
- RI 1,48 (i)
- Тв. 6
- Не люминесцирует
- Карбонатные метасоматиты в щелочных магматитах
- Гренландия, Германия, Афганистан



СМИТСОНИТ

- ZnCO_3
- RI 1,62-1,85 (1-)
- Тв. 4,5
- Не люминесцирует
- Зона окисления Zn руд
- США, Мексика



Дианит

- Не минерал
- Порода, состоящая из щелочного амфибола
- Имитация жадеита
- Не путать с «дианитом = колумбитом»
- RI 1,61-1,64 средний для щелочных амфиболов



Тенгизит

- Техногенный аналог высококальциевого обсидиана андезит-дацитового состава
- Зона плавления пород около горевшей скважины нефтяного месторождения Тенгиз
- состав тенгизита: кварц, диопсид, волластонит, анортит, магнетит, тридимит, а также, возможно, халцедон, кристобалит и хлорит



Синтетический лазурит Жильсона

- По составу подобен природному лазуриту
- Может содержать обломки пирита (выпадают)
- Более пористый (адсорбирует воду)
- Реагирует с HCl с выделением H_2S



Пироморфит

- $Pb_5(PO_4)_3Cl$
- RI 2,04-2,06 (1-)
- Тв. 3,5-4
- Не люминесцирует
- Зона окисления Pb руд
- Испания

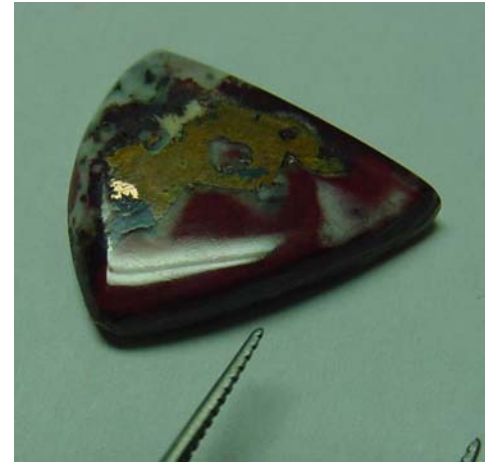


Хризоколла

- $(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$
- RI 1,46-1,57 (1+)
- Тв. 2,5-3,5
- Не люминесцирует
- Вторичные минералы Cu
- Чили, Конго, США...



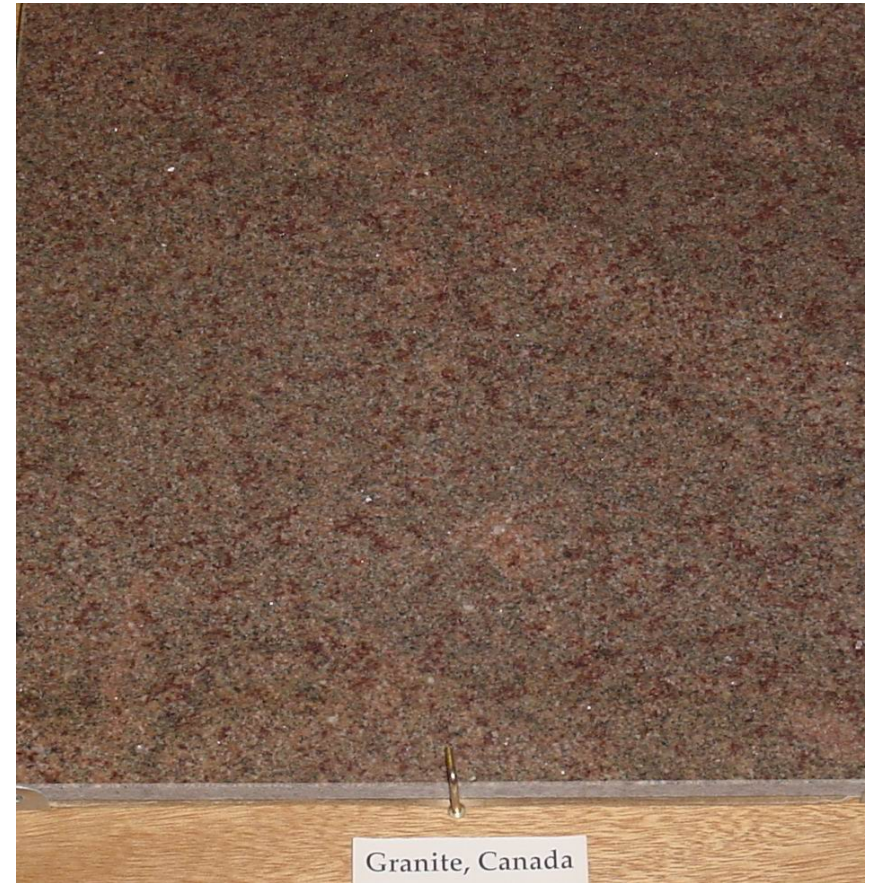
Амазонит и яшмы



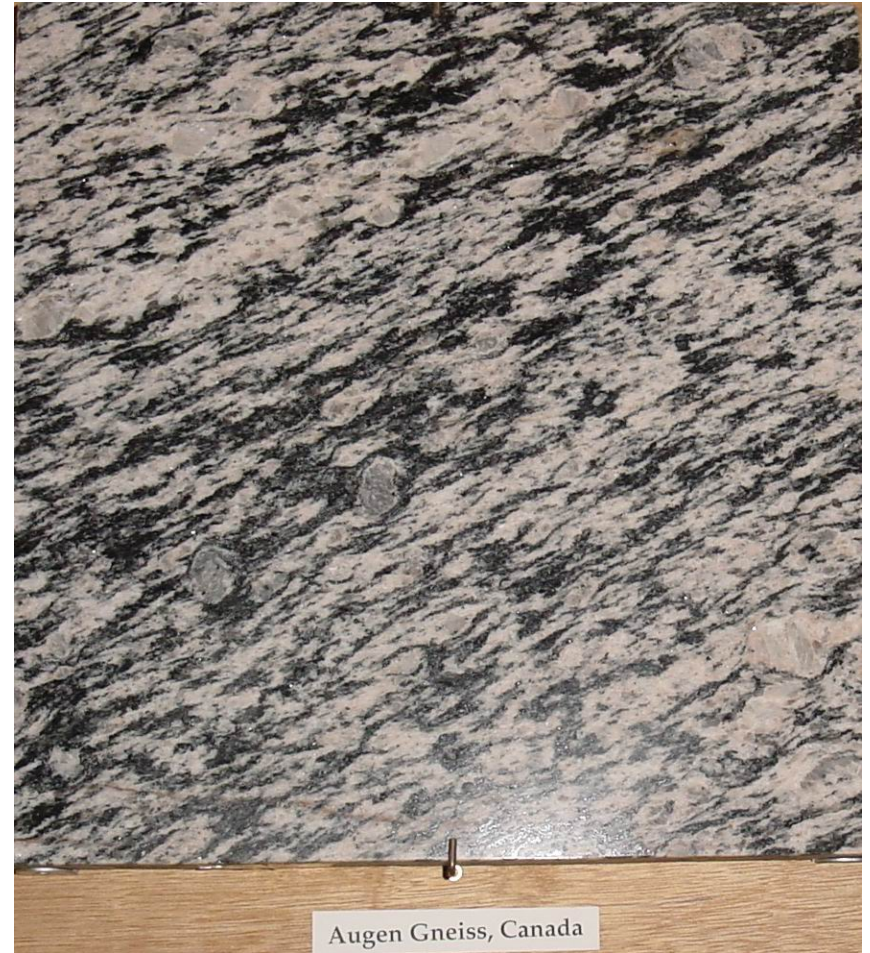
Магматические: анортозит, долерит



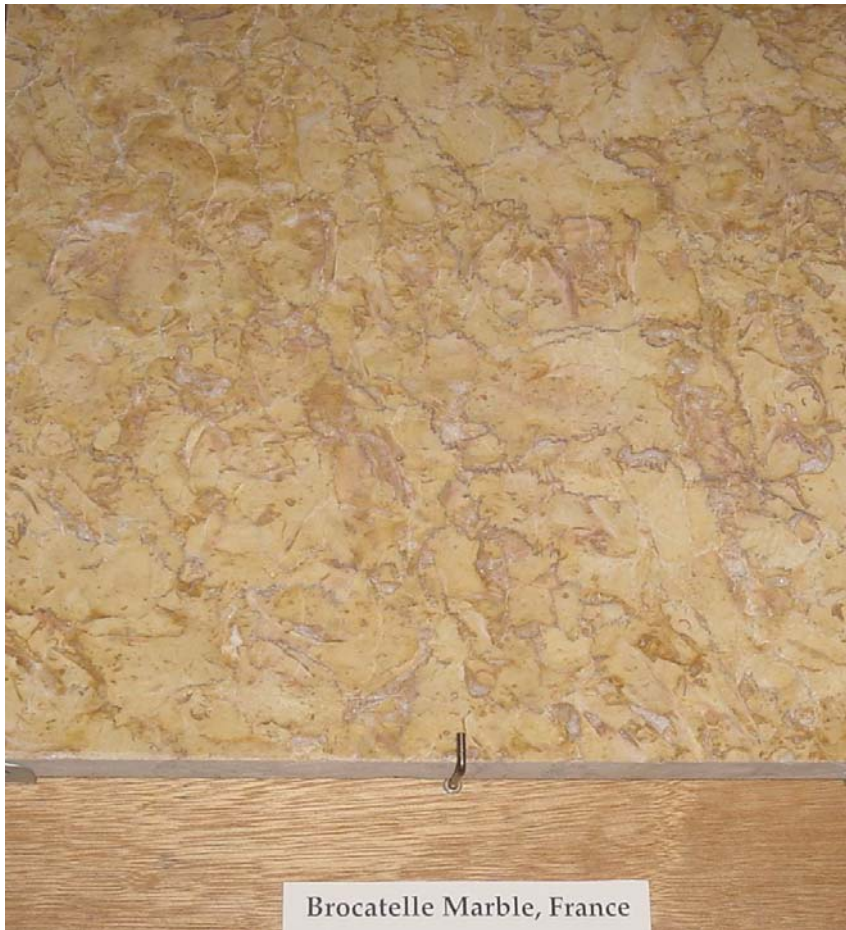
Магматические: гранит (рапакиви)



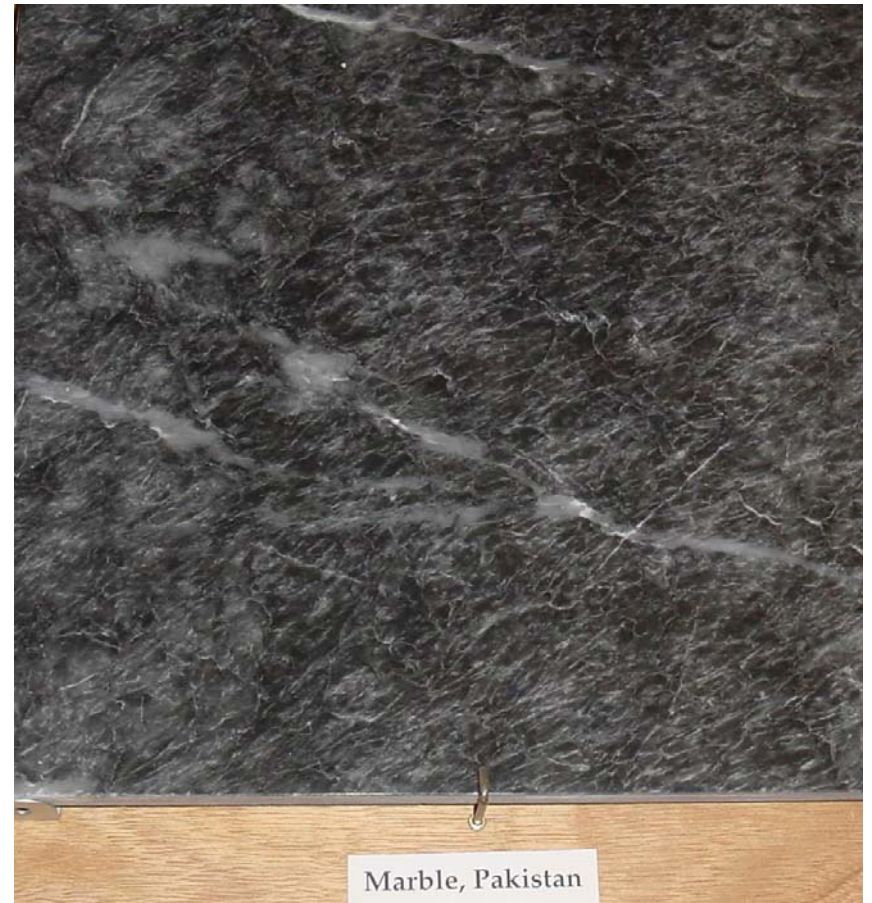
Метаморфические: (гранито-)гнейсы



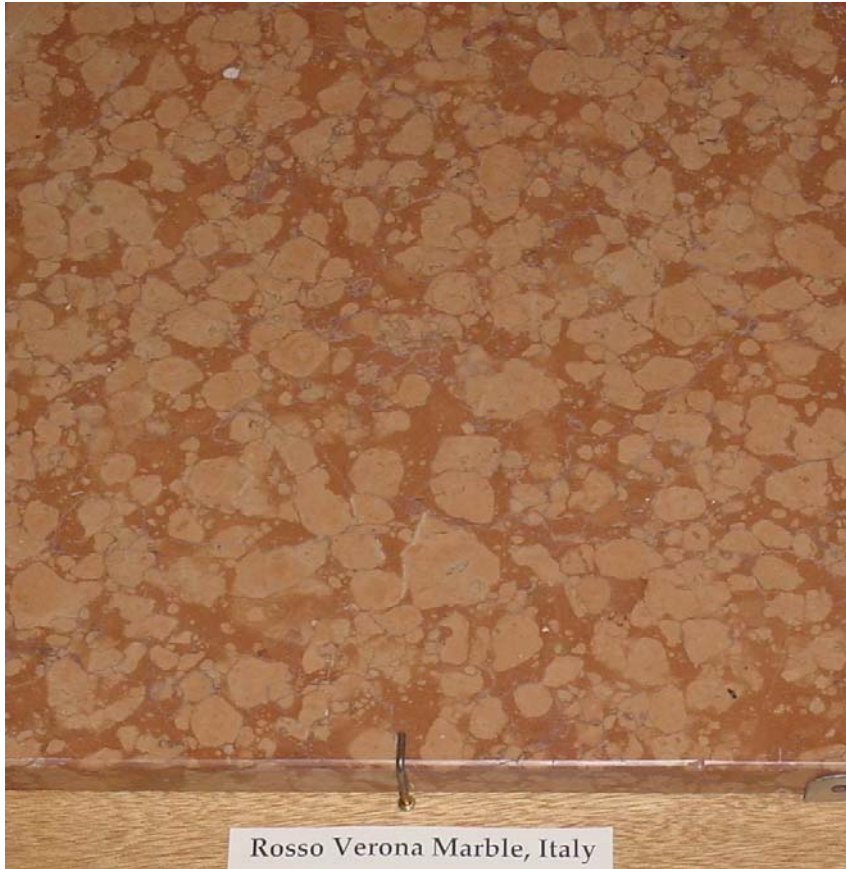
Метаморфические: мрамора



Метаморфические: мрамора



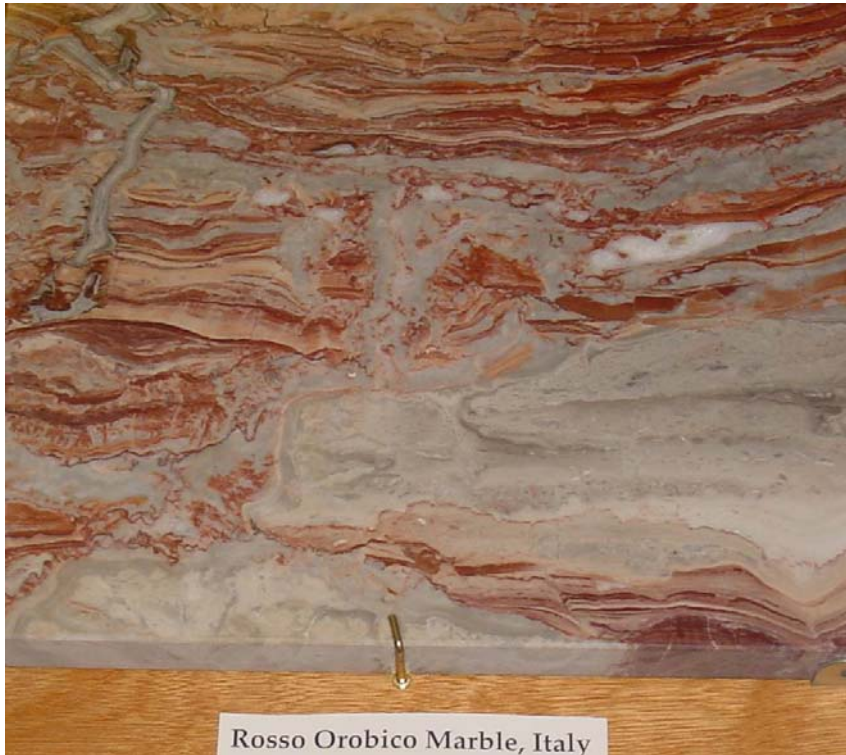
Метаморфические: мрамора



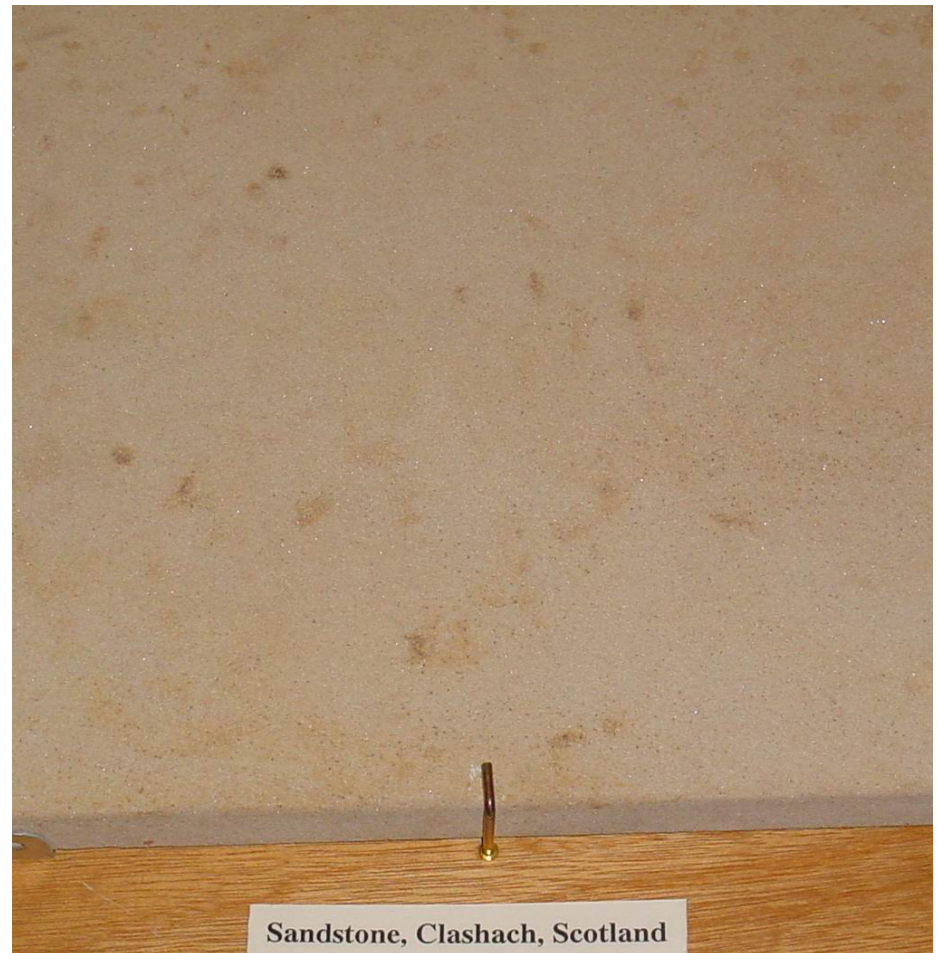
Метаморфические: мрамора



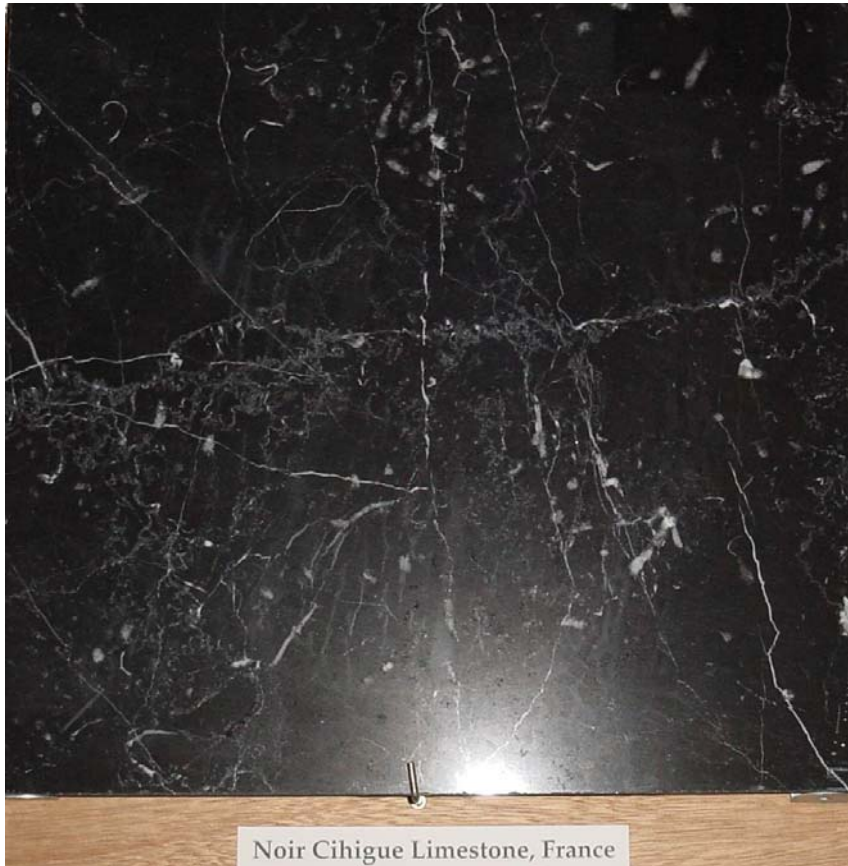
Метаморфические: мрамора



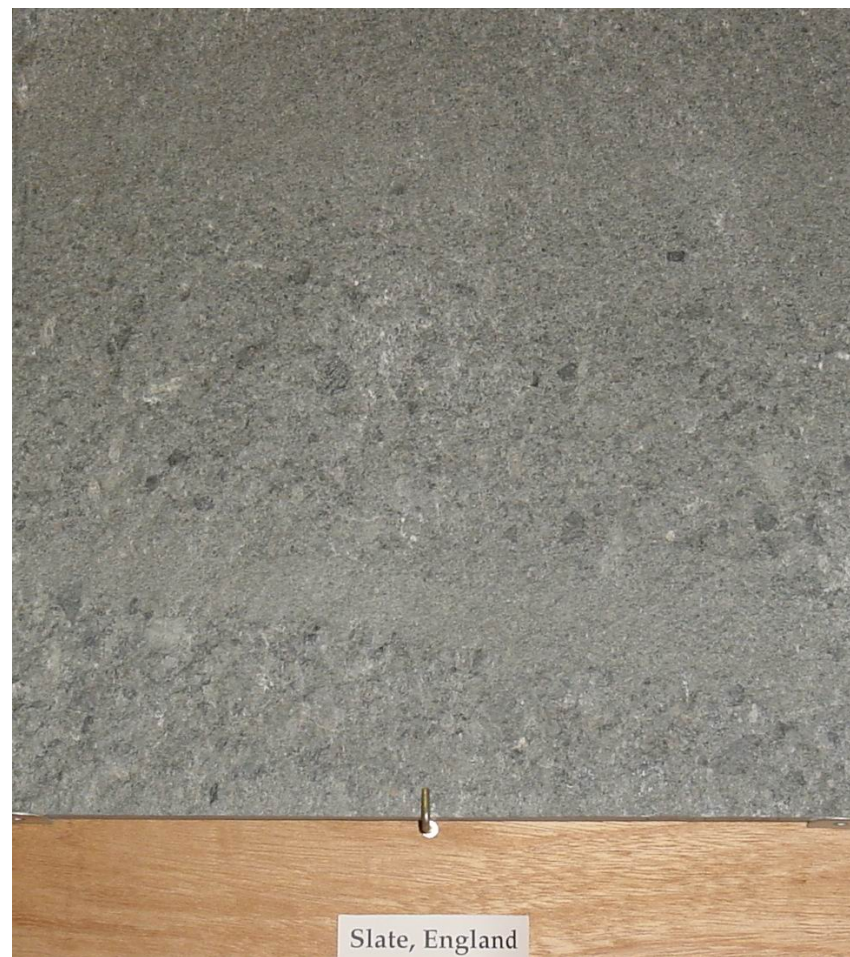
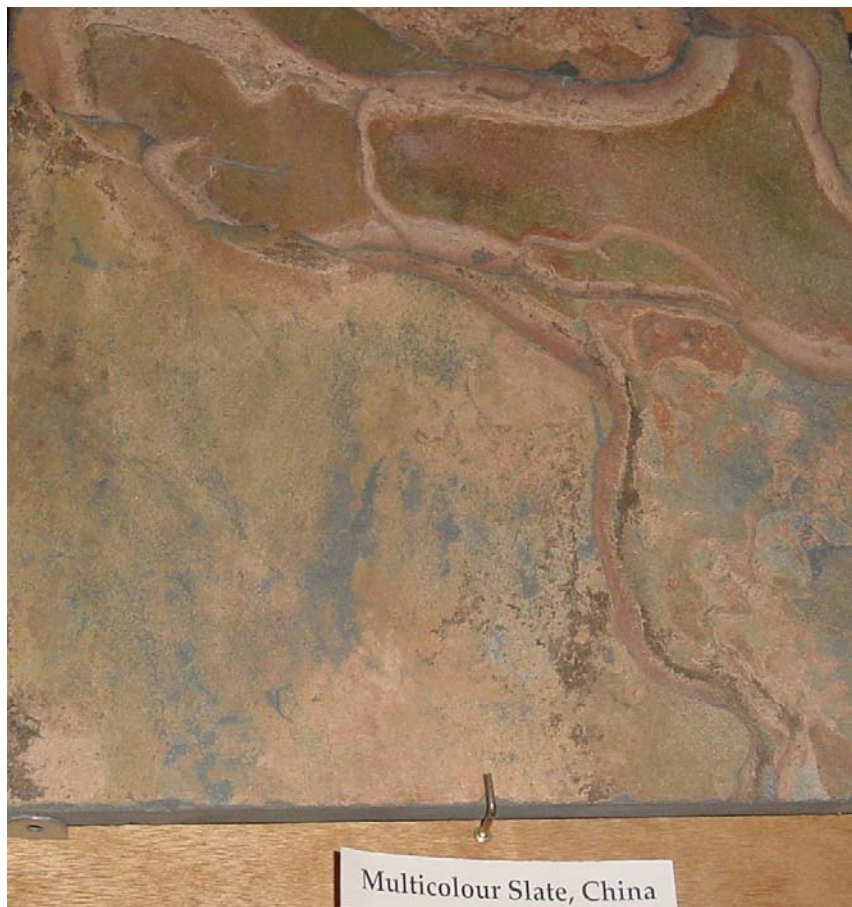
Метаморфические: мрамора
Осадочные: песчаники



Осадочные: известняки



Осадочные: сланцы

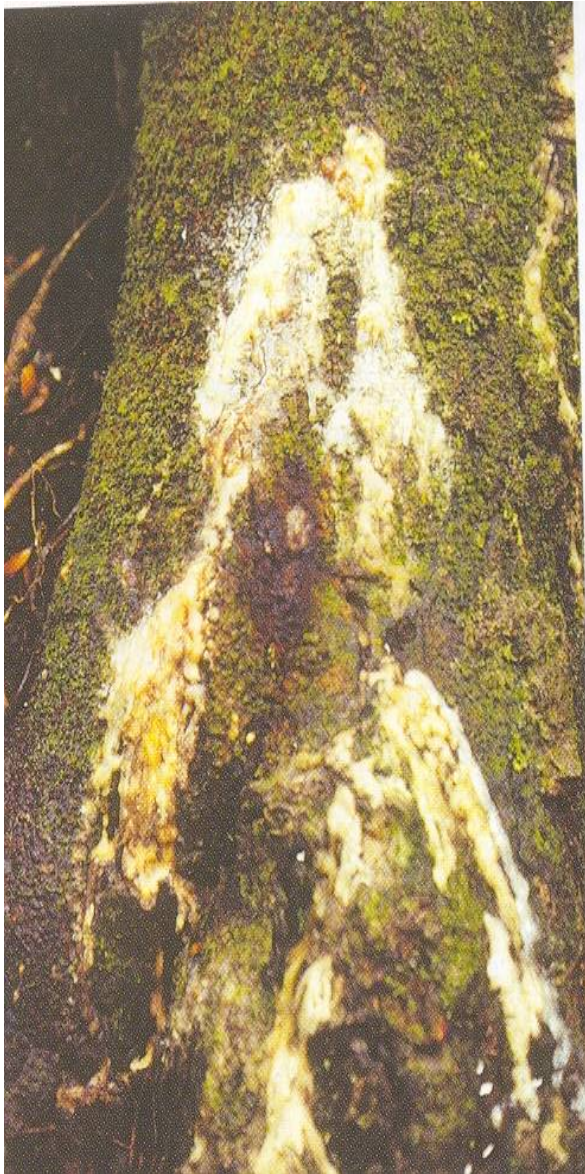


Хемогенно-осадочные: оникс и туф



**Поделочные материалы
органогенного
происхождения**

Виды поделочных материалов:



- Янтарь и копал
- Гагат
- Слоновая кость (бивень)
- Кость
- Олений рог
- Рог носорога
- Рог (другой)
- Панцирь черепахи
- Жемчуг
- Раковины моллюсков
- Корал
- Другие виды

Балтийский янтарь



Балтийский янтарь. Возраст 45-30 млн. лет

Балтийский янтарь

- Смола дерева *Pinus succinifera*
- Цвет и прозрачность варьируют от свЖ до тКор
- С, Н, О и следы других элементов. Содержит большее количество сукциновой кислоты, чем другие Я.
- Матовая поверхность Я. в сырье
- Непрозрачность связана с ГЖВ
- Раковистый излом
- Содержит более 1000 видов вымершей флоры и фауны: цветы, листья, пчелы, муравьи. Редко – тычинки цветков дуба, кристаллы пирита
- Вокруг насекомых – непрозрачный белый Я.
- УФ-люминесценция слабая, от желтой до голубой

Балтийский янтарь - включения



Доминиканский янтарь



Доминиканский
янтарь.

Возраст 25-15 млн.
лет

Доминиканский янтарь

- Смола дерева *Hutereaea*
- Почти всегда прозрачен, красновато-коричневато-желтого цвета, иногда зеленоватого
- Не содержит сукциновой кислоты, но ретиновую
- Содержит большое количество механических примесей
- Содержит включения флоры и фауны отличной сохранности
- УФ-люминесценция сильная голубая, зеленая или бежевая. Иногда флюоресцирует при дневном свете

Доминиканский янтарь –

ВКЛЮЧЕНИЯ



Мексиканский янтарь



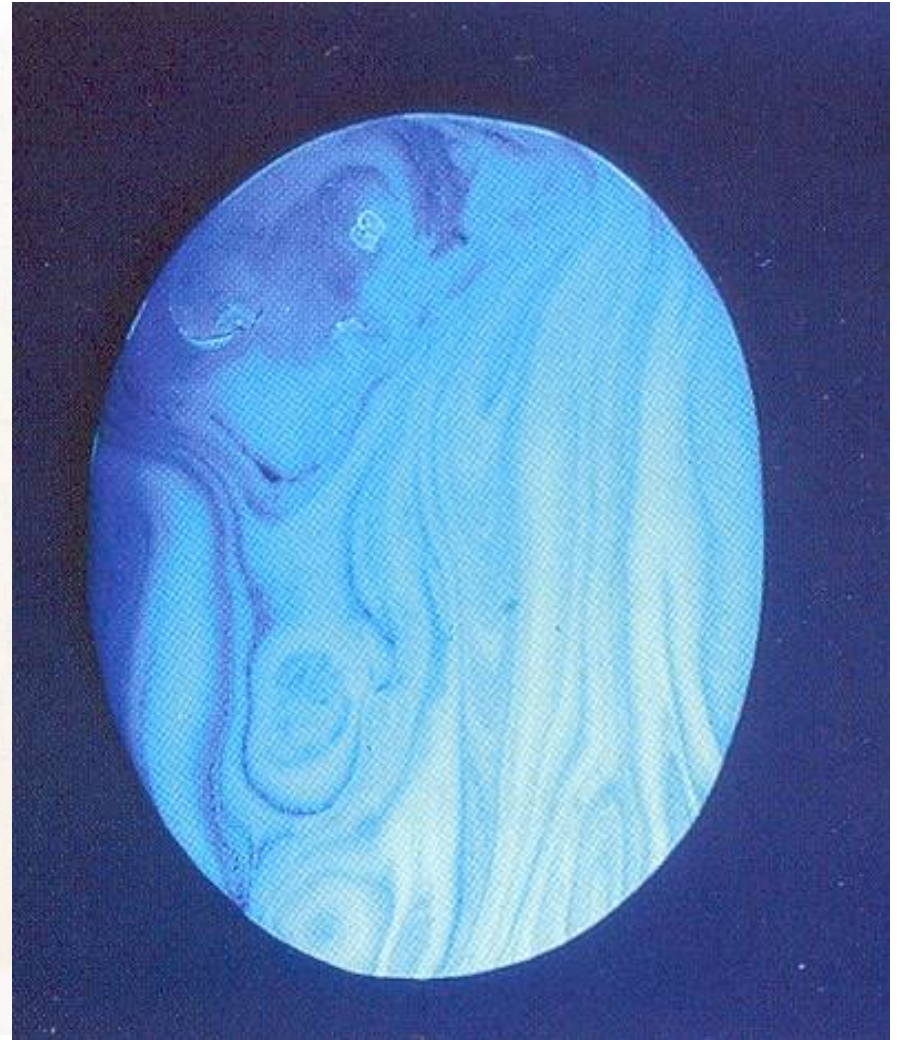
- Прозрачен
- Цвет: свЖ до тКор
- Характерны включения слоев вмещающих пород
- Встречаются красные непрозрачные участки
- Возможна сильная флюоресценция зеленого и голубого цвета при дневном свете
- Молочно-белая, -бежевая УФ-люминесценция

Бурмит (янтарь из Мьянмы)



- Тверже других Я. - хорошо полируется
- Может содержать включения насекомых
- М.б. очень прозрачным
- Цвет м.б. однородным; свЖ, тКор, ярко-красный (полосчатый)
- Угловатые трещины
- Обычно небольшие кусочки (особенно красный)
- Свежеобработанный бурмит люминесцирует (голубой), невсежий (бежевый)
- Возможная флюоресценция при солнечном свете

Бурмит (янтарь из Мьянмы) - люминесценция



Бурмит (янтарь из Мьянмы) – включения



Другие виды янтаря

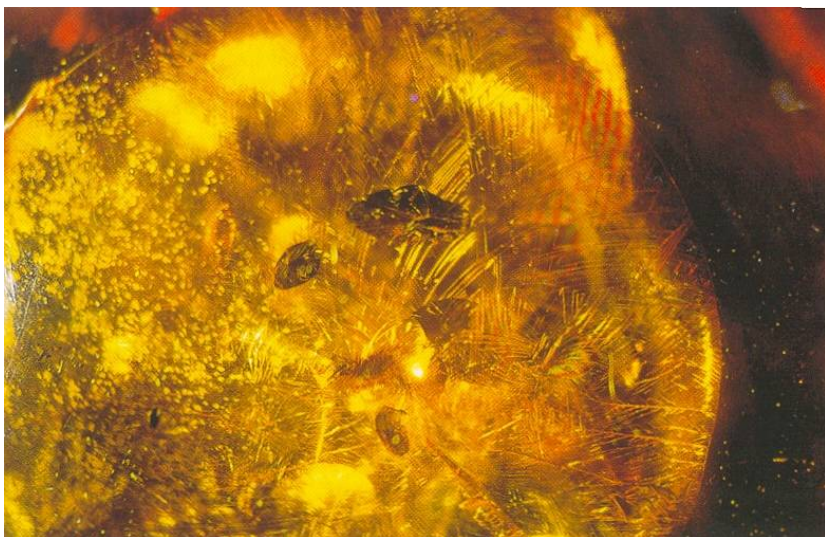
- Китайский – похож на бурмит. 60-35 млн. лет
- Романит (Руманит) – третичные и меловые месторождения. 100 млн. лет. Темно-коричневый
- Симетит. 35-25 млн. лет. Сицилия. Оранжевый до красного, зеленовато-голубой.

Облагораживание

- Увеличение прозрачности (нагрев в автоклаве, в атмосфере N)
- Усиление цвета (отжиг на воздухе)
- Окрашивание
- «Поджаривание» с одной стороны
- Дублеты



Облагораживание



Облагороженный янтарь: «диски»

Пластиковая имитация янтаря: «диски»