



Состав и классификация магматических горных пород

Состав горных пород



Минеральный

Химический

Модальный

Нормативный

| | |
|-------------------------|-----------------------|
| SiO_2 | MgO |
| Al_2O_3 | CaO |
| Fe_2O_3 | Na_2O |
| FeO | K_2O |
| MnO | H_2O |



Химический состав магм (и пород!) описывается обычно содержанием окислов породообразующих (главных) химических элементов:



| | |
|--------------------------------|------------------------|
| SiO₂ | MgO |
| Al ₂ O ₃ | CaO |
| Fe ₂ O ₃ | Na₂O |
| FeO | K₂O |
| MnO | H ₂ O |

} **Alc**

На вариациях содержаний **SiO₂** и **Alc** основана химическая классификация магматических горных пород (TAS).

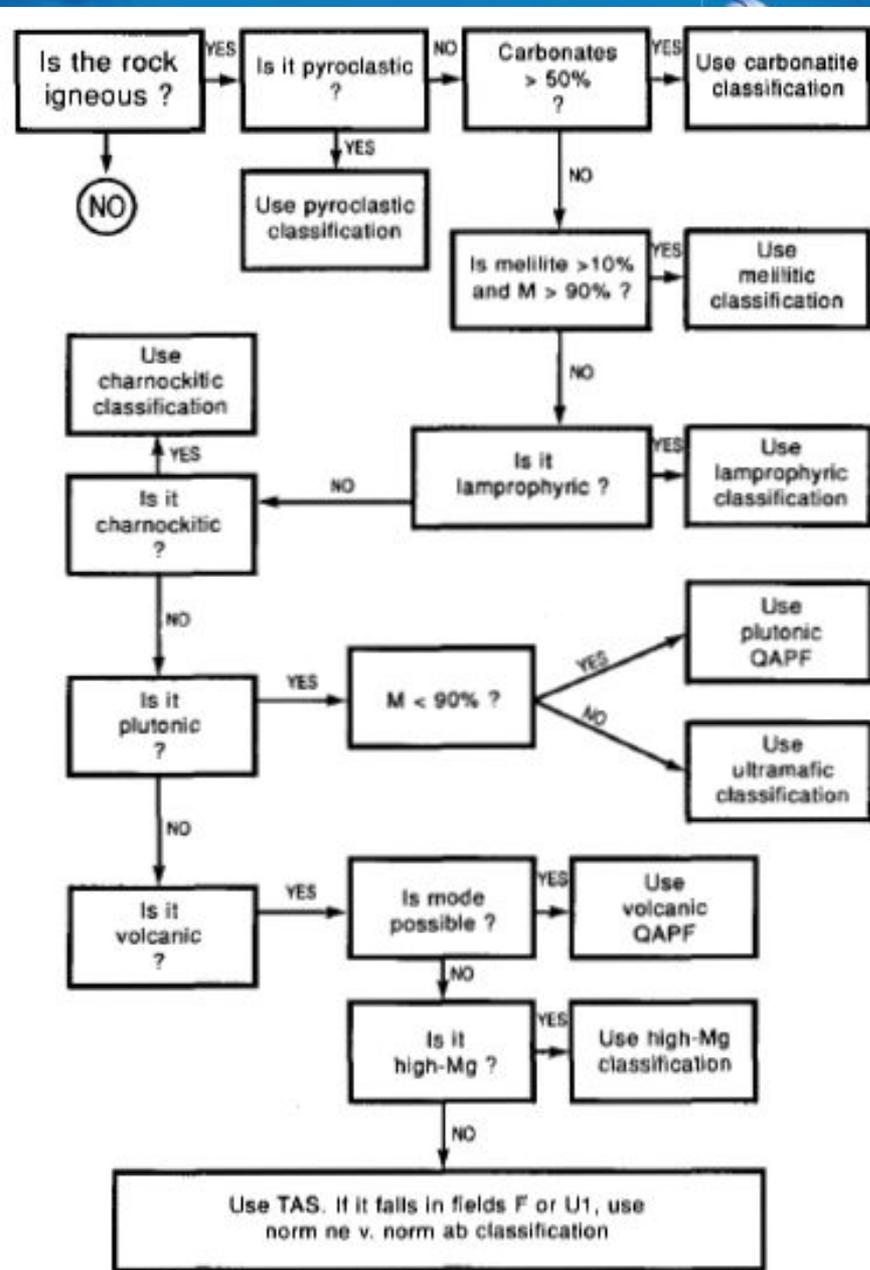
THE INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES

What is IUGS?

The International Union of Geological Sciences (IUGS), founded in 1961, is an international co-operation and participation in the earth sciences in relation to the International Geology Year (IGY) and the International Geology Science (IGS). Membership is open to countries or defined regions. IUGS

IUGS works through topic specific Commissions, Task Groups, and Initiatives.

Схема классификации Магматических пород Международного геологического союза (IUGS)



По содержанию SiO_2 выделяют породы:

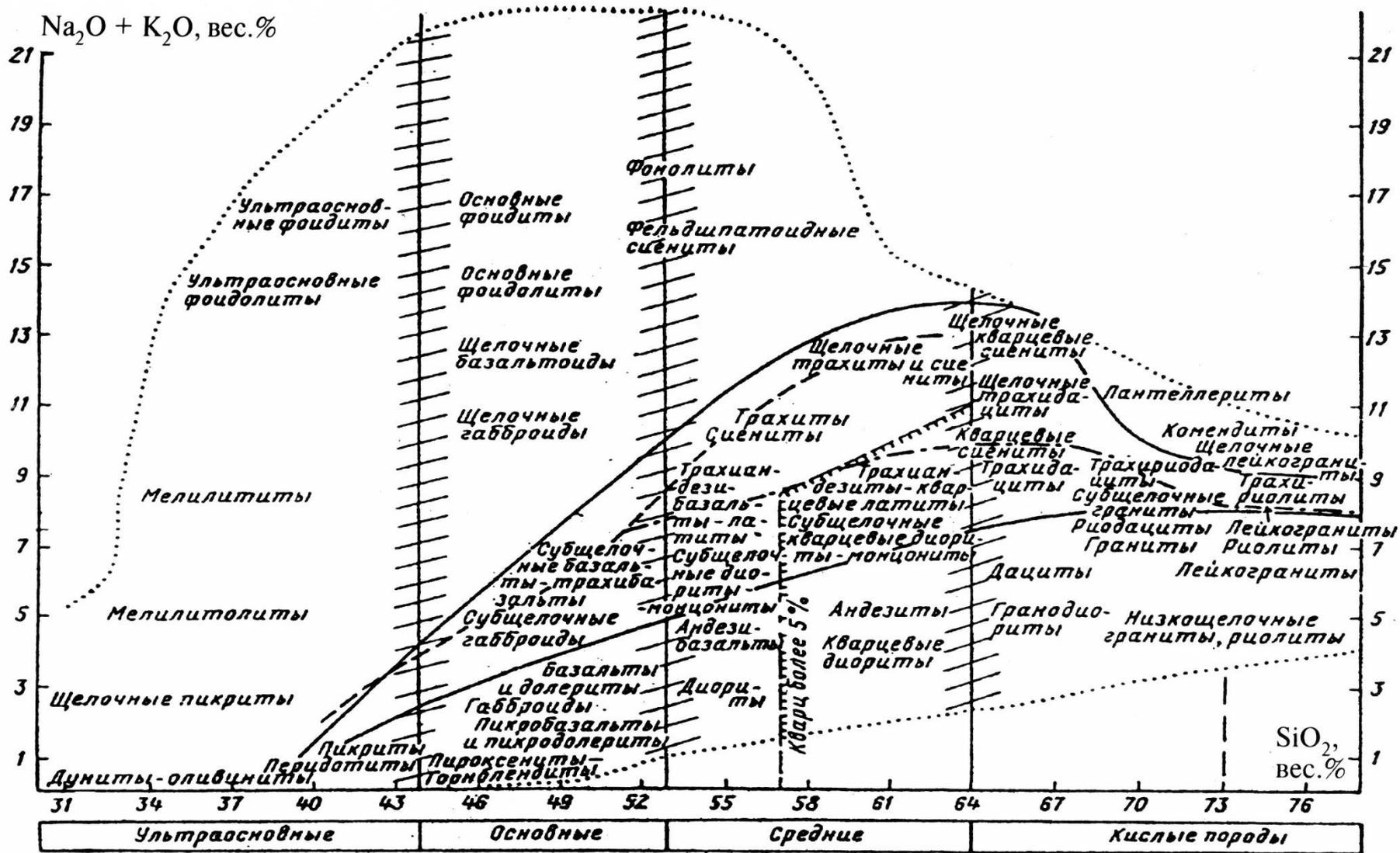
| | | |
|---------------------|---|------------------------|
| Низкокремнеземистые | – | < 30% SiO_2 |
| Ультраосновные | | 30-45 % SiO_2 |
| Основные | | 45-53% SiO_2 |
| Средние | | 53-64% SiO_2 |
| Кислые | | 64-78 % SiO_2 |
| Ультракислые | | > 78% SiO_2 |

По содержанию Al_2O_3 выделяют ряды:

Низкощелочной
Нормальной щелочности
Умеренно щелочной
Щелочной



Классификация Петрокомитета России



Минеральный состав горных пород



Модальный – реальный минеральный состав - характеризует содержания минералов в породе объемных процентах. Вычисляется исходя из занимаемой минералом в шлифе площади, которая пропорциональна объему.

Нормативный – виртуальный минеральный состав – рассчитывают по валовому химическому составу породы, используя специальные методы пересчета. Например CIPW.

Минералы горных пород

По времени и условиям образования



Первичные минералы кристаллизуются из расплава.

Вторичные минералы образуются в ходе последующих метаморфических и метасоматических преобразований

По количеству в породе

Главные минералы (породообразующие) – > 5% объема породы.

Второстепенные минералы – < 5% объема породы.

Акцессорные минералы формируют единичные зерна.

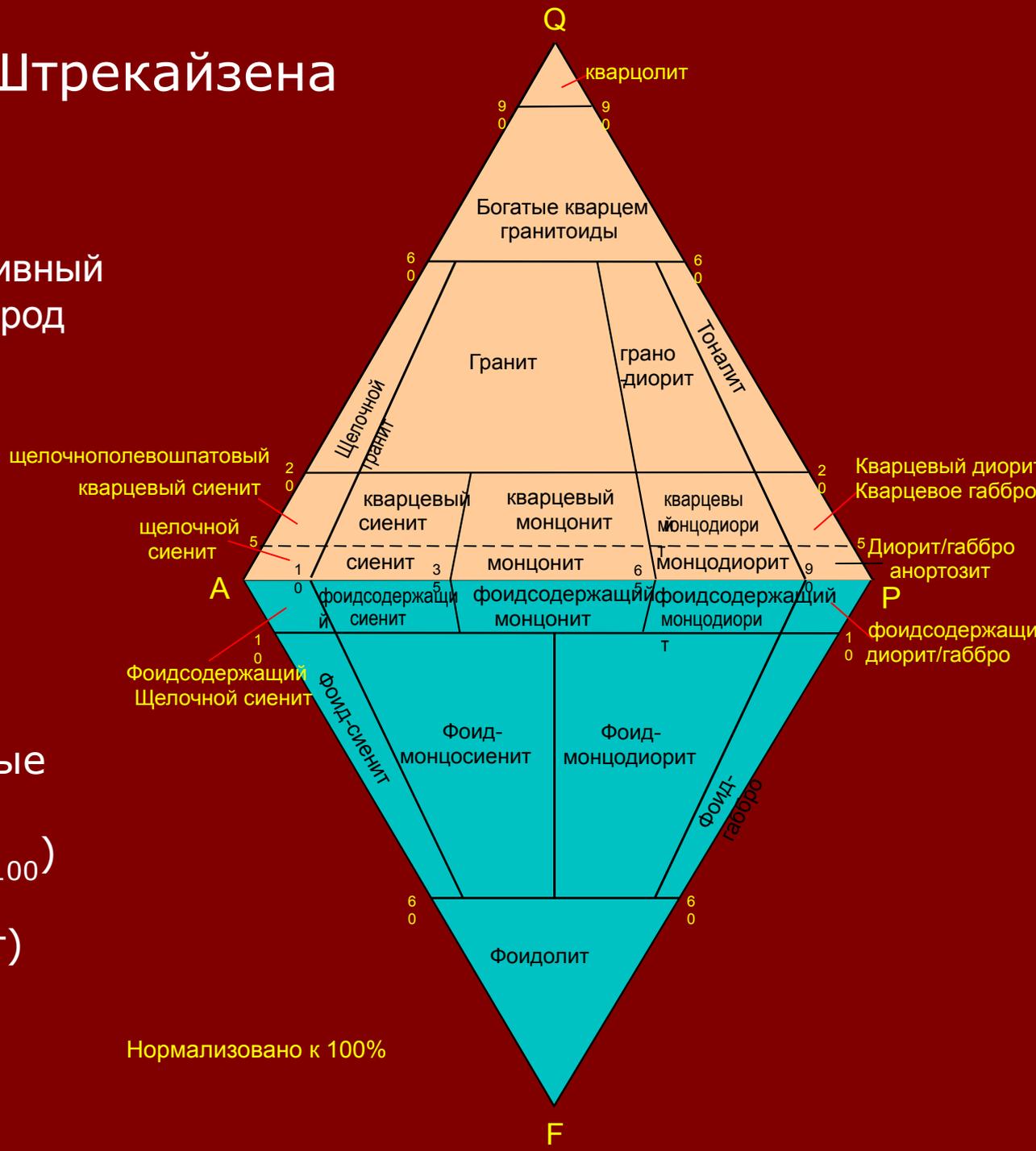


Классификация горных пород по минеральному составу

Классификации магматических горных пород,
основанные на минеральном составе,
учитывают соотношение первичных
породообразующих (главных) минералов
или *нормативный минеральный состав*.

Классификация Штрекайзена IUGS

Модальный или нормативный
Минеральный состав пород



Q – кварц

A – щелочные полевые шпаты

P – плагиоклаз (An_{5-100})

F – фельдшпатоиды (нефелин, лейцит)

Нормализовано к 100%

Полнокристаллические магматические породы

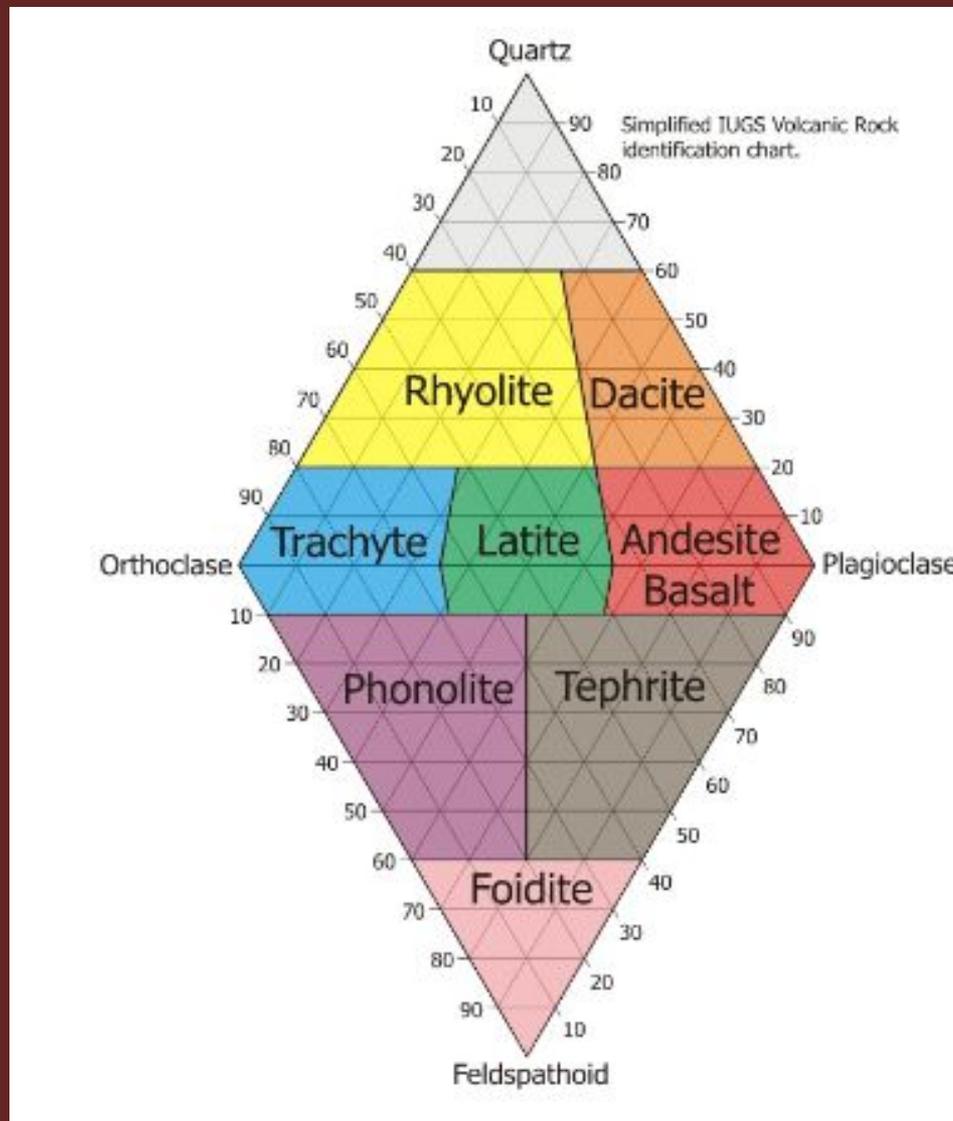
Ультраосновные породы



Можно ли классифицировать вулканические породы с использованием диаграммы Штрекайзена?

Можно.

С использованием данных о нормативном минеральном составе



Для идентификации горной породы необходимо знать



1. Геологическое положение

2. Структуру

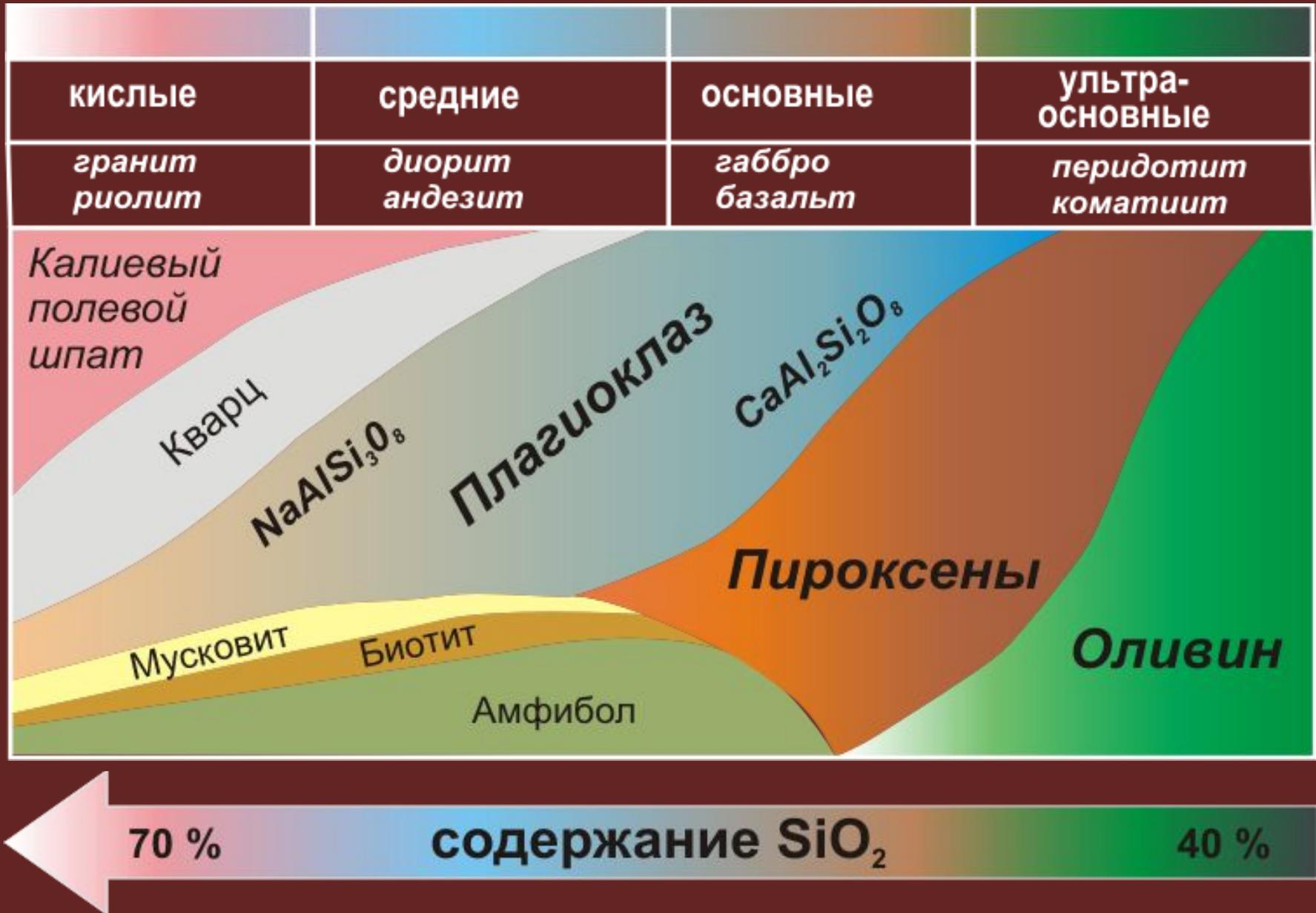
3. Минеральный состав

4. Химический состав

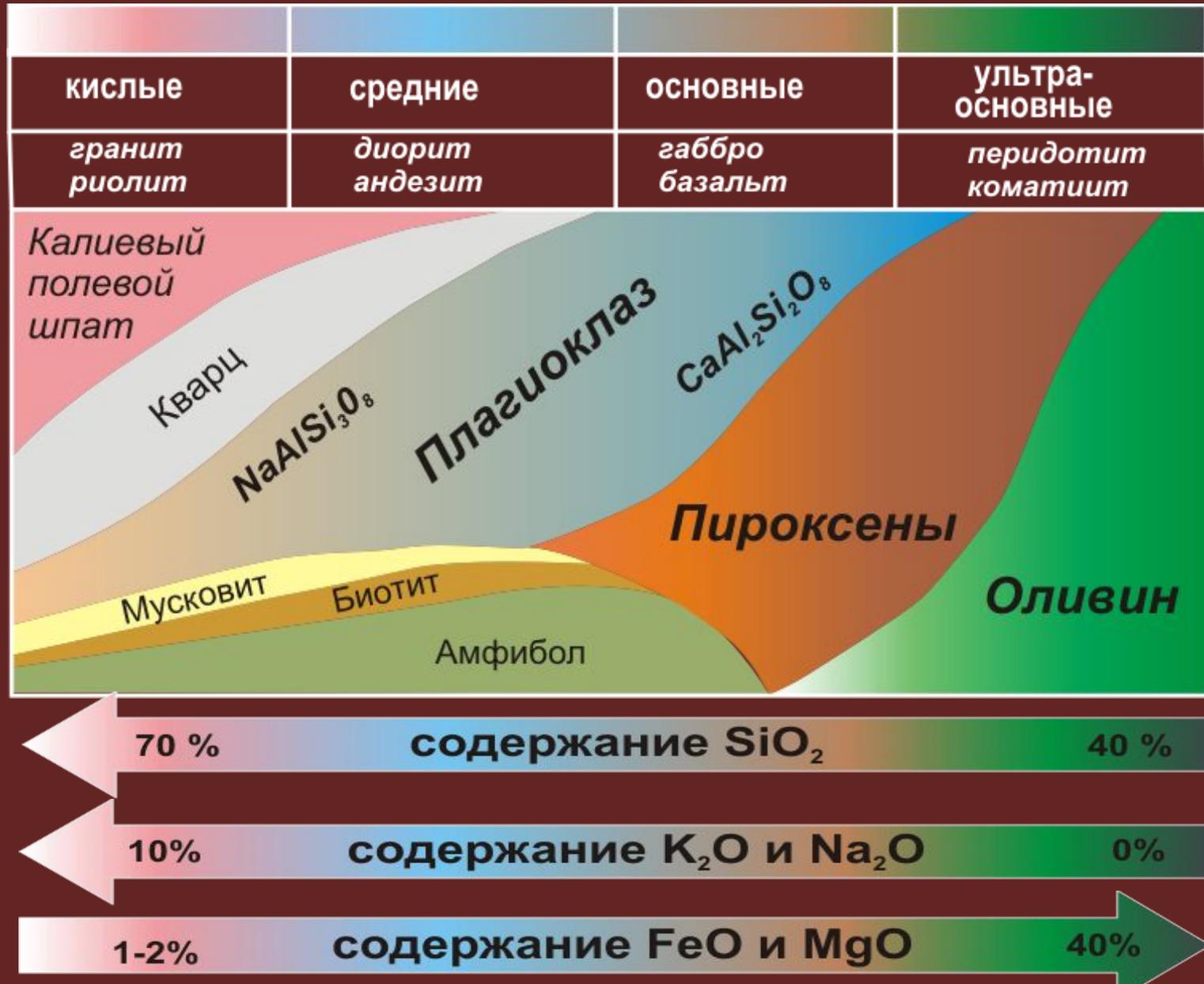


**Связь
химического и
минерального
состава
магматических
горных пород**

Соотношение минерального и химического состава пород в нормальном ряду щелочности



Соотношение минерального и химического состава пород в нормальном ряду щелочности



Ультраосновные породы

Минералы у/о пород

Ультраосновные породы

Минералы Ультраосновных пород

Главные минералы ультраосновных пород

ГРУППА ОЛИВИНА VI-VII гр.

форстерит (Fo) $Mg_2[SiO_4]$ -
фаялит (Fa) $Fe_2[SiO_4]$

Оптические характеристики закономерно изменяются в зависимости от состава.

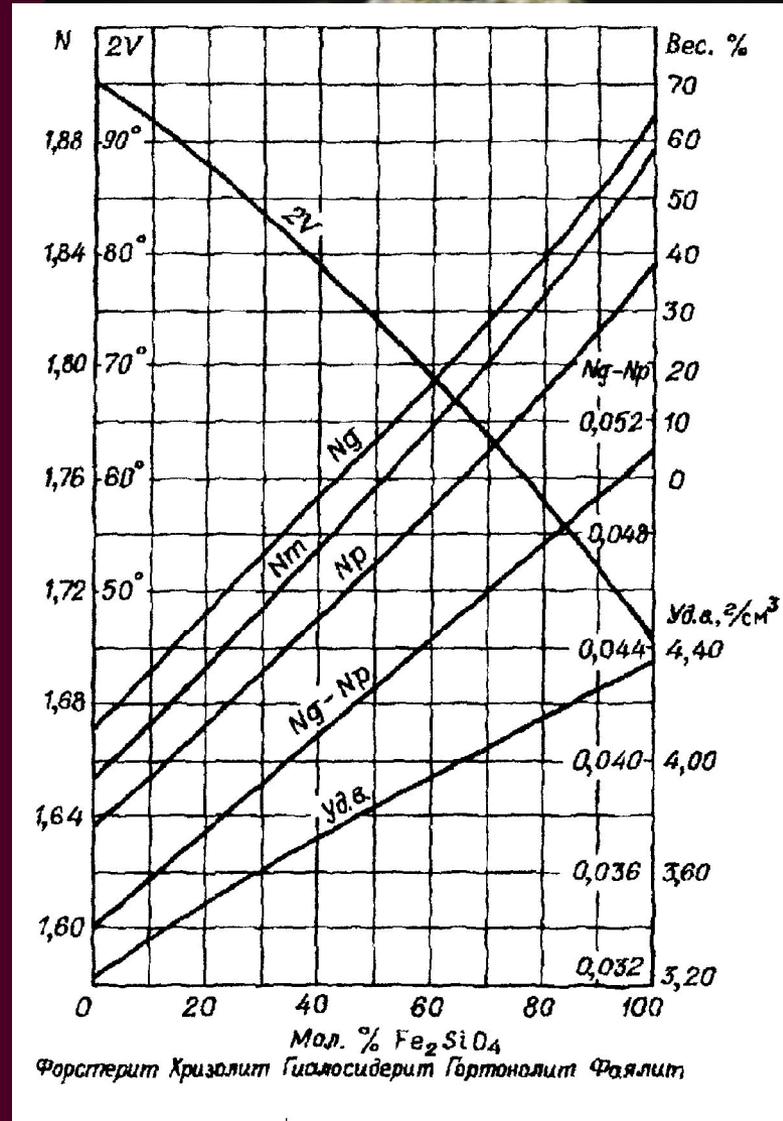
В шлифах бесцветны,
Fe - слабо окрашены в зеленые тона

Двупреломление сильное,
увеличивается от Fo к Fa

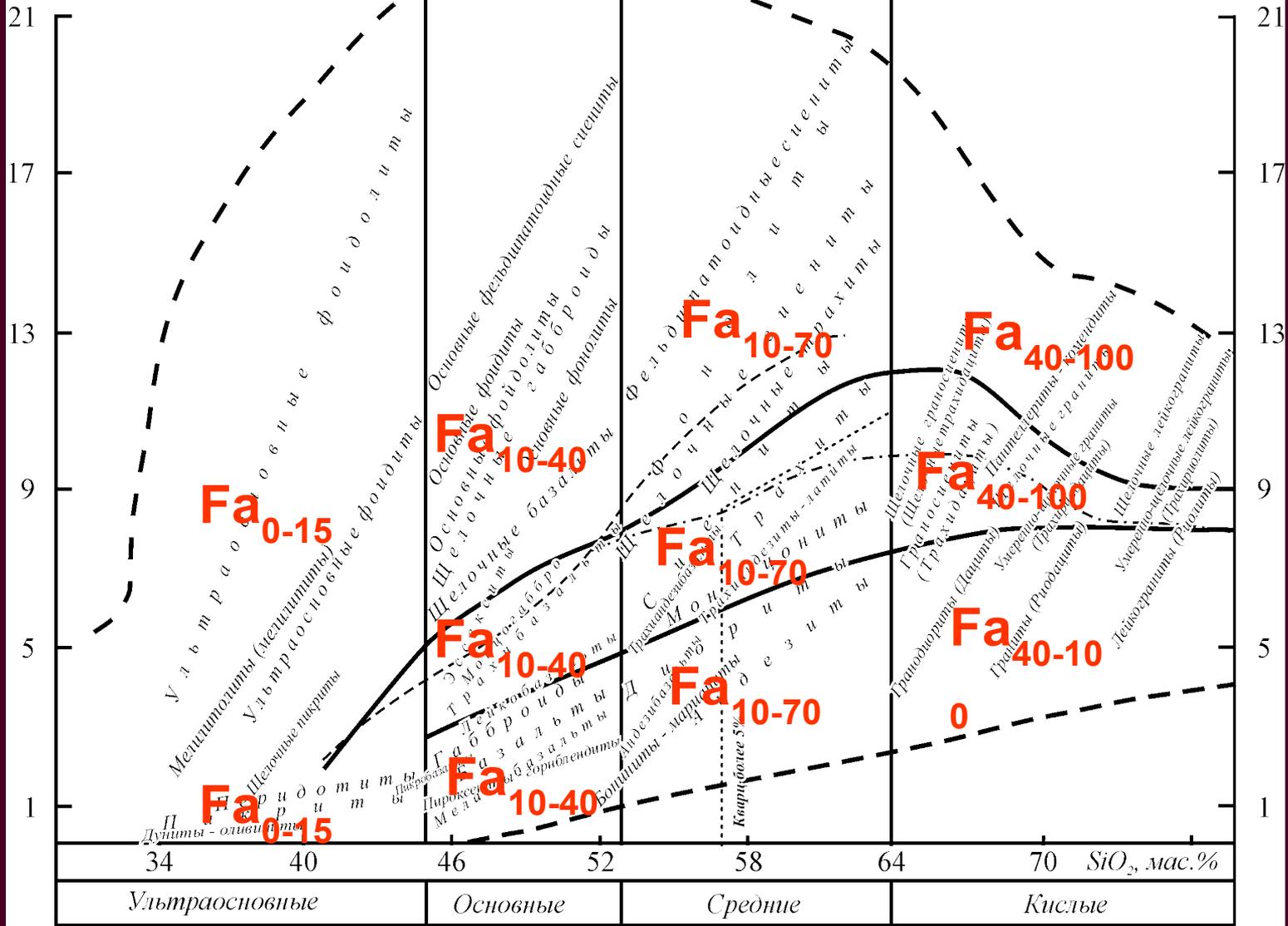
Характерно замещение серпентином

Для железистых разновидностей –
замещение илдингситом

Сходные минералы – ромбические
пироксены, мин. группы эпидота



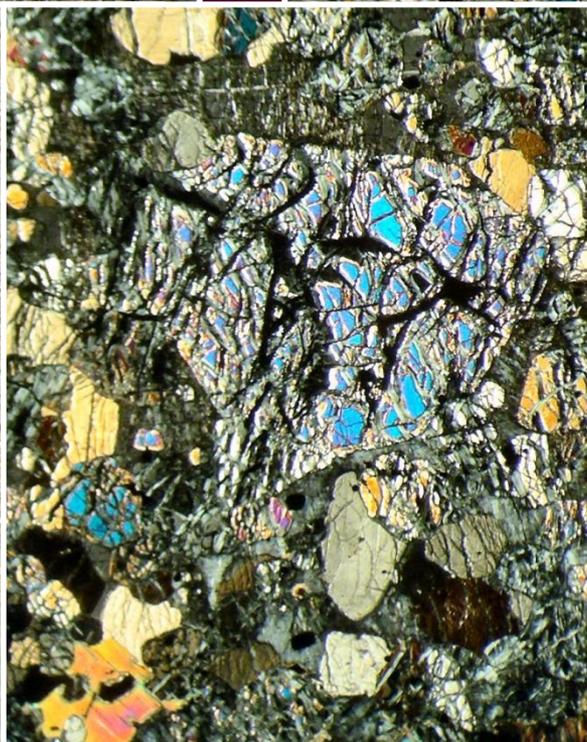
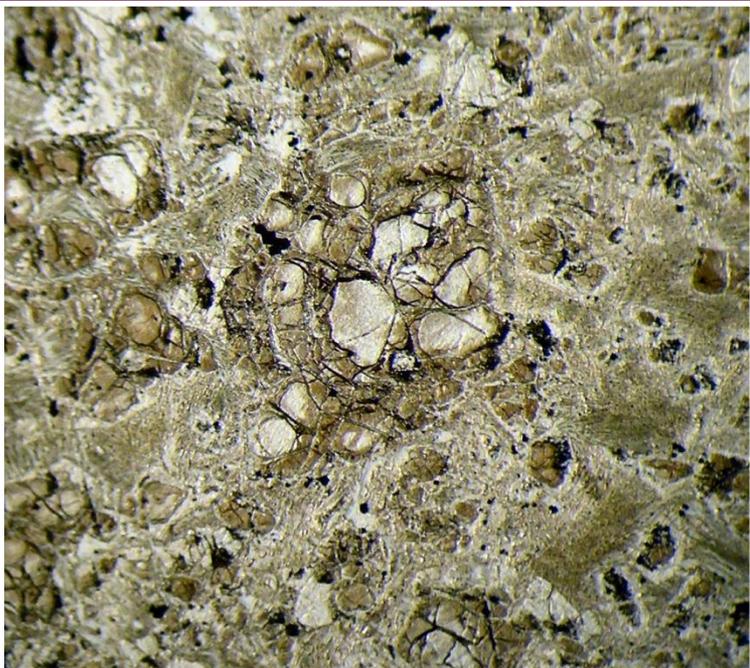
Na_2O+K_2O , мас. %



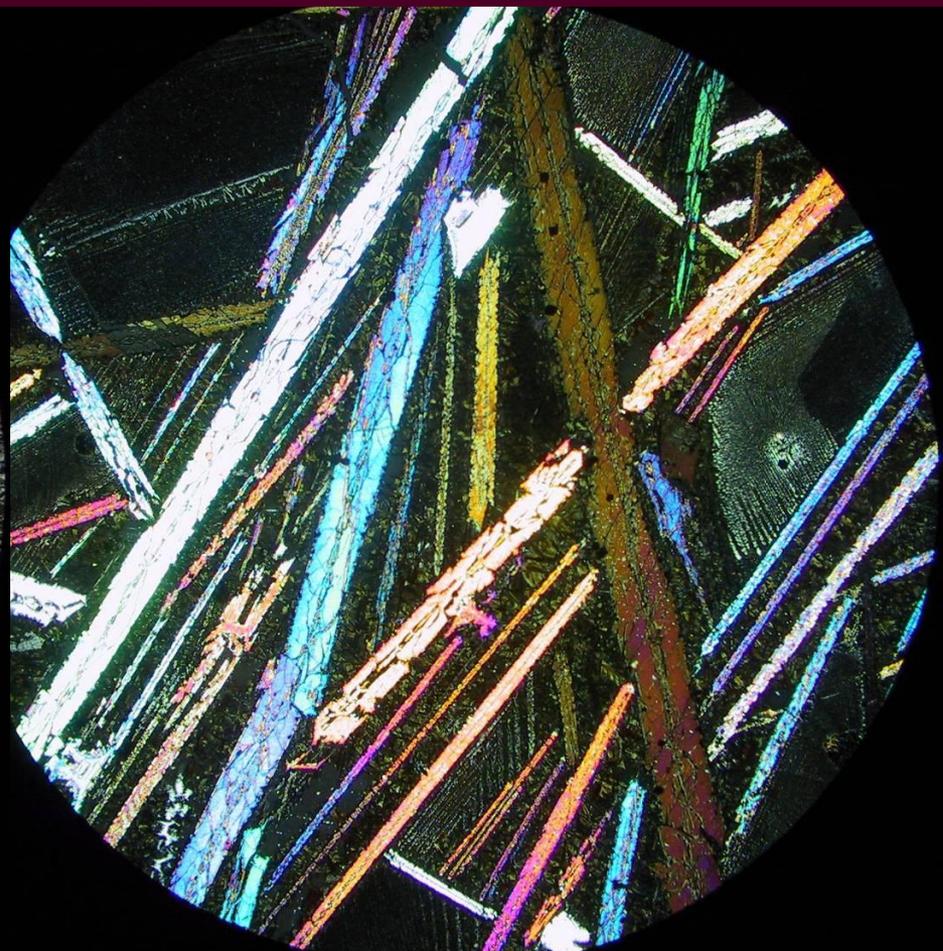
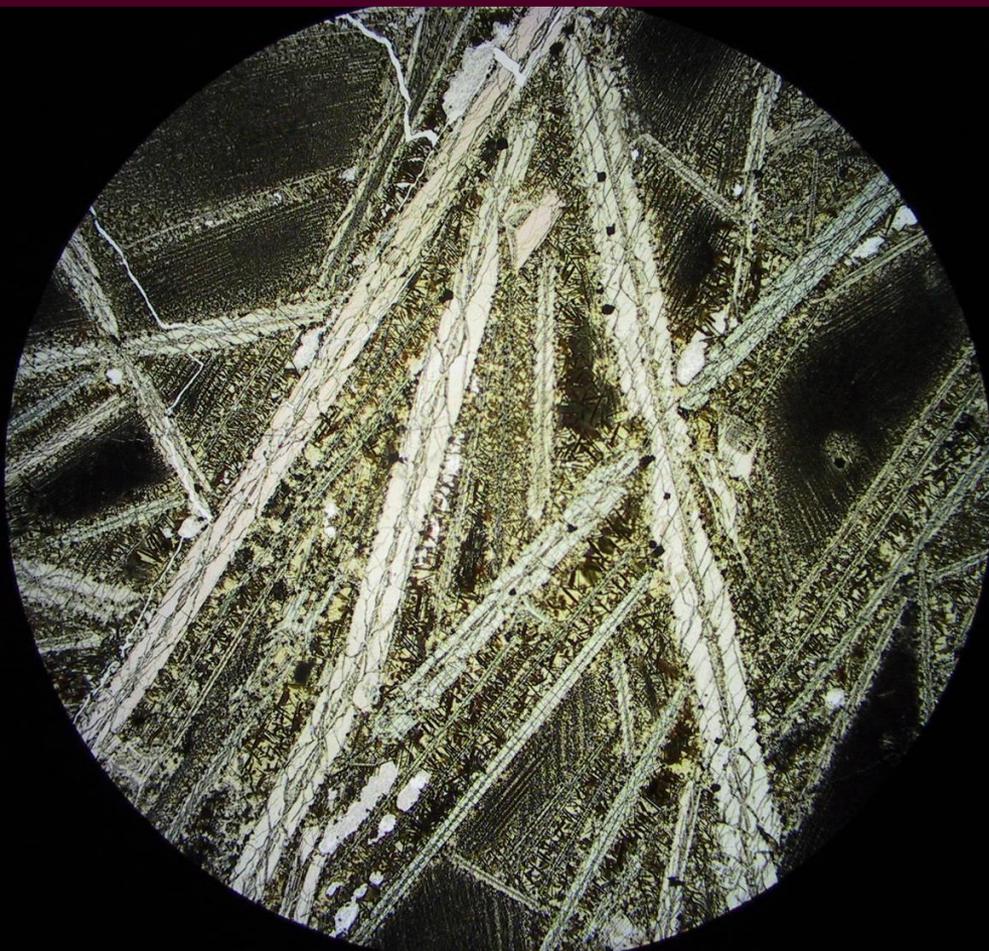
Fo

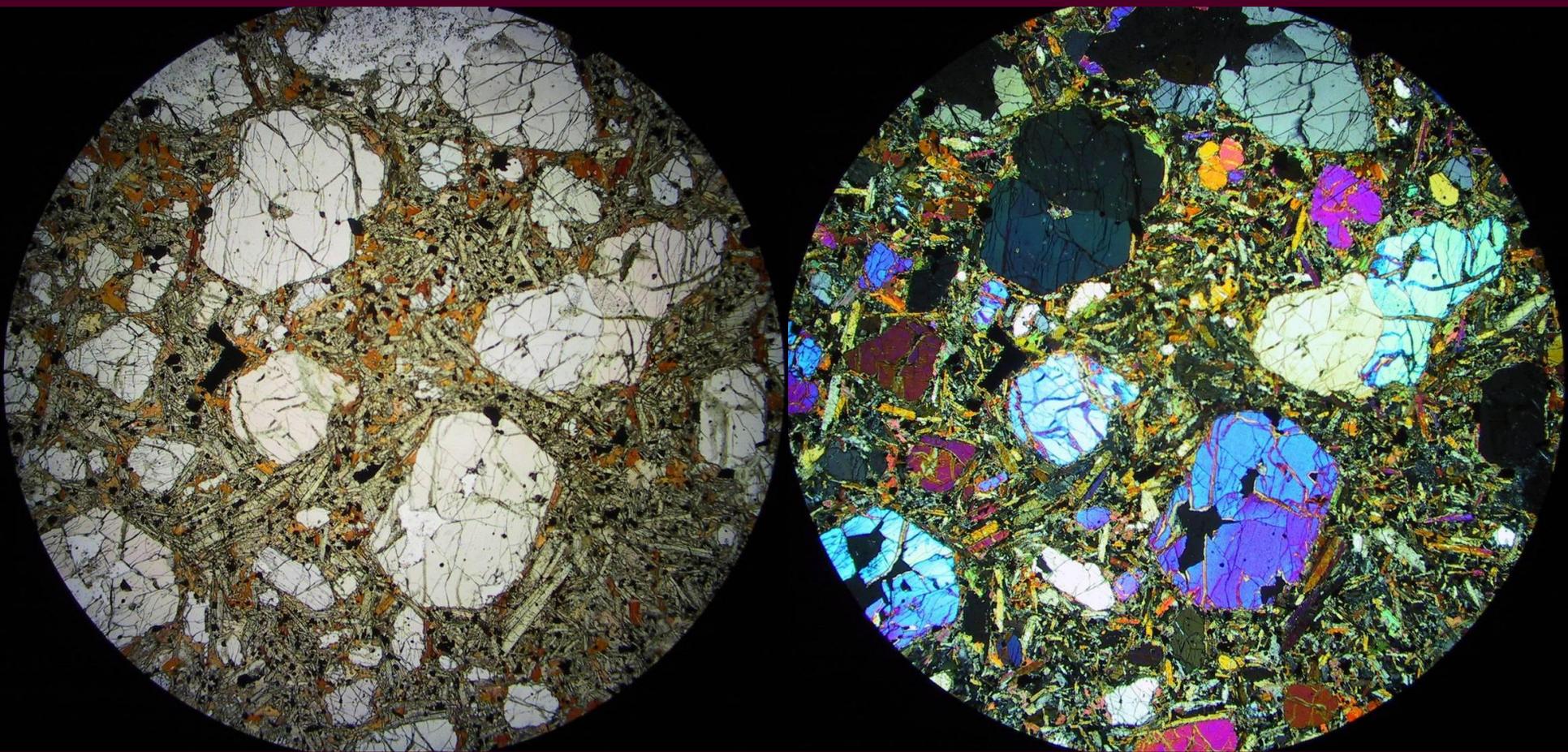
Fa

Изох А.Э. Петрография изверженных пород

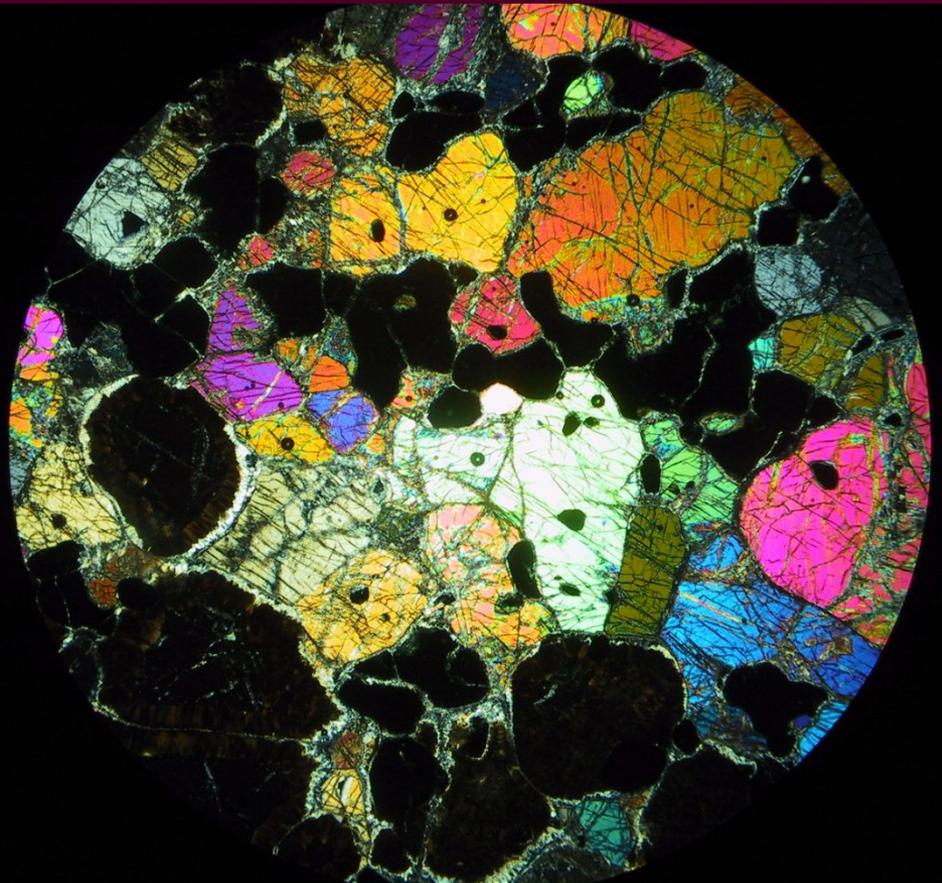
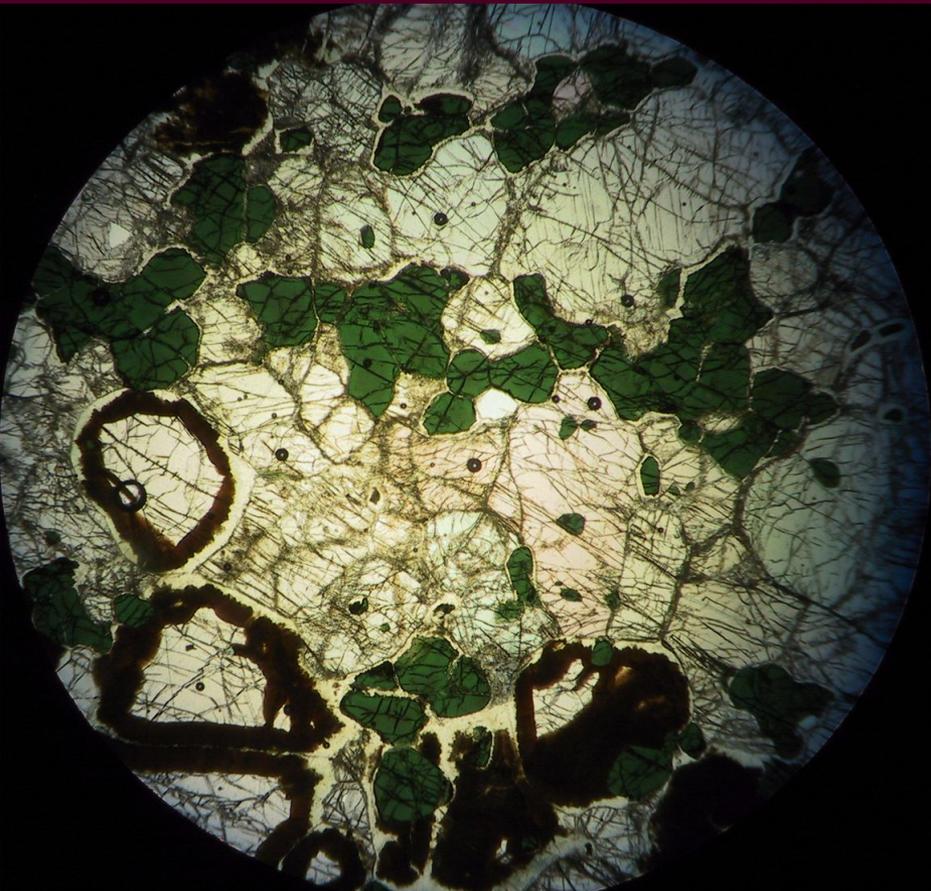


Структура спинифекс в коматиитах – высокая степень переохлаждения, быстрая кристаллизация



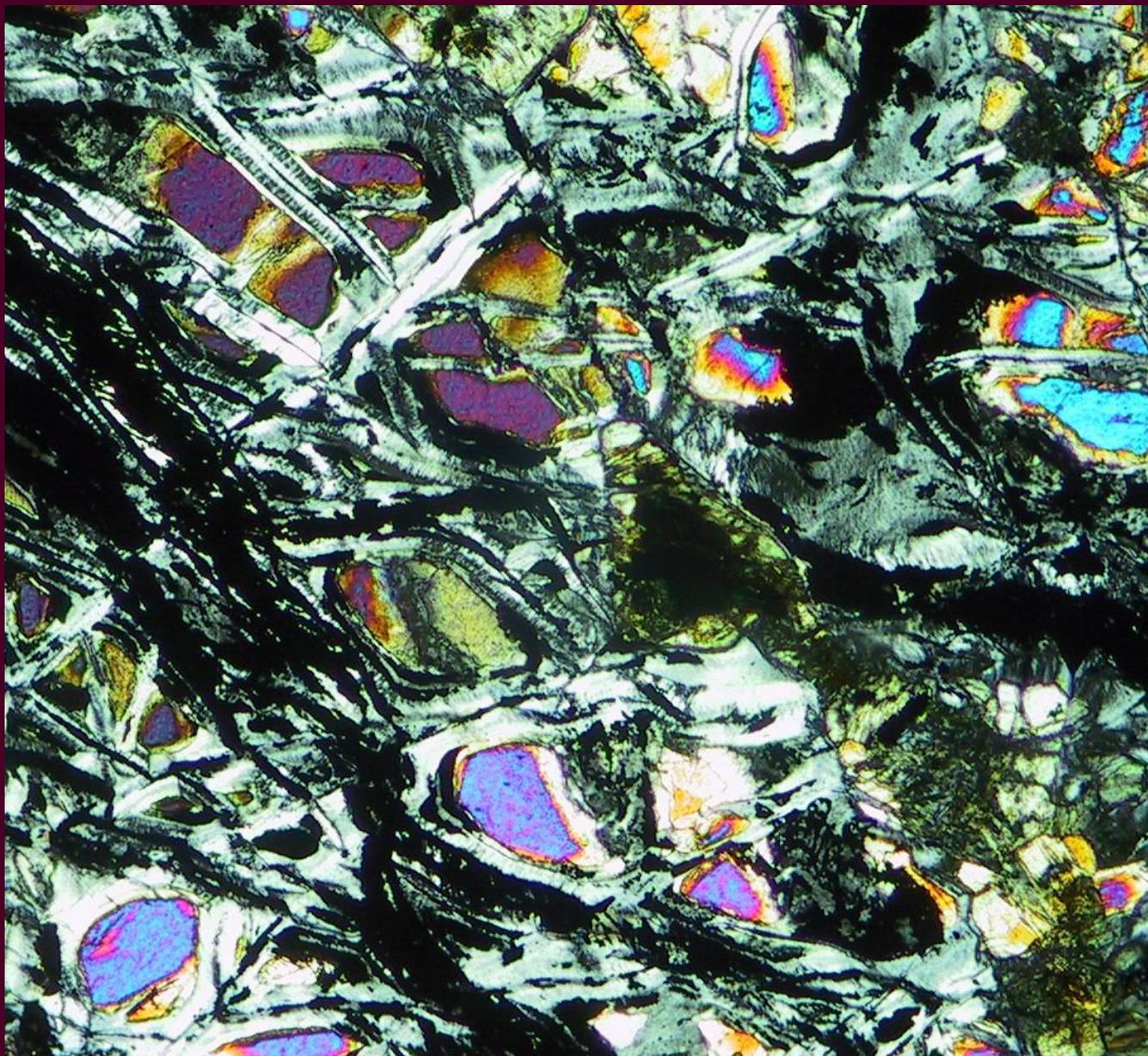


Средняя скорость кристаллизации – крупные идиоморфные зерна



Низкая скорость кристаллизации – крупные ксеноморфные кристаллы

Вторичные изменения – серпентинизация оливина



Изох А.Э. Петрография изверженных пород

ГРУППА ПИРОКСЕНОВ

Кристаллизуются в ромбической (Orx) и моноклинной (Crx) сингониях

Во всех пироксенах имеется призматическая спайность, пересекающаяся в разрезах \perp [001] под углом 87° .

В ромбических пироксенах погасание прямое, в моноклинных – косое - N_g : [001] обычно более $35-38^\circ$.

В пироксенах имеются двойники - простые и полисинтетические.

РОМБИЧЕСКИЕ ПИРОКСЕНЫ

VI гр.

изоморфный ряд от
энстатита (En) $Mg_2[Si_2O_6]$ до
ферросилита (Fs) $Fe_2[Si_2O_6]$

Характерные признаки:

высокий показатель преломления

Пересекающаяся спайность (87°),

Прямое погасание, низкое двупреломление

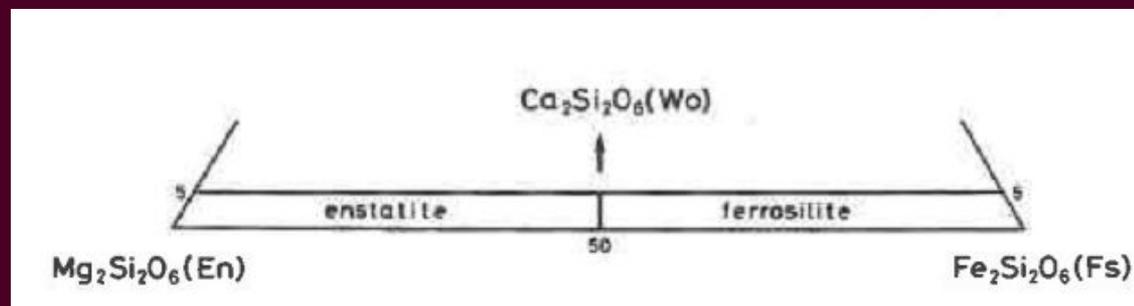
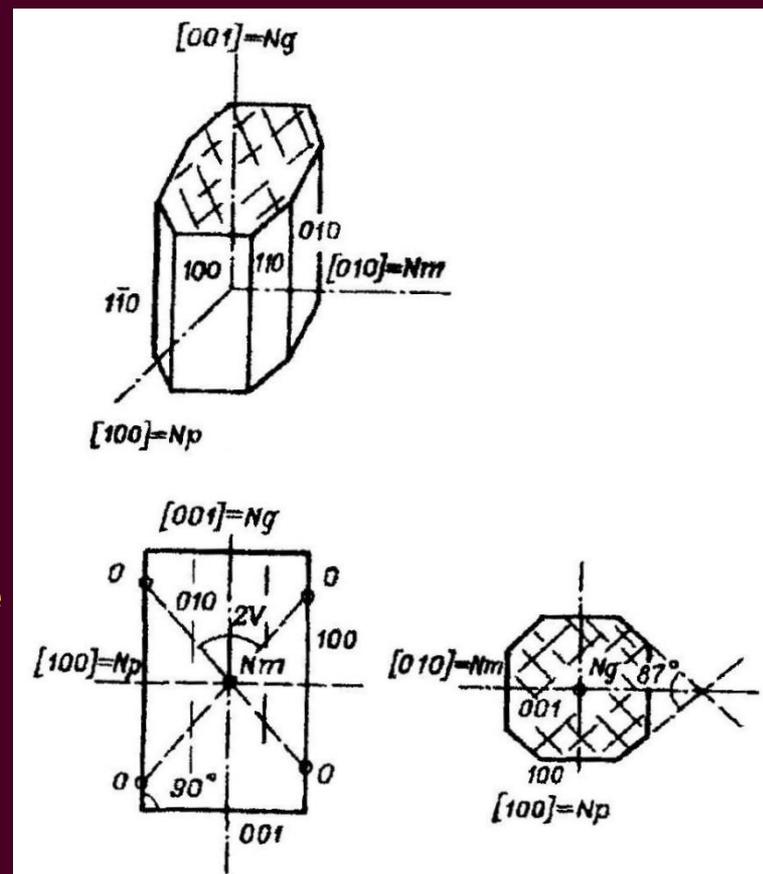
Плеохроизм в розовато-зеленых тонах

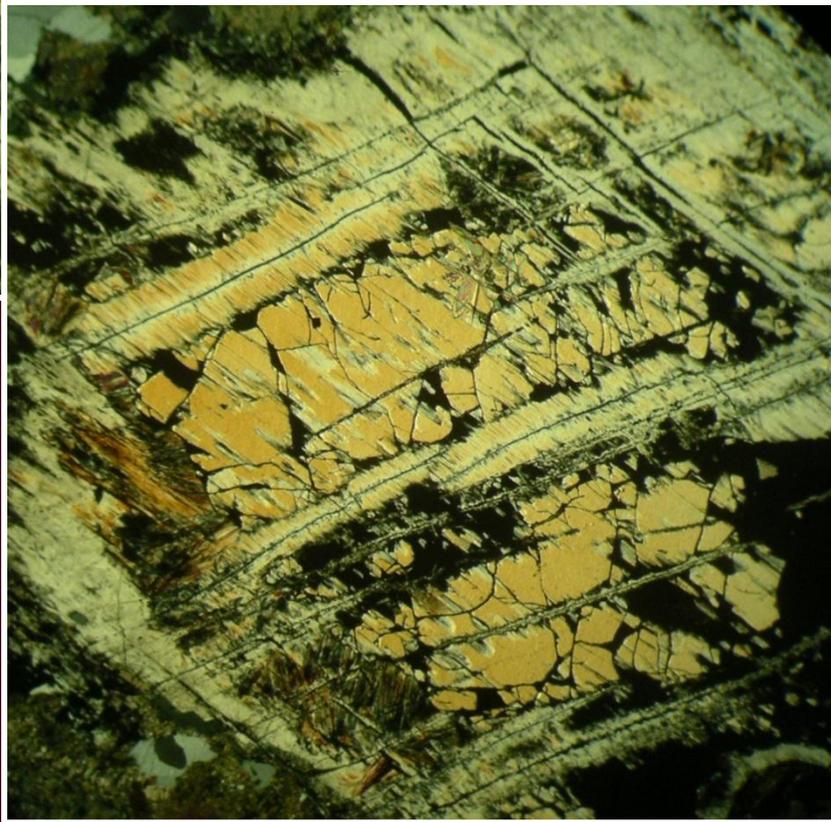
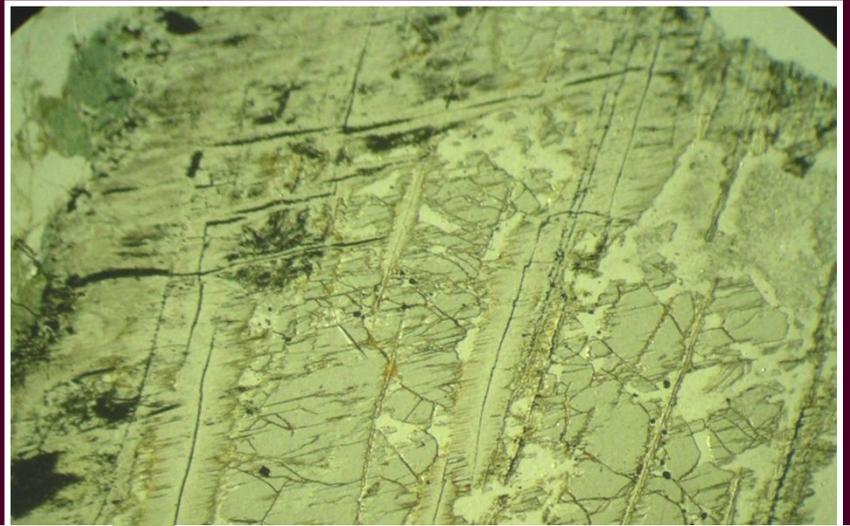
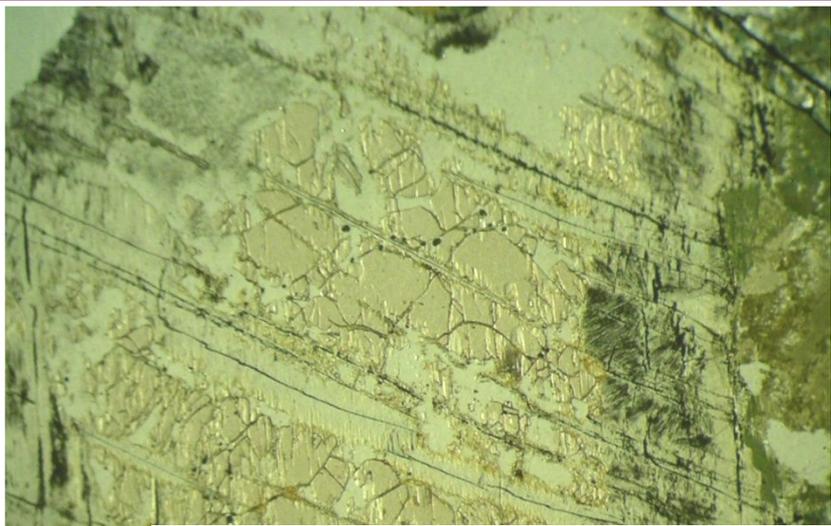
Магнезиальные разновидности

характерны для основных и
ультраосновных пород

Железистые разновидности

встречаются в гранитах, чарнокитах, гранулитах и гнейсах
высоких степеней метаморфизма.





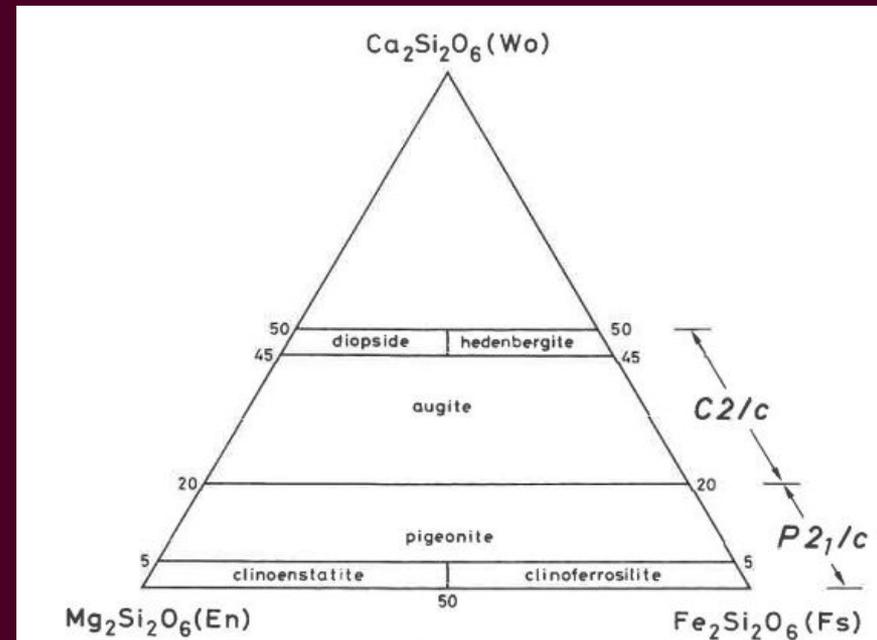
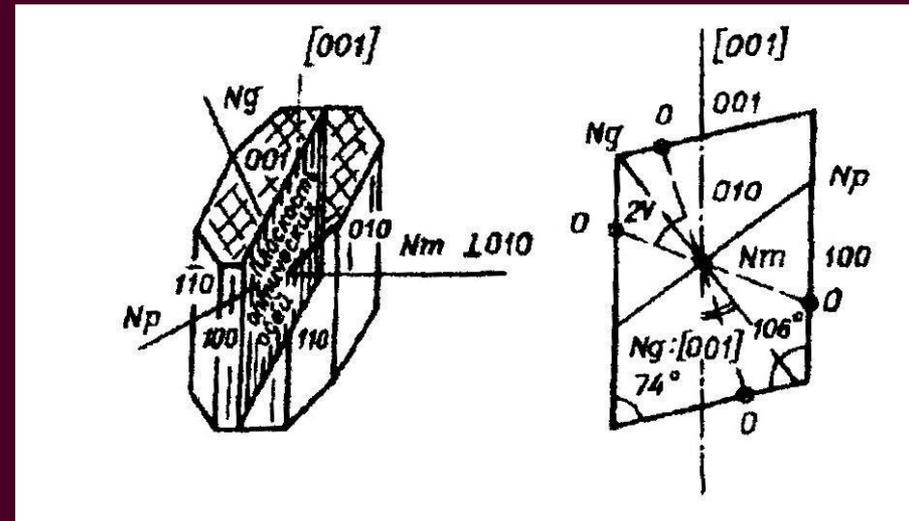
Моноклинные пироксены VI-VII гр.

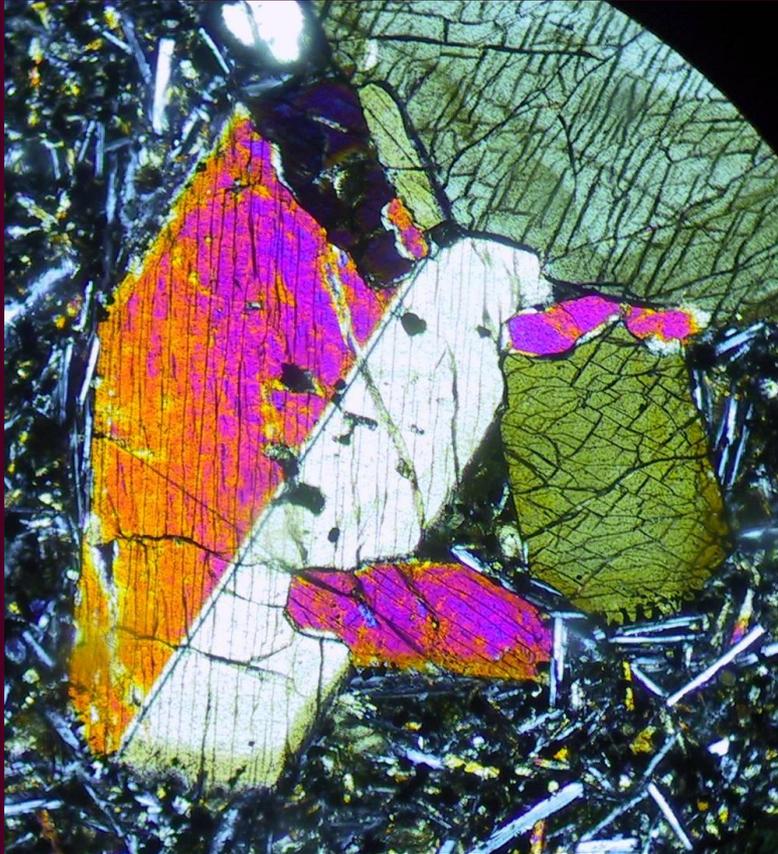
Встречаются как в магматических, так и в метаморфических породах. В ультраосновных, основных породах обычны авгит и титан-авгит.

Характерные признаки:
высокий показатель преломления
Пересекающаяся спайность (87°),
Косое погасание,
Среднее-высокое двупреломление
Бесцветны, светло-серые,
бледно-зеленые
Плеохроизма нет

Замещаются амфиболами, хлоритом

Сходные минералы: ромбические пироксены, амфиболы





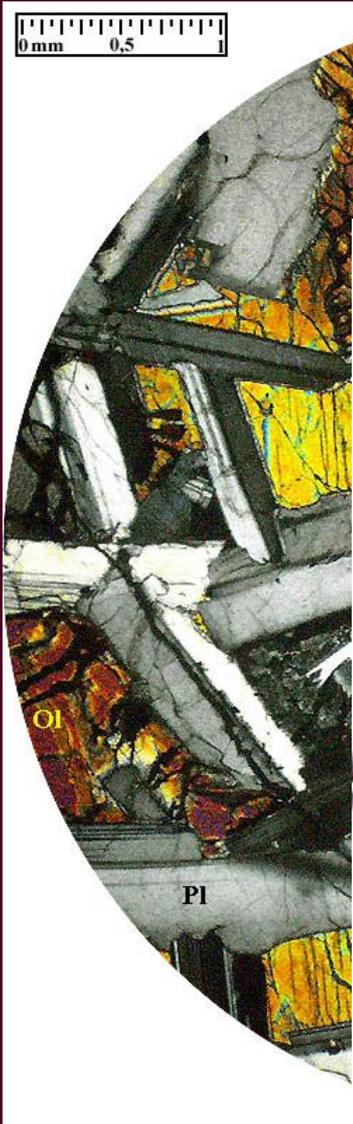
Двойникование в Aug



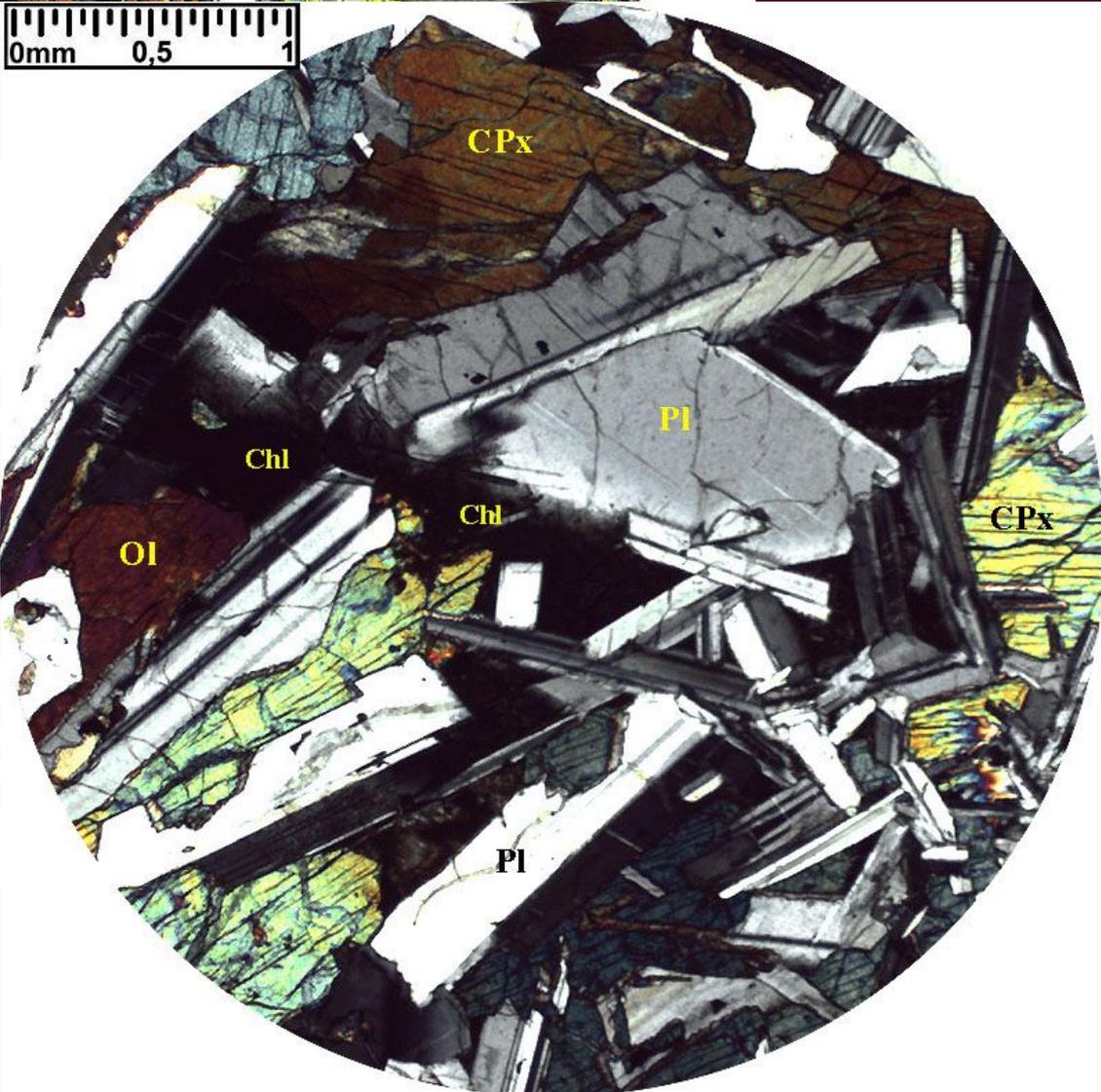
Включения плагиоклаза в Srx,
Пойкилоофитовая структура

Авгит, пижонит

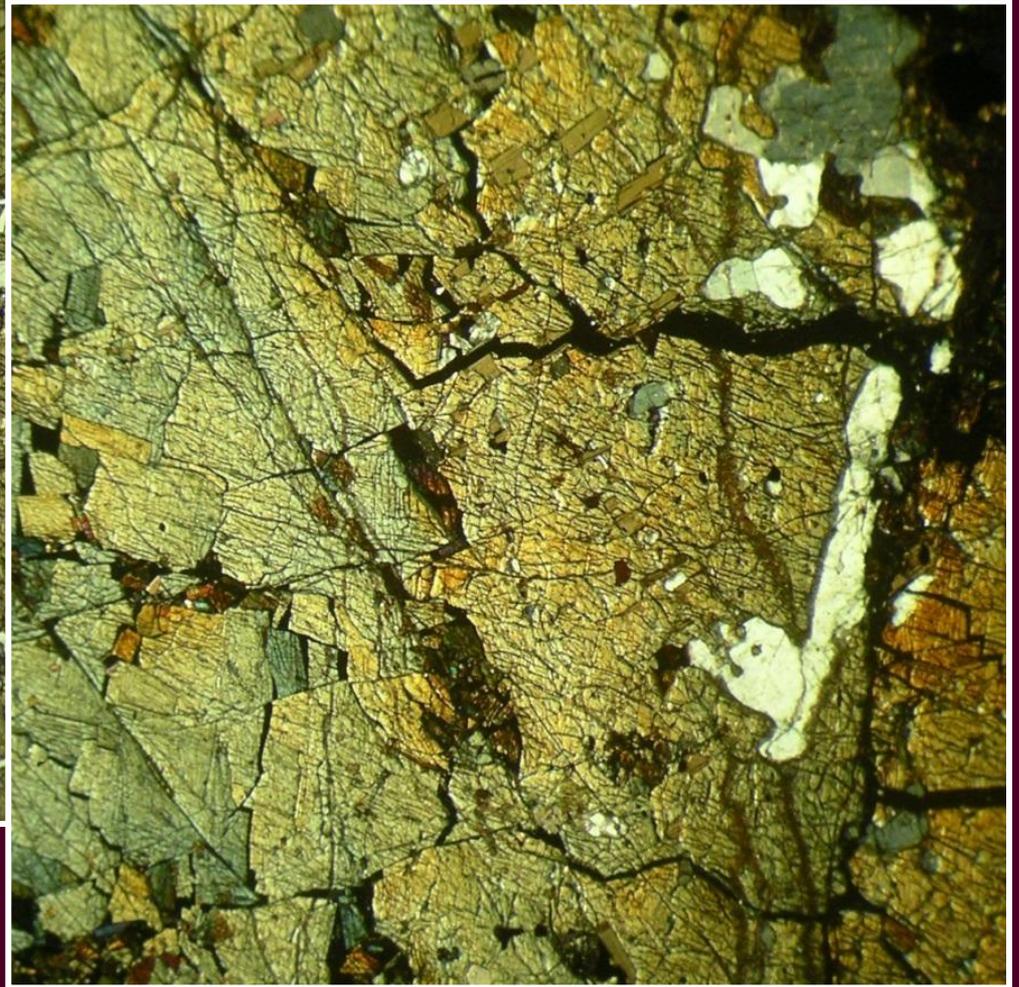
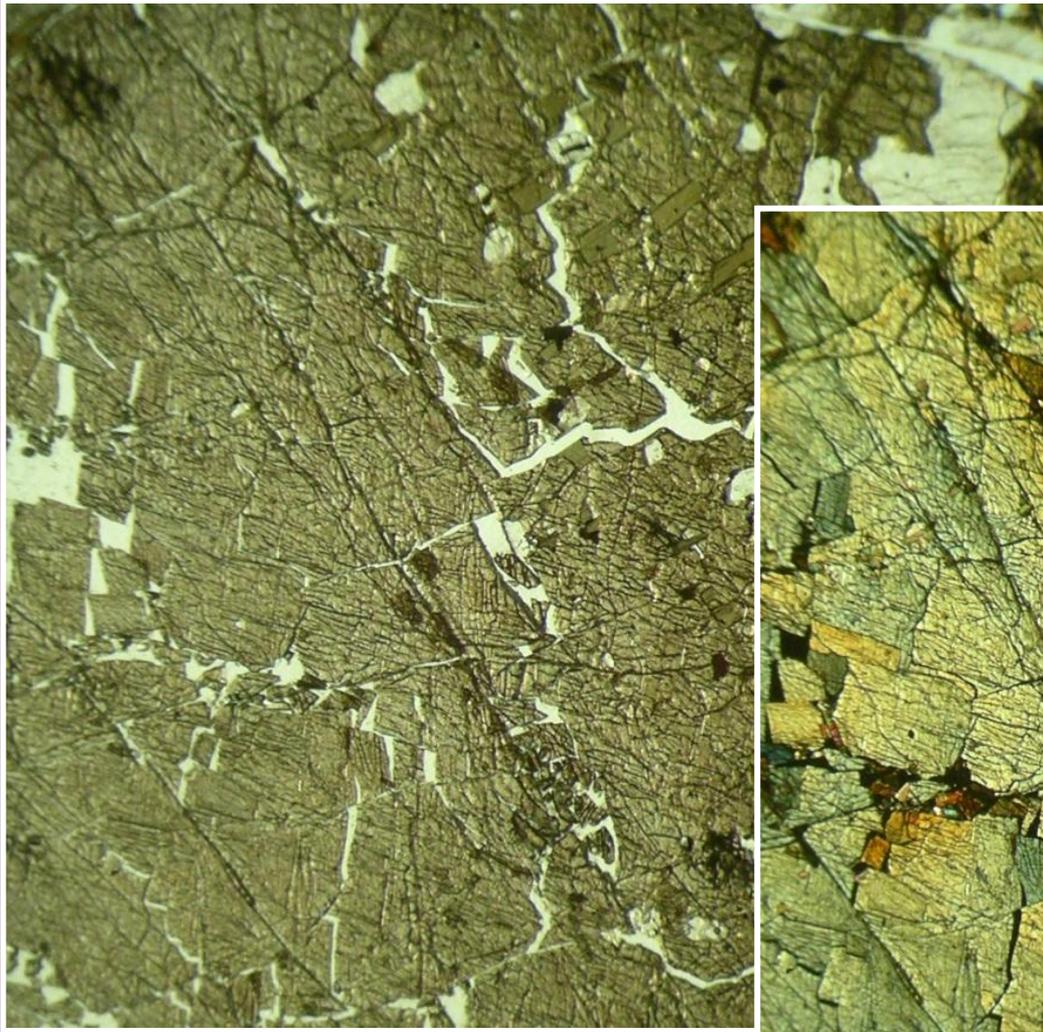
0mm 0,5



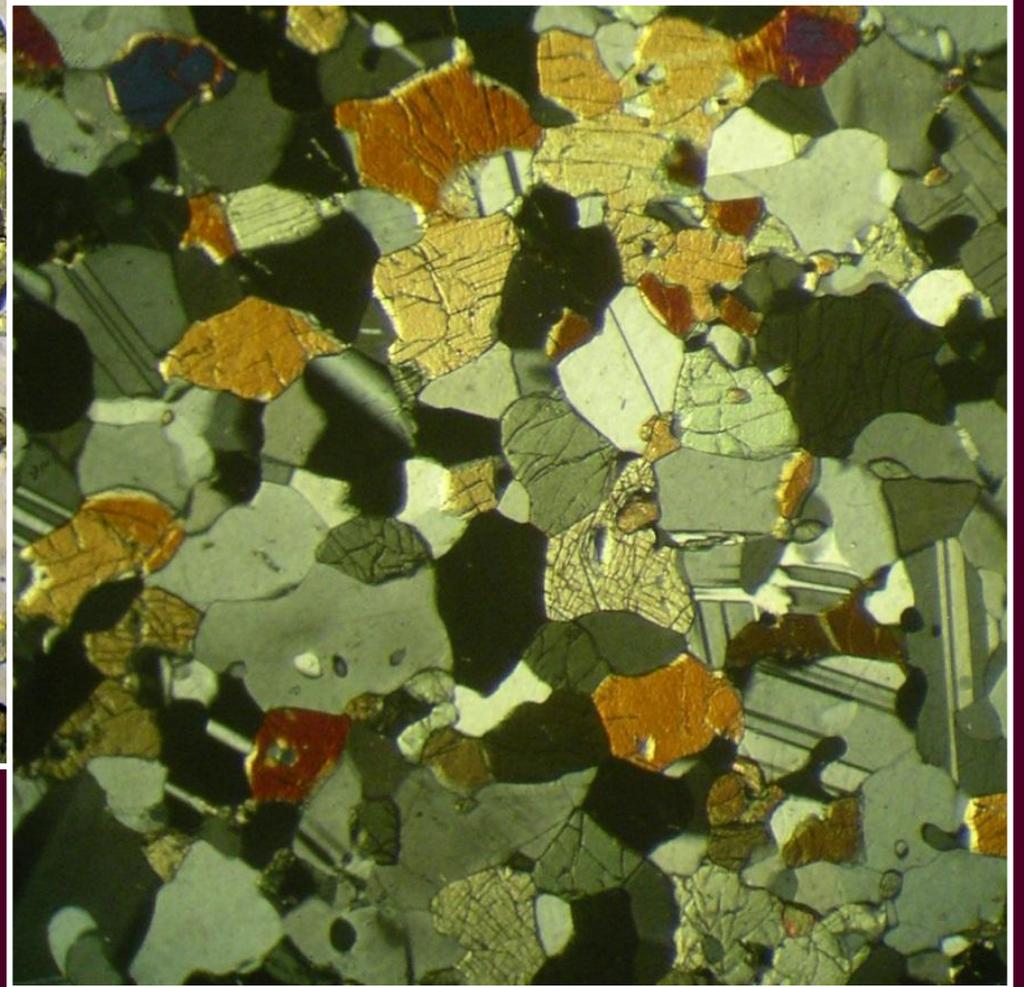
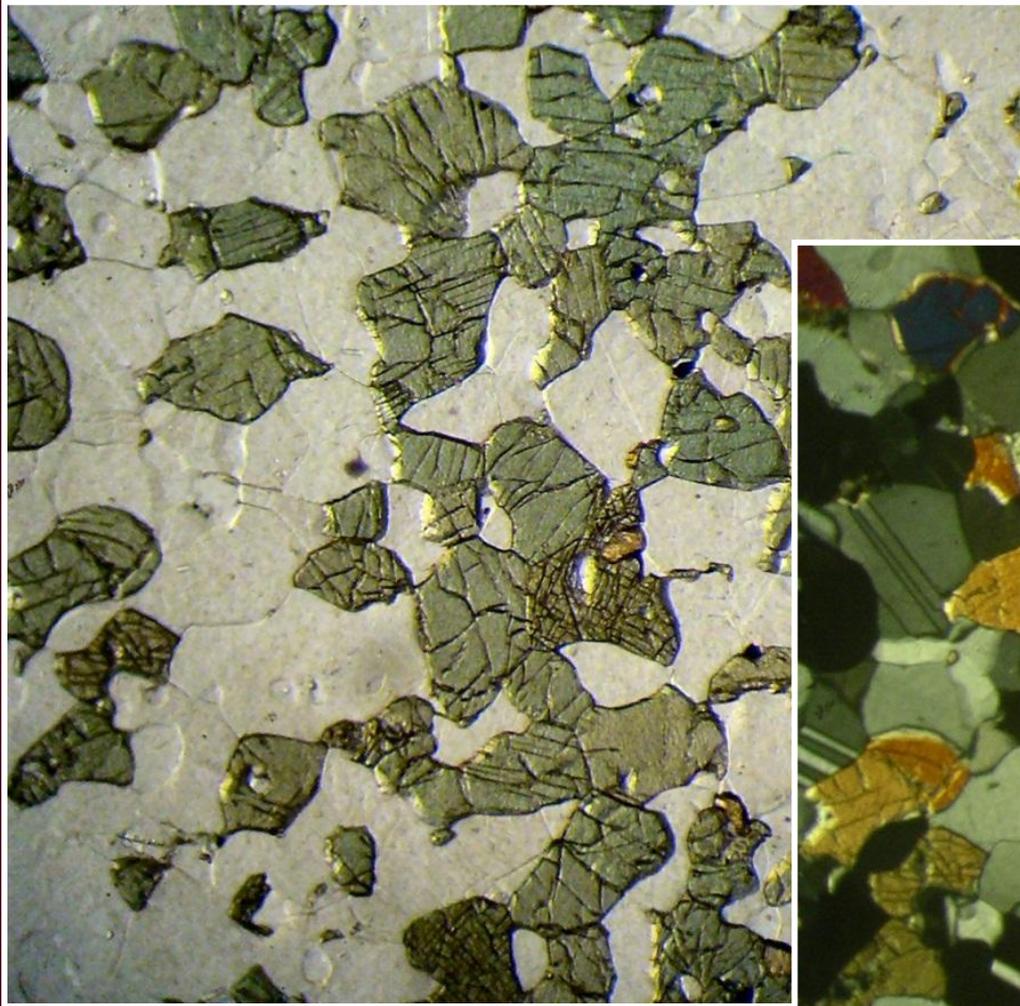
0mm 0,5 1



Титанистый авгит



Диопсид



Второстепенные минералы ультраосновных пород

Группа граната

И см. таблицу
VII гр.

Силикаты островного строения. В таблице приведены миналы, тогда как природные гранаты всегда являются твердыми растворами. Сингония кубическая.

Образуют идиоморфные кристаллы кубических очертаний – тетрагонтриоктаэдры (пиральспиты), ромбододекаэдры (гроссуляр) или комбинации этих форм (андрадит).

Встречаются также гранаты в виде скелетных кристаллов, наполненных включениями других минералов, а также в виде зерен неправильной формы близкой к изометричной с ситовидным строением.

В шлифе имеют положительный рельеф, резкую шагрень, грубые ограничения. Спайность отсутствует, уграндиты бывают зональными и слабо двупреломляющими.

Сходные минералы – группа шпинели. Пиральспиты отличаются от минералов гр. шпинели иными формами развития, наличием включений, ассоциацией с кварцем. Для шпинелей также не характерны оптические аномалии.

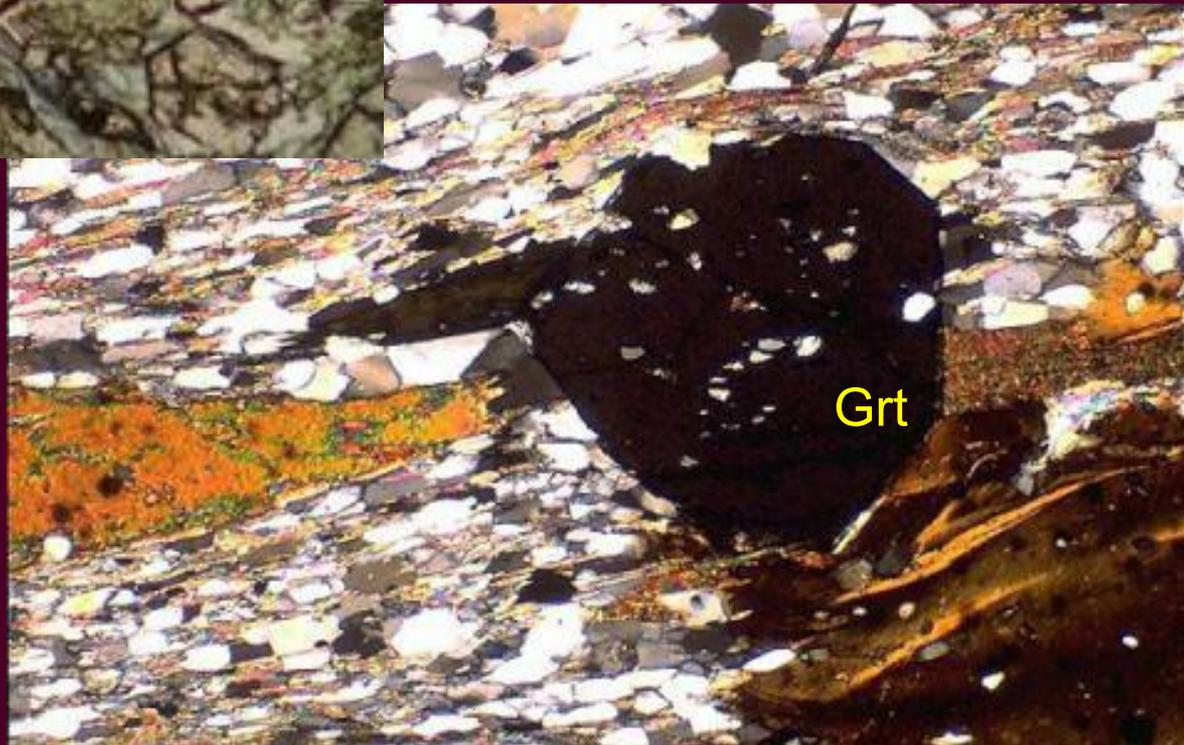
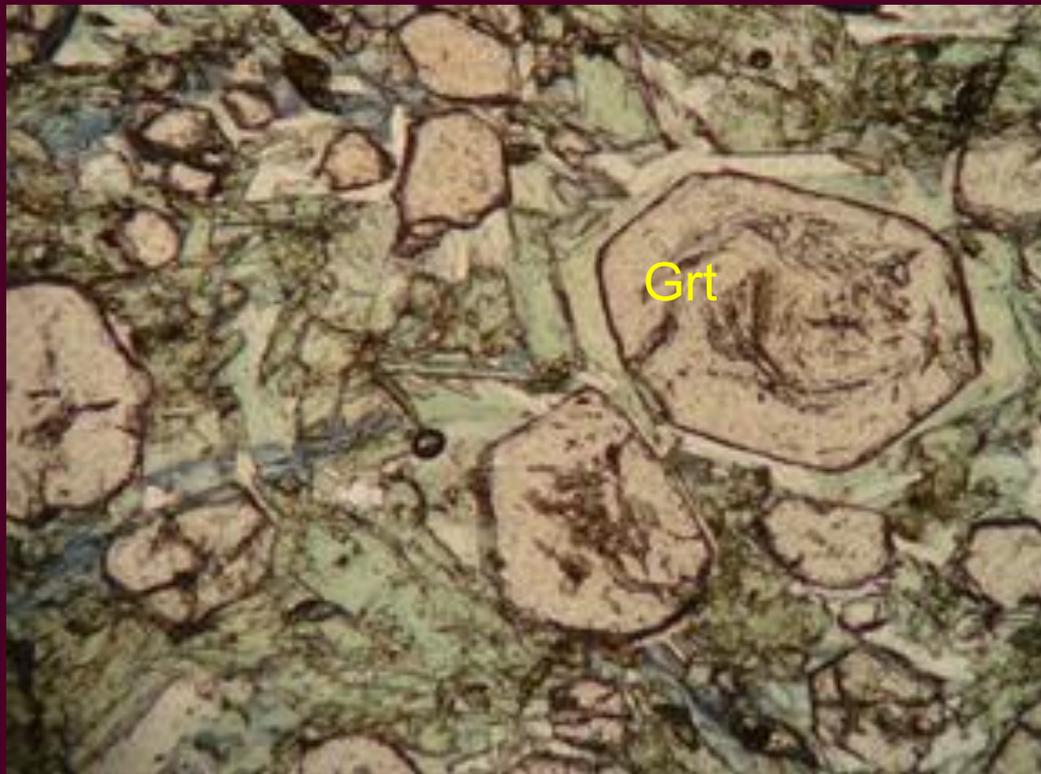
| Под-группа гранатов | Минал | Химическая формула | N | Цвет в шлифе | Оптические свойства |
|---------------------|------------|-----------------------------|-------|--------------|-------------------------------------|
| Пиральспиты | Пироп | $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ | 1.705 | Бесцветный | Изотропный |
| | Альмандин | $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ | 1.830 | Розоватый | |
| | Спессартин | $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ | 1.80 | | |
| Уграндиты | Гроссуляр | $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$ | 1.735 | Бесцветный | Двупреломление 0.001, часто зонален |
| | Андрадит | $Ca_3Fe^{3+}_2(SiO_4)_3$ | 1.90 | Желтоватый | |
| | Уваровит | $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$ | 1.89 | Зеленоватый | Двупреломление слабое |
| | Меланит | $Ca_3(Al,Fe)_2(Si,TiO_4)_3$ | 2.00 | Бурый | |

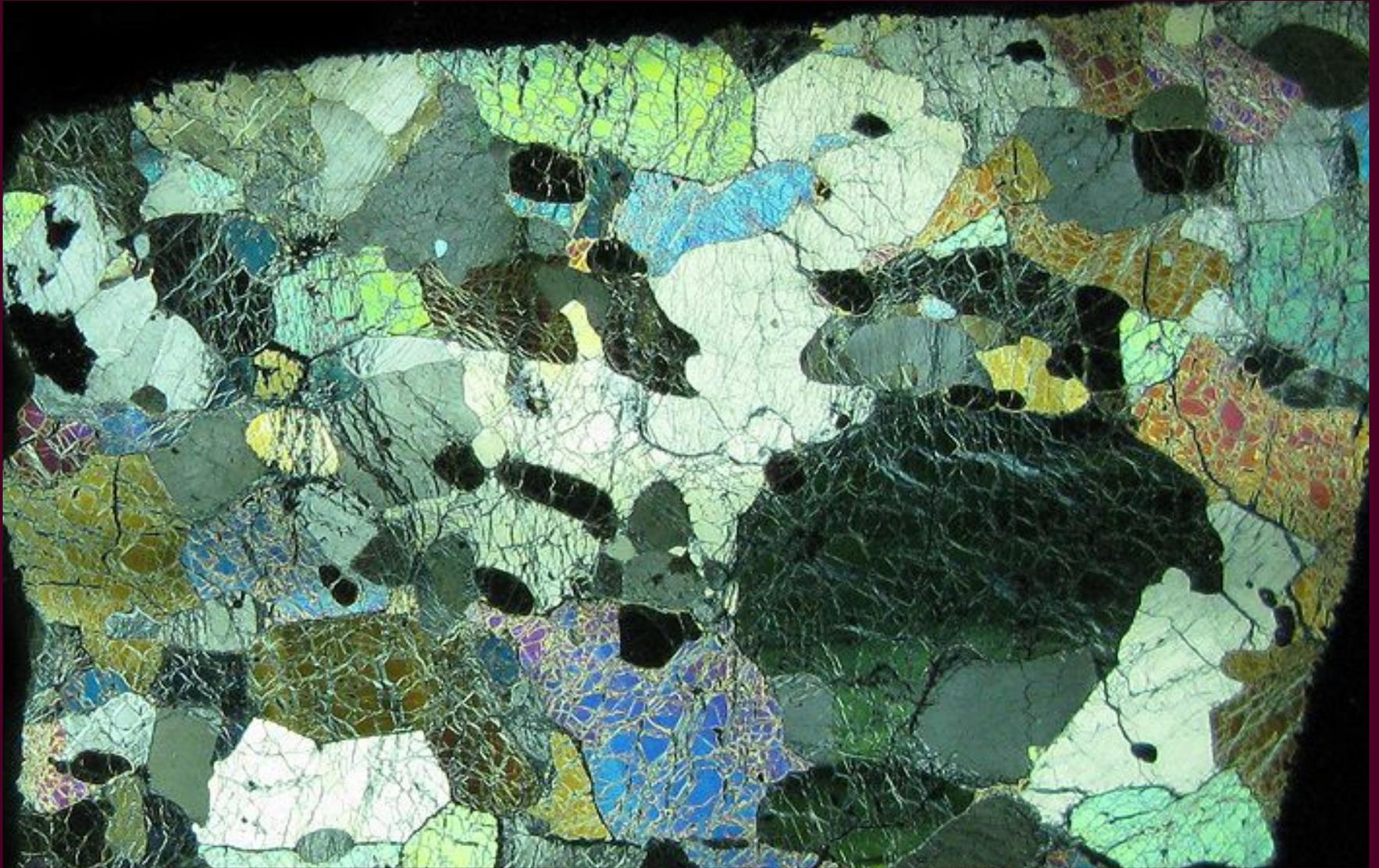
Парагенезис. Альмандин – кварц, щелочные полевые шпаты, кислый плагиоклаз, слюды, в метаморфических породах высоких ступеней метаморфизма – омфацит, ставролит, кианит.

Андрадит-гроссуляр – минералы скарнов: пироксены, амфиболы, карбонаты, везувиан.

Уваровит – серпентин, хлорит, оливин, шпинель, хромит.

Меланит – нефелин и другие минералы фельдшпатоидных пород.





Grt в перидотите

Группа шпинели

VI-VII гр.

Все минералы группы шпинели кристаллизуются в кубической сингонии, формируя октаэдры. В шлифах зерна шпинели имеют форму треугольников, квадратов, четырехугольников, но встречаются также неправильной формы зерна.

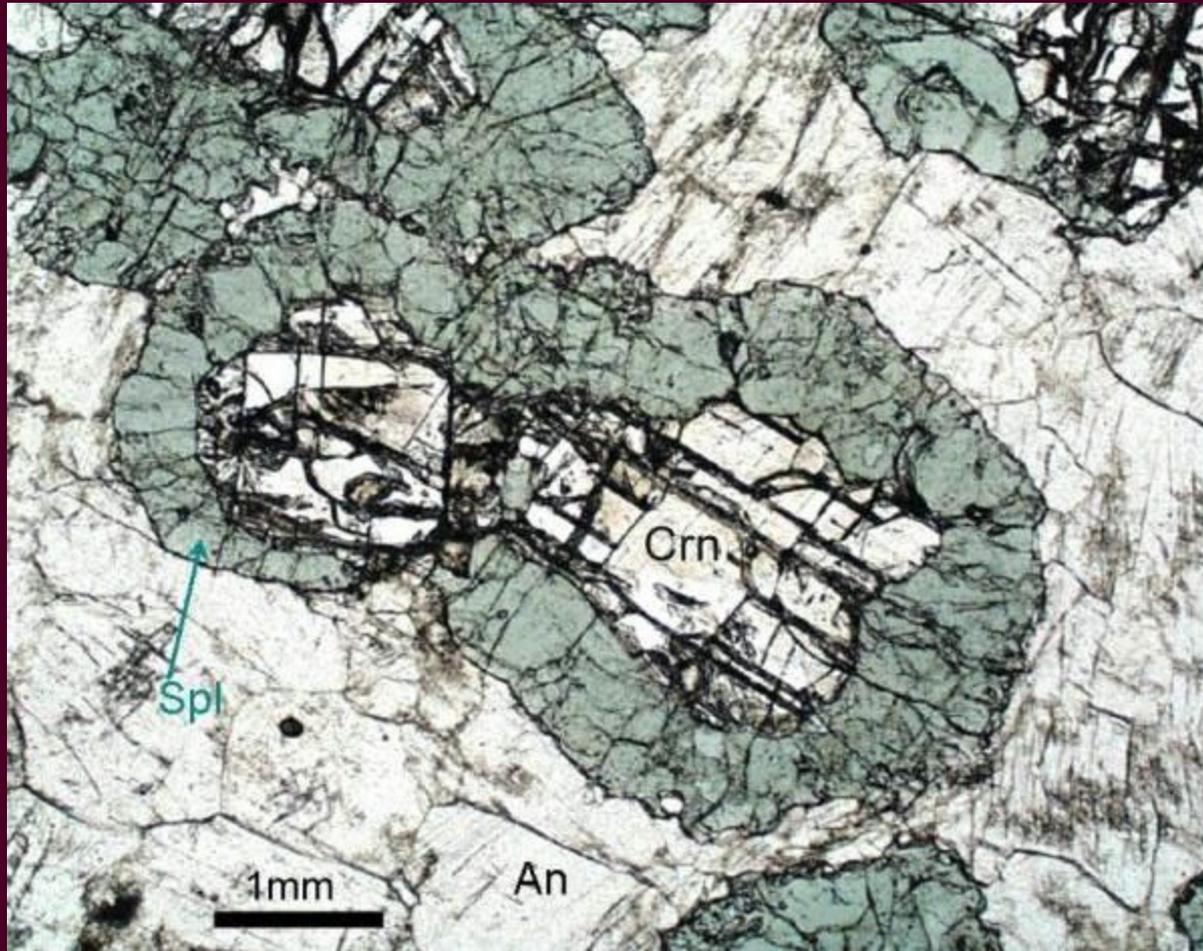
Спайность отсутствует, отдельность по октаэдру наблюдается в шлифах крайне редко (в плеонасте, трещины пересекаются по прямым углом) .

Цвет в шлифе бесцветный (редко), зеленоватый, чаще ясно зеленый, буроватый, иногда красно-бурый, окраска распределена равномерно. Оптические аномалии не наблюдаются. Сходными являются минералы группы граната

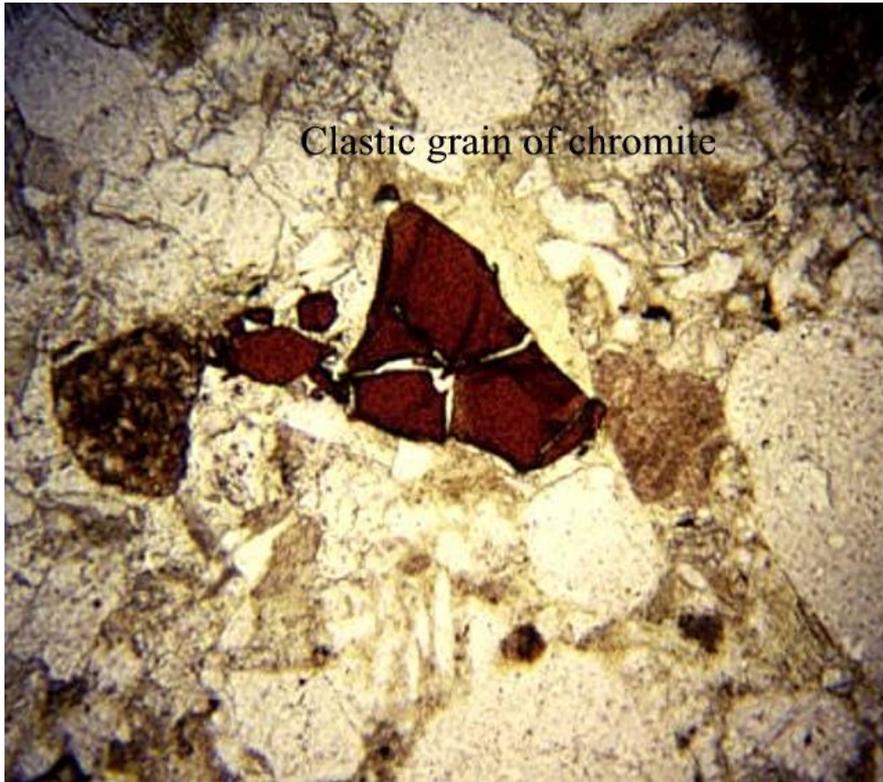
Благородная шпинель встречается в контактово-метаморфизованных доломитах, в богатых глиноземом ксенолитах, а также в регионально-метаморфизованных карбонатных породах. Характерен парагенезис с пироксенами, карбонатами.

Плеонаст и пикотит находятся в пироксенитах, перидотитах, в обогащенных оливином включениях в базальтах. Парагенезис плеонаста разнообразен: он встречается совместно с пироксенами, оливином и основным плагиоклазом, а в гнейсах ассоциирует с кварцем и другими минералами, характерными для этих пород.

Для пикотита характерен парагенезис с оливином, серпентином, магнезиальными пироксенами, тальком, хлоритом.



Хромит - типичный рудный минерал ультраосновных пород



Полупрозрачный, интенсивно окрашен в красновато-бурые цвета

Не двупреломляет

Вторичные минералы ультраосновных пород

Серпентины III гр.

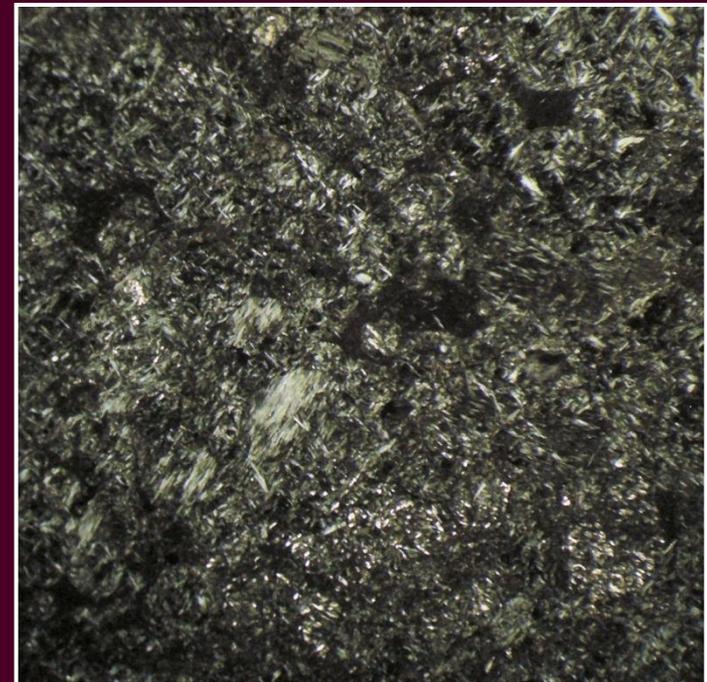
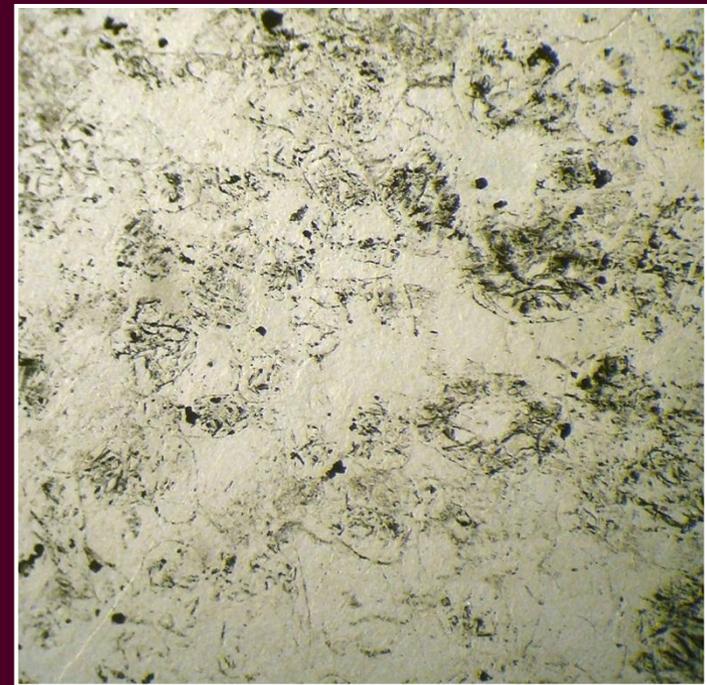


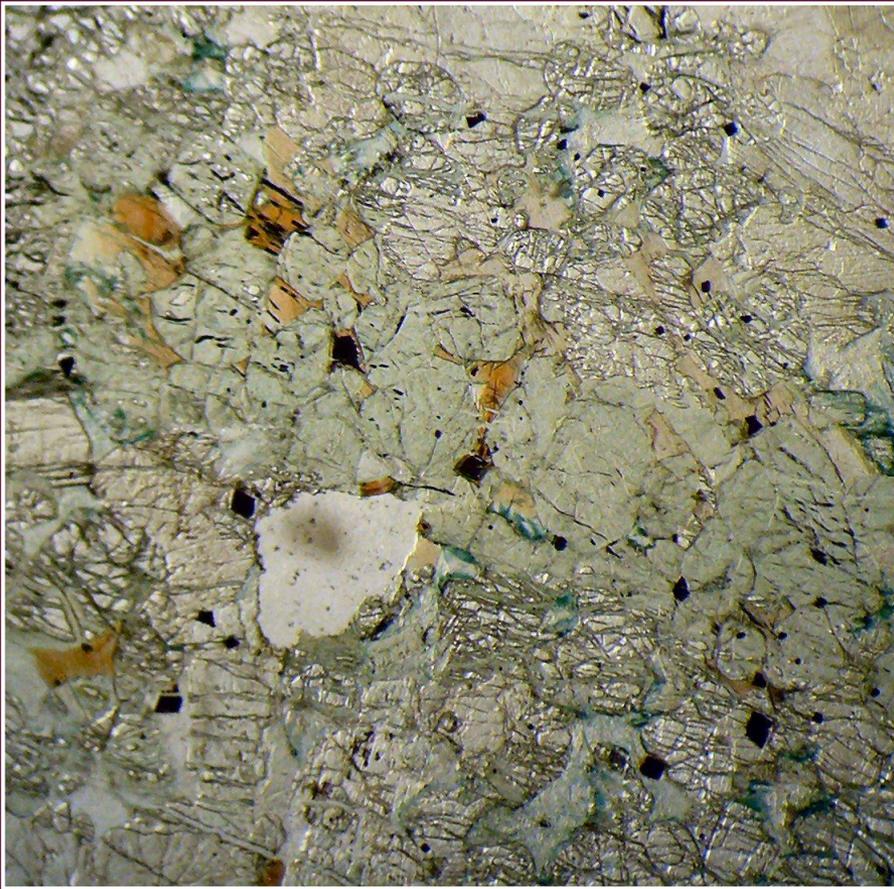
Сингония моноклинная,

В шлифе бесцветны или светло-зеленые.

Окраска распределена равномерно, плеохроизма нет.

Двупреломление слабое.

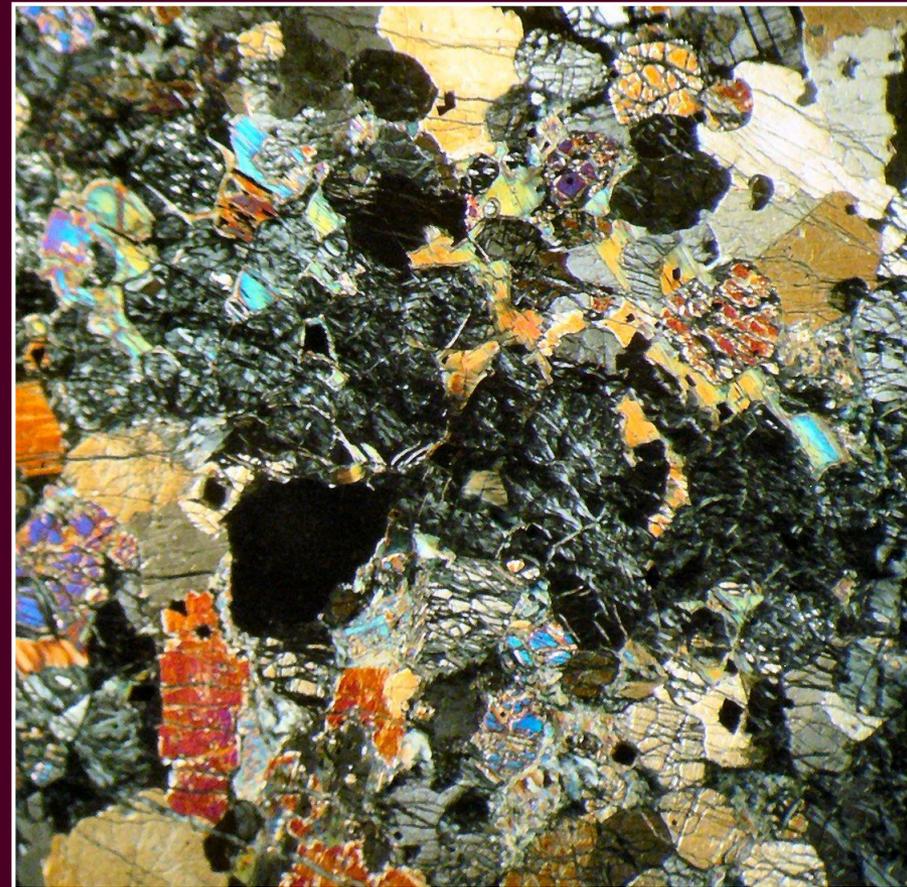




Сходные минералы -
хлорит

Широко развиты в в
гипербазитах (перидотитах,
дунитах)

Типичный минерал фации
зеленых сланцев.

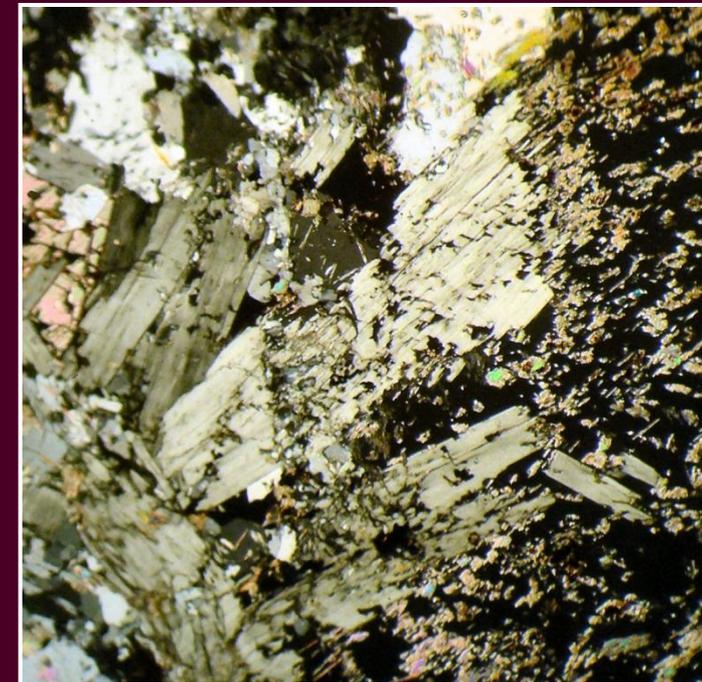
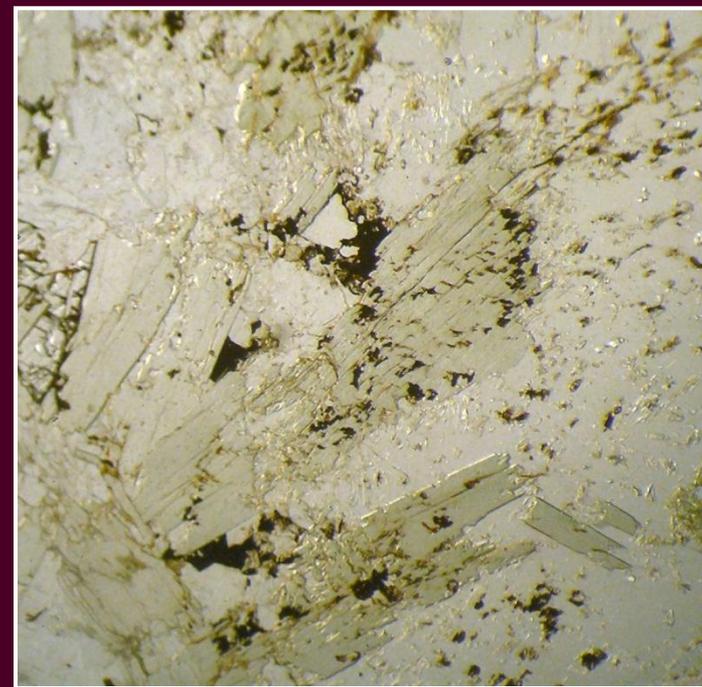


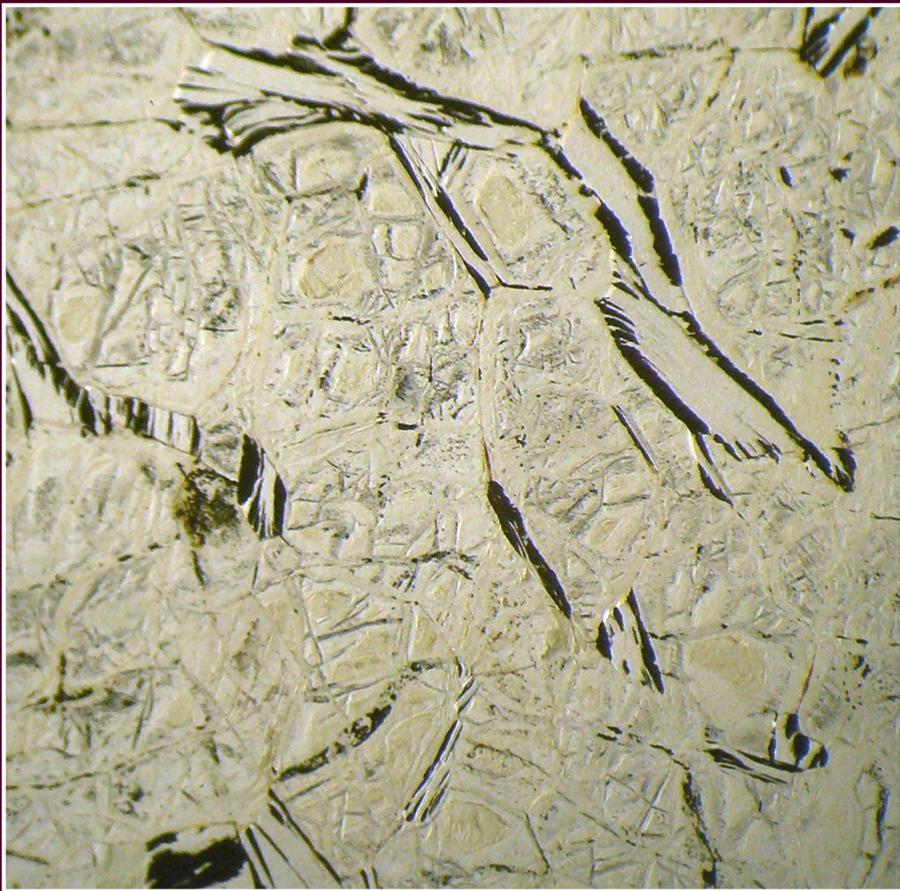
Хлориты IV(III) гр.

Изоморфный ряд
пенин (Mg)-клинохлор (Mg,Fe)-
шериданит (Fe)

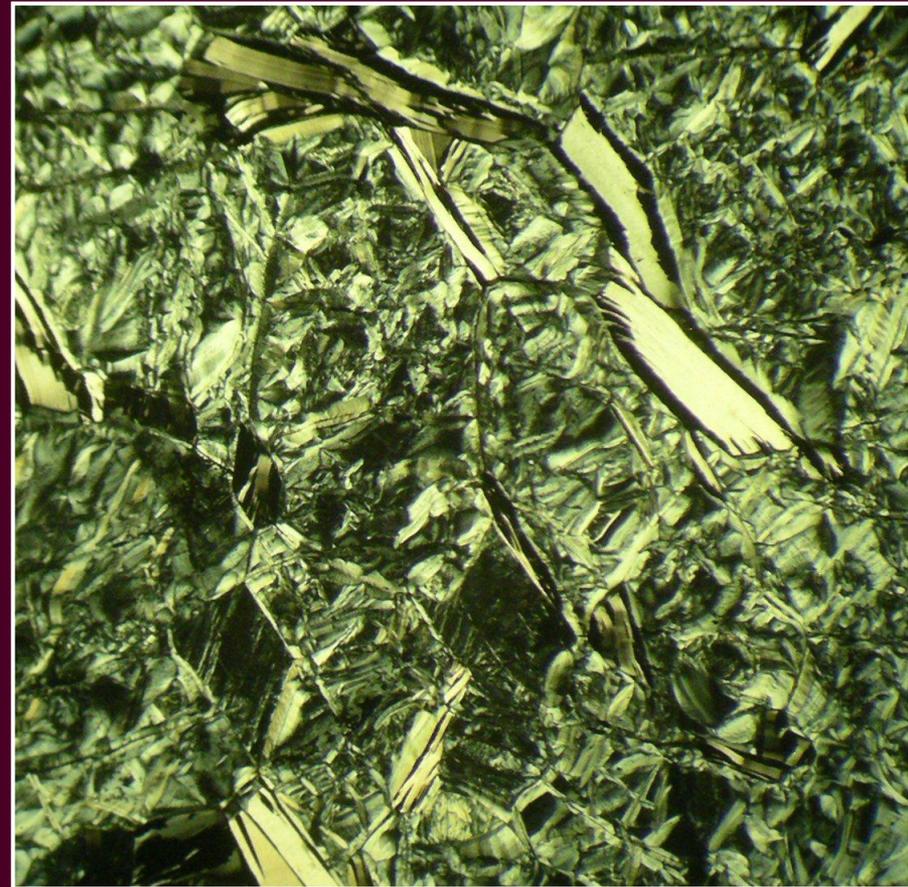
Сингония моноклинная,
совершенная спайность $\parallel 001$,
ясный плеохроизм в зеленых тонах,
слабое двупреломление,

в некоторых разновидностях
аномальные цвета интерференции
(грязно-желто-серые или чернильно-
синие).





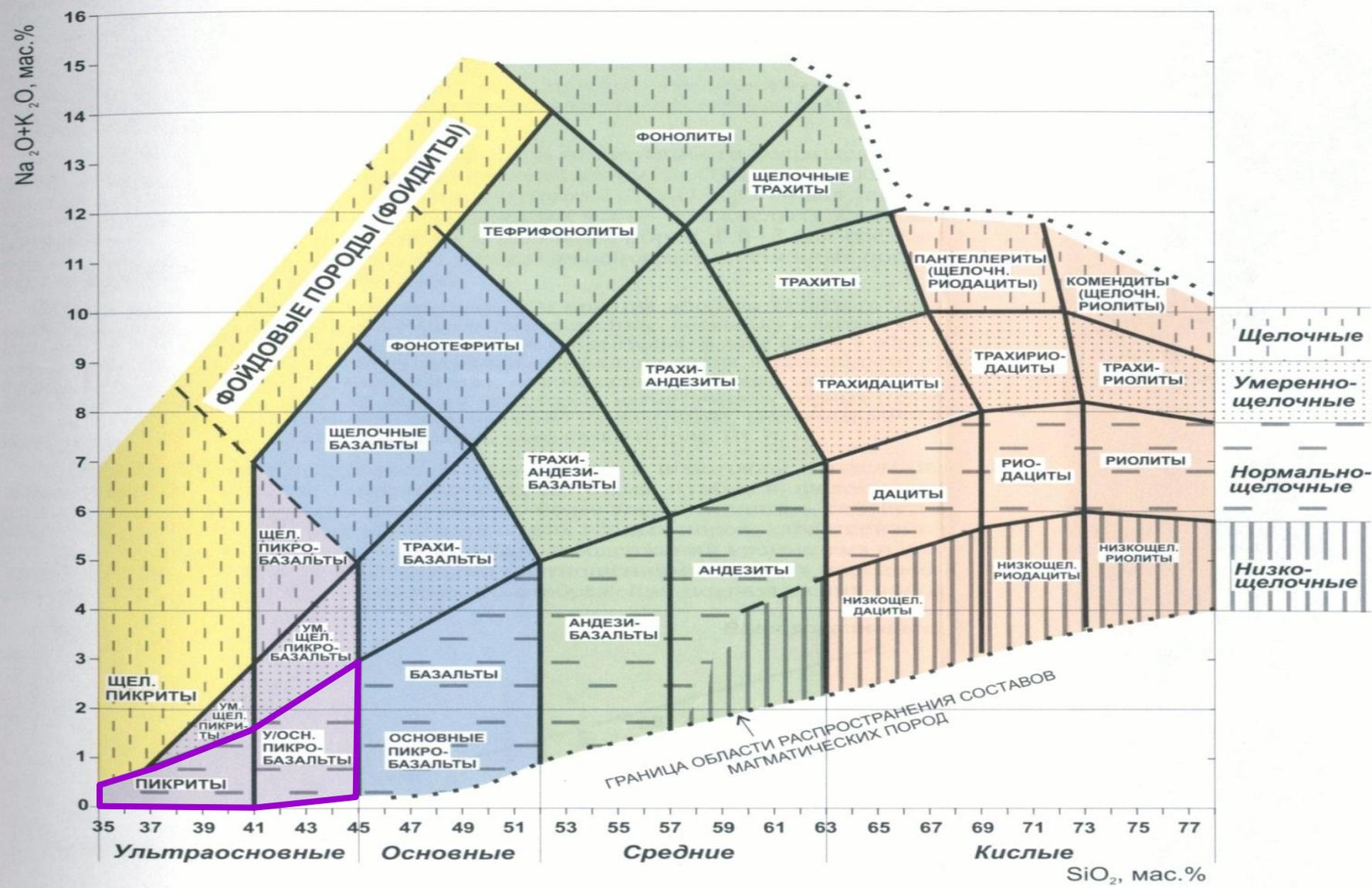
Сходные минералы – серпентины, плагиоклазы, бесцветные слюды.



Типичный минерал зеленосланцевой фации метаморфизма. Замещает биотит, амфибол, пироксены, выполняет пустоты в вулканических породах.

Ультраосновные магматические породы

Диаграмма TAS = Total Alkali – Silica = сумма щелочей-кремнезем – классификация на уровне отрядов-семейств



Ультраосновные породы

Систематика

Минеральный состав

Распространенность

Полезные ископаемые

Структуры



This Mind Map was created with iMindMap Trial
Download your free copy from www.ThinkBuzan.com

Ультраосновные и ультрамафические породы

Ультраосновные

=

Ультрабазиты

=

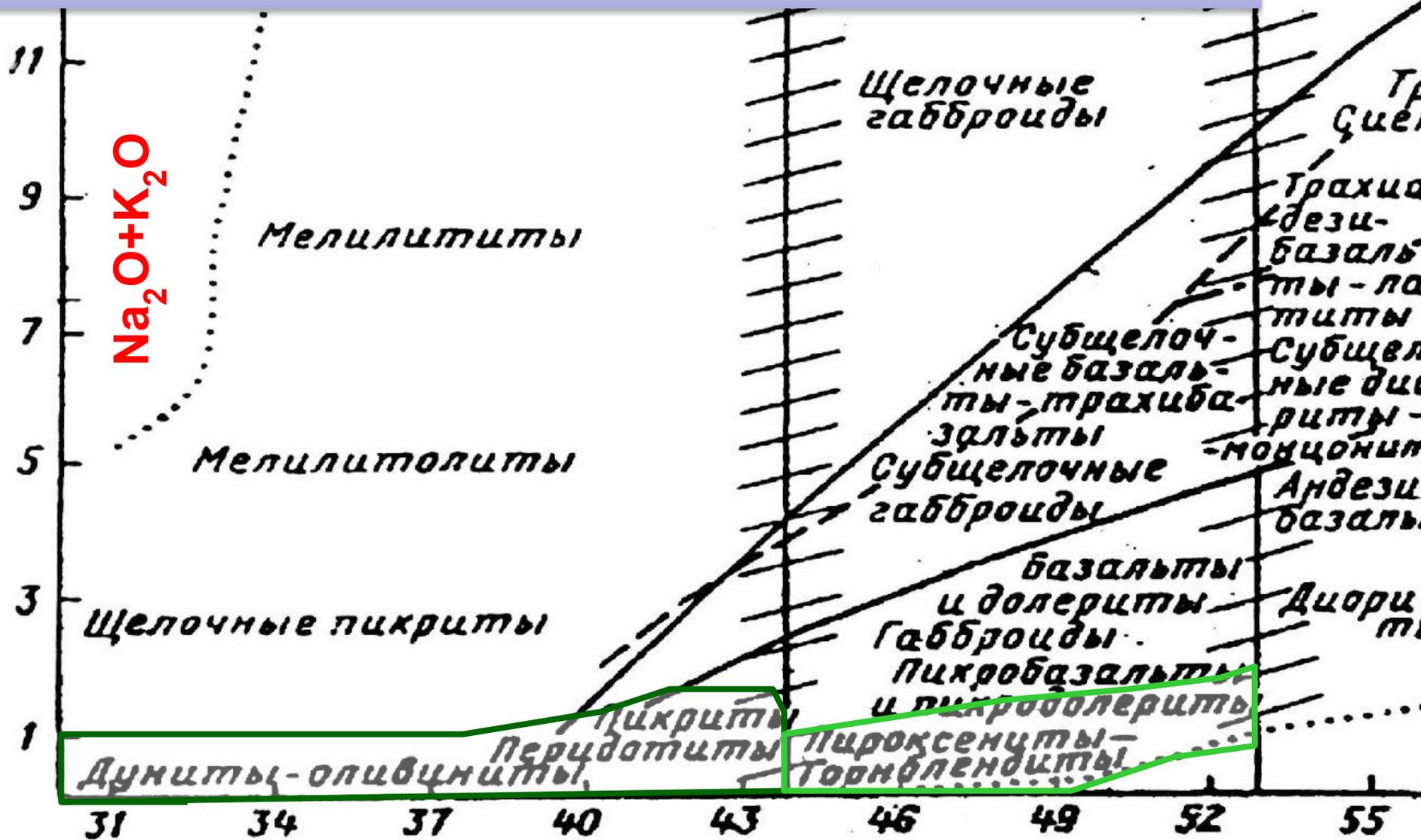
Гипербазиты

$35\% < \text{SiO}_2 < 45\%$

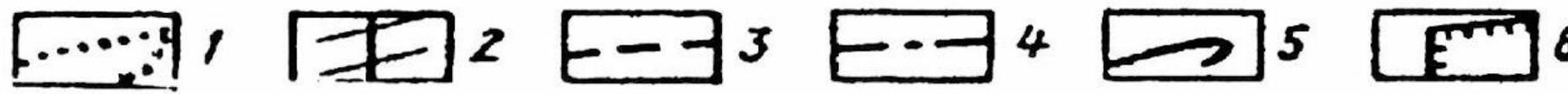
Ультрамафические -

Содержание темноцветных
(мафических минералов) $> 75\%$

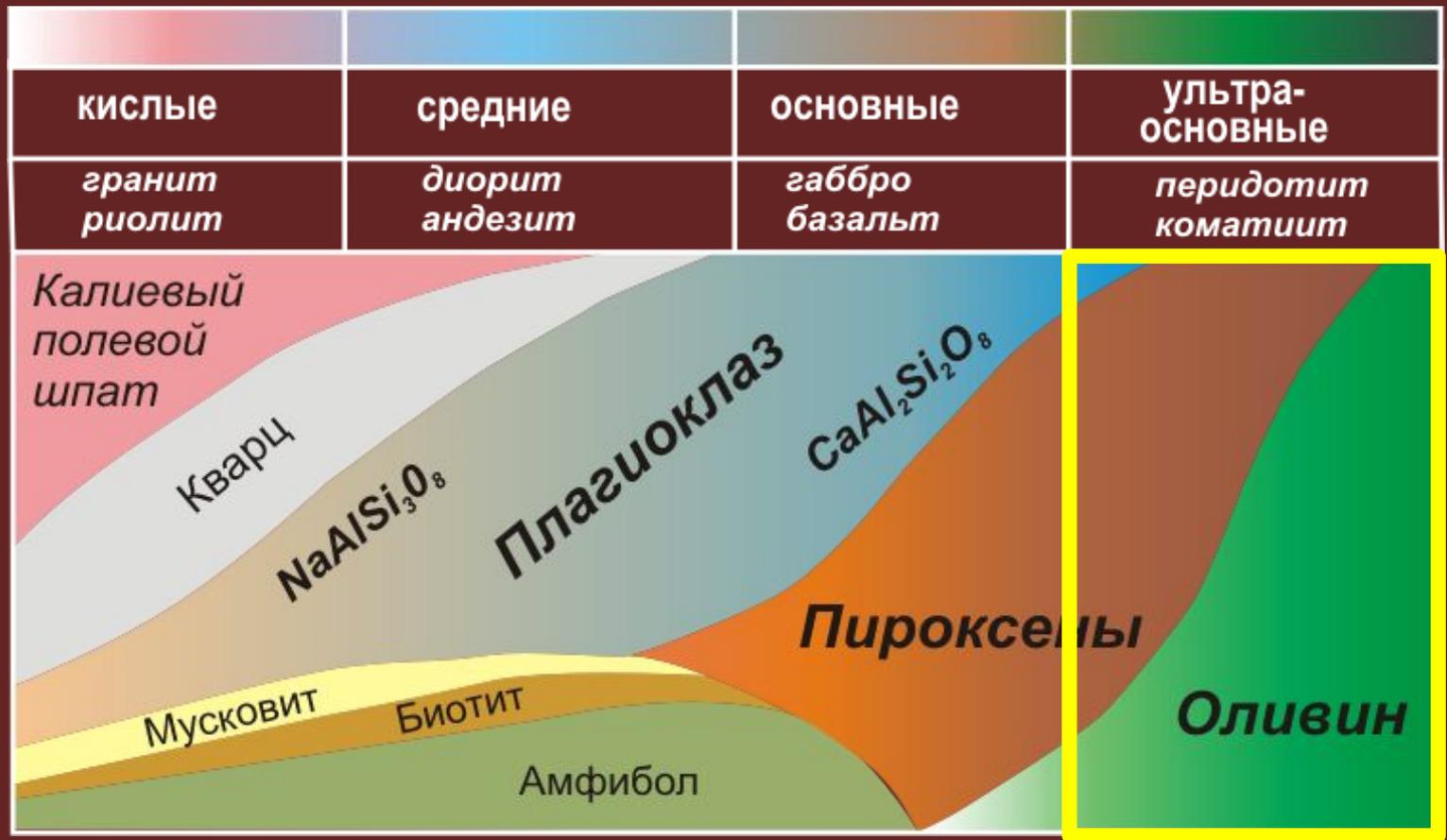
Магматические породы нормального ряда щелочности



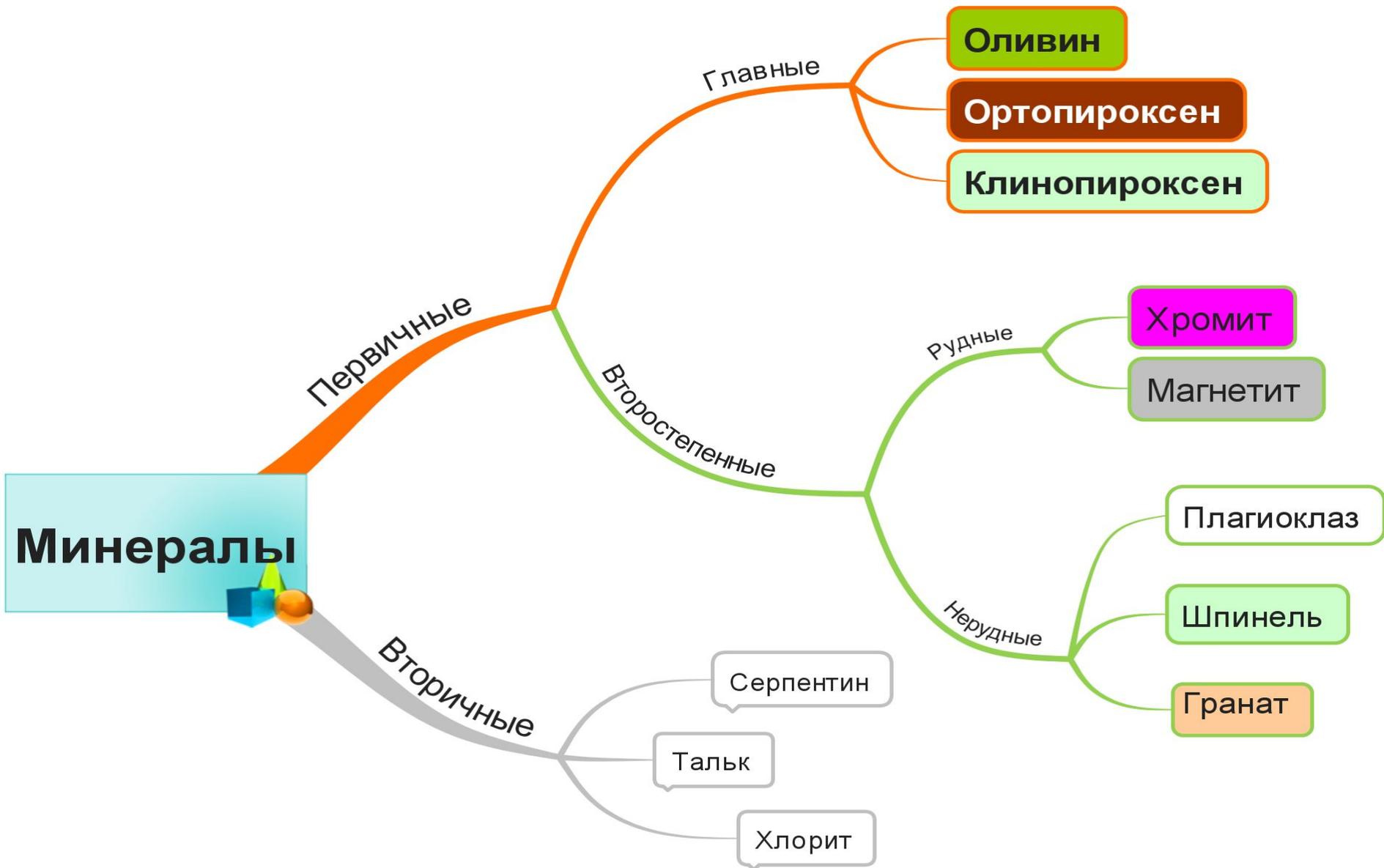
SiO_2 Ультраосновные Основные



Магматические породы нормального ряда щелочности



Минералы ультраосновных пород



Минеральный состав

Породообразующие минералы:

| | | |
|-------------------------------------|---|---|
| Оливин | } | Преимущественно магнезиальные разновидности |
| Клинопироксен | | |
| Ортопироксен | | |
| Амфибол (роговая обманка, керсутит) | | |

Второстепенные минералы (< 5%):

Основной плагиоклаз
Шпинель
Гранат
Амфибол
Флогопит
Апатит
Мелилит
Перовскит
Хромит
Магнетит

Вторичные минералы:

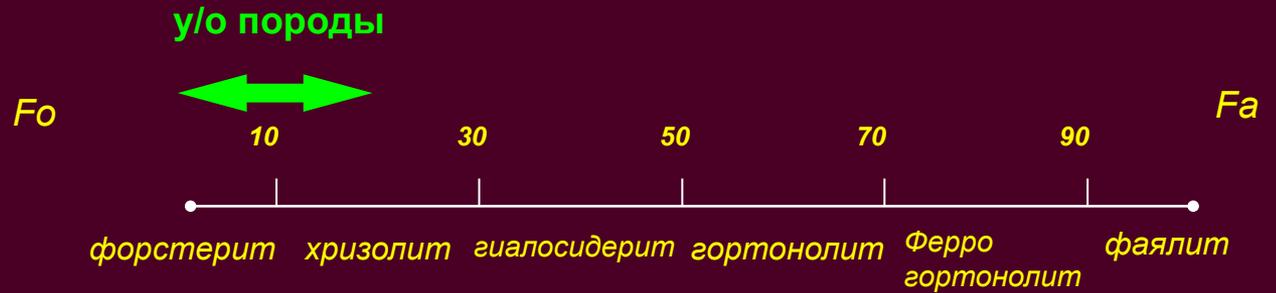
Серпентин*
Тальк
Брусит
Хлорит
Лейкоксен
Магнезит

* - серпентинизация очень широко проявлена в ультраосновных породах. Серпентиниты - типичный компонент метаморфизованных ультраосновных комплексов

Особенности химизма минералов УО пород:

в изоморфных рядах Mg-Fe силикатов присутствуют самые магнезиальные разновидности (Ol, Орх) и кальциевые (Pl)

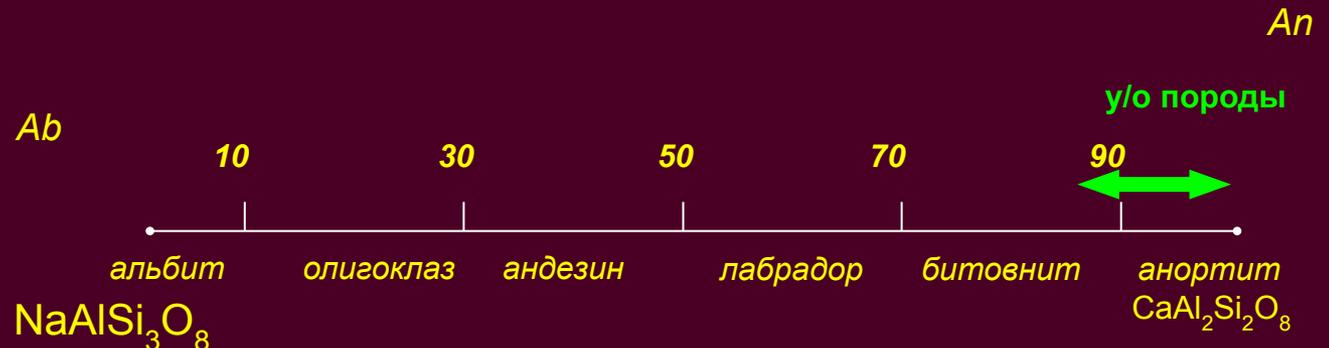
Оливин (Ol)
 $(Mg,Fe)_2SiO_4$



Ортопироксен (Orх)
 $(Mg,Fe)_2Si_2O_6$



Плагиоклаз (Pl)





Структурно-минералогическая систематика

Неполнокристаллические

Вулканиды

Пикриты

Меймечиты

Коматииты

Полнокристаллические

Интрузивные

Пироксениты

Клинопироксениты

Вебстериты

Ортопироксениты

Перидотиты

Оливиниты

Гарцбургиты

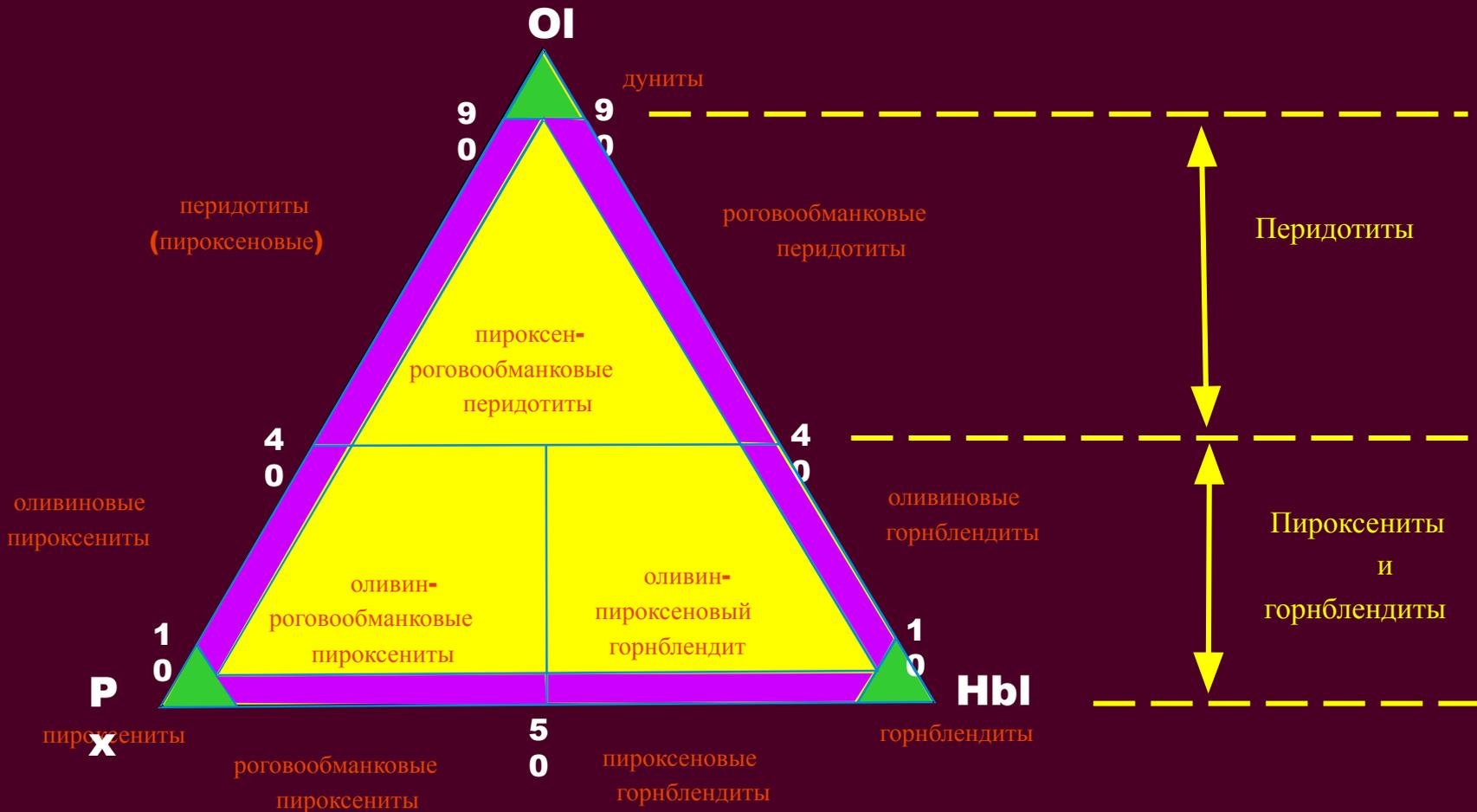
Лерцолиты

Верлиты

Ультраосновные породы



Ультраосновные породы



Дуниты, Оливиниты

Главные минералы:

Оливин

Второстепенные минералы:

Клинопироксен

Хромит

Ортопироксен

Магнетит

Внешний вид

Зернистые светло-серые, зеленовато-желтые, желтовато-зеленые или темно-зеленые породы массивной текстуры. Серпентинированные разновидности – темно-зеленые, до черных

Структуры

Мелко- и среднезернистые породы
Панидиоморфнозернистой,
Сидеронитовой структуры

Химический состав

Характеризуются минимальными среди пород нормального ряда содержаниями SiO_2 , максимальными – MgO , Cr , Ni

Дуниты, Оливиниты

Вторичные изменения

Серпентинизация, оталькование, \pm тремолит, \pm карбонат

Распространенность

Офиолитовые комплексы – океаническая кора

Дифференцированные интрузии основного-ультраосновного ряда –

Бушвельд, Стиллуотер

Дунит-верлит-клинопироксенитовые интрузии

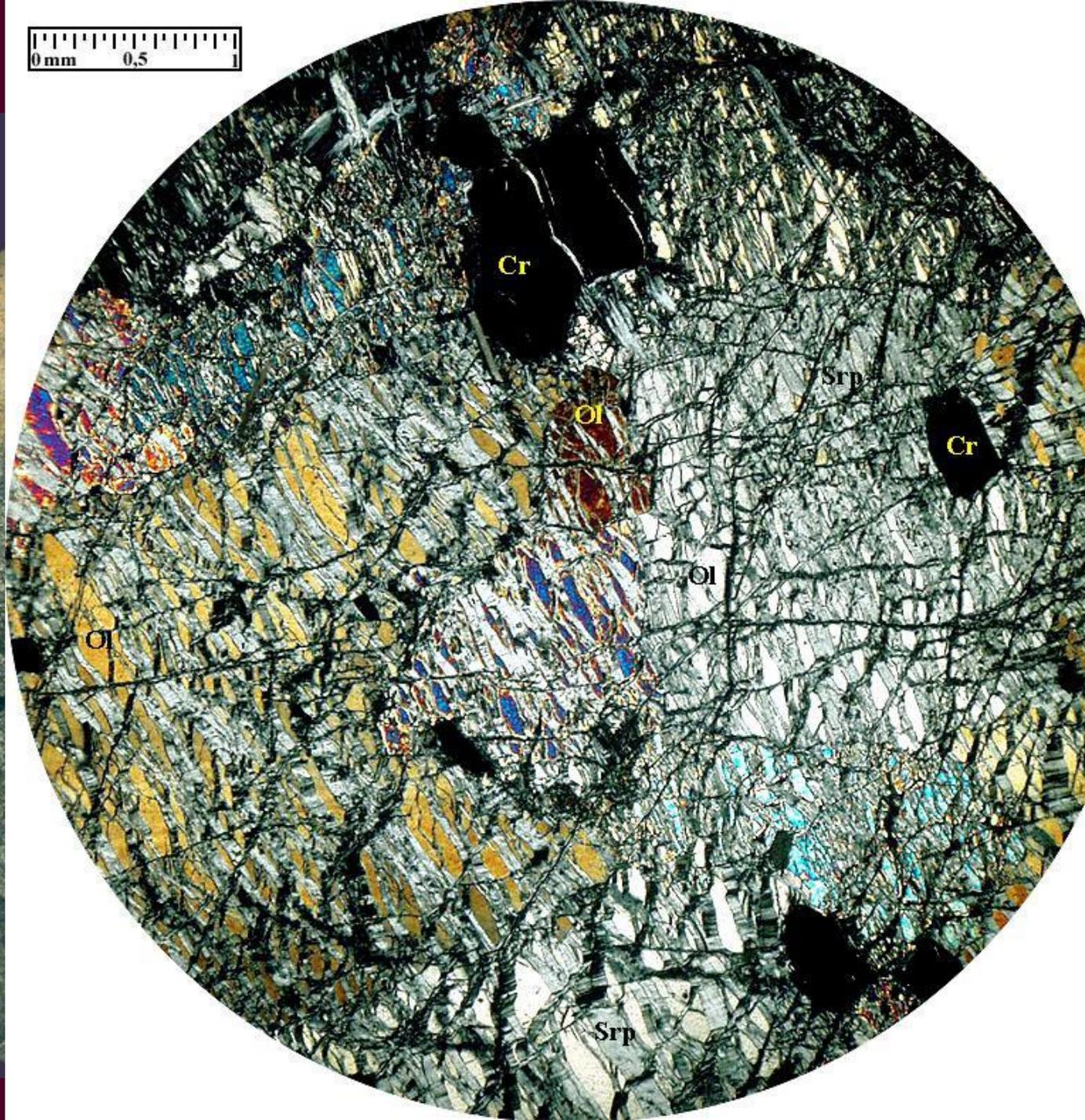
Дунит-клинопироксенит-ийолитовые интрузии

Полезные ископаемые

Месторождения Cr, Ni, элементов платиновой группы,
Хризотил-асбест

Дуниты

0 mm 0,5



Пироксениты

Внешний вид

Темные, зеленовато-серые, зеленовато-черные коричневатые до черных породы. Внешняя окраска пород зависит от состава пироксена.

Структуры

Средне- крупнозернистые породы массивной текстуры Панидиоморфнозернистой, иногда порфирированной и пойкилитовой структуры

Химический состав

Характеризуются максимальными среди ультрамафитов содержаниями SiO_2 – до 52% в ортопироксенитах

Пироксениты

Вторичные изменения

Амфиболизация , серпентинизация, ± хлорит, ± карбонат

Распространенность

Офиолитовые комплексы – океаническая кора

Дифференцированные интрузии

основного-ультраосновного ряда – Бушвельд, Стиллуотер

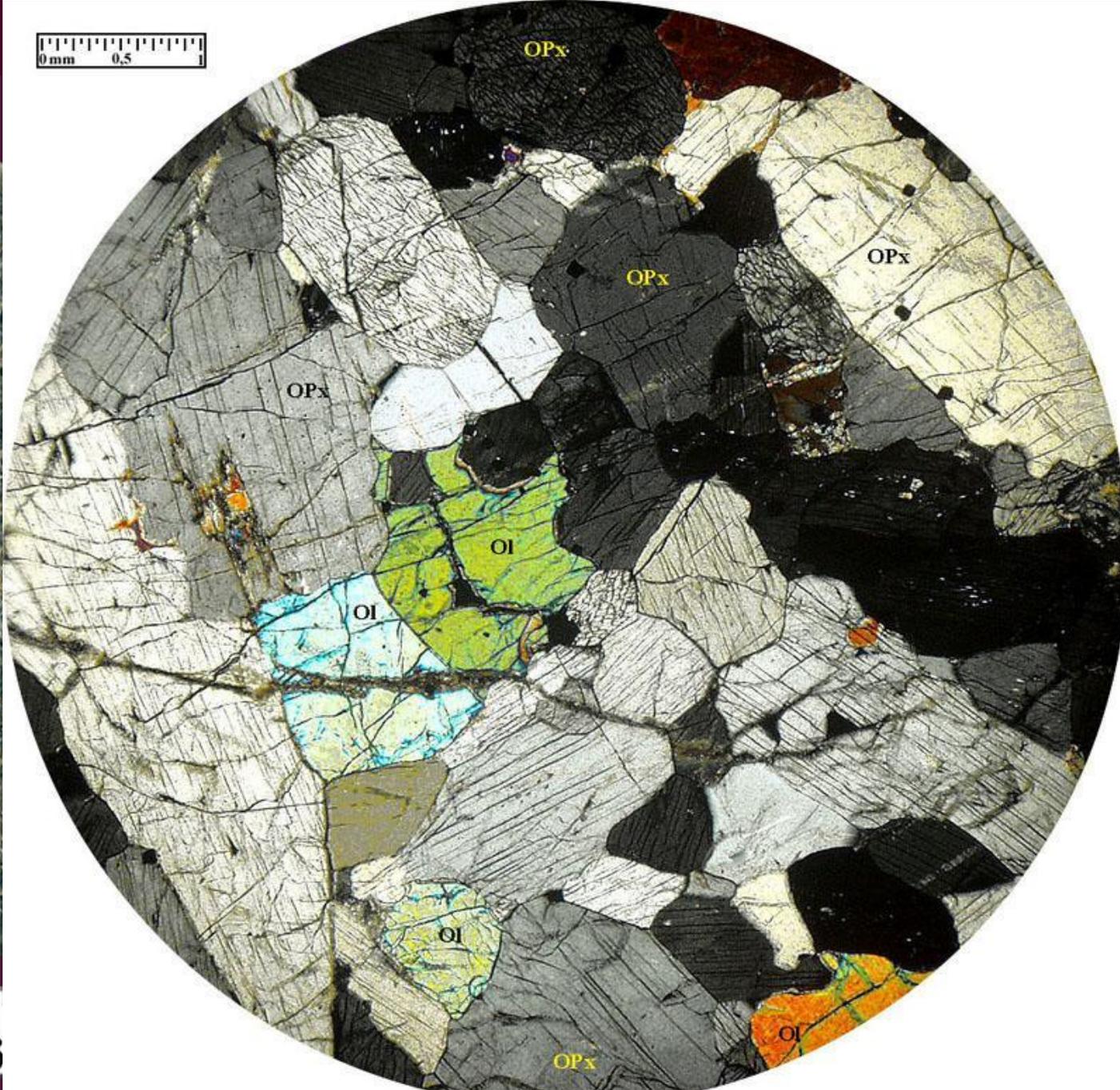
Дунит-верлит-клинопироксенитовые интрузии

Дунит-клинопироксенит-ийолитовые интрузии

Полезные ископаемые

Месторождения Cr, Ni, элементов платиновой группы

Пироксениты



Лерцолиты, верлиты, гарцбургиты

Внешний вид

Темные, зеленовато-серые, зеленовато-черные коричневатые до черных породы.

Структуры

Средне- крупнозернистые породы массивной текстуры Панидиоморфнозернистой, иногда порфирированной и пойкилитовой структуры

Химический состав

Высокие содержания MgO, Cr, Ni

Лерцолиты, верлиты, гарцбургиты

Вторичные изменения

Амфиболизация, серпентинизация, \pm хлорит, \pm карбонат

Распространенность

Главные компоненты верхней мантии

Офиолитовые комплексы – океаническая кора

Дифференцированные интрузии

Основного-ультраосновного ряда – Бушвельд, Стиллуотер
Дунит-верлит-клинопироксенитовые интрузии

Дунит-клинопироксенит-ийолитовые интрузии

Полезные ископаемые

Месторождения Cr, Ni, элементов платиновой группы,
Хризотил-асбест

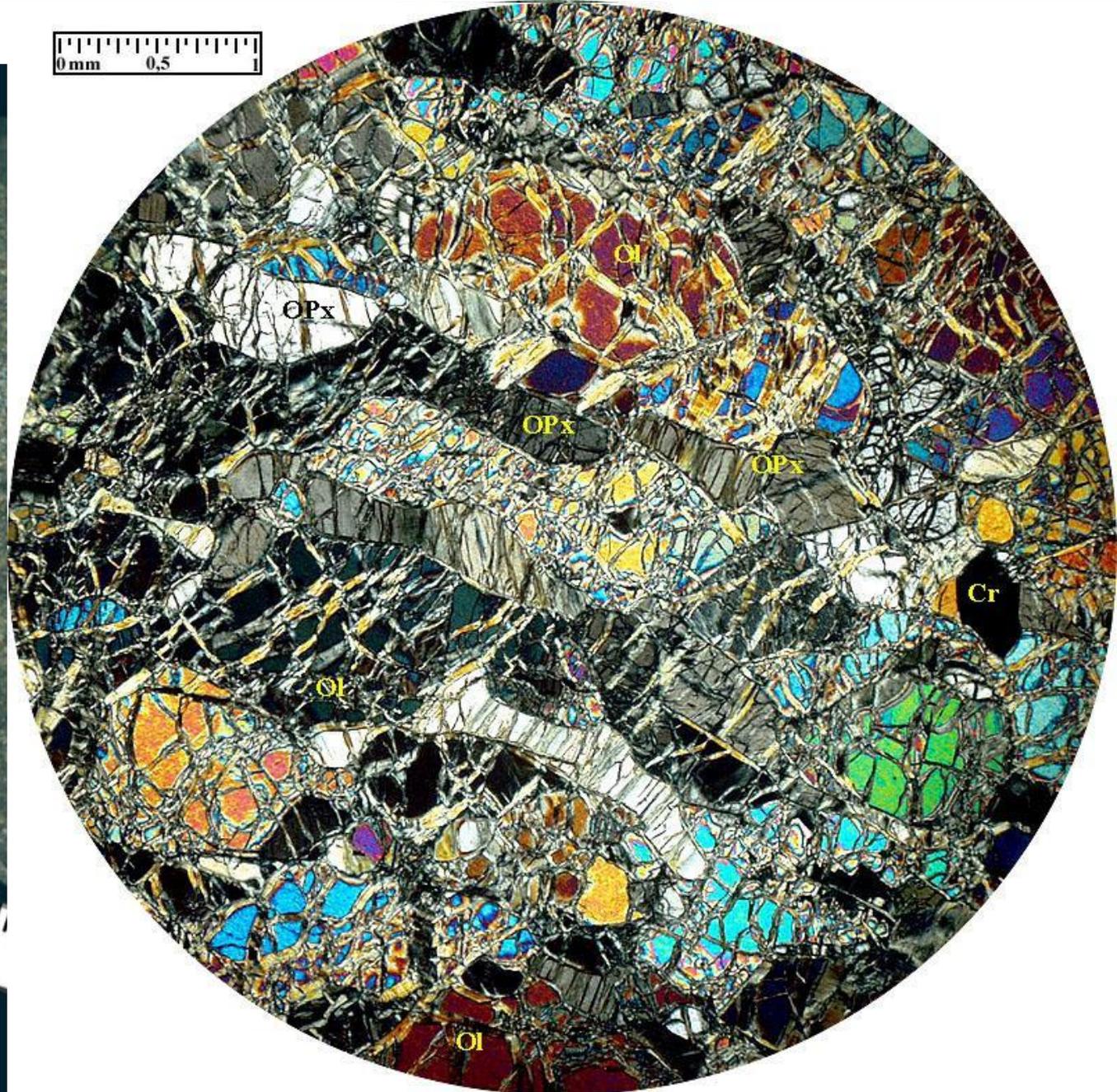
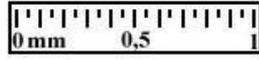
Лерцолиты

0 mm 0,5

1 2 3



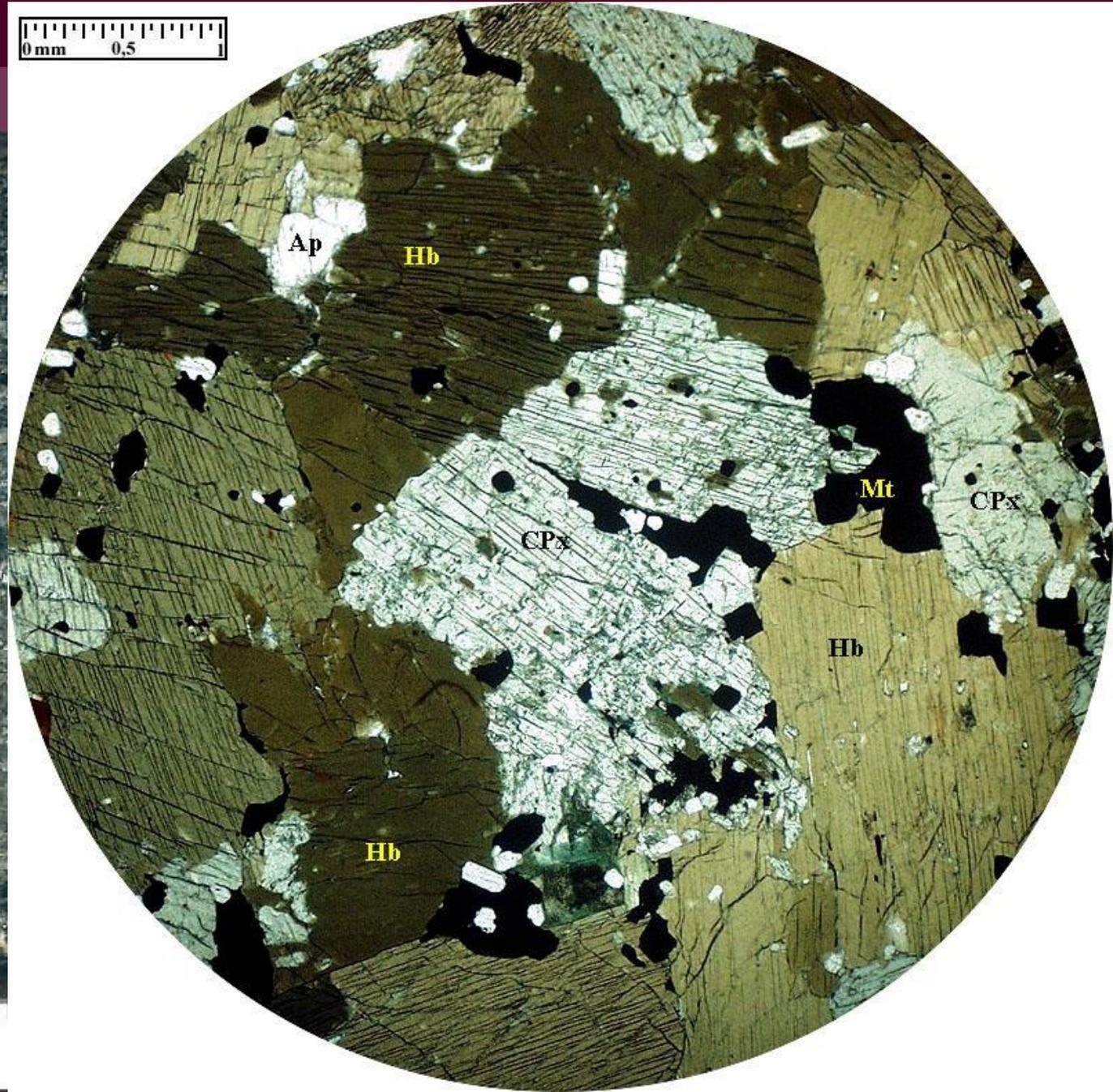
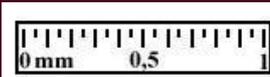
Гарцбургиты



Верлиты



Горнблендиты





Структурно-минералогическая систематика

Неполнокристаллические

Вулканиды

Пикриты

Меймечиты

Коматииты

Полнокристаллические

Интрузивные

Пироксениты

Клинопироксениты

Вебстериты

Ортопироксениты

Перидотиты

Оливиниты

Гарцбургиты

Лерцолиты

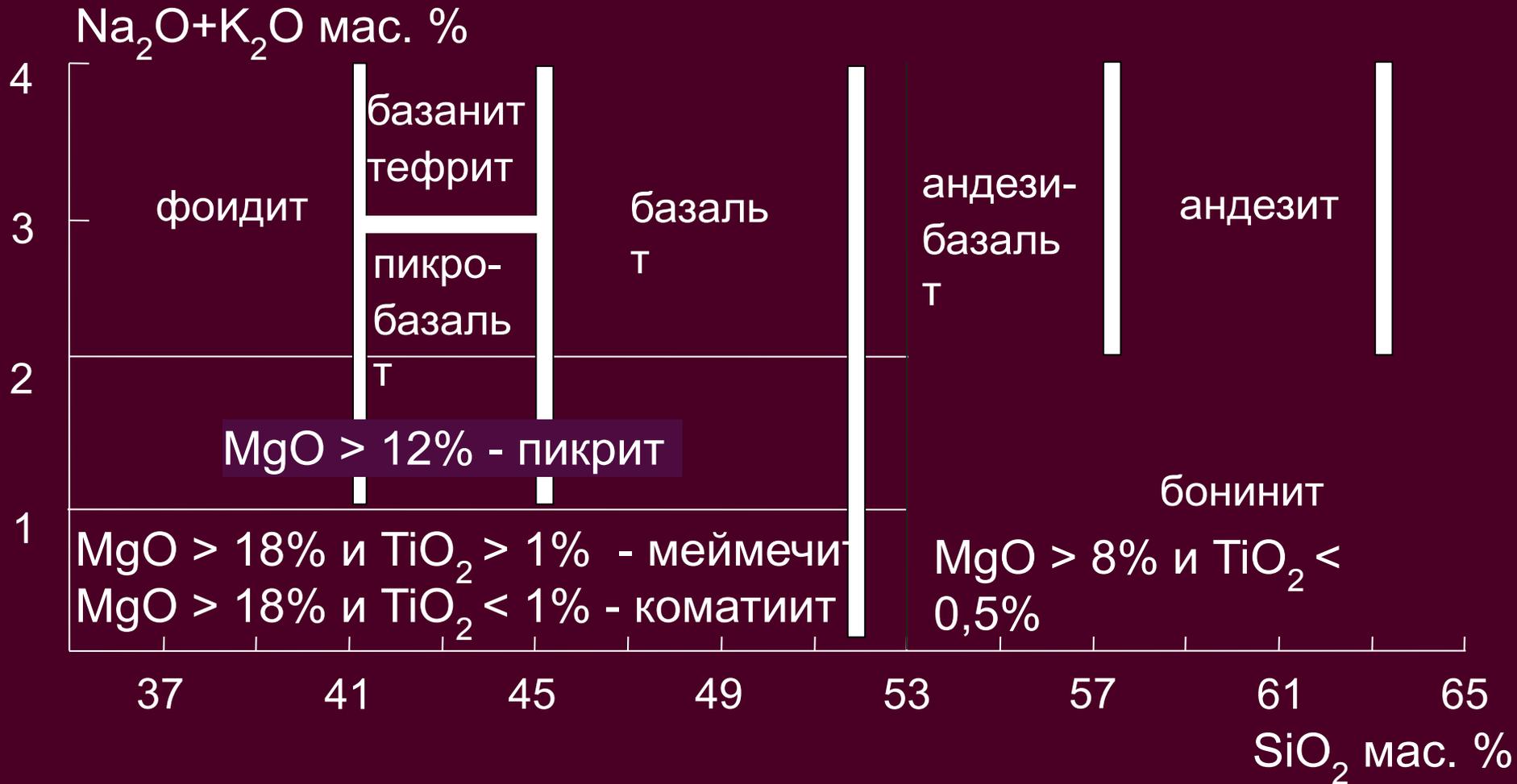
Верлиты

Эффузивные разновидности

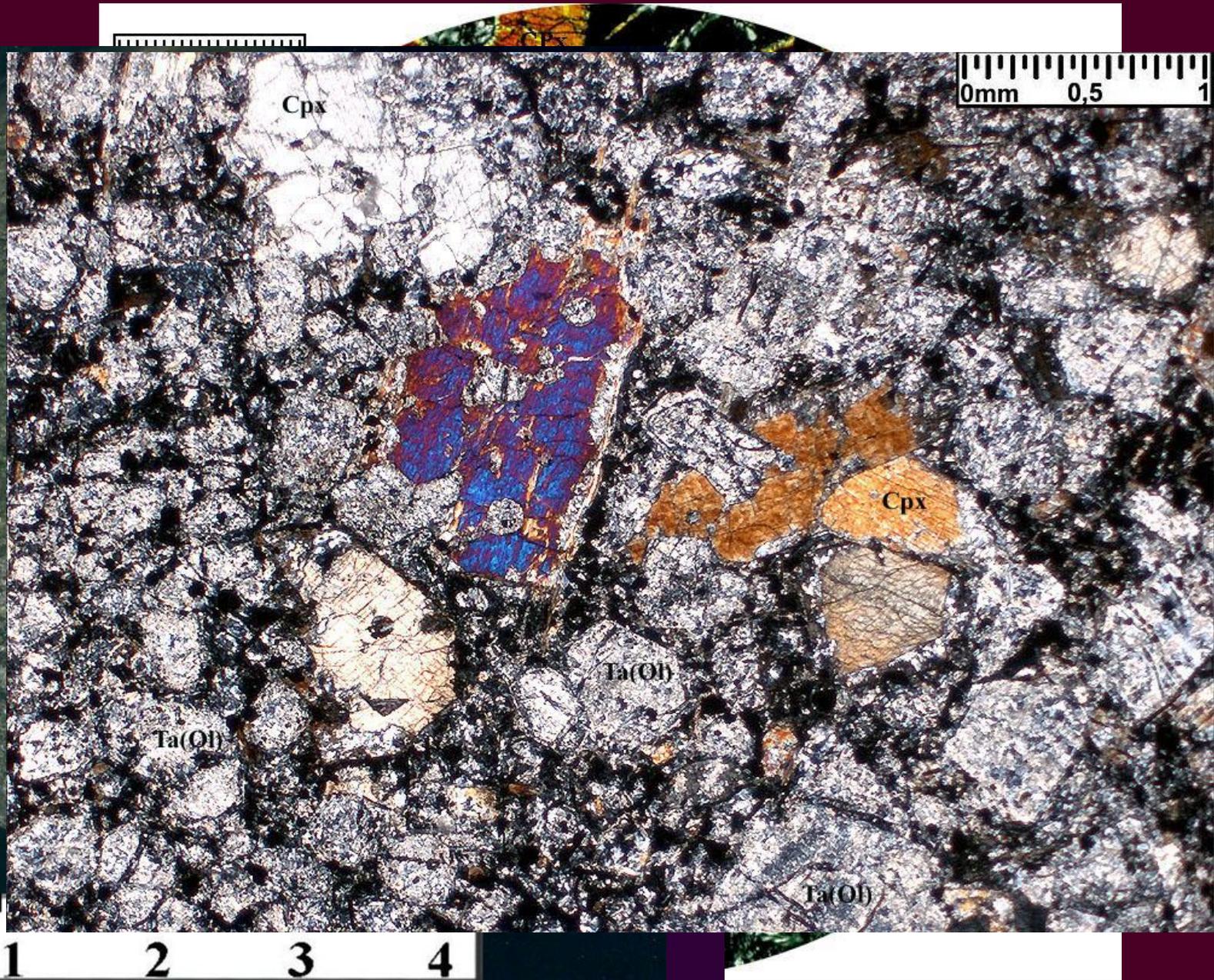
Семейство пикритов

| | |
|-----------------|--|
| пикрит | Ol, Cpx ± Hbl, Pl <i>Cpx, Ol, Pl, Hbl, Mgt ± стекло</i> Используется также для обозначения гипабиссальных пород |
| меймечит | Ol, Cpx, Mag + стекло |
| коматиит | Ol, Cpx <i>Cpx, Ol, Mag ± Pl, стекло структура спинифекс, часто афировая</i> |

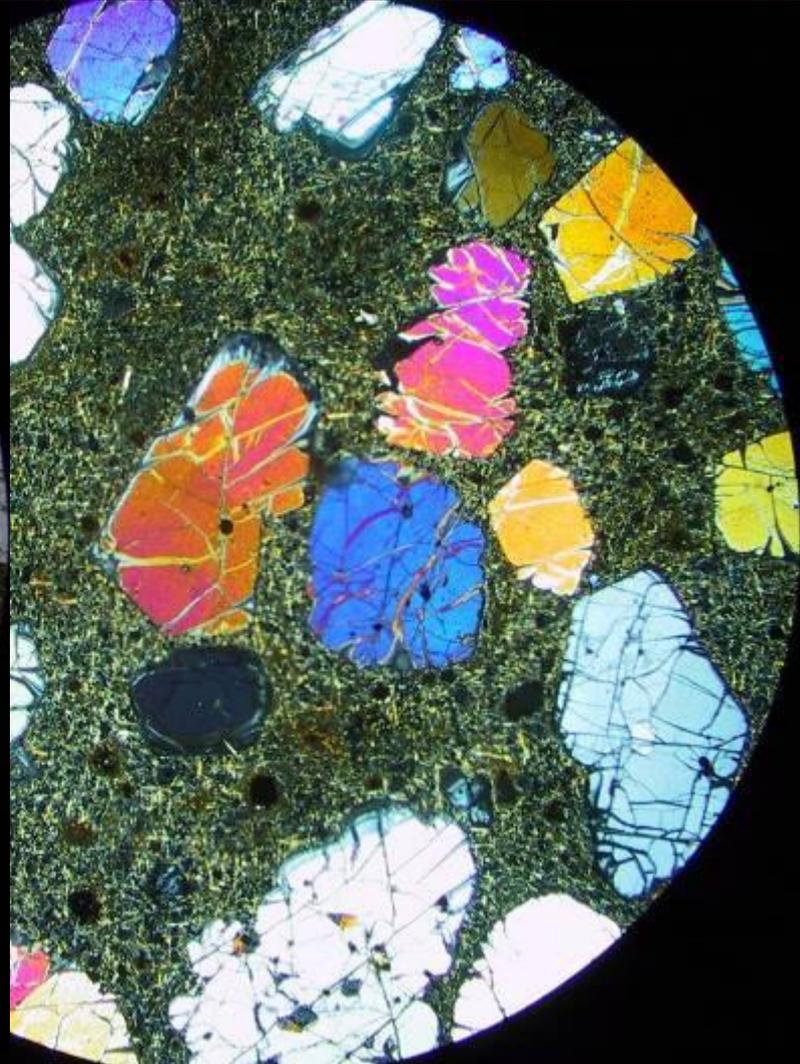
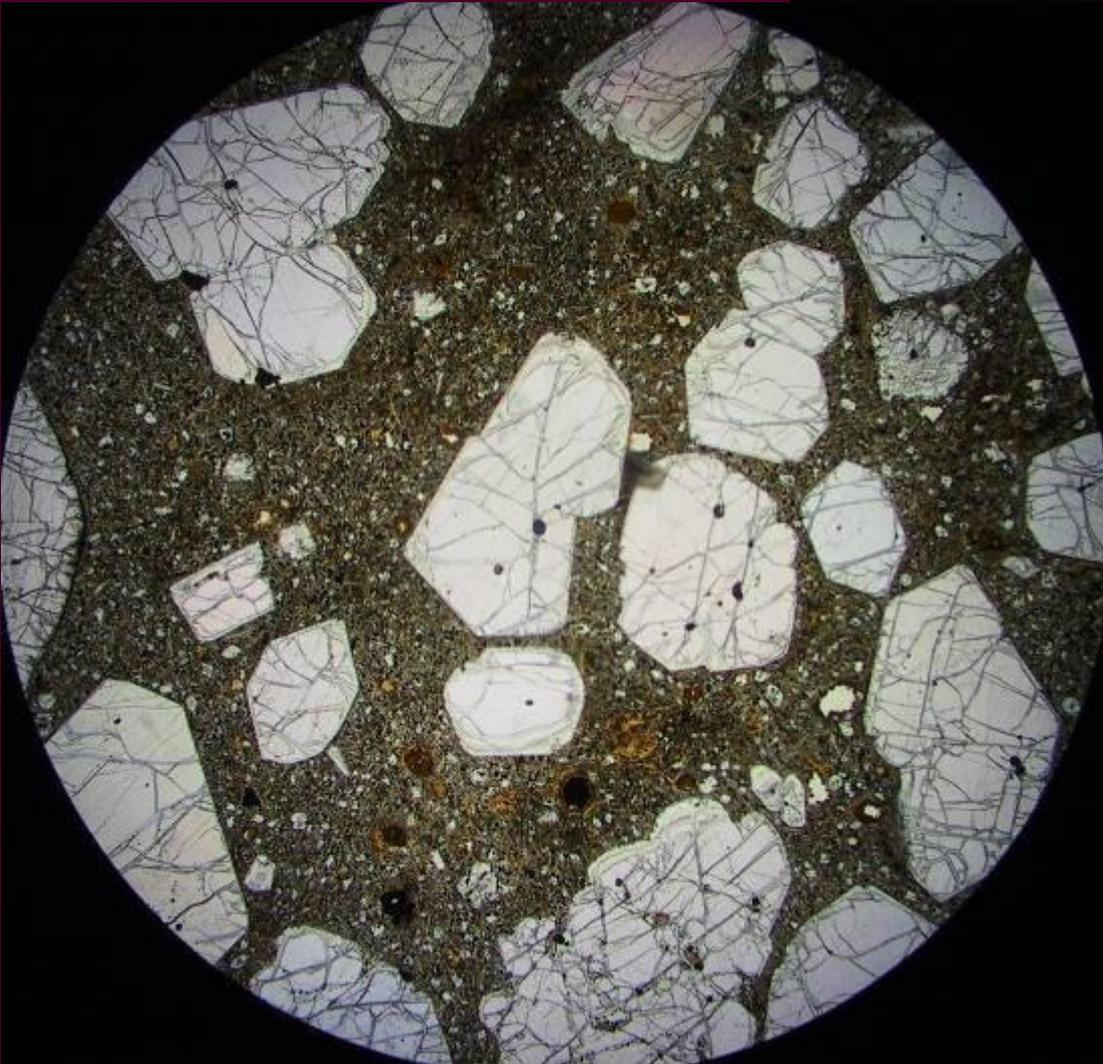
Международная номенклатура высокомагнезиальных вулканических пород



Пикриты



Меймечиты



Коматииты



Спинифекс структура в
коматиите



Коматииты — названы по р. Комати в ЮАР

Внешний вид

Темные, зеленовато-серые, зеленовато-черные коричневатые до черных породы. Цвет определяется прежде всего вторичными минералами

Структуры

Спинифекс

Химический состав

Характеризуются минимальными среди пород нормального ряда содержаниями SiO_2 , максимальными – MgO ($> 18\%$), Cr, Ni. Низкое содержание $\text{TiO}_2 < 1\%$

Коматииты

Вторичные изменения

Серпентинизация, Амфиболизация, \pm тальк \pm хлорит, \pm карбонат

Полезные ископаемые

Ni-Cu сульфидные руды – пять из 11 крупнейших месторождений мира

Месторождения элементов платиновой группы,

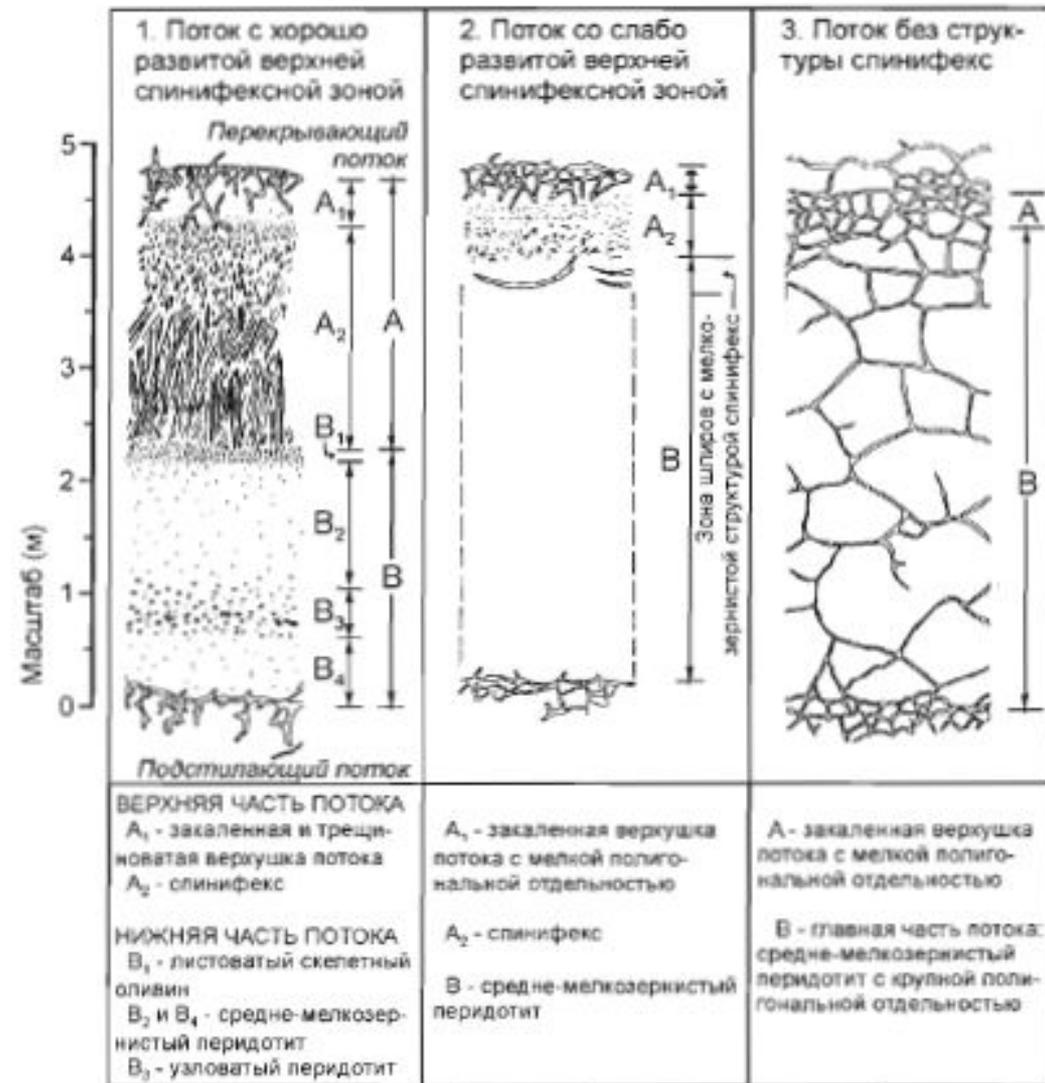
Талько-хлоритовый камень

Распространенность

Архейские зеленокаменные пояса

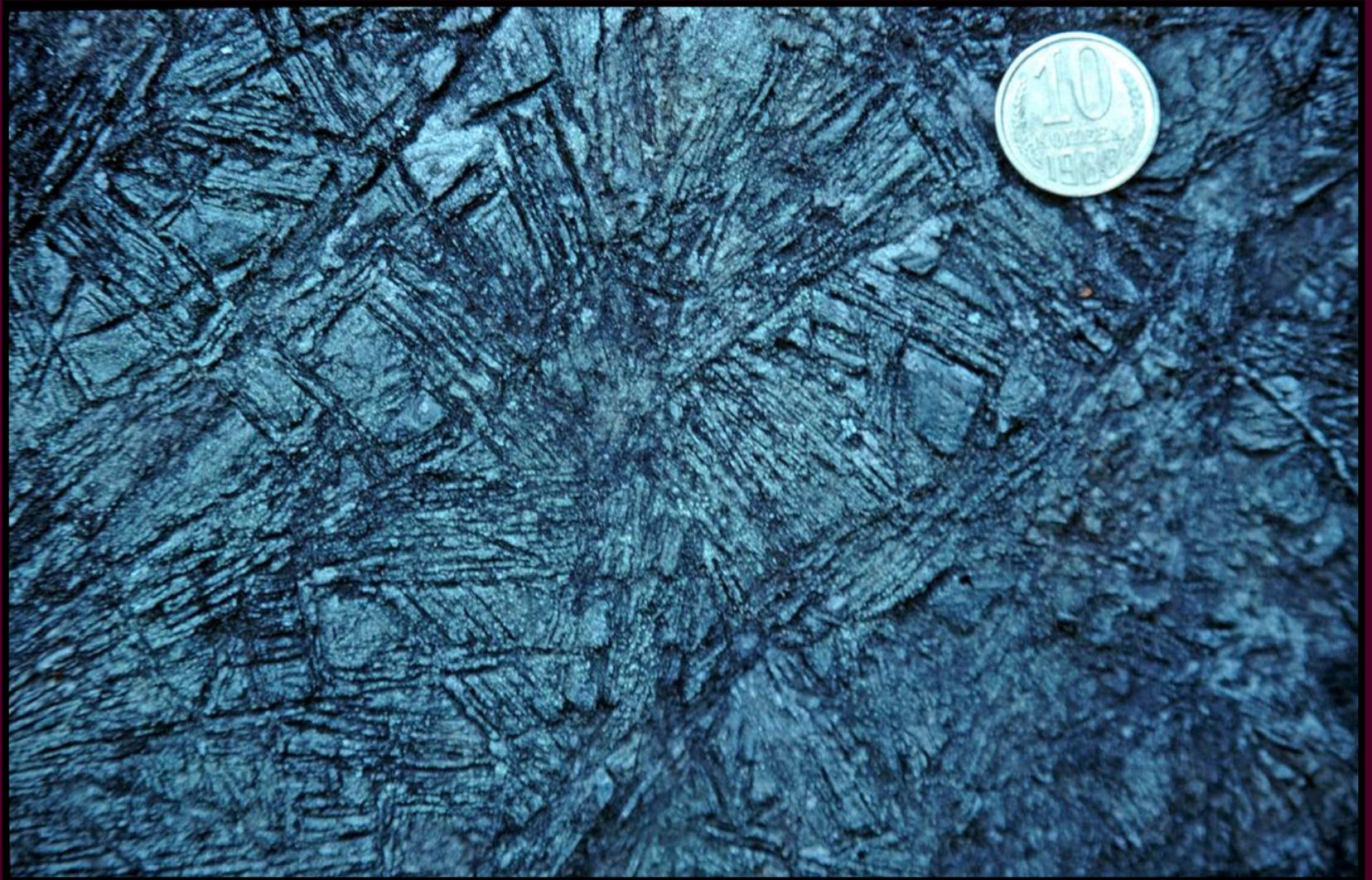
Палеопротерозойские вулканические структуры –
Ветренный пояс, Киттеля-Карасьок

Фанерозойские вулканыты -
коматииты Горгона



Строение потоков коматиитов

Коматииты



Оливиновый спинифекс, Костомукшский зеленокаменный пояс

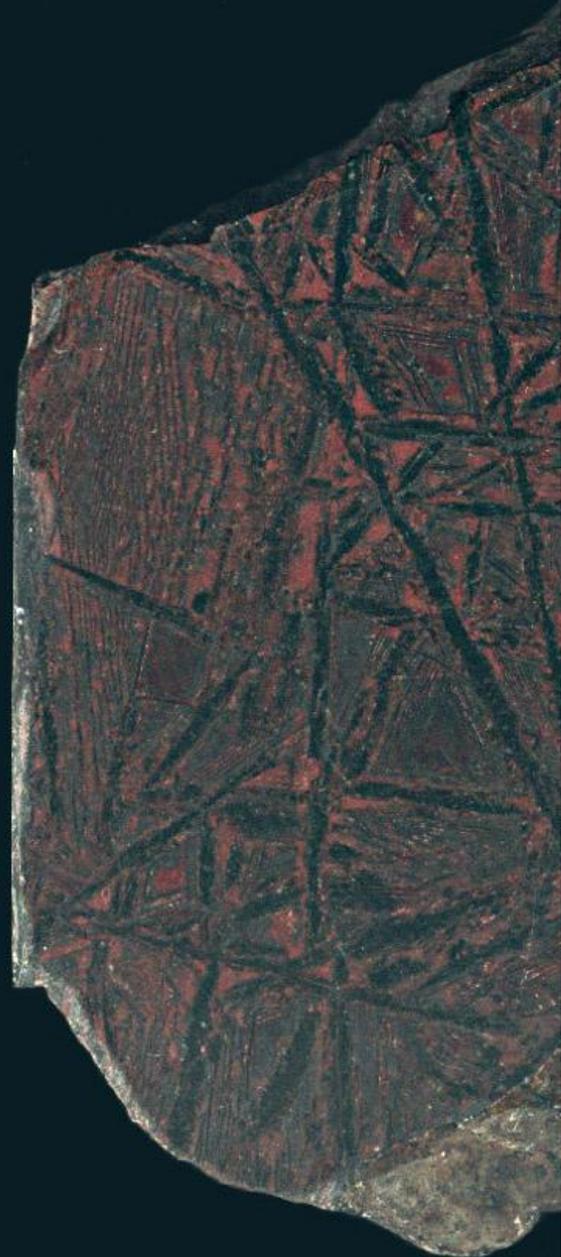
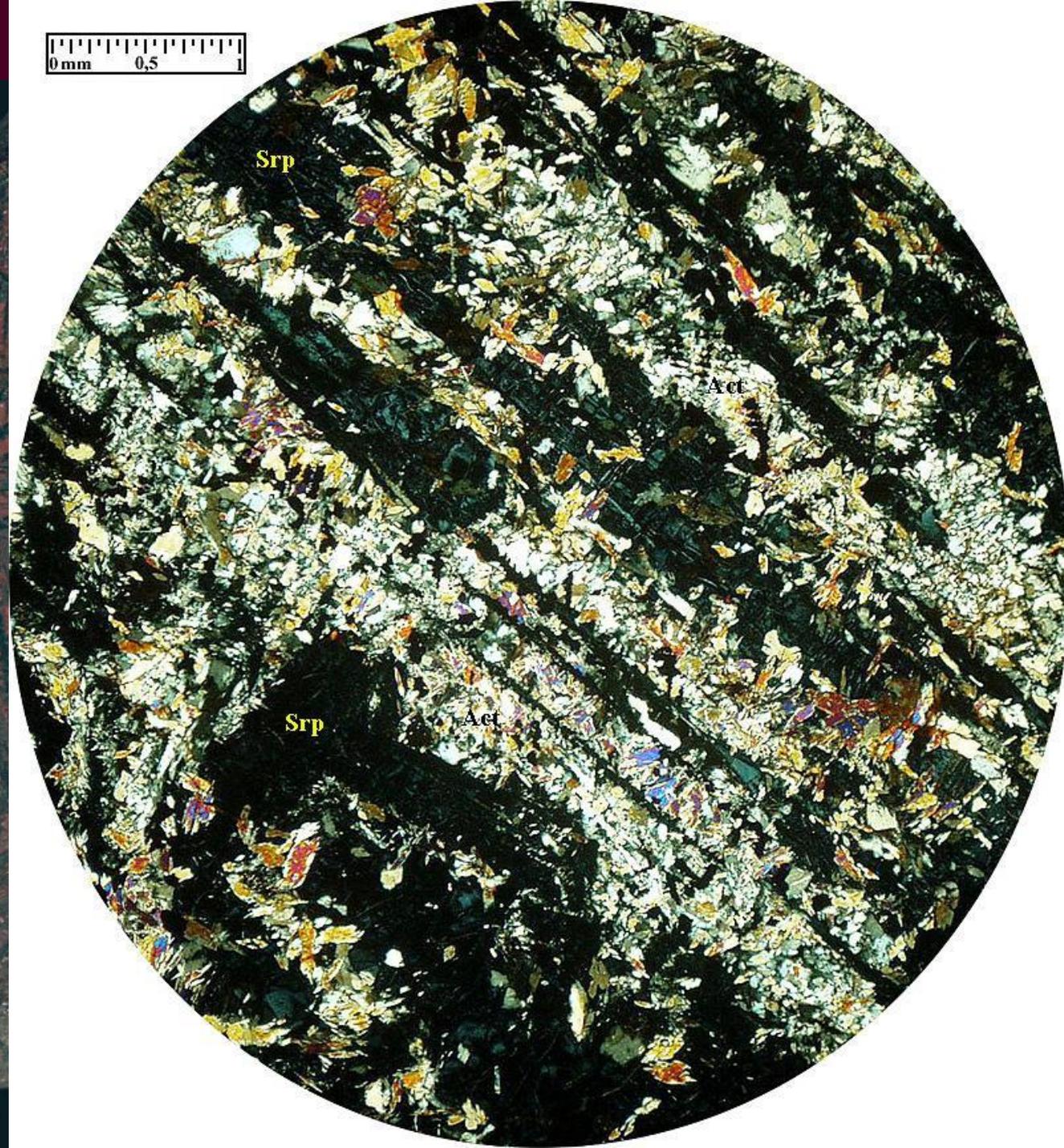
Коматииты



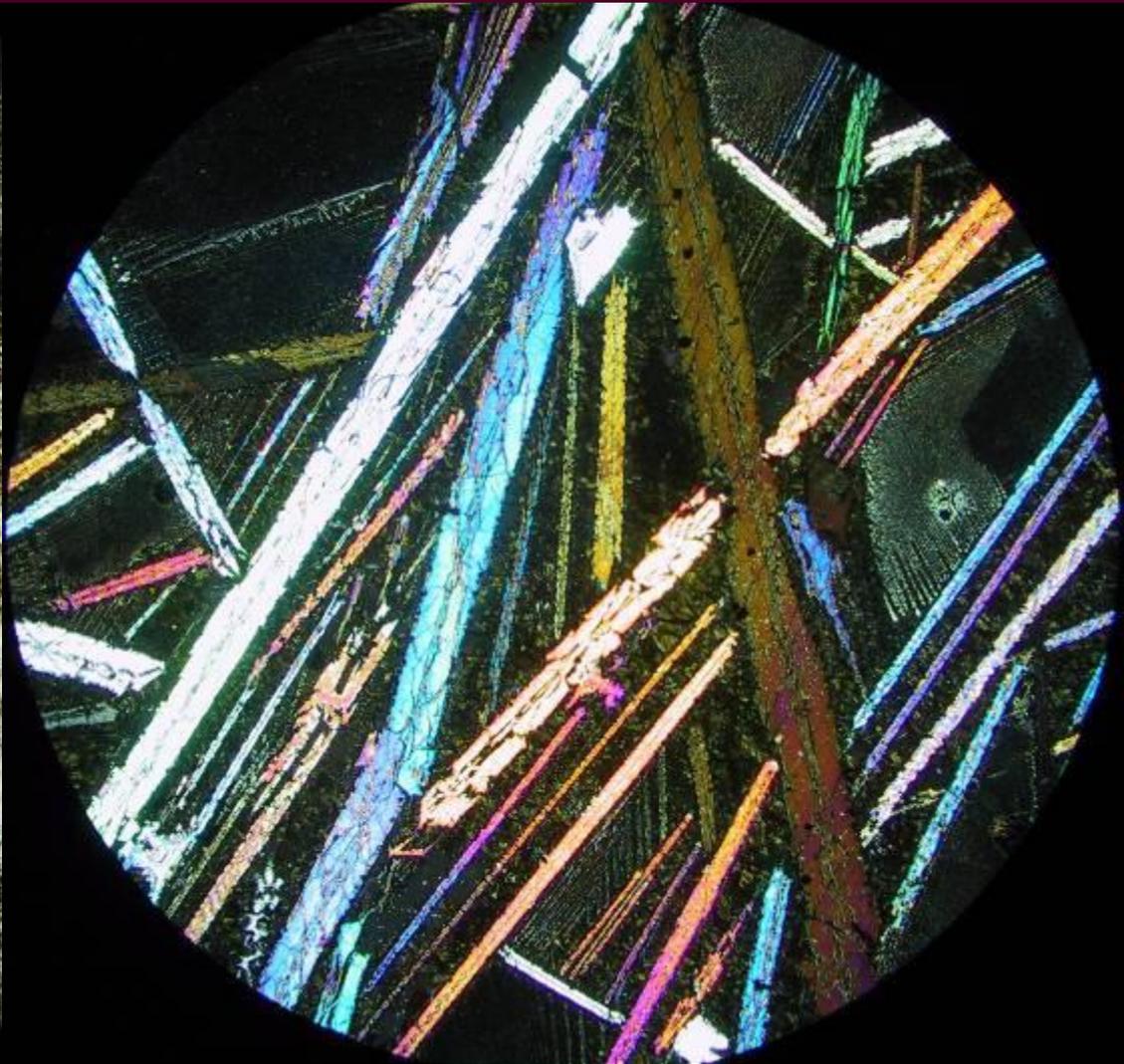
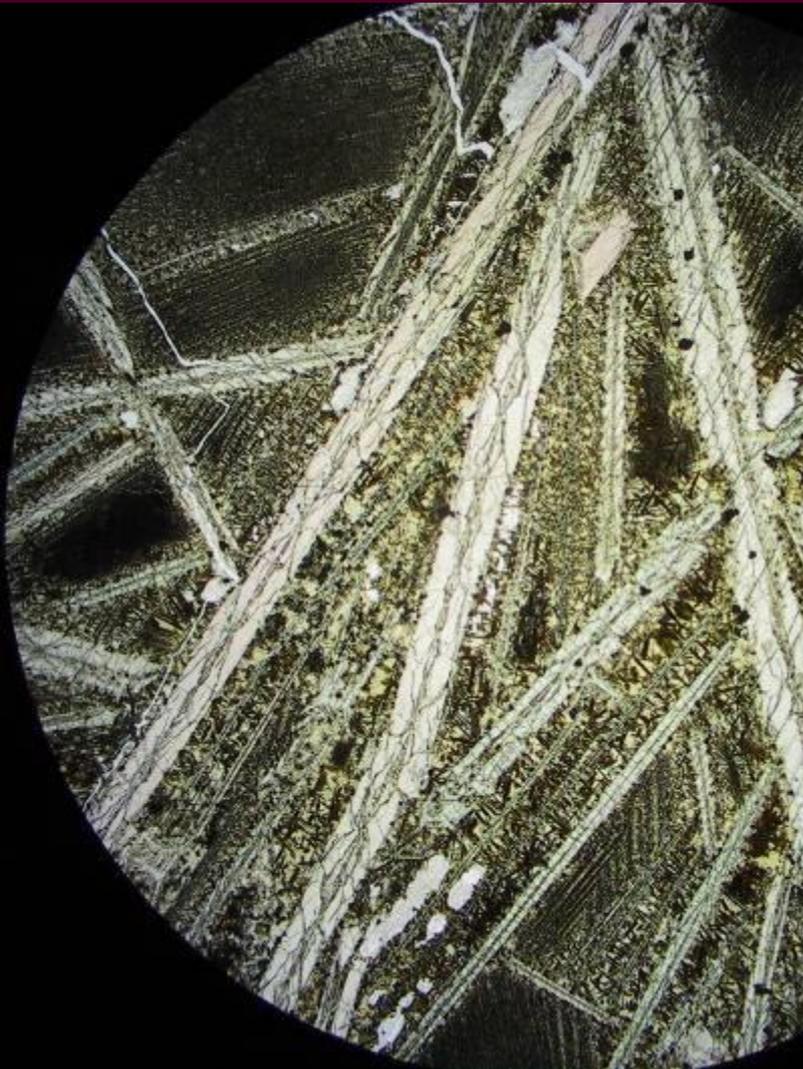
Пироксеновый спинифекс, зеленокаменный пояс Барбертон, ЮАР

Коматииты

0 mm 0,5



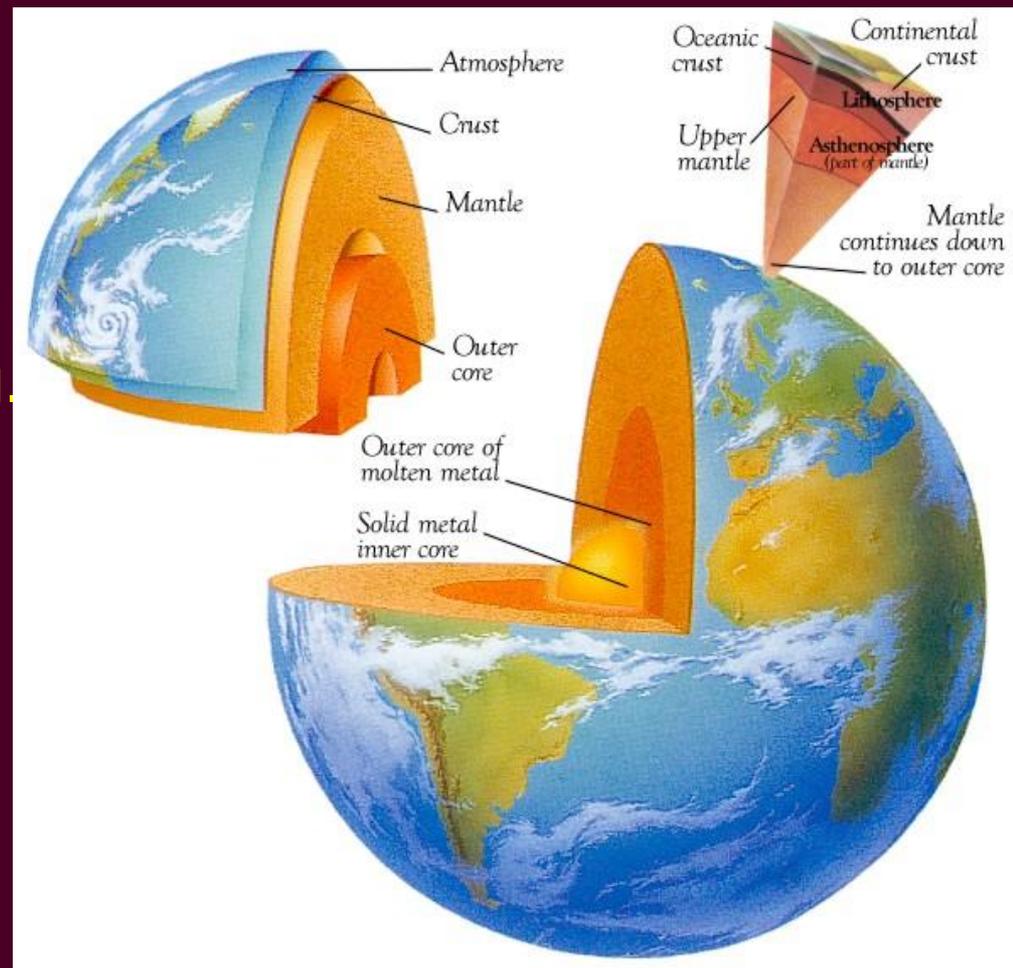
Коматииты



Ультраосновные и ультрамафические породы

Составляют менее 1% пород земной коры,
но формируют мантию Земли.

Интрузивные разновидности резко преобладают



Геологическая позиция ультраосновных пород

Кумулятивные слои в крупных базит-гипербазитовых дифференцированных интрузиях

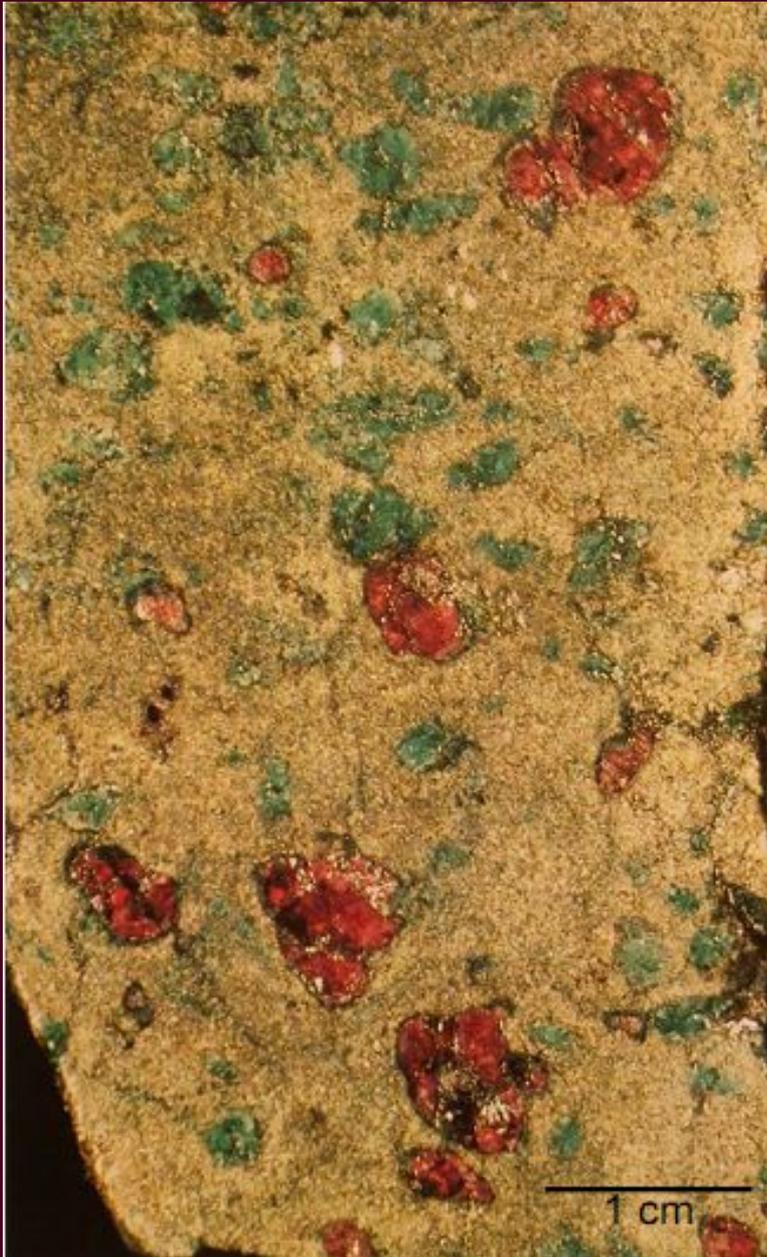
Кумулаты в дифференцированных интрузиях Урало-Аляскинского типа (дунит-верлит-клинопироксенитовых)

Линзовидные и пластообразные тела в складчатых поясах – обычно интенсивно серпентинизированные (**альпинотипные гипербазиты**) – компонент офиолитовых комплексов

Нижние части разреза океанической коры

Нодули и ксенолиты в щелочных базальтах и кимберлитах

Ксенолиты ультраосновных пород в щелочных базальтах и кимберлитах



Гранатовый перидолит
(Норвегия)

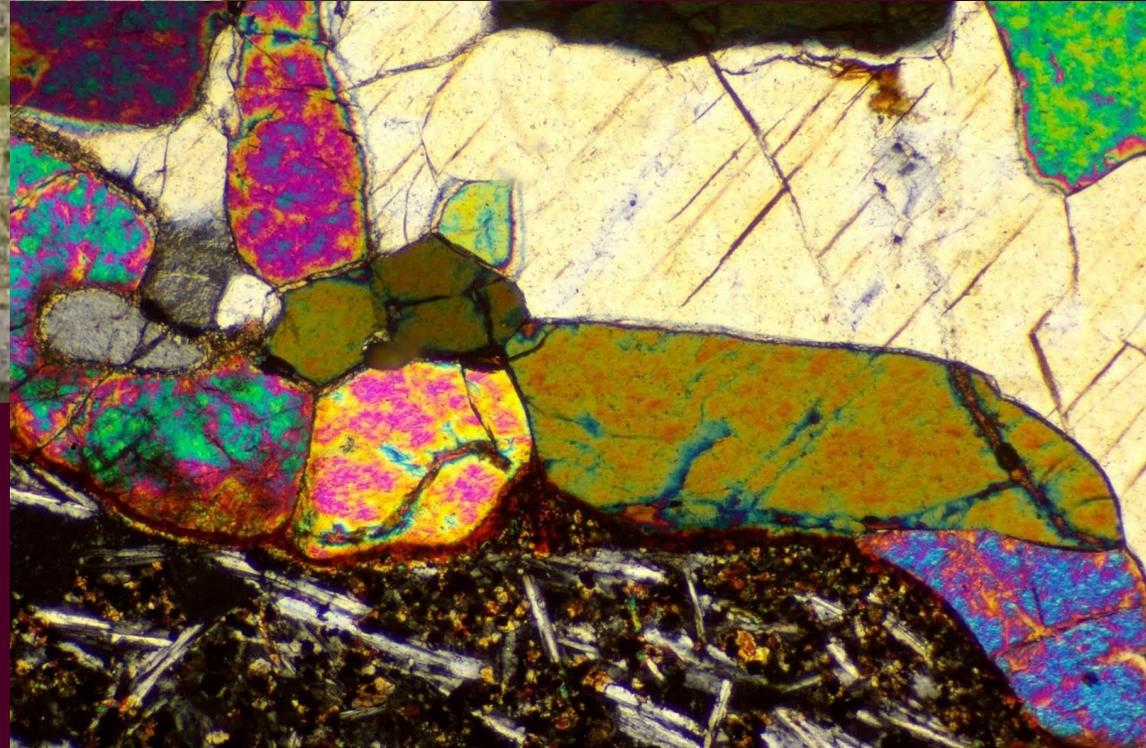
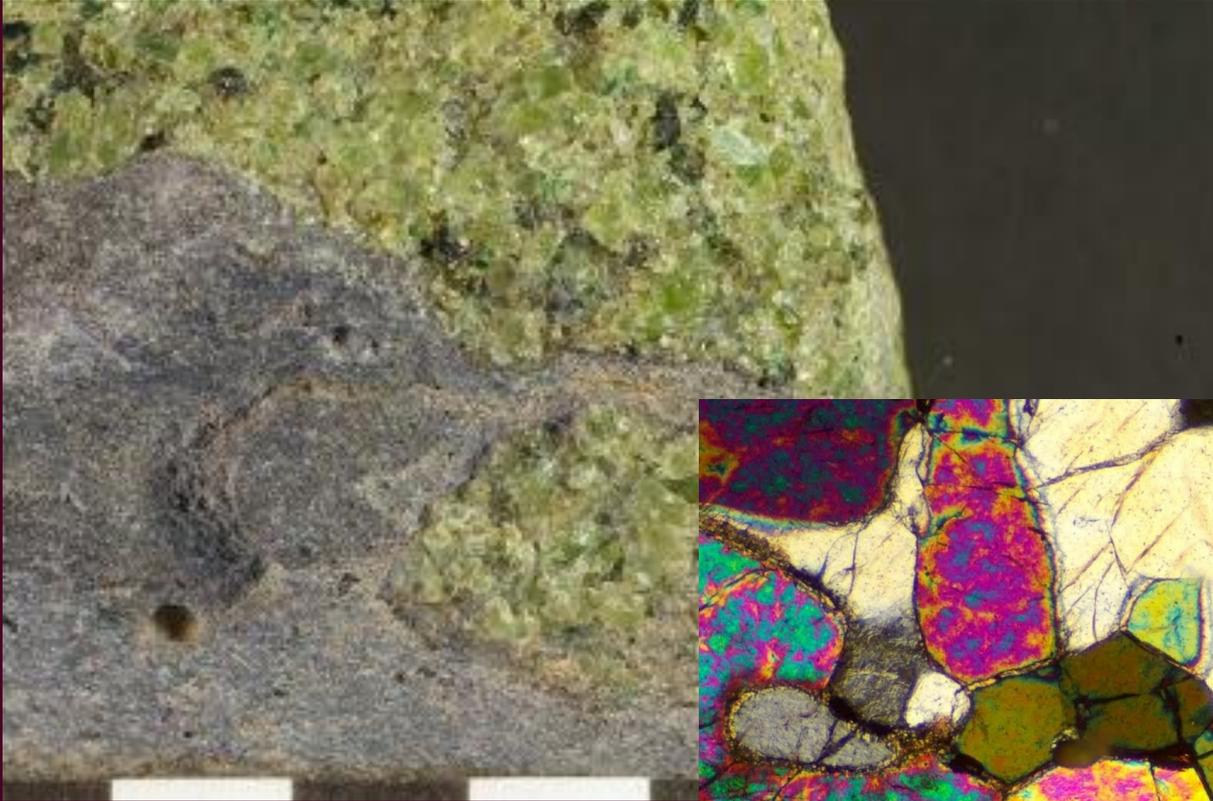
$Ol+Opx+Cpx+Grt$

Ксенолиты ультраосновных пород в щелочных базальтах и кимберлитах



Шпинелевый лерцолит
Ol+Orх+Срх+Sp

Ксенолиты ультраосновных пород в щелочных базальтах и кимберлитах



Полезные ископаемые

Хромит (Великая «дайка» Зимбабве до 1 млрд тонн,
Кемпирсайский массив (Урал))

Сульфидные м-я (Cu-Ni+ Pt) – Камбалда, Скотия, Агню
(кратон Йилгарн, Австралия)

Металлы платиновой группы

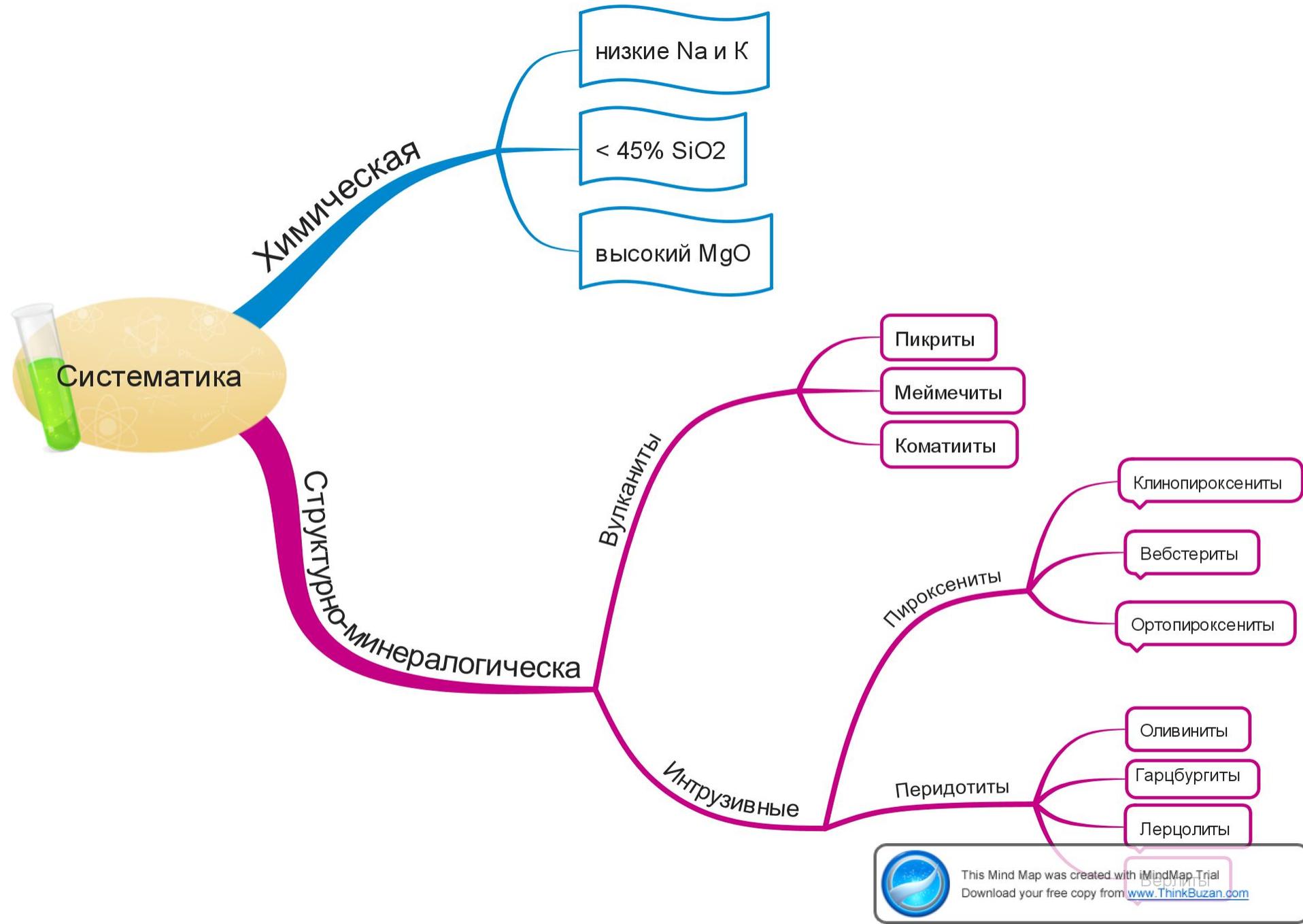
Магнетит-титаномагнетит

Хризотил – асбест – Сысертское м-е, средний Урал

Тальк

Талько-хлоритовый камень





Кристаллооптические характеристики минералов

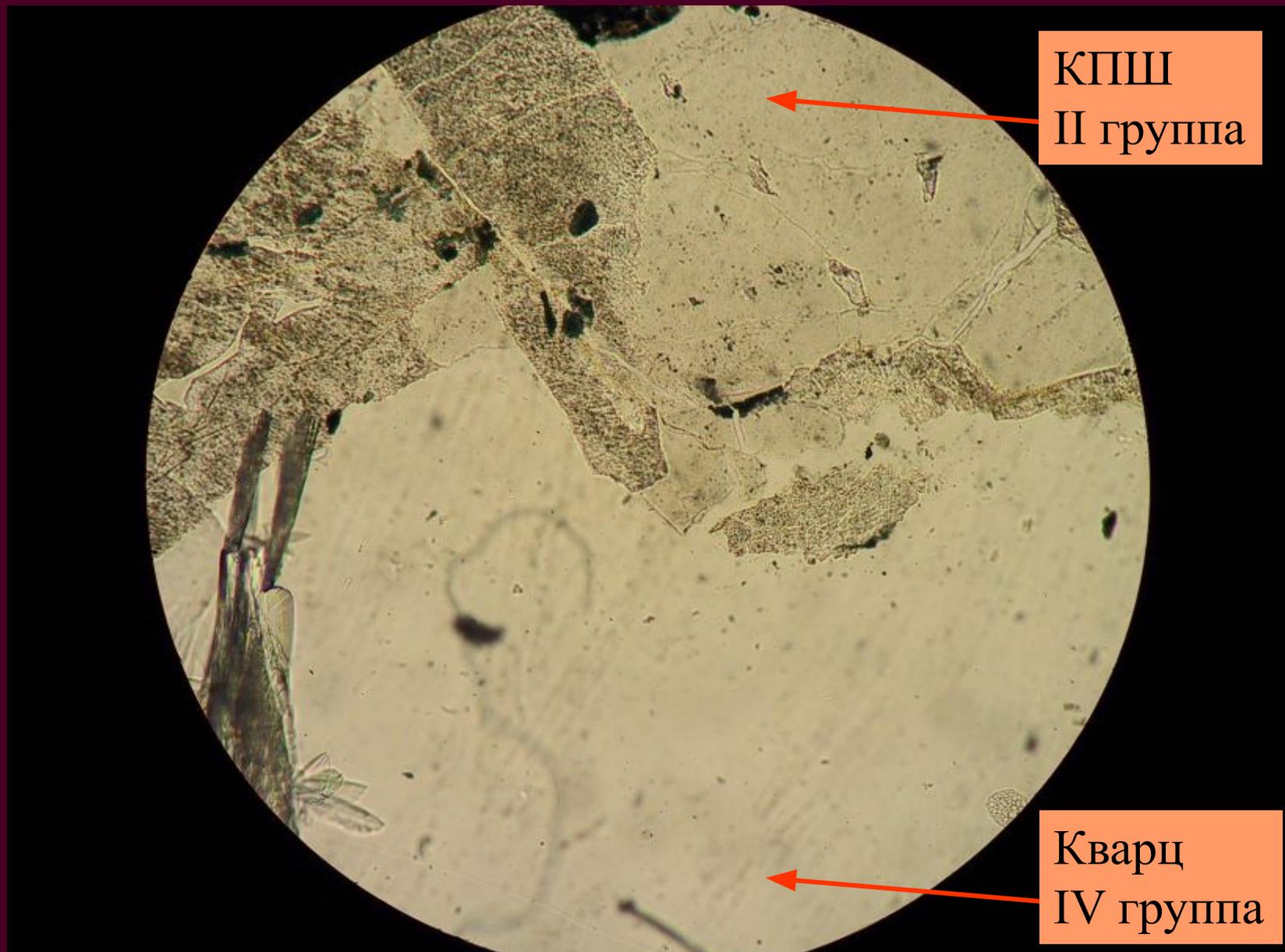
полоска Бекке



Полоска Бекке

Полоска Бекке

Рельеф, шагрень



Изох А.Э. Петрография изверженных пород

| № группы | Показатель преломления (N) | Характер поверхности, ограничения, рельеф | Полоска Бекке | Примеры минералов |
|-----------------|-----------------------------------|--|--|--------------------------|
| I | 1.41-1.47 | четкая шагреня и ограничения, обратный рельеф | довольно широкая, ясная | Опал Флюорит |
| II | 1.47-1.53 | Гладкая, слабая шагреня, ограничения ясные, тонкие; рельеф отсутствует, или слабый | Хорошо видна | Ортоклаз, микроклин |
| III | 1.535-1.545 | Зеркально гладкая, границы с канадским бальзамом не видны | Обычно не видна, или распознается с трудом | Нефелин |
| IV | 1.50-1.60 | Гладкая, слабая шагреня, рельеф отсутствует или очень слабый, границы четкие | Хорошо видна | Кварц |
| V | 1.61-1.66 | Слабые шагреня и рельеф; границы четкие | Видна, более широкая, чем во II и IV гр. | Амфиболы Апатит |
| VI | 1.66-1.78 | Ясная шагреня и положительный рельеф; грубые ограничения | Широкая | Пироксены, оливин |
| VII | > 1.78 | Очень резкая шагреня и положительный рельеф; границы грубые | Очень широкая; минерал освещен более ярко, чем канадский бальзам | Гранаты Сфен |

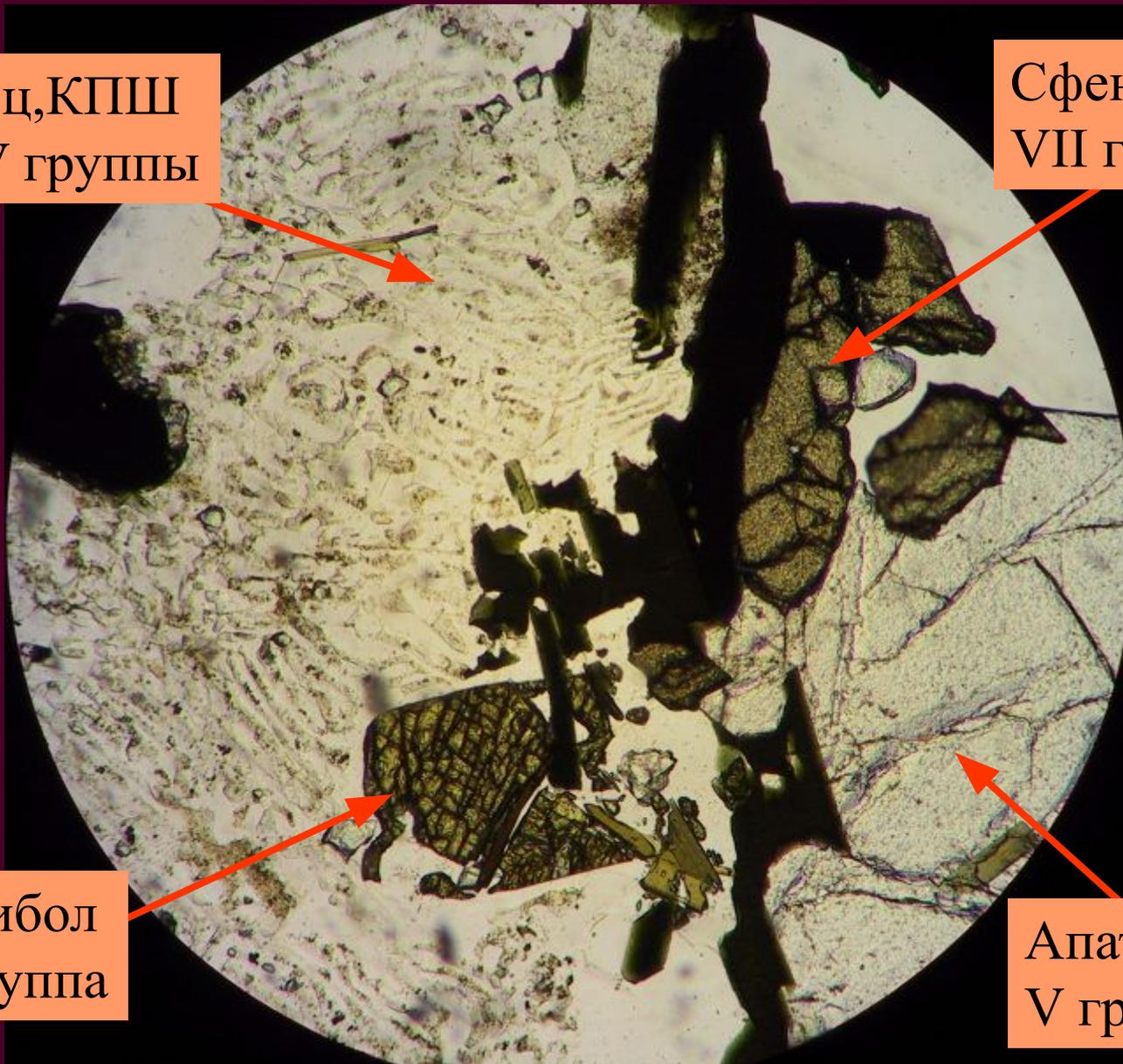
Форма, взаимоотношения, цвет, рельеф, шагреня

Кварц, КПШ
II, IV группы

Сфен
VII группа

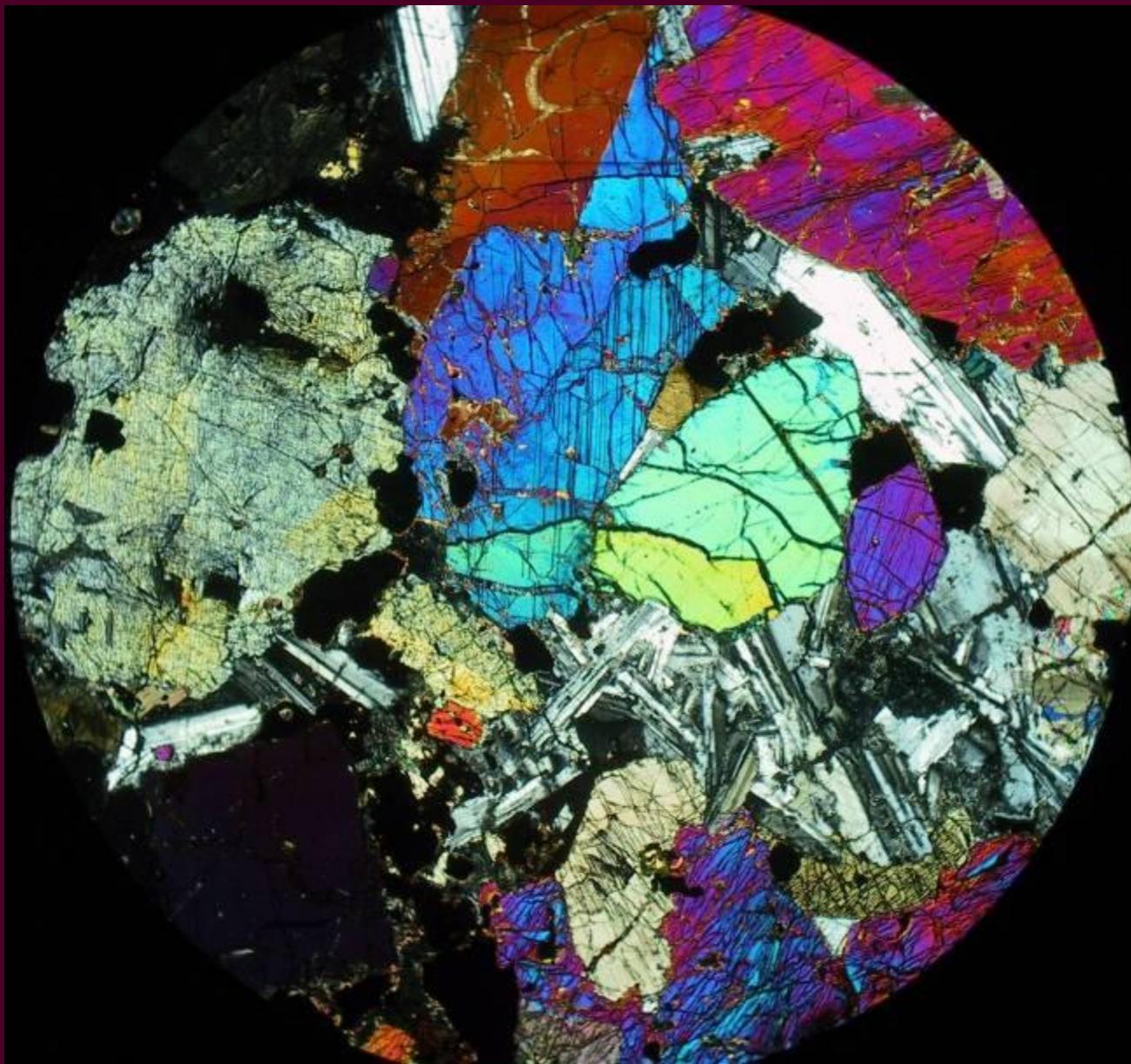
Амфибол
VI группа

Апатит
V группа



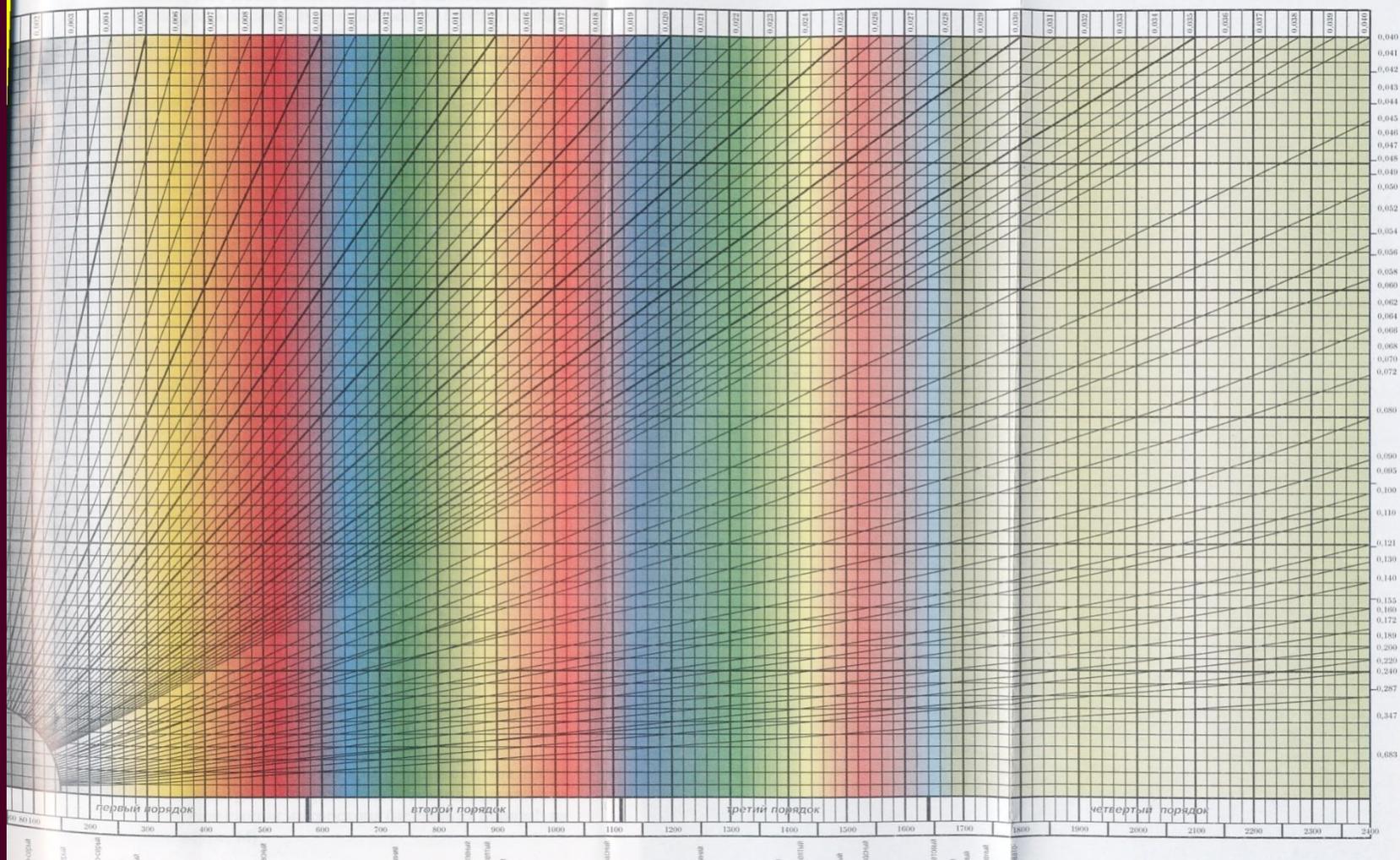
Изох А.Э. Петрография изверженных пород

Двупреломление



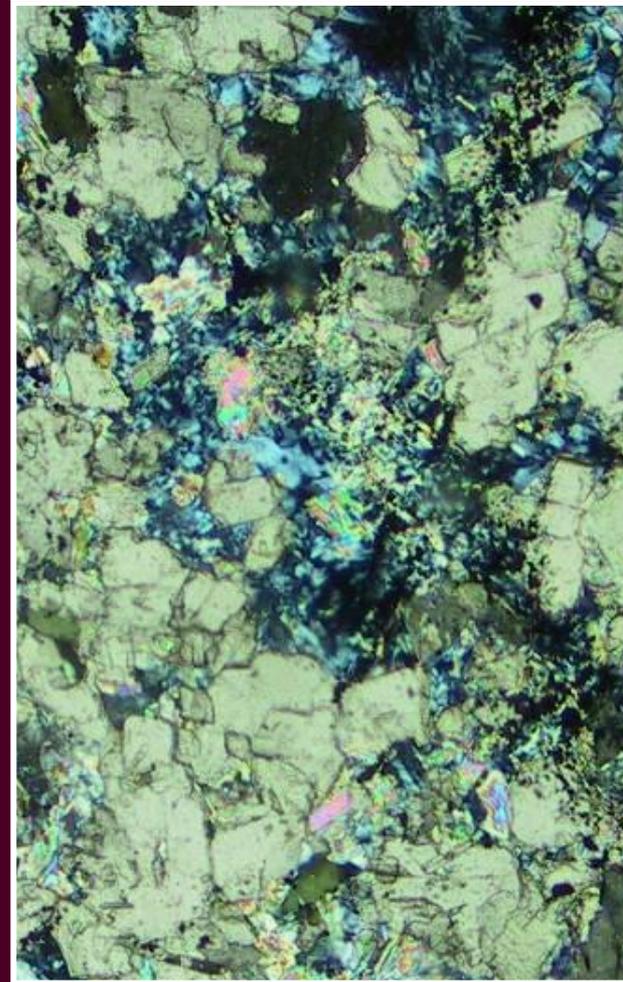
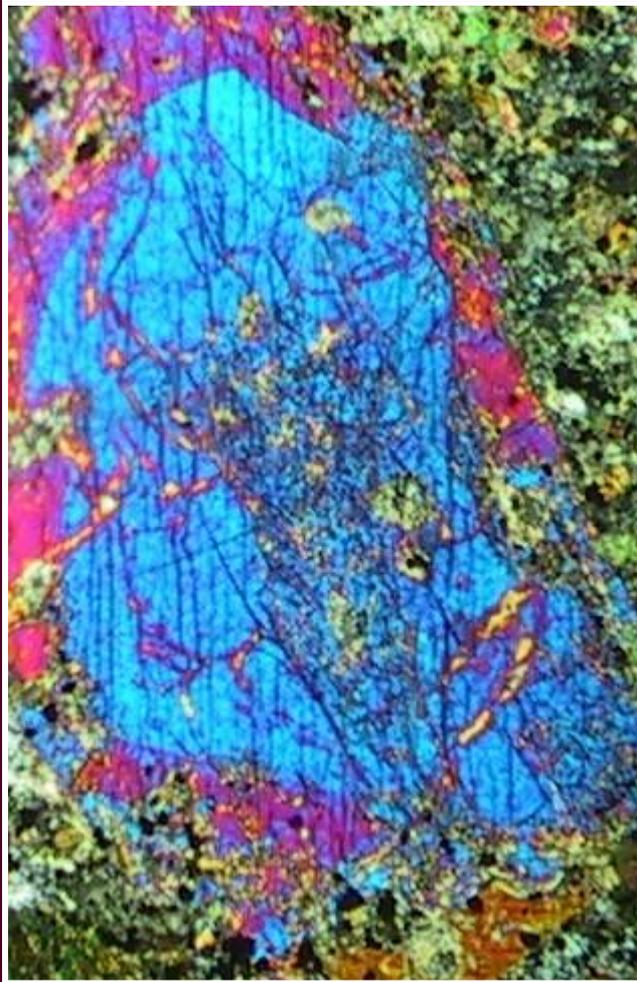
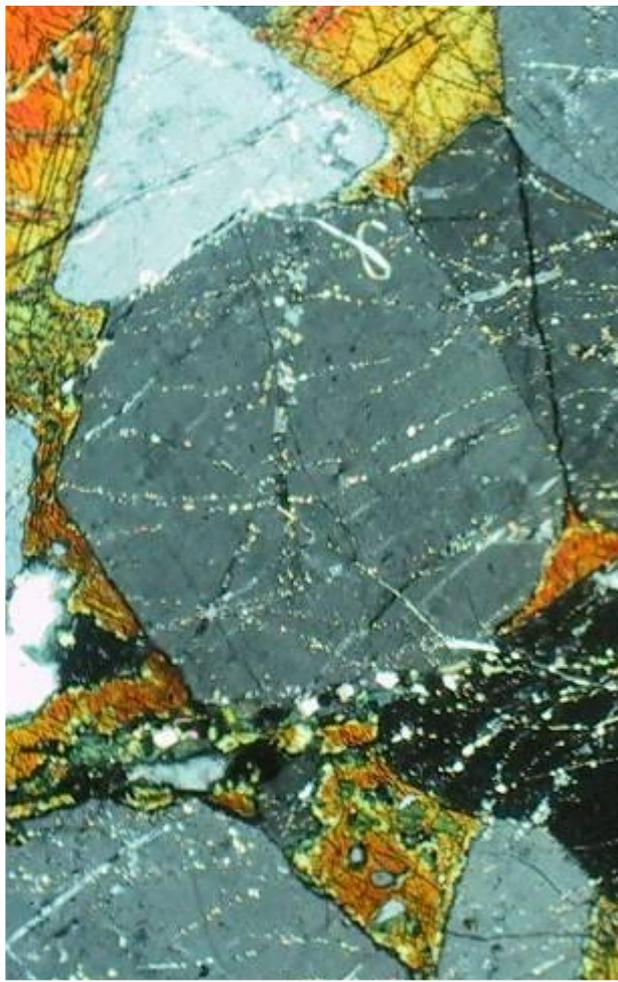
Изох А.Э. Петрография изверженных пород

НОМОГРАММА ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ

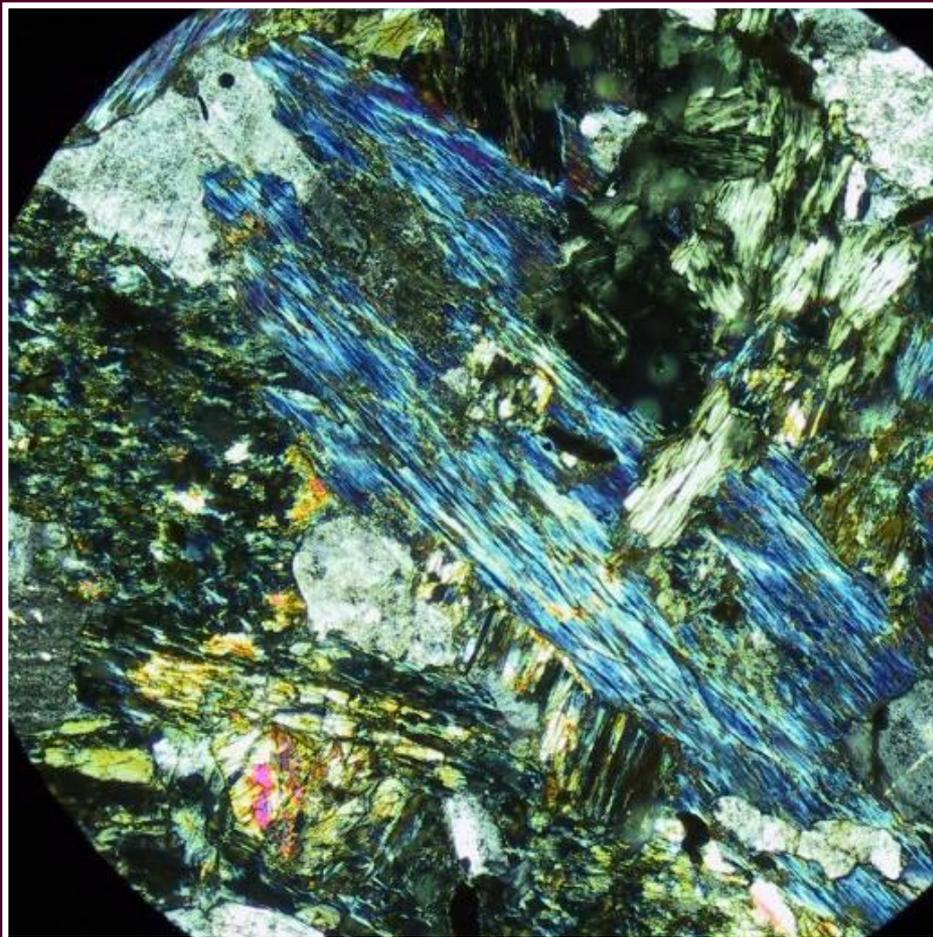
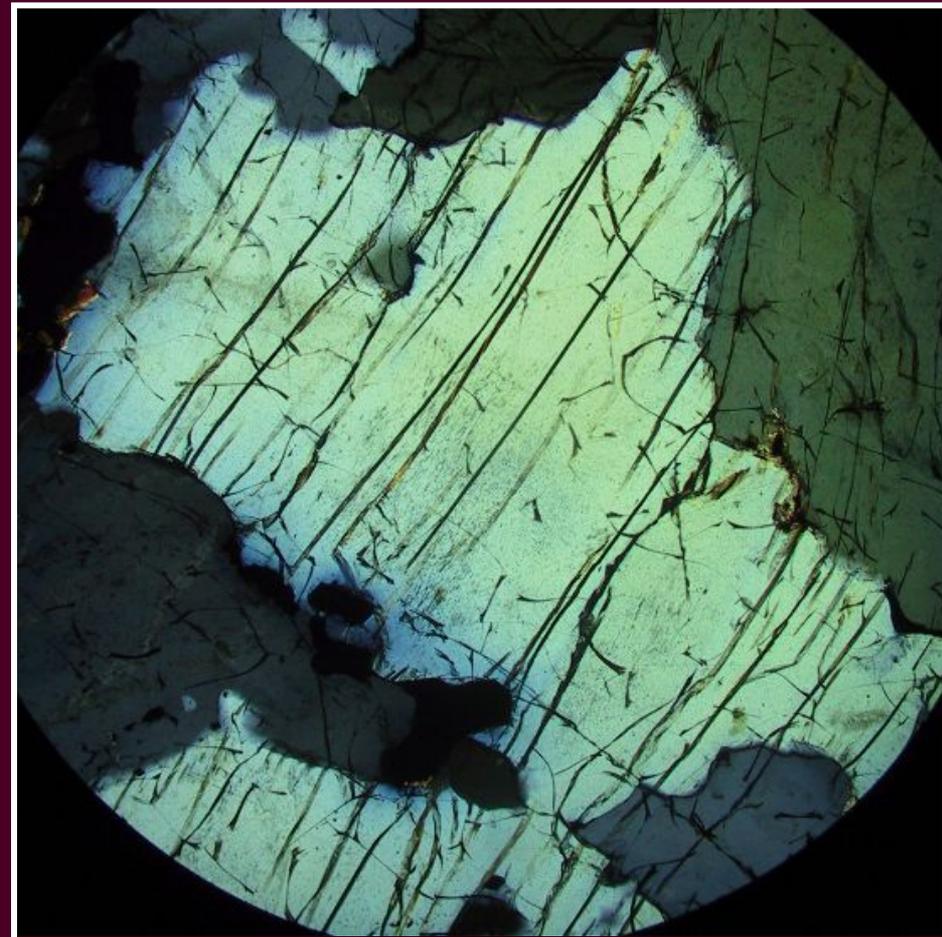


Сила двупреломления зависит от ориентировки оптической индикатрисы

Двупреломление в разных минералах



Аномальные цвета интерференции



Изох А.Э. Петрография изверженных пород

Международная номенклатура высокомагнезиальных вулканических пород

