

Петрография

1^я часть - Магматические горные породы

Светлана Валерьевна Егорова

**2^я часть - Метаморфические и
метасоматические горные породы**

Олег Станиславович Сибелев

Олег Александрович Максимов

**Организационные
вопросы
Общие требования
Допуск к экзамену**

Лекции – вторник, пара в 11:30 (библиотека КарНЦ)

Практики – две пары в пятницу

петрография + оптическая минералогия

Экзамен — январь – магматические горные породы
+ метаморфические горные породы

Допуск к экзамену – посещение не менее 75% лекций и практических занятий, наличие контрольной работы (средний бал не менее 2.7)

Все пропущенные занятия должны быть отработаны: отработка 1го пропущенного практического занятия = подробное описание 4 шлифов. Отработка 1ой пропущенной лекции – реферат по пропущенной теме.

Контрольная работа = контрольная по теории (можно пользоваться своими конспектами) **+ контрольные шлифы (2 шт.) + определить породу макроскопически (2 образца).**

Конспекты лекций (презентации):

Слайд, помеченный



- понять и записать

Слайд, помеченный



- информацию нужно понять,
записать и выучить

Навыки и знания, которые необходимо иметь по окончании курса Петрографии:

1. Уметь определять (в шлифах и макроскопически) пороодообразующие минералы и горные породы
2. Знать и уметь определять структуры и текстуры горных пород
3. Знать принципы их классификации и названия горных пород (до уровня семейств)
4. Иметь представление об условиях формирования магматических, метаморфических и метасоматических горных пород

ПЕТРОГРАФИЯ

Петрография (петрология)

– наука о горных породах



Предмет изучения

Магматические и метаморфические и горные породы и процессы их формирования.

Задачи

- Идентификация и классификация горных пород
- Реконструкция условий формирования горных пород

Что читать?

Конспекты лекций + pdf и ppt файлы

Учебник – Богатилов и др.

(есть в библиотеке)

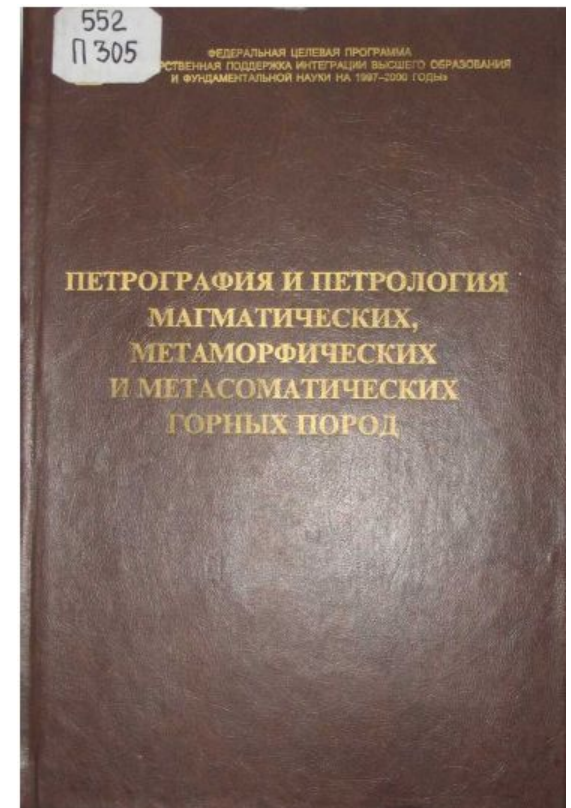
В.Н. Лодочников

«Главнейшие породообразующие минералы»

<http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1183076>

А.В. Первунина

«Кристаллооптика» (есть в библиотеке)

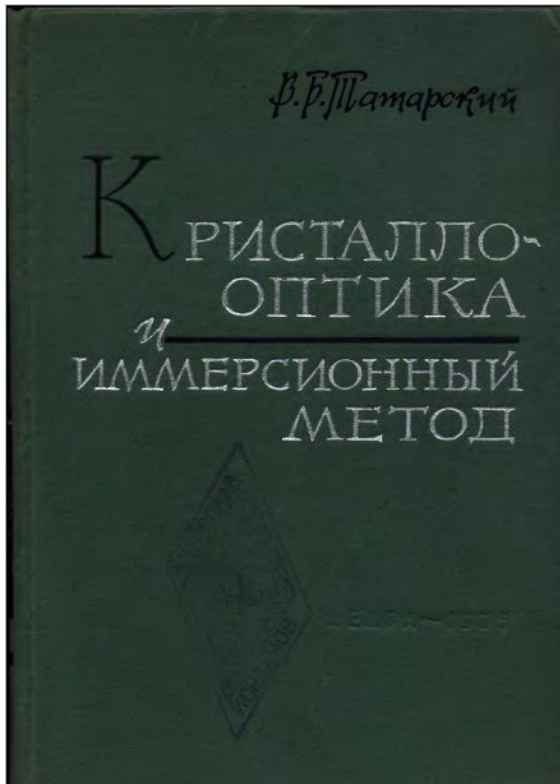
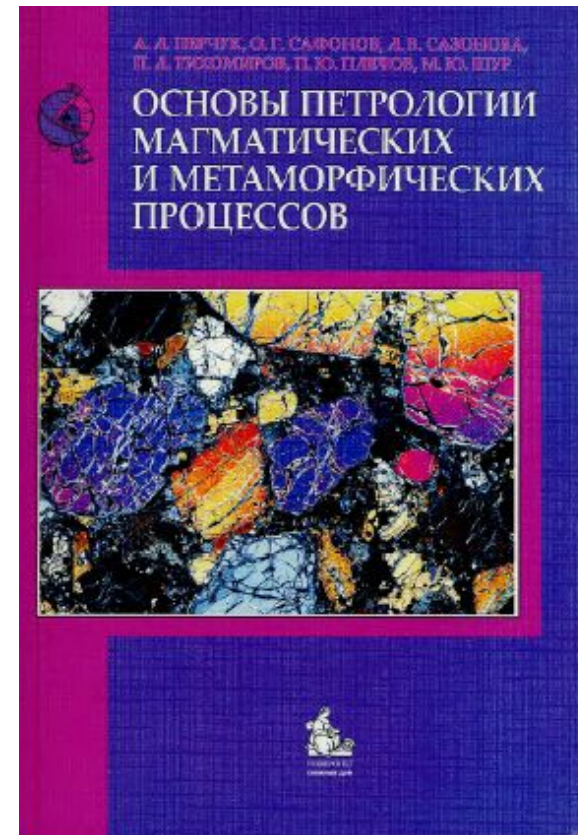


Что читать?

А.Л. Перчук

«Основы петрологии магматических
и метаморфических процессов»

https://yadi.sk/i/y_4AeqW03aciHr

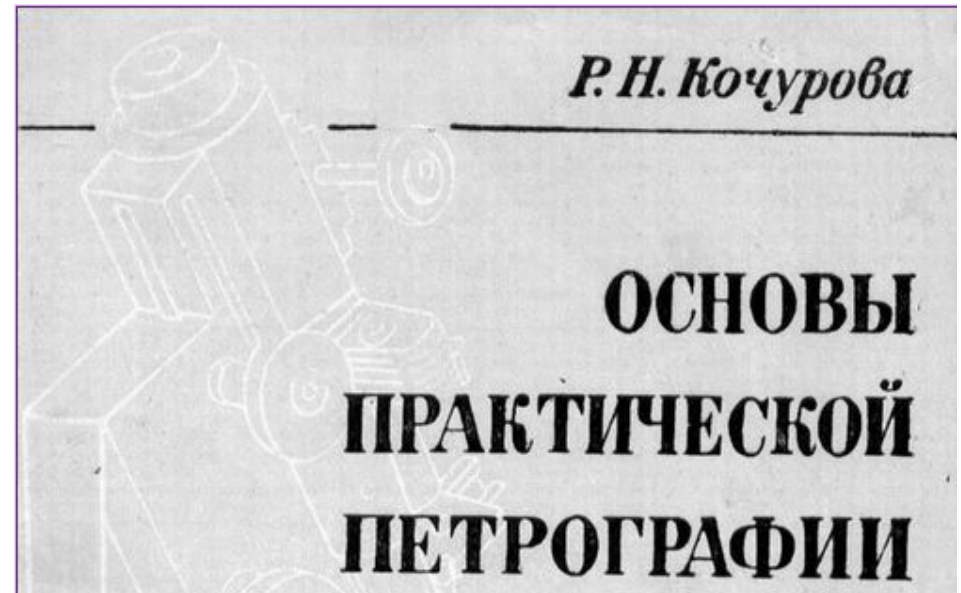
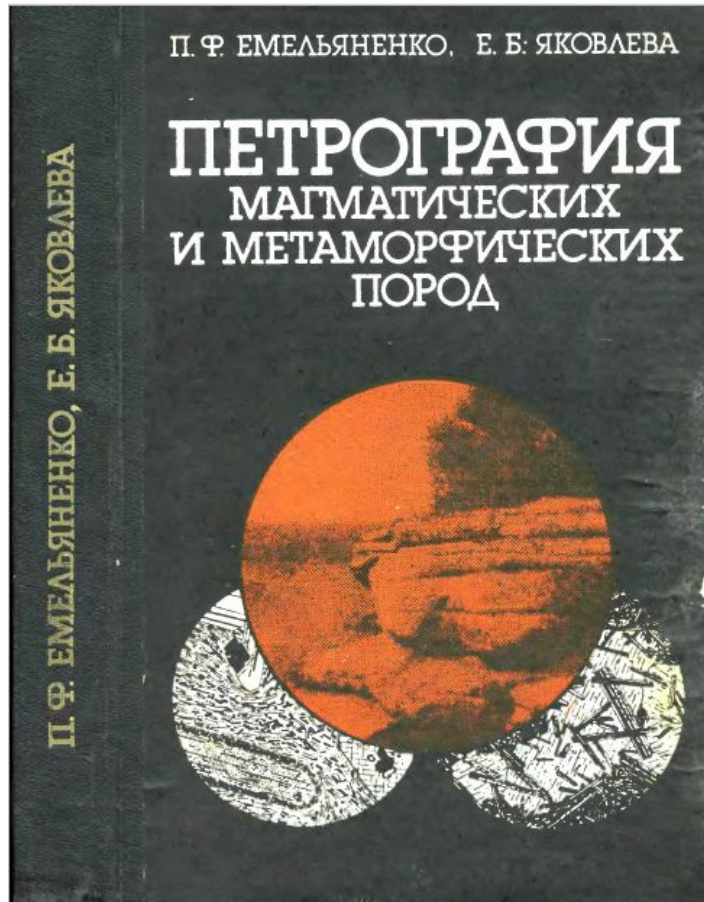


В.Б. Татарский

«Кристаллооптика и иммерсионный метод»

<http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1174743&uri=tatarskiy.djvu>

Что еще читать?

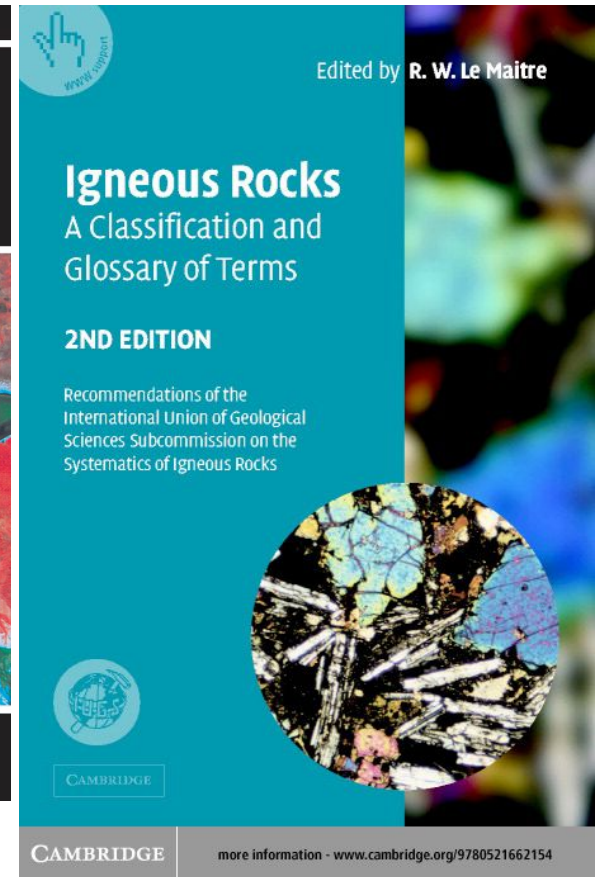
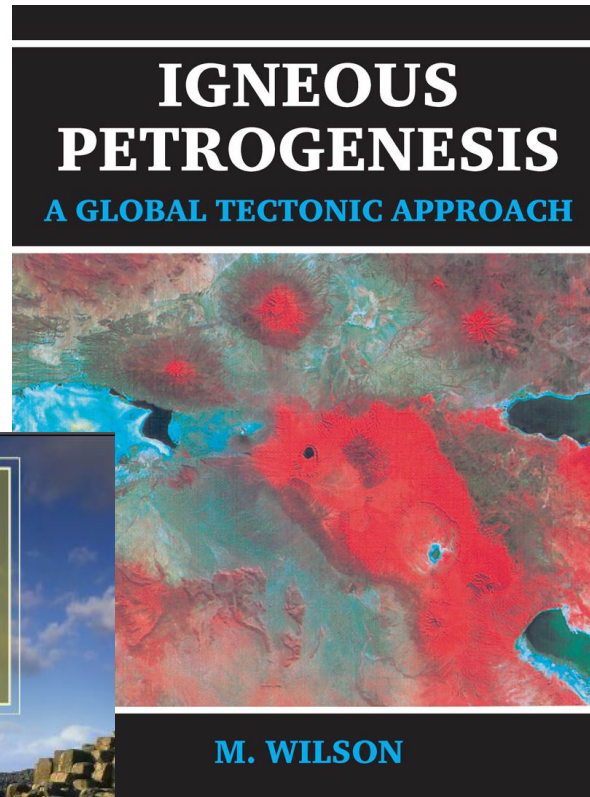
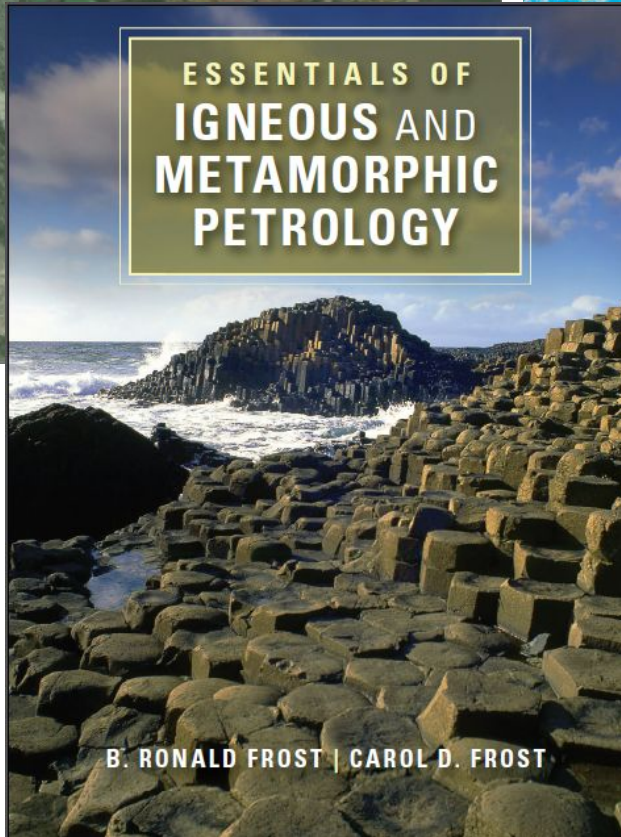
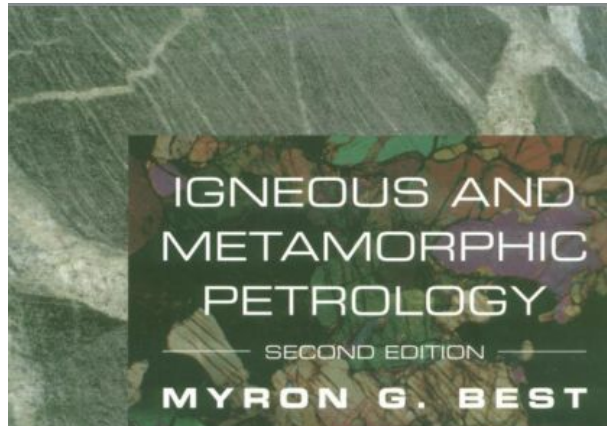


Ф. ХЭТЧ, А. УЭЛЛС, М. УЭЛЛС

ПЕТРОЛОГИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Перевод с английского
П. П. СМОЛИНА

Что еще читать?



Петрология
и другие геологические
науки

Геотектоника и
геодинамика

Региональная
геология

Полезные
ископаемые



Петрология

Геохимия

Геохронология и
изотопная
геохимия

Общая и
структурная
геология

Минералогия

Кристаллооптика
и
кристаллография

Что нужно повторить:

Кристаллооптика:

- юстировка микроскопа
- оптическая индикатриса – главные свойства кристаллов разных сингоний

Минералогия:

Силикаты (химический состав и свойства):

- группа оливина
- пироксены
- амфиболы
- полевые шпаты
- слюды, хлорит, серпентин

Изоморфизм

Изоморфный ряд

Основные понятия

**Методы петрографических
исследований**

Горная порода – агрегат двух или более (редко одного) минералов, возникший в результате геологических процессов

Любая горная порода **характеризуется** определенными (отличными от других горных пород)

- *Минеральным составом*
- *Химическим составом*
- *Структурно-текстурными особенностями*



Горные породы

Магматические (изверженные) породы

— сформированы в результате глубинных (эндогенных) процессов.



Осадочные породы - сформированы в результате **экзогенных** процессов (физического и химического выветривания, выпадения вещества из растворов, жизнедеятельности организмов и др. факторов литогенеза)



Метаморфические породы

— сформированы в результате изменения ранее существовавших осадочных или магматических пород под влиянием **ЭНДОГЕННЫХ** процессов.



Магматические горные породы

– образованы в результате застывания

магмы

Магма -

- флюидно-силикатный расплав сложного состава, образованный в верхней мантии или в земной коре.
- частично или полностью расплавленное вещество, которое может содержать кристаллические фазы и растворённые летучие компоненты (флюиды).



Методы изучения горных пород

1. Геологическое изучение горных пород в полевых условиях

- изучение форм залегания, контактов и внутренней структуры геологических тел
- определение относительного геологического возраста
- оценка вторичных изменений
- отбор каменного материала

2. Лабораторные методы изучения горных пород

- микроскопический и химический
- геохимический, изотопно-геохимические
- изотопно-геохронологические



Методы изучения горных пород

3. Экспериментальные методы

– экспериментальное изучение силикатных систем близких по составу к горным породам, позволяет в лабораторных условиях изучать процессы петрогенезиса – кристаллизацию минералов и горных пород, установление источников исходных расплавов, условия их формирования, закономерности дифференциации, влияние летучих компонентов.

4. Теоретическая петрология - создание моделей магматических и метаморфических процессов





Формы залегания магматических пород

Формы залегания и отдельность магматических пород



Формы магматических тел зависят от

- состава магмы,
- вязкости расплава,
- количества флюидов,
- места их формирования (геологической и тектонической обстановки).

Внутреннее строение магматических тел связано с их формой и обусловлено:

- механизмом внедрения магмы,
- физическими свойствами магмы,
- глубиной остывания расплава,
- соотношением с вмещающими породами,
- характером движения магмы и вмещающих пород во время становления магматического тела,
- распределением летучих и условиями их отделения,
- степенью раскристаллизации расплава ко времени его формирования.



В зависимости от глубины кристаллизации

магматические породы подразделяются на:



**Эффузивн
ые
породы**

Поверхность Земли

Гипабиссальные



1.5 км

**Абиссальные
= Плутонические**



**Интрузивн
ые
породы**

Интрузивные тела



Согласные

{
Силлы
Лополиты
Лакколиты

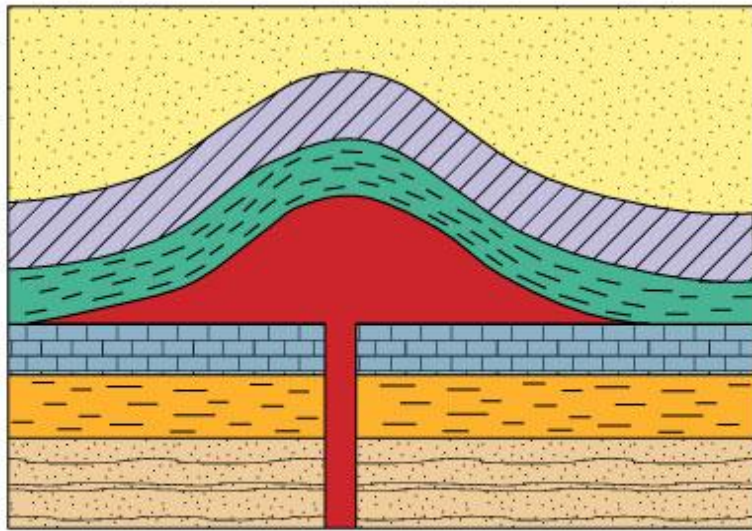


Несогласные

{
дайки, кольцевые дайки,
жилы,
штоки,
батолиты

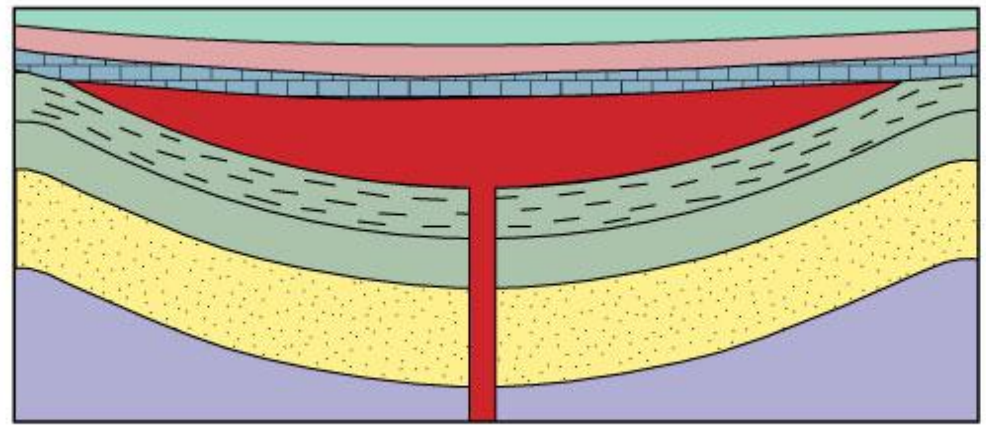


Формы залегания плутонических магматических пород



a

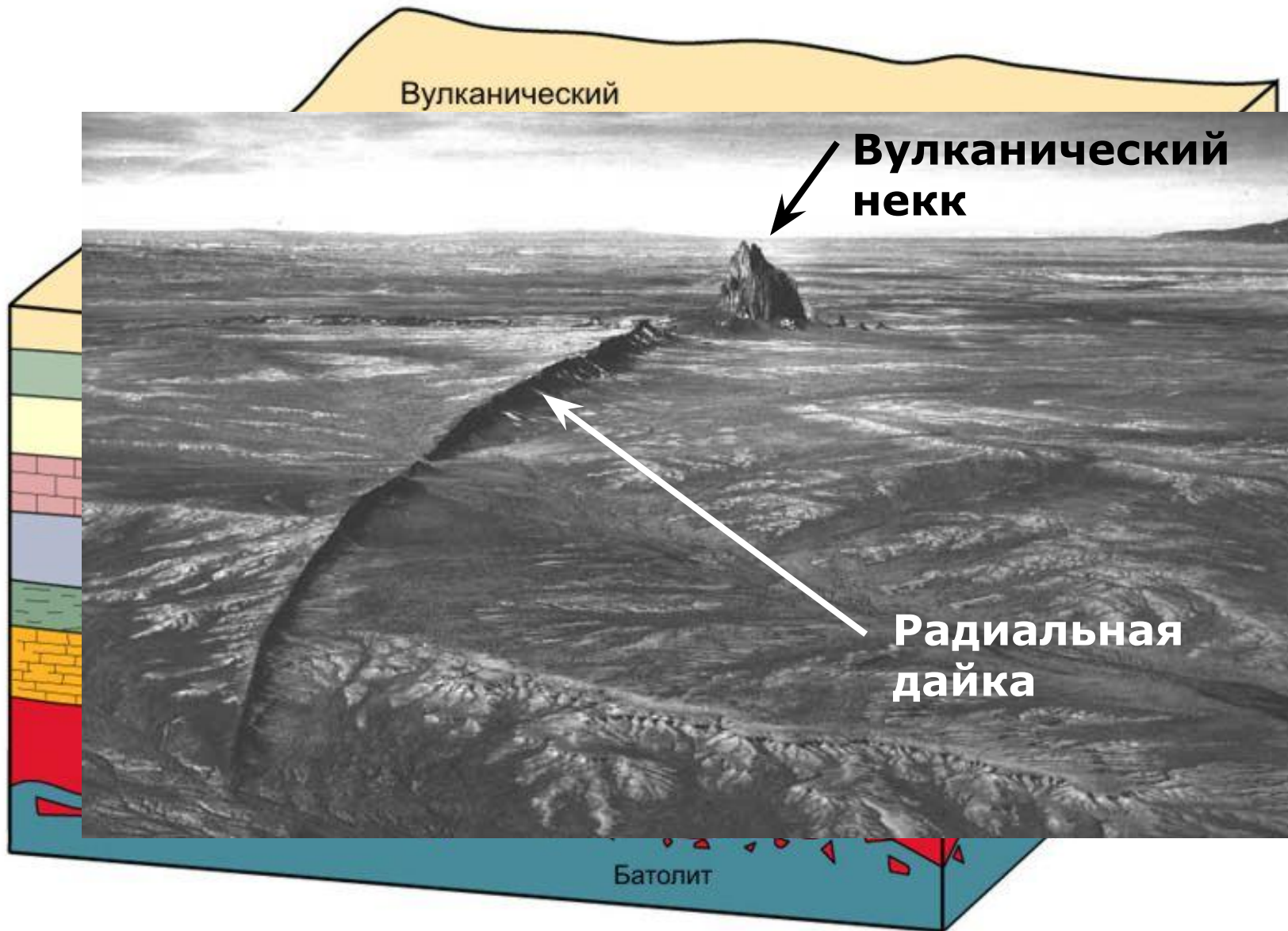
Лакколит – характерен для пород кислого состава



b

Лаполит – характерен для основного-ультраосновного состава

Интрузивные тела



**Зона
закалки**

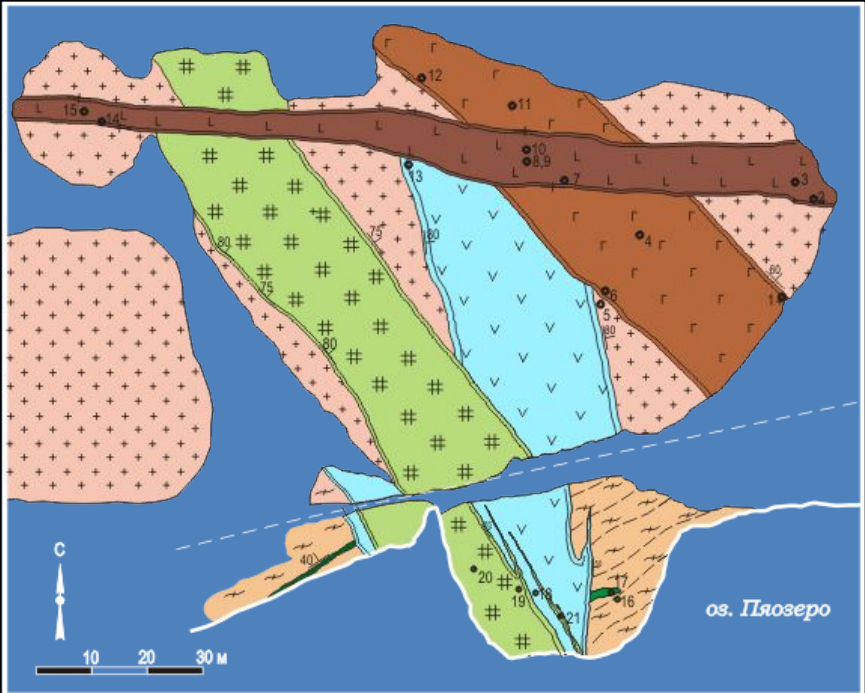
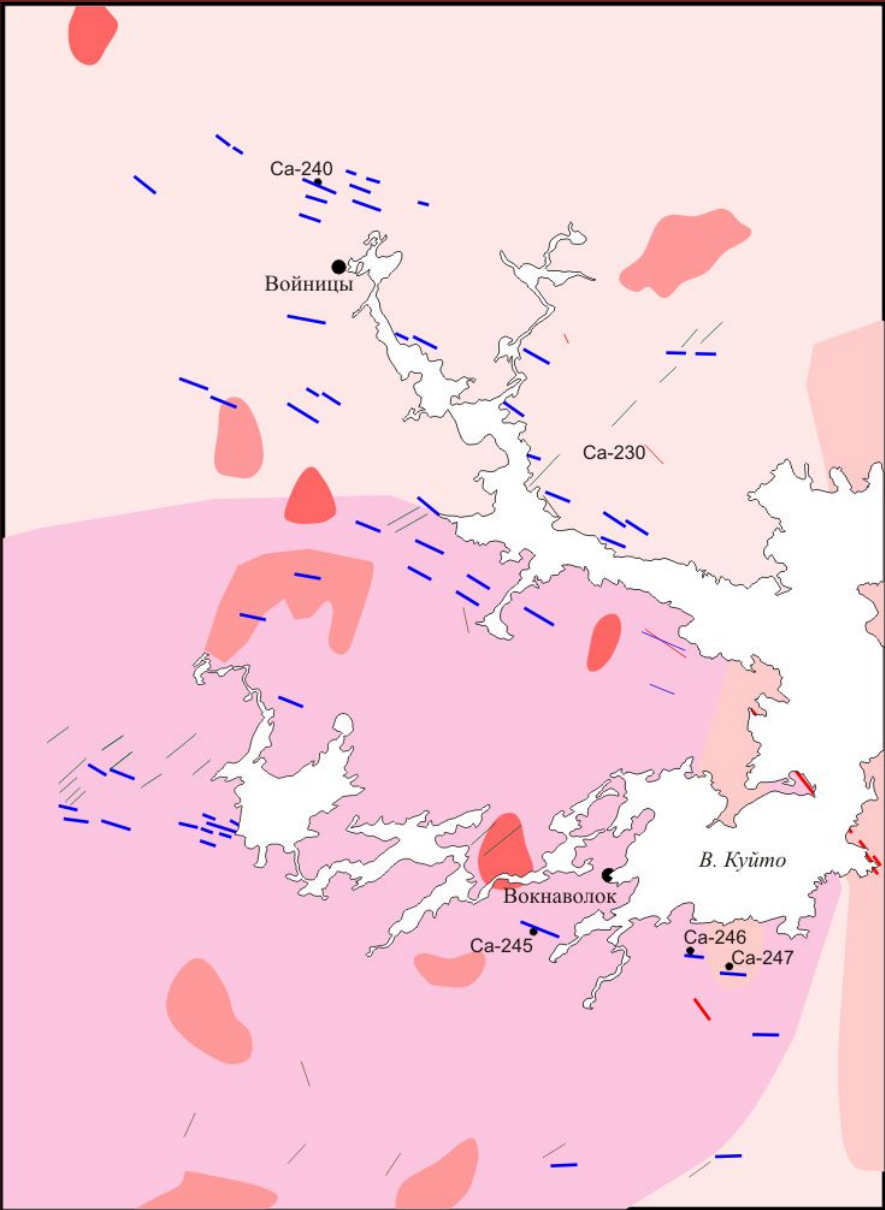
**секущий
контакт**

дайка

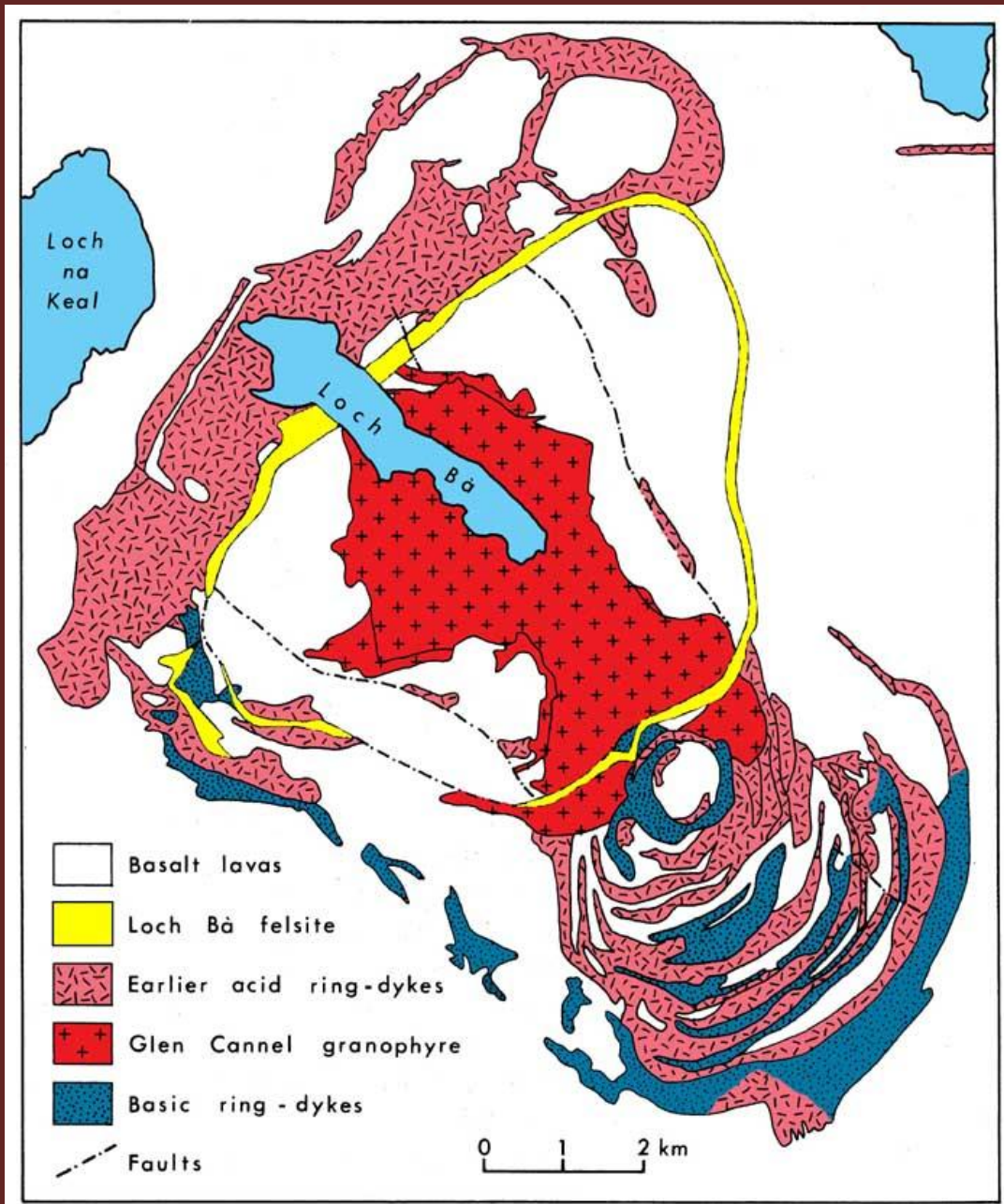
**секущий
контакт**



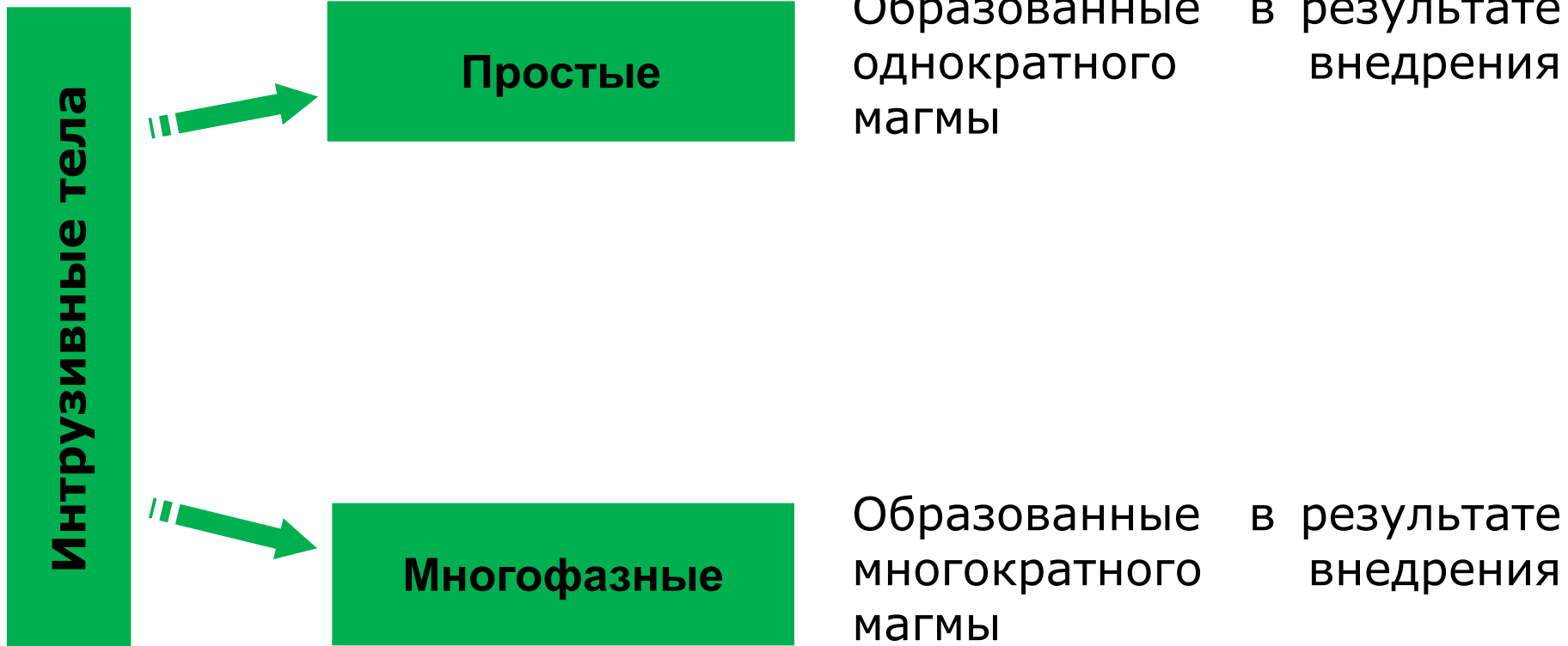
Рои мафических даек – скопление даек близкого состава и ориентировки



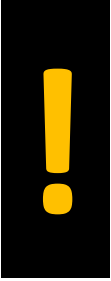
Кольцевые дайки о. Мулл, Шотландия



В зависимости от внутреннего строения интрузивы делятся на:

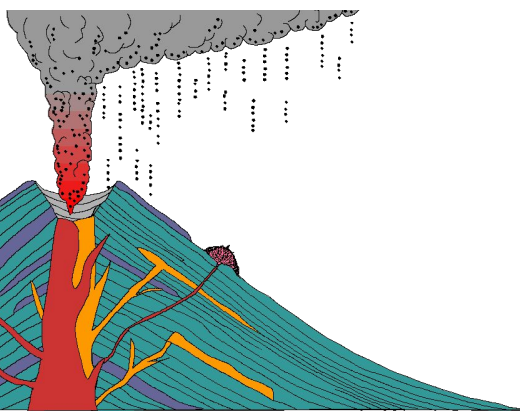


Формы залегания вулканических магматических пород



По строению вулканических построек выделяют:

- Трещинные
- Ареальные
- Вулканы центрального типа



Схематический разрез стратовулкана

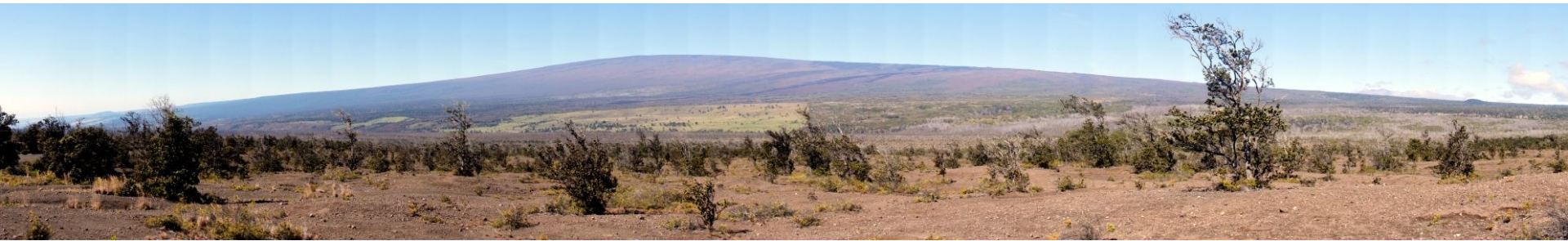


Тавурвур — активный стратовулкан в Папуа — Новой Гвинее

Формы залегания вулканических магматических пород



Щитовой вулкан



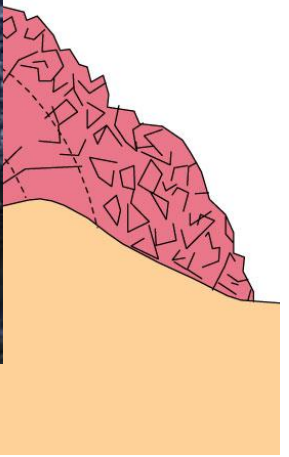
Мауна-Лоа — крупнейший надводный щитовой вулкан

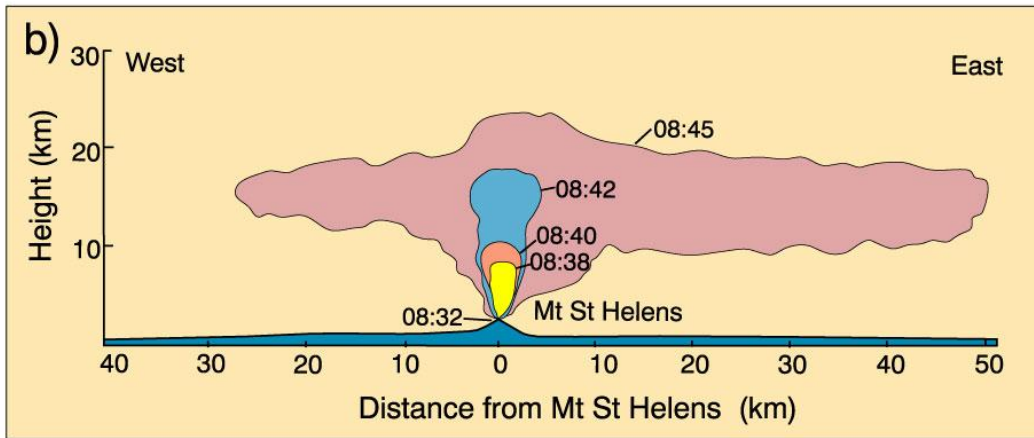
Формы вулканических тел, застывших на поверхности Земли



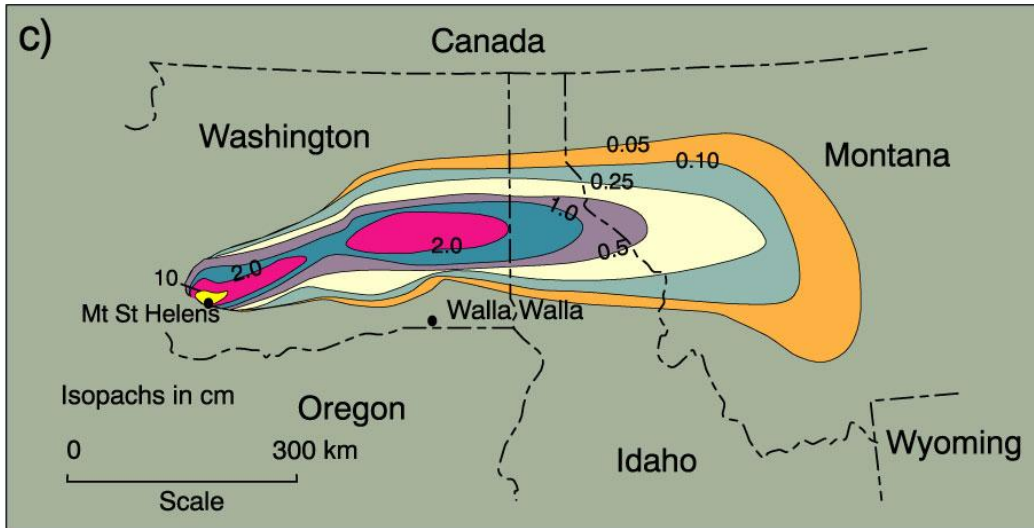
Бокровы лавы — обычно имеют большую площадь при относительно невысокой скорости растекания. Наиболее распространены в базальтовых вулканах.

Потоки — формируются реже





Скорость
окластическим и
распространения
эм. Площадь
пепловой тучи (b) и
терриалом, измеряются в
мощность отложений
— сотнями и тысячами
см (c)
отдельных пластов,
леблются в широких
уров —расстояния от
направления взрыва.



Пылевое облако при
извержении г. Св. Елены
(1980 г.)



Исландия, вулкан Эйяфьядлайёкюдль

Начальная стадия извержения 14 апреля 2010 г.



Салтыковский А.Я., ИФЗ РАН

Исландия, вулкан Эйяфьядлайёкюдль

Начальная стадия извержения 18 апреля 2010 г.



Салтыковский А.Я., ИФЗ РАН

Твердые вулканические продукты



По размерам частиц и обломков твердые продукты извержений подразделяются на несколько типов:

1. Вулканическая пыль (меньше 0,25 мм);
2. Вулканический песок (0,25 – 2,0 мм);
3. Лапилли (2-64 мм);
4. Вулканические бомбы и блоки (более 64 мм).



Микрофотография вулканического пепла



Классификация пирокластических пород



**Блоки и бомбы
> 64 мм**

Пирокластические брекчии (блоки)
Агломераты (бомбы)



Текстуры магматических пород

Текстура - общий облик породы, зависящий от расположения и распределения минеральных агрегатов относительно друг друга, а также от способа заполнения ими пространства.

**Зависит от геологических процессов,
происходящих**

до

во время

после

застывания расплава

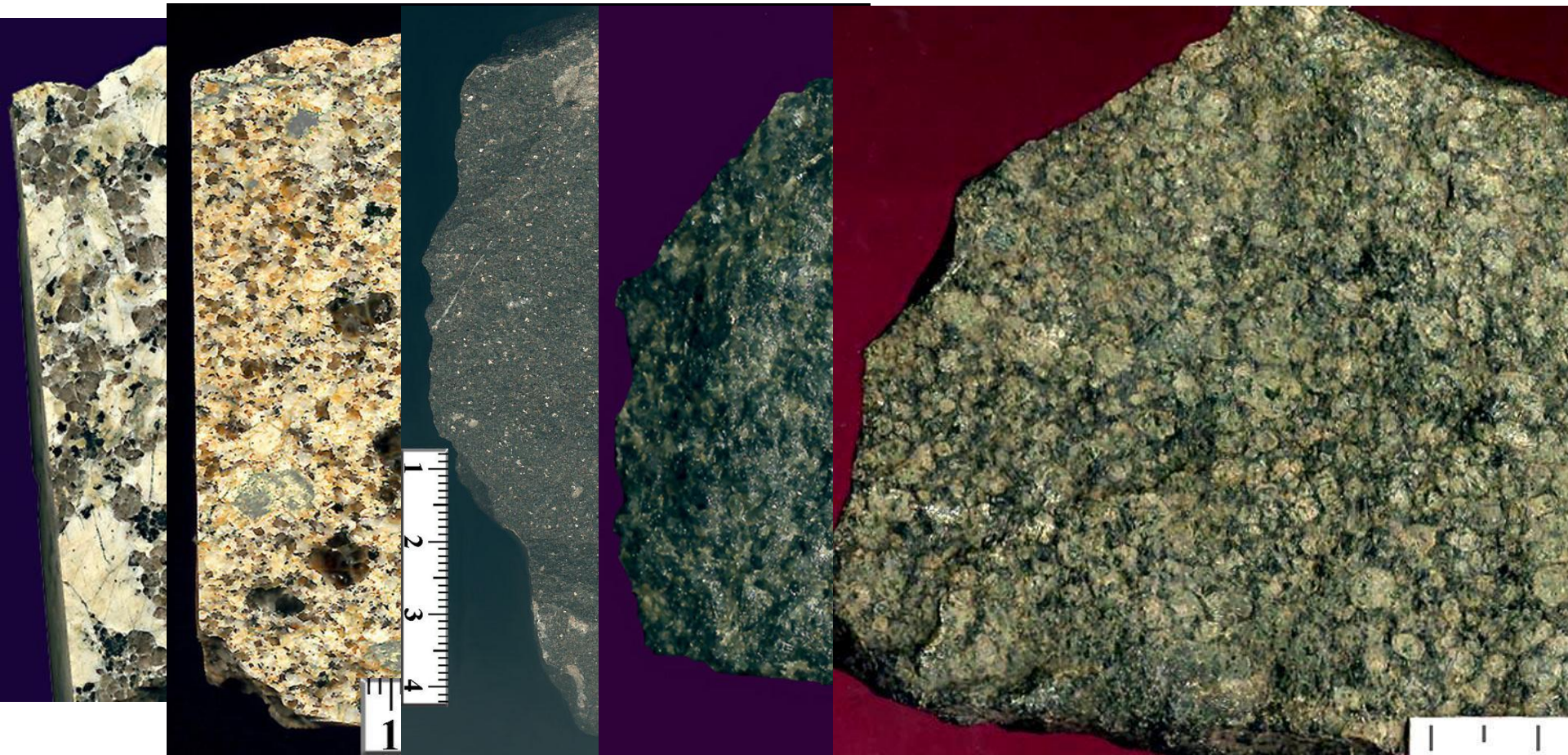
В статических условиях кристаллизуются породы однородной **массивной** текстуры.

В процессе магматического течения формируются ориентированные (направленные) — **линейные, полосчатые, флюидальные** и другие текстуры пород.



Текстуры магматических пород

Массивная (однородная) текстура образуется в условиях спокойной кристаллизации и отсутствия движений. В любой части породы зерна минералов располагаются равномерно, без какой бы то ни было ориентировки. Массивные текстуры наиболее широко распространены в интрузивных породах.

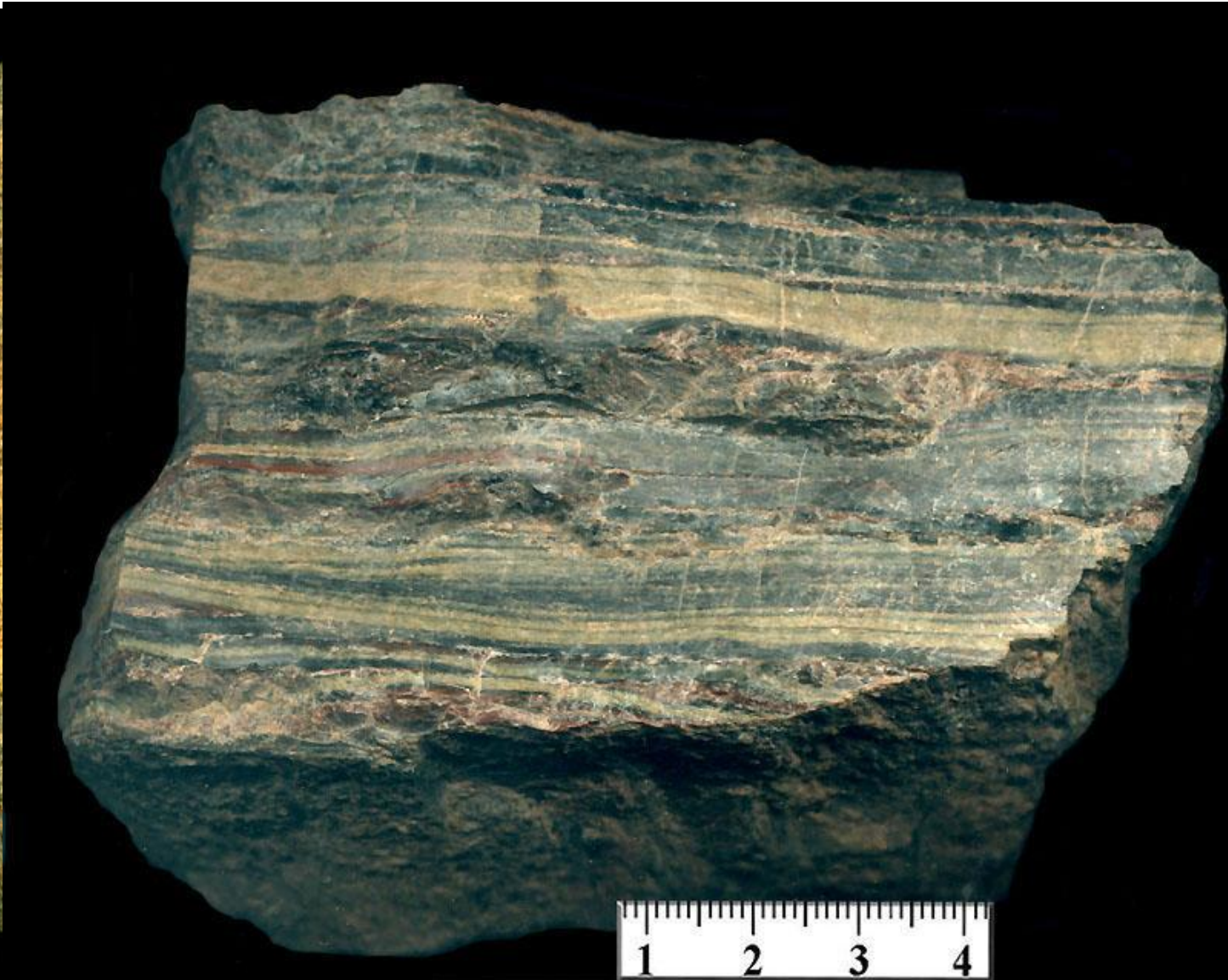
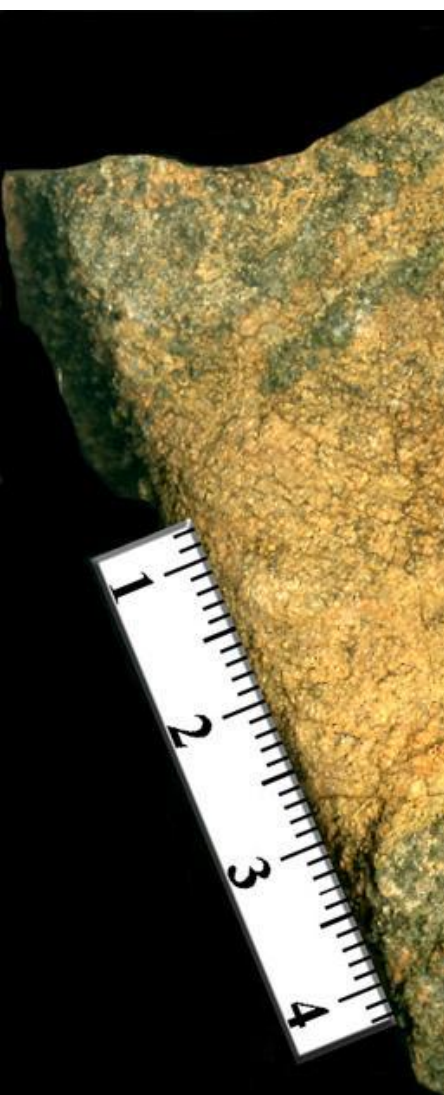


Такситовая (неоднородная, пятнистая, или шлировая) текстура отличается неоднородным распределением составных частей пород в различных участках. Эти участки могут отличаться друг от друга как по составу (наличие скоплений феррических минералов, шлиров, ксенолитов), так и по структуре.





Полосчатая текстура наблюдается у пород, сложенных чередующимися слоями разного состава или разной структуры. Образование такой текстуры в интрузивных породах может быть связано с гравитационной дифференциацией.



Трахитоидная текстура связана с субпараллельным расположением в породе таблитчатых или уплощенно-призматических кристаллов полевых шпатов. Эта текстура образуется при кристаллизации расплава в движении.



Флюидальная текстура характеризуется потокообразным расположением зерен, микролитов и кристаллитов. Породы с флюидальностью часто характеризуются тончайшим переслаиванием разноокрашенных полос вулканического стекла. Микрополосчатость вытянута в направлении движения лавы, обтекает вкрапленники, как правило, смята в мельчайшие складки. Флюидальность возникает при продвижении вязкой застывающей лавы.



Рис. 3.6. Флюидальная текстура риолита. Микропотоки вязкого кислого расплава обтекают вкрапленник плагиоклаза. При одном николе. Поперечник поля зрения 7 мм. Зарисовка шлифа.



Текстуры вулканических пород

Миндалекаменные текстуры образуются при преобразованиях пузырчатых вулканитов - пустоты заполняются вторичными минералами. Миндалины могут быть сложены одним минералом (например, хлоритом, карбонатом, кварцем) или двумя, реже тремя минералами, тогда они имеют концентрически-зональное строение — стенки пустот выполнены одним минералом, а центральные части — другими.



Рис. 3.5. Миндалекаменная текстура риолита. Миндалины сложены хлоритом.

Текстуры вулканических пород



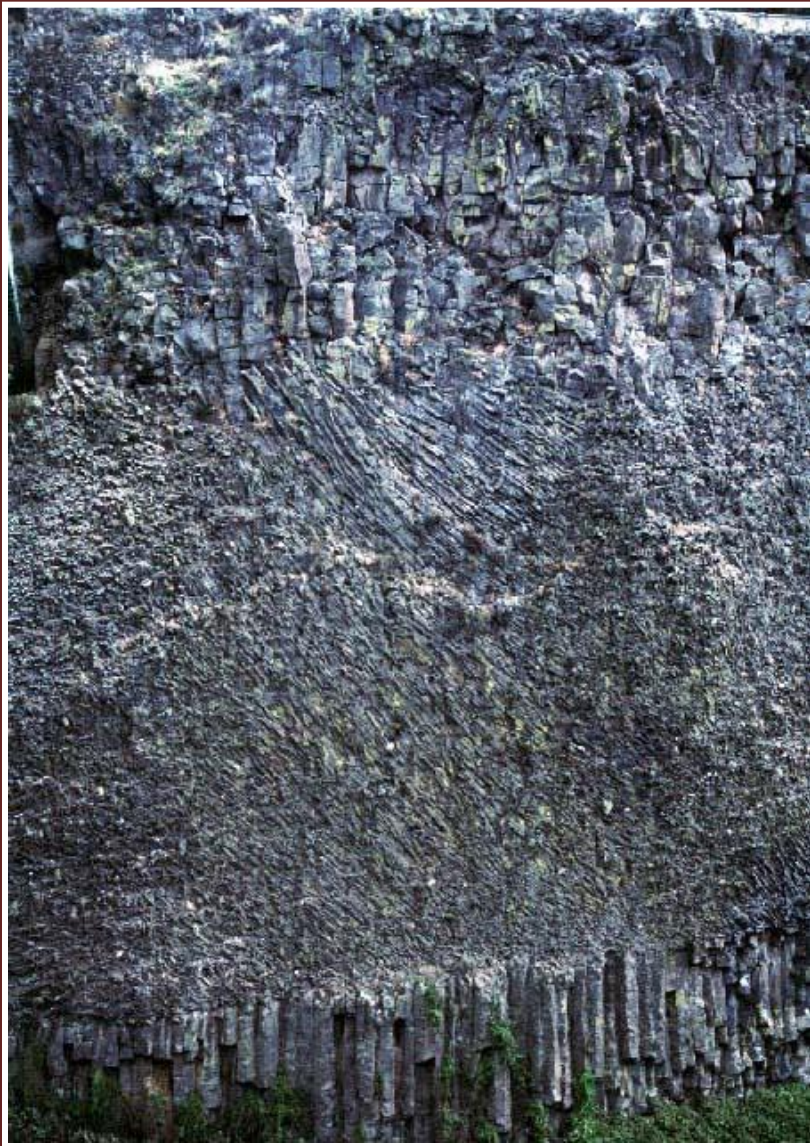
Шаровая текстура (отдельность) широко распространена в эффузивах основного состава. Шаровыми называются лавы, распадающиеся в процессе остывания на отдельные сфероиды или шары от десятков сантиметров до первых метров в поперечнике.



Пахоехое лава

Аа лава





Внутренне строение
Базальтового потока



Столбчатая отдельность в
базальте (вид сверху)

Структуры магматических пород

**«... для определения породы
важнейшими моментами
являются структура и
минеральный состав, притом из
этих двух моментов первый
является наиболее важным...»**

Е.С. Федоров, 1896

Структуры магматических горных пород



Структура –

это совокупность черт строения горной породы, обусловленных формой, размерами и соотношением составных частей.



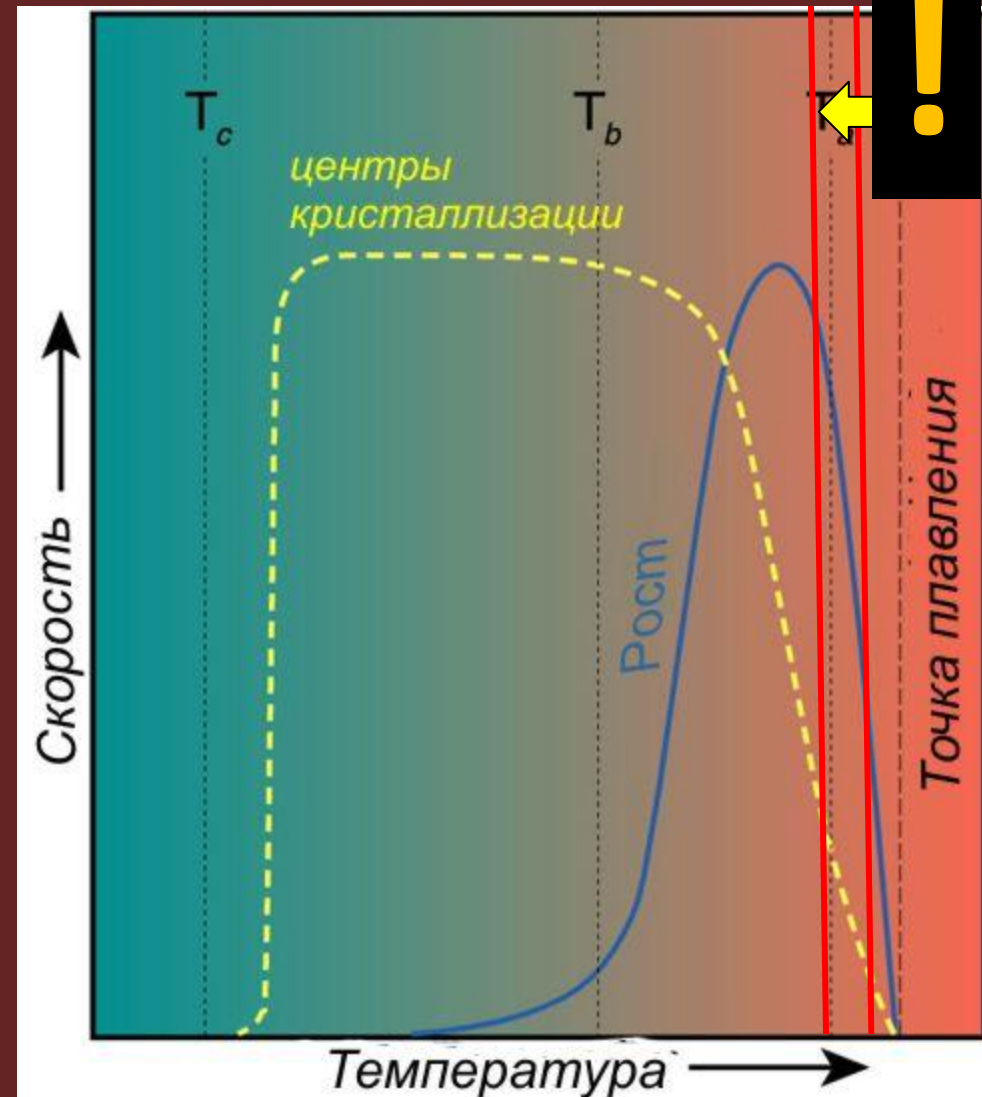
Структура породы определяется следующими признаками:

1. Степень кристалличности породы
2. Абсолютные размеры составных частей
3. Относительные размеры составных частей
4. Форма составных частей и взаимоотношениями между ними

скорость остывания магмы -

главный фактор, определяющий структуру магматической горной породы.

Для небольшой степени переохлаждения скорость образования центров кристаллизации мала, а скорость роста кристаллов имеет средние значения, поэтому будут формироваться фанеритовые структуры. В породах такой структуры минералы распознаваемы макроскопически.

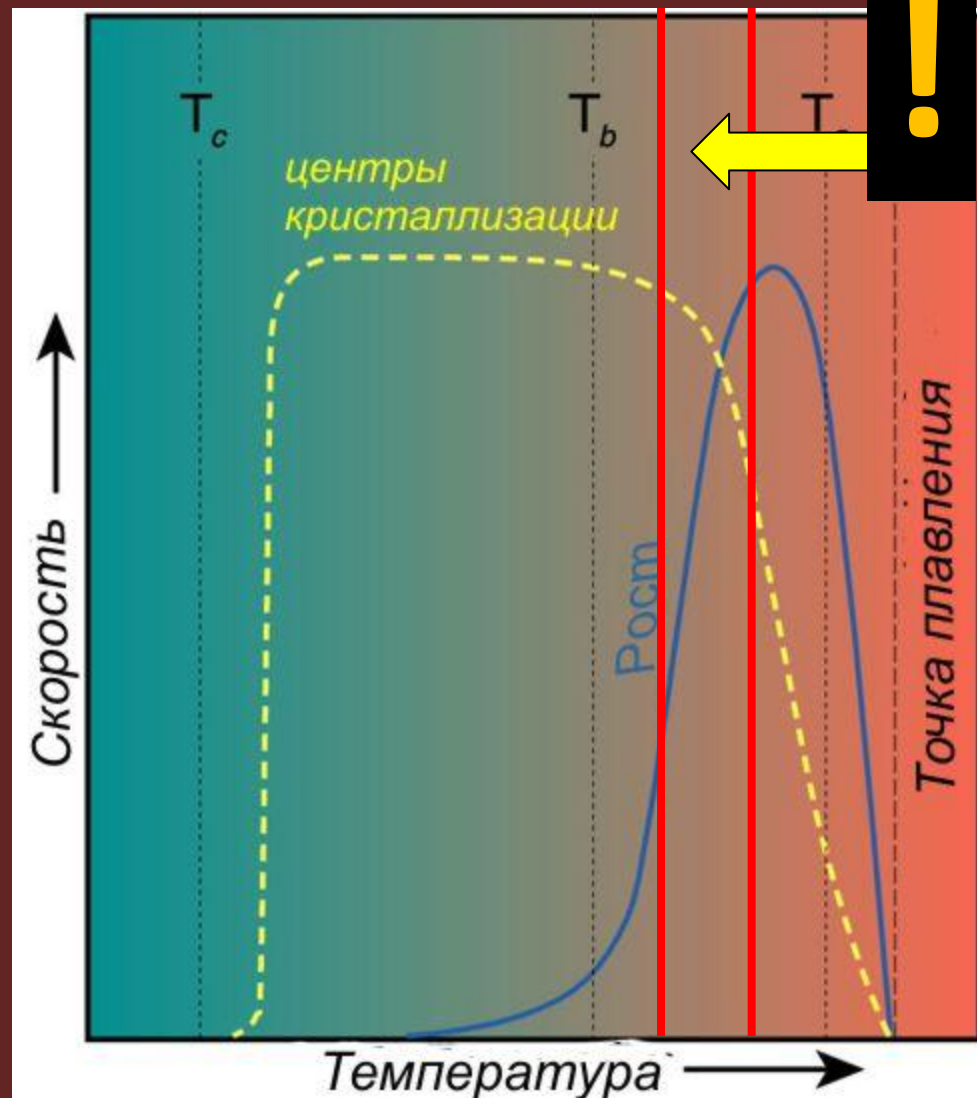


Пример – глубинные интрузии – относительно высокая T вмещающих пород, низкая скорость остывания

скорость остывания магмы -

главный фактор, определяющий структуру магматической горной породы.

При больших степенях переохлаждения скорость образования центров кристаллизации будет высока, и скорость роста кристаллов также будет высока. Результатом этого будет формирование очень большого количества кристаллов, малого размера.

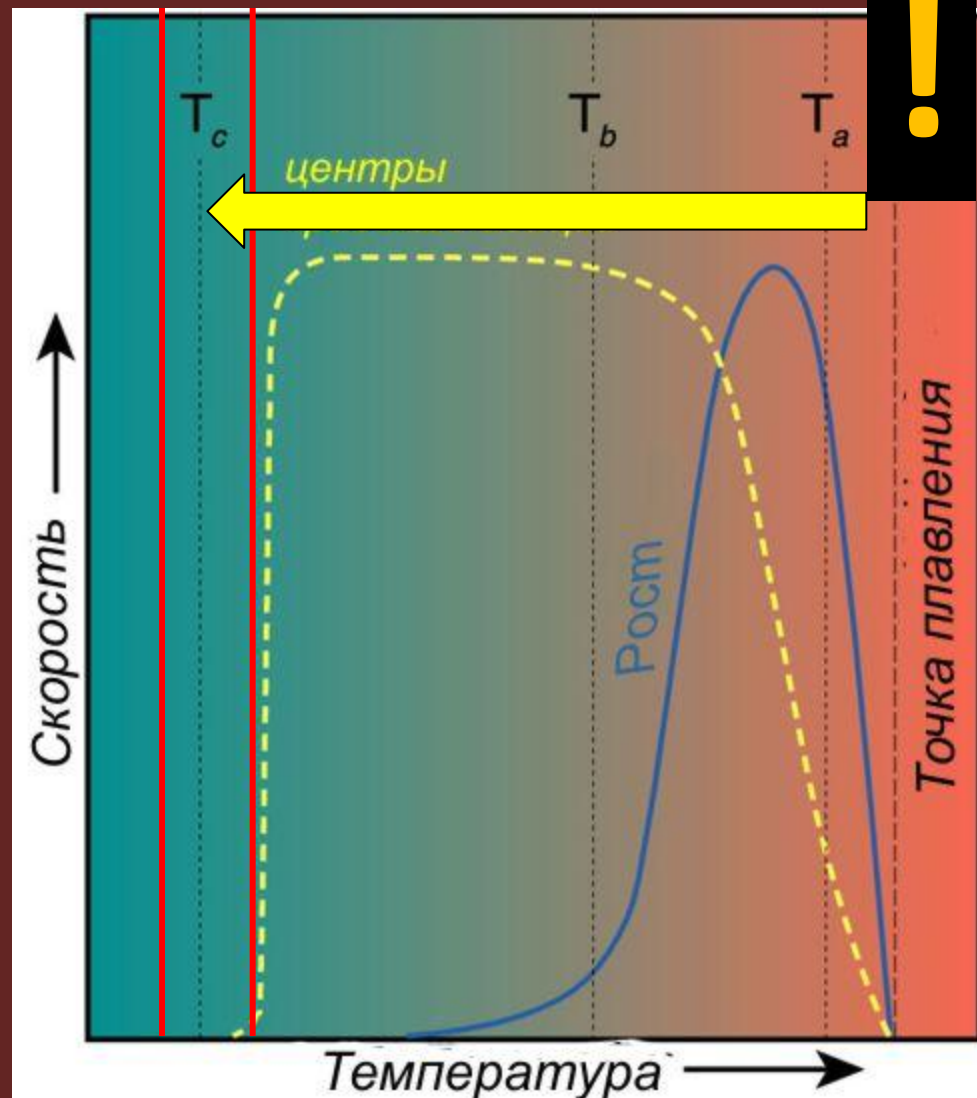


Пример – породы зон закалки – относительно высокая степень переохлаждения, высокая скорость остывания

скорость остывания магмы -

главный фактор, определяющий структуру магматической горной породы.

При высоких степенях переохлаждения и скорости образования центров кристаллизации и скорость роста кристаллов будут низкими, следовательно будет формироваться малое количество кристаллов и они не будут крупными. В результате будут образовываться стекловатые структуры.



Пример – вулканы – высокая степень переохлаждения, высокая скорость остывания

Разделение структур по абсолютному размеру составных частей



Структура	Размер зерен	Условия образования
Гигантозернистая	> 2 см	Пегматитовые жилы, некоторые граниты, нефелиновые сиениты
Крупнозернистая	5 мм – 2 см	
Среднезернистая	1-5 мм	Большинство глубинных пород
Мелкозернистая	< 1 мм Зерна видны макроскопически	Жилы и дайки, краевые части абиссальных и гипабиссальных тел
Афанитовая	< 1 мм Зерна не видны макроскопически	Типичны для вулканитов – базальтов, андезитов

Разделение структур по относительному размеру составных частей



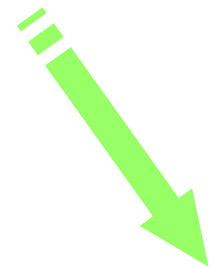
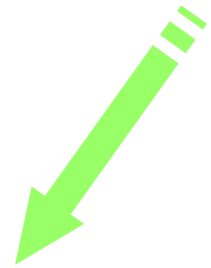
Равномернозернисты

е

– все составные части имеют примерно одинаковую величину

Неравномернозернистые

– составные части имеют разный размер



Порфировые –

вкрапленники (фенокристы) погружены в стекловатую, скрытокристаллическую или микролитовую основную массу

Порфировидные –

вкрапленники заключены в полнокристаллической основной массе

Разделение структур по степени кристалличности

Структуры
магматических пород



Полно-
кристаллически
е

Интрузивные и
гипабиссальные породы

**Не содержат
стекла**

Неполно-
кристаллически
е

Лавы, зоны закалки
интрузивных тел

**Содержат стекло
или продукты его
замещения**

Вулкано-
кластические

Вулканические
туфы, туфолавы

**Содержат обломки,
сцементированные
стеклом**

Афировые

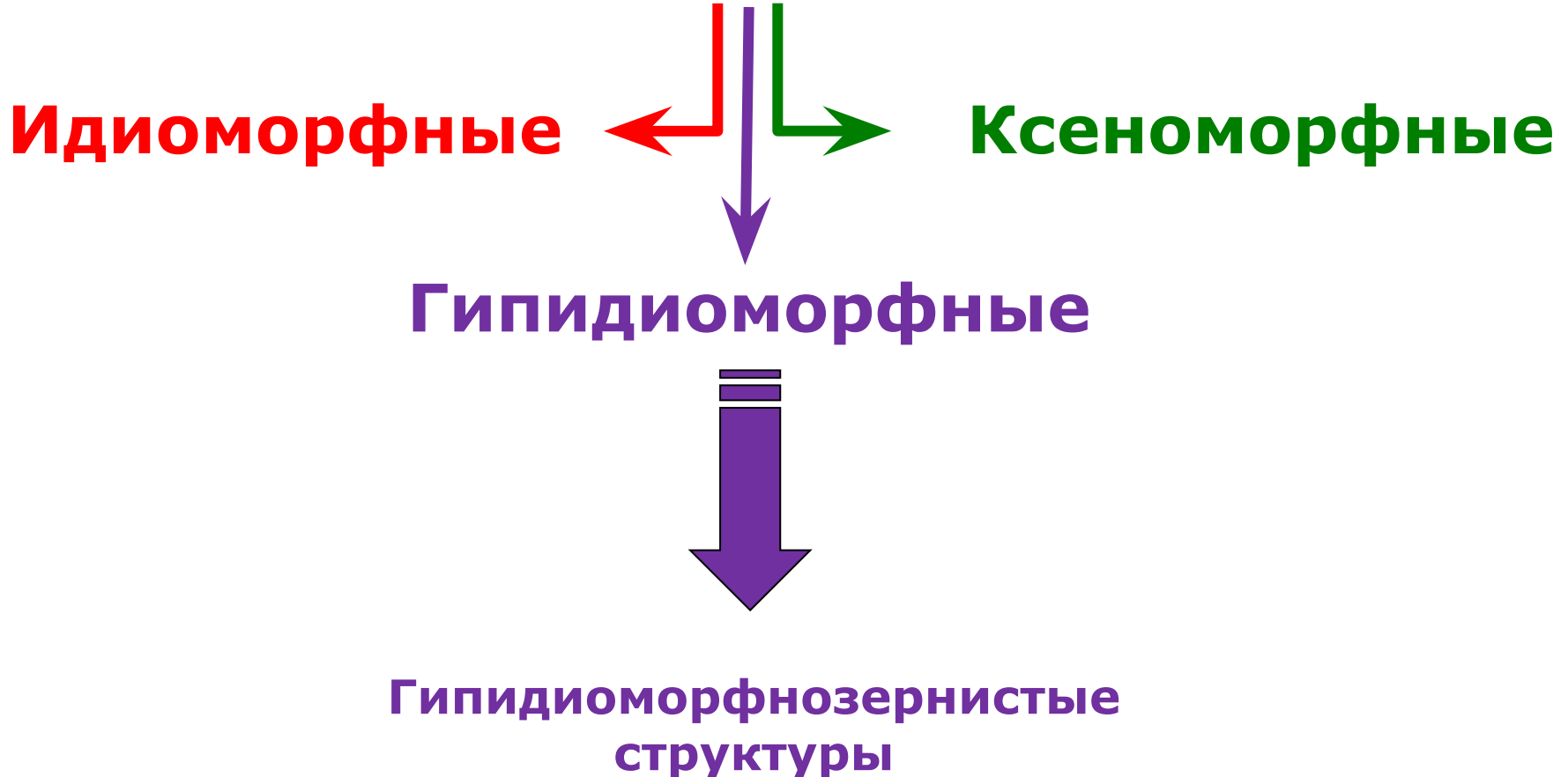
Порфиоровые

Разделение структур по форме составных частей и взаимоотношениям между ними

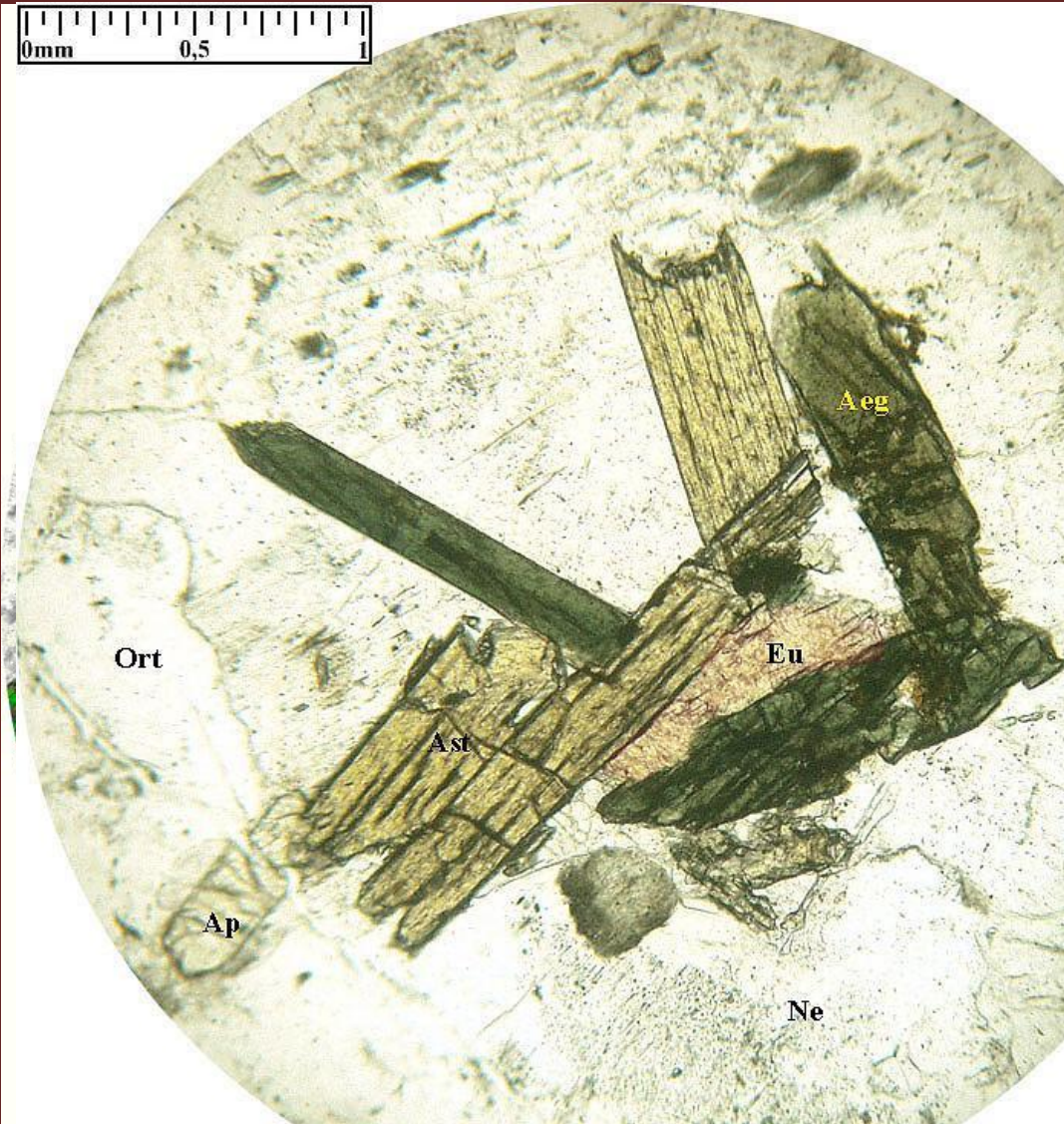
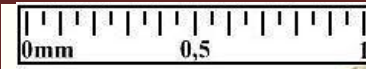
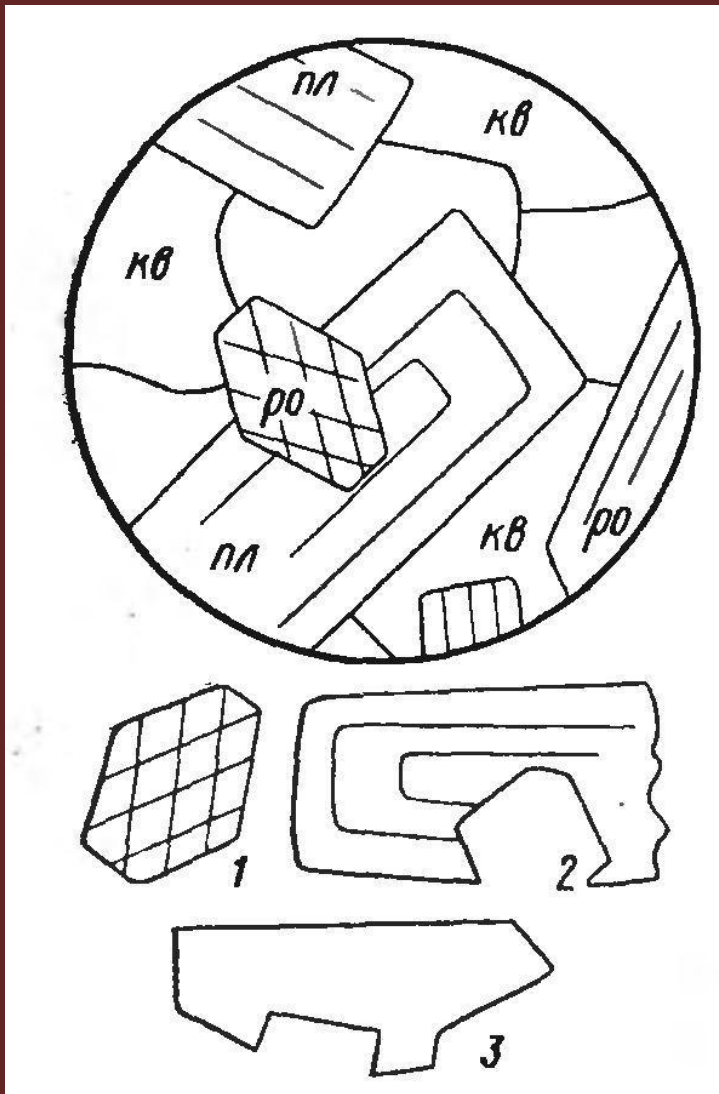
наиболее важный признак при определении конкретных видов структур, широко применяется разделение структур по степени идиоморфизма слагающих породу минералов.



Зерна минералов



**Гипидиоморфнозернистые
структуры** образованы
минералами с разной степенью
идиоморфизма



Структуры плутонических пород

Габбровая структура

Типична для пород, составной частью которых являются плагиоклазы и ферромагнетитовые минералы – оливин, пироксены.

Все минералы образуют сравнительно изометричные зерна, имеют приблизительно равную степень идиоморфизма.

Образование плагиоклазом широких таблиц связано с кристаллизацией на глубине



Офитовая структура

Характеризуется резким идиоморфизмом зерен плагиоклаза по отношению к феррическим минералам.

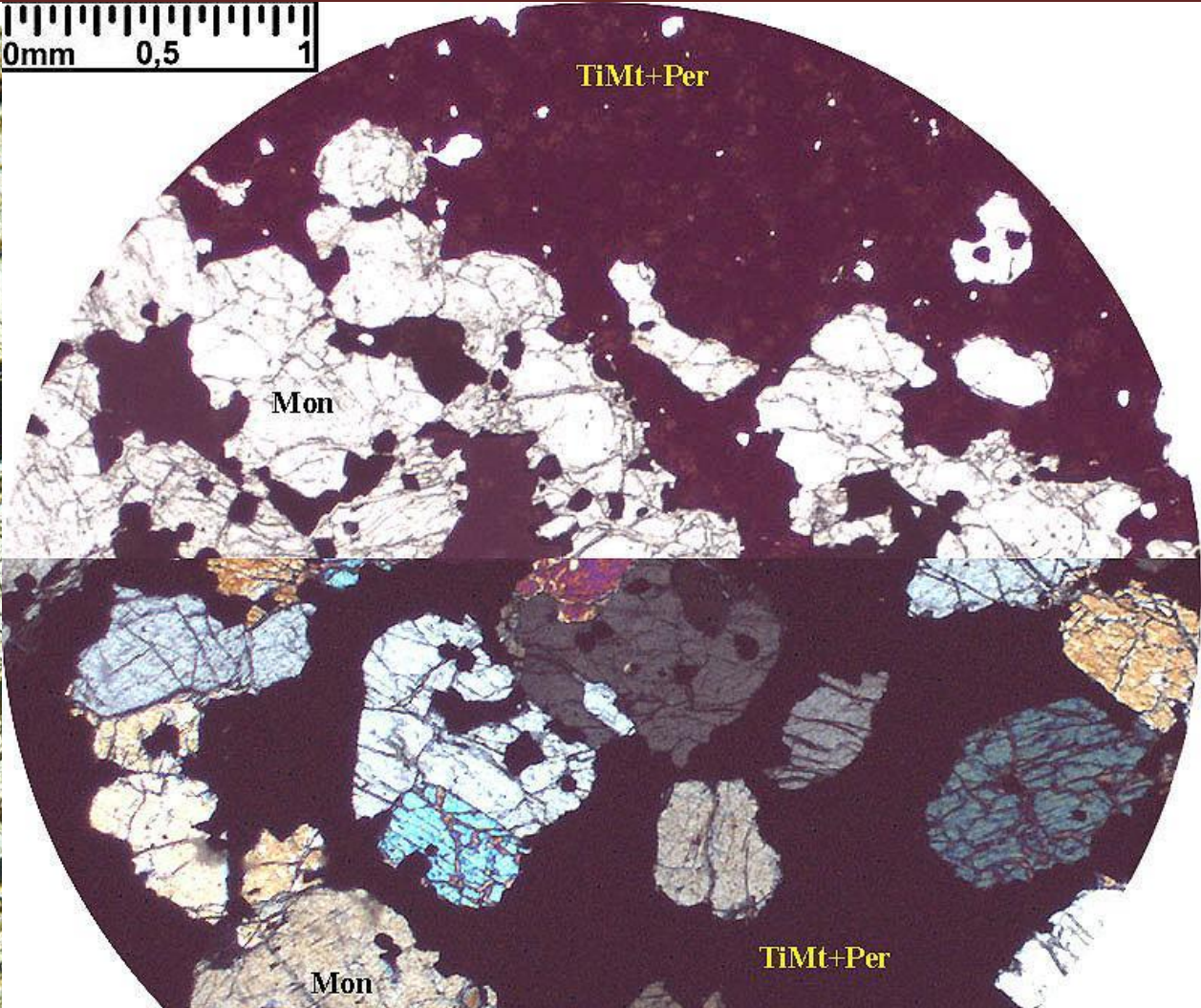
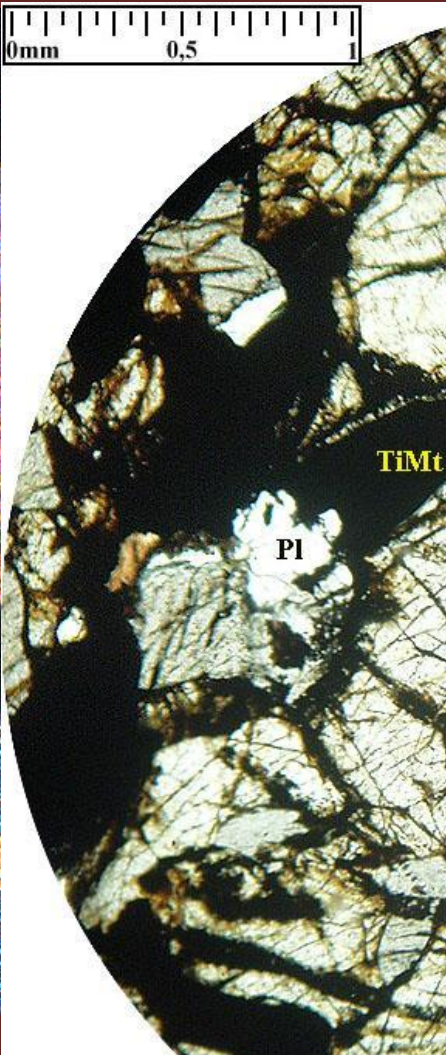
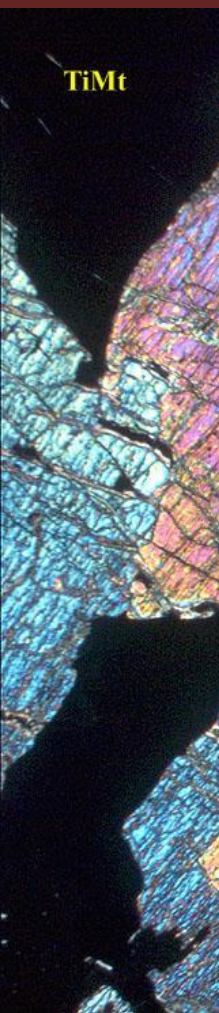
Плагиоклаз формирует лейсты, что связано с кристаллизацией в условиях быстрого охлаждения.



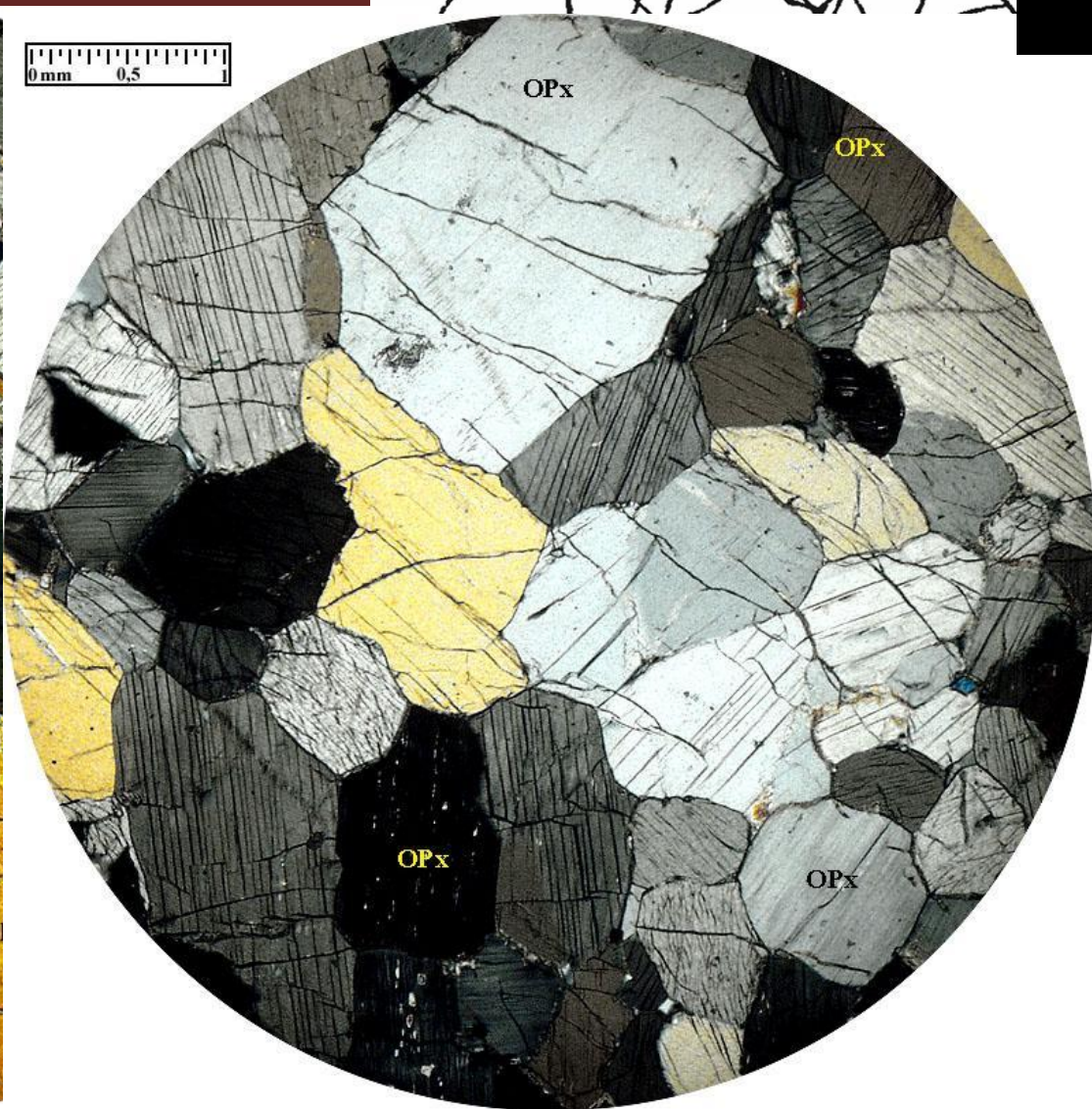
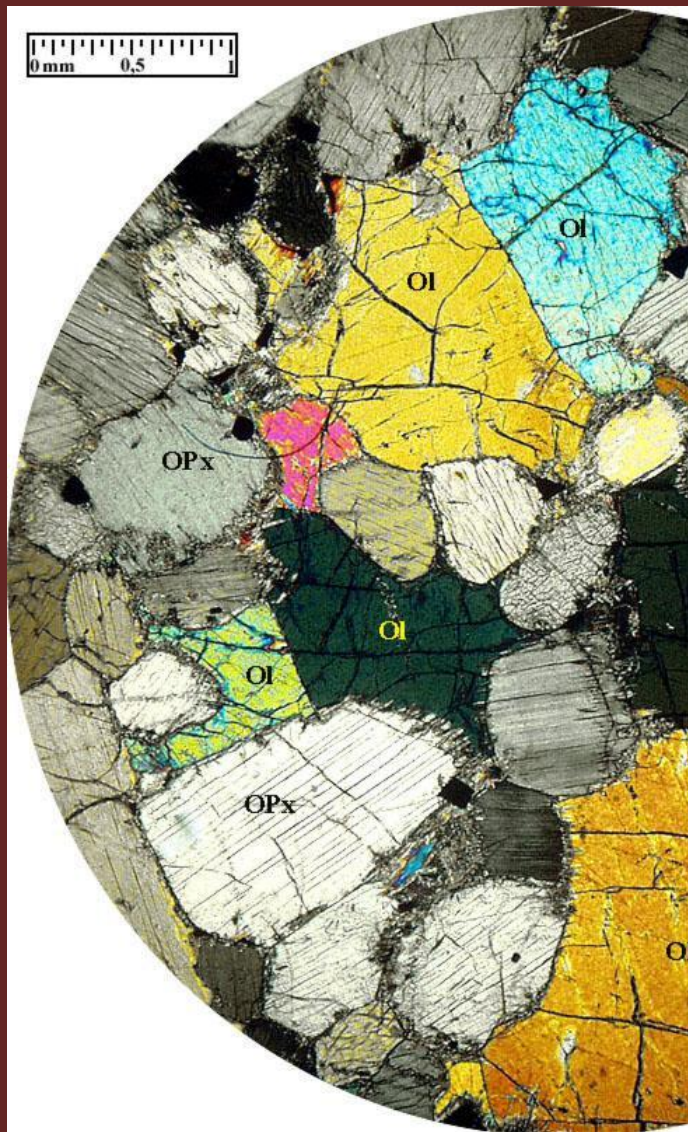


Сидеронитовая структура

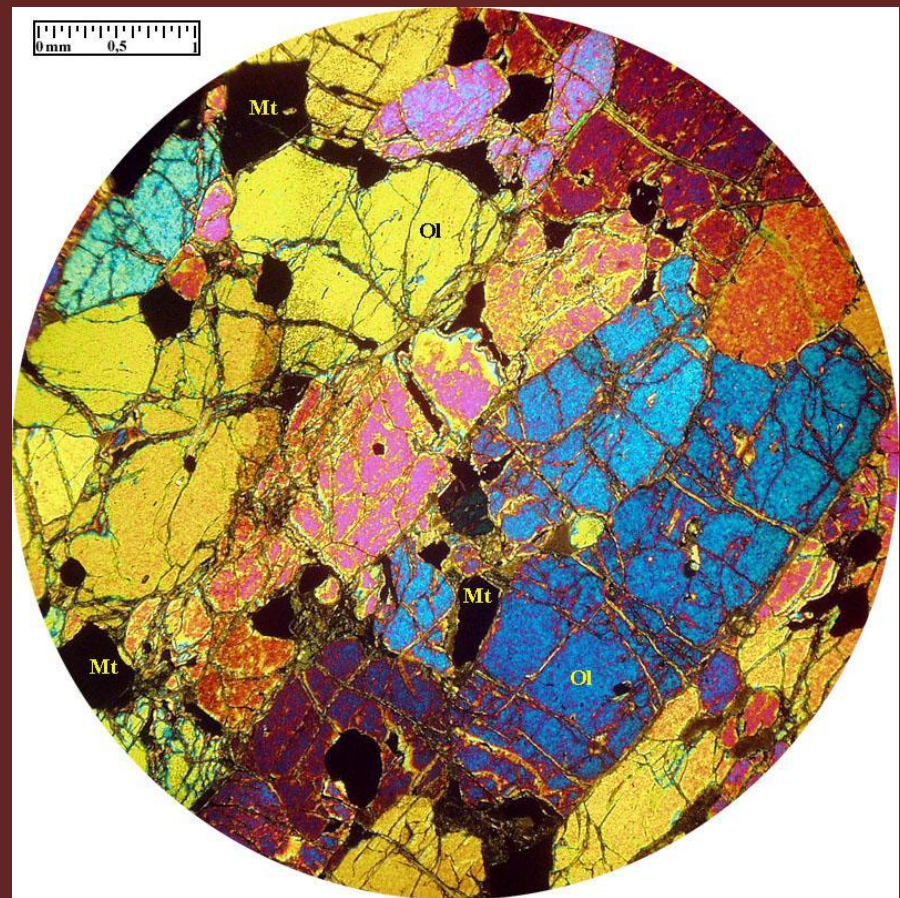
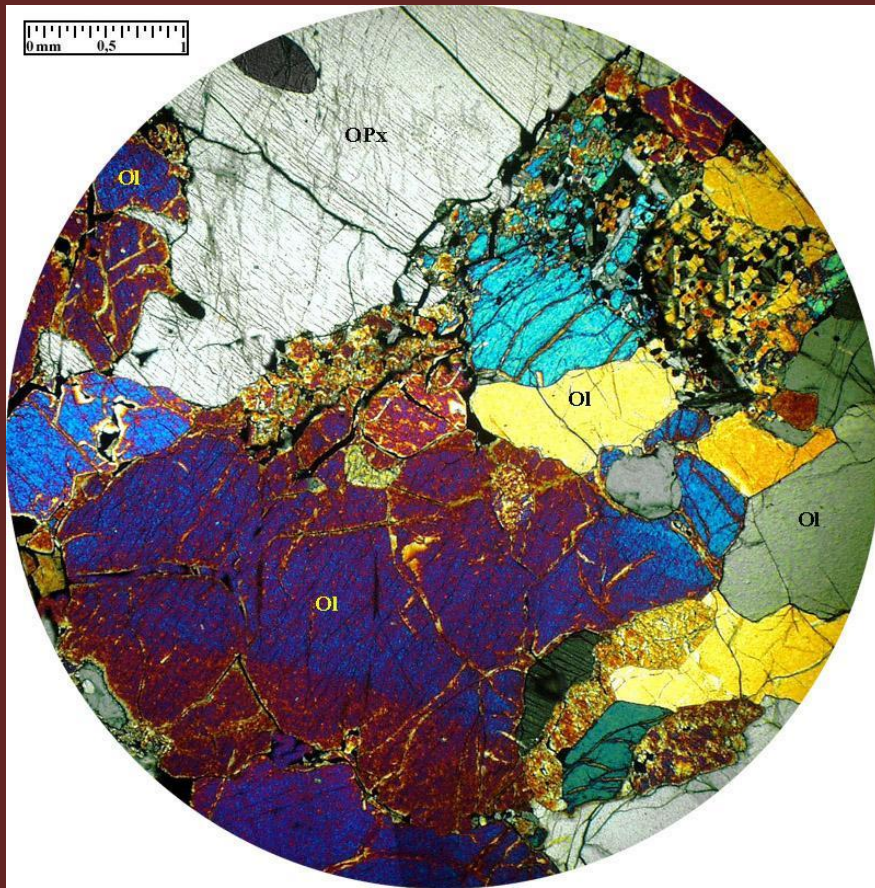
встречается в породах, богатых рудным минералом. Характерен идиоморфизм силикатов относительно рудных минералов, заполняющих промежутки между силикатами.



Панидиоморфнозернистая структура



ОЛИВИНИТ



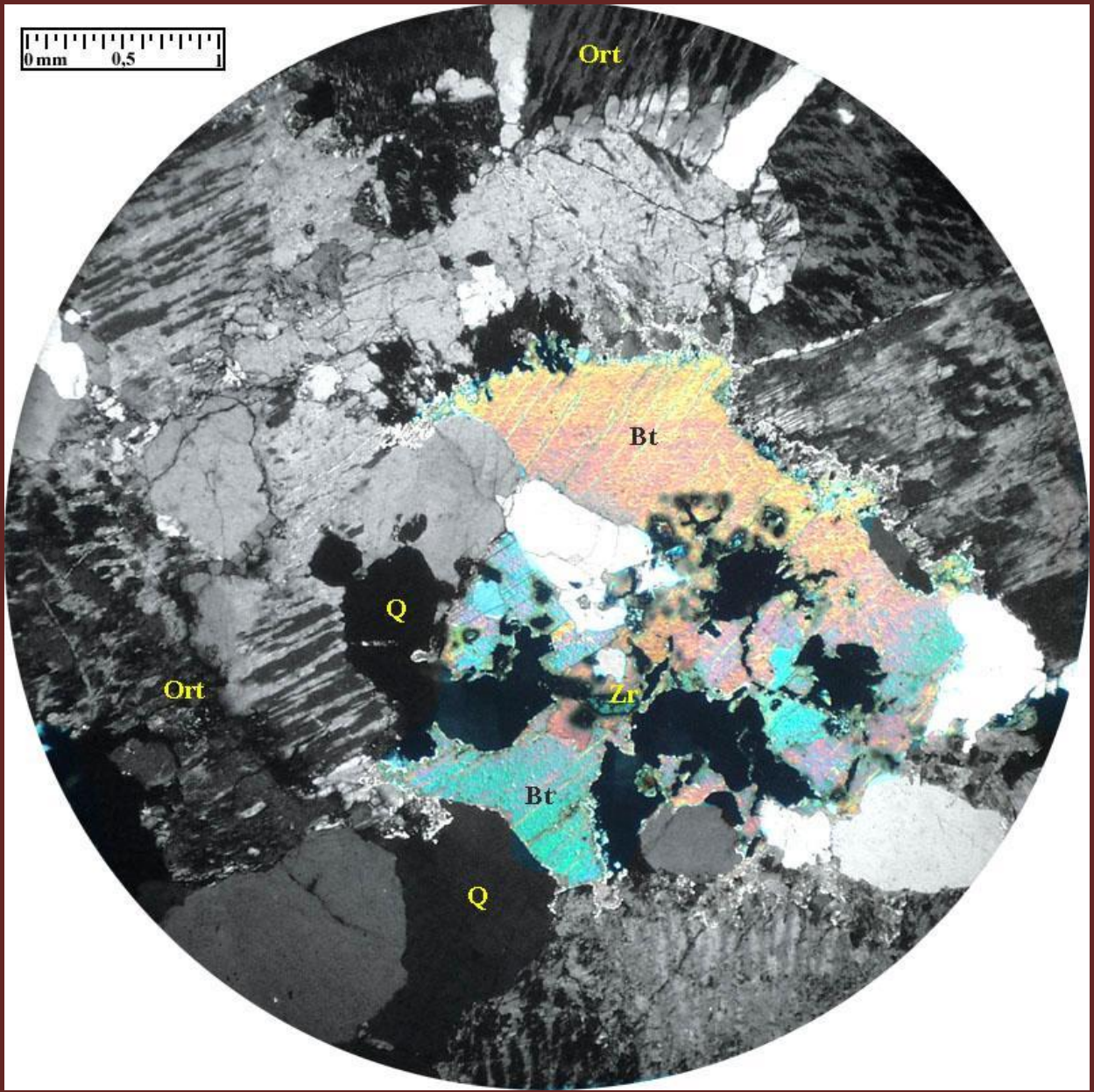
Гранитная структура –

типична для гранитов, сиенитов, диоритов.

Главные составные части представлены здесь гипидиоморфными полевыми шпатами, ксеноморфным кварцем. Наиболее идиоморфными являются темноцветные минералы.



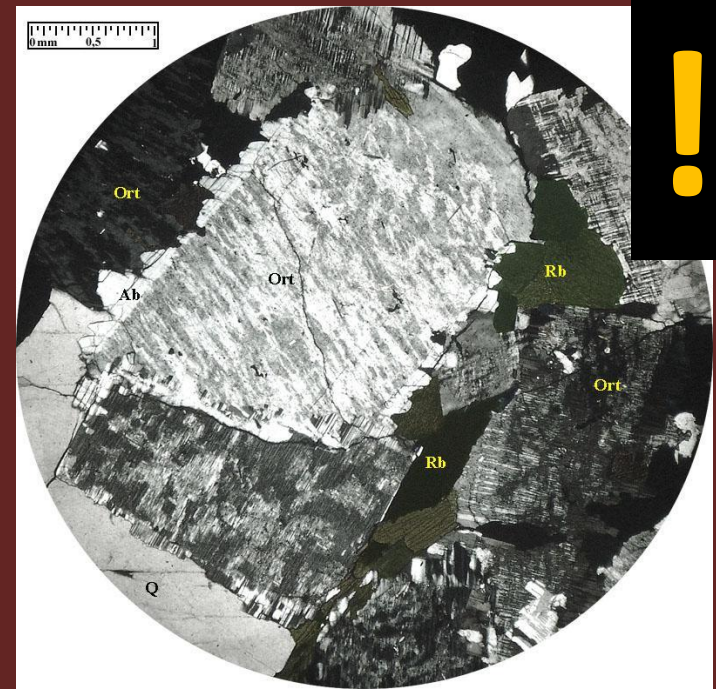
0 mm 0.5



Агпаитовая структура

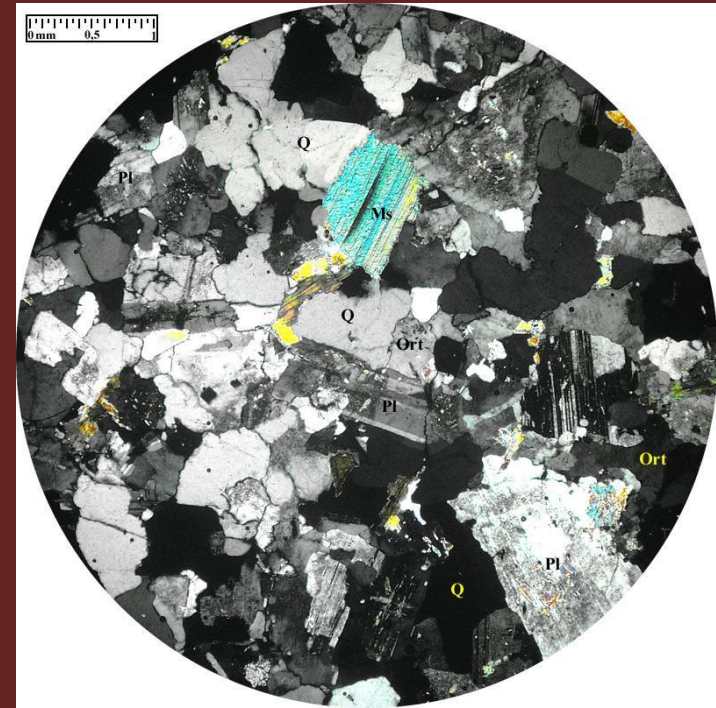
также относится к гипидиоморфнозернистым, но распространена преимущественно в нефелиновых сиенитах.

Степень идиоморфизма лейкократовых минералов выше, чем темноцветных.



Аплитовая структура

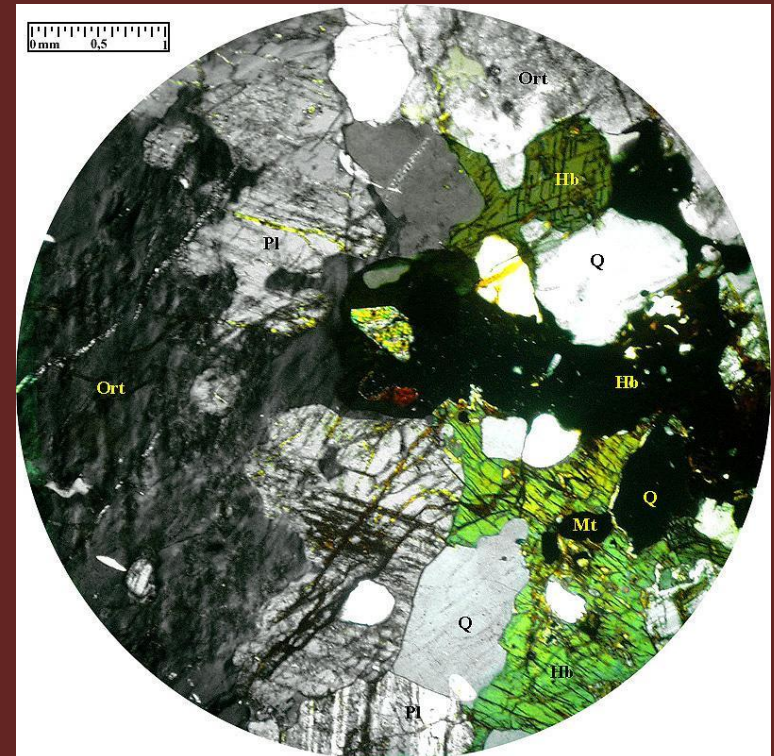
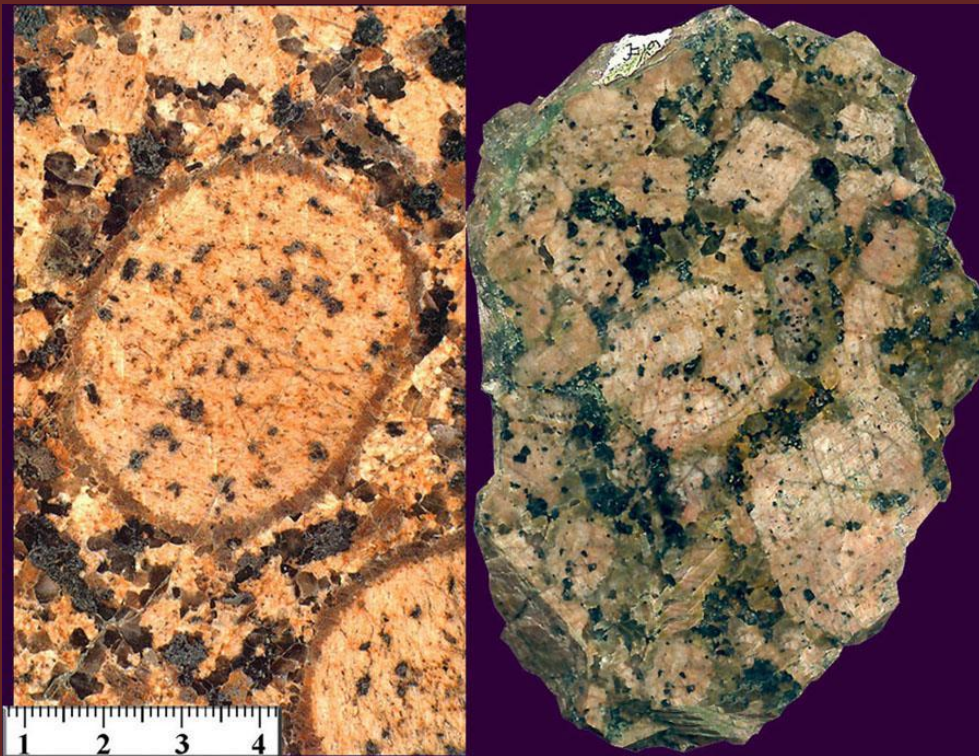
встречается в жильных гранитах и характеризуется тем, что степень идиоморфизма кварца выше, чем у полевых шпатов.



Структура рапакиви

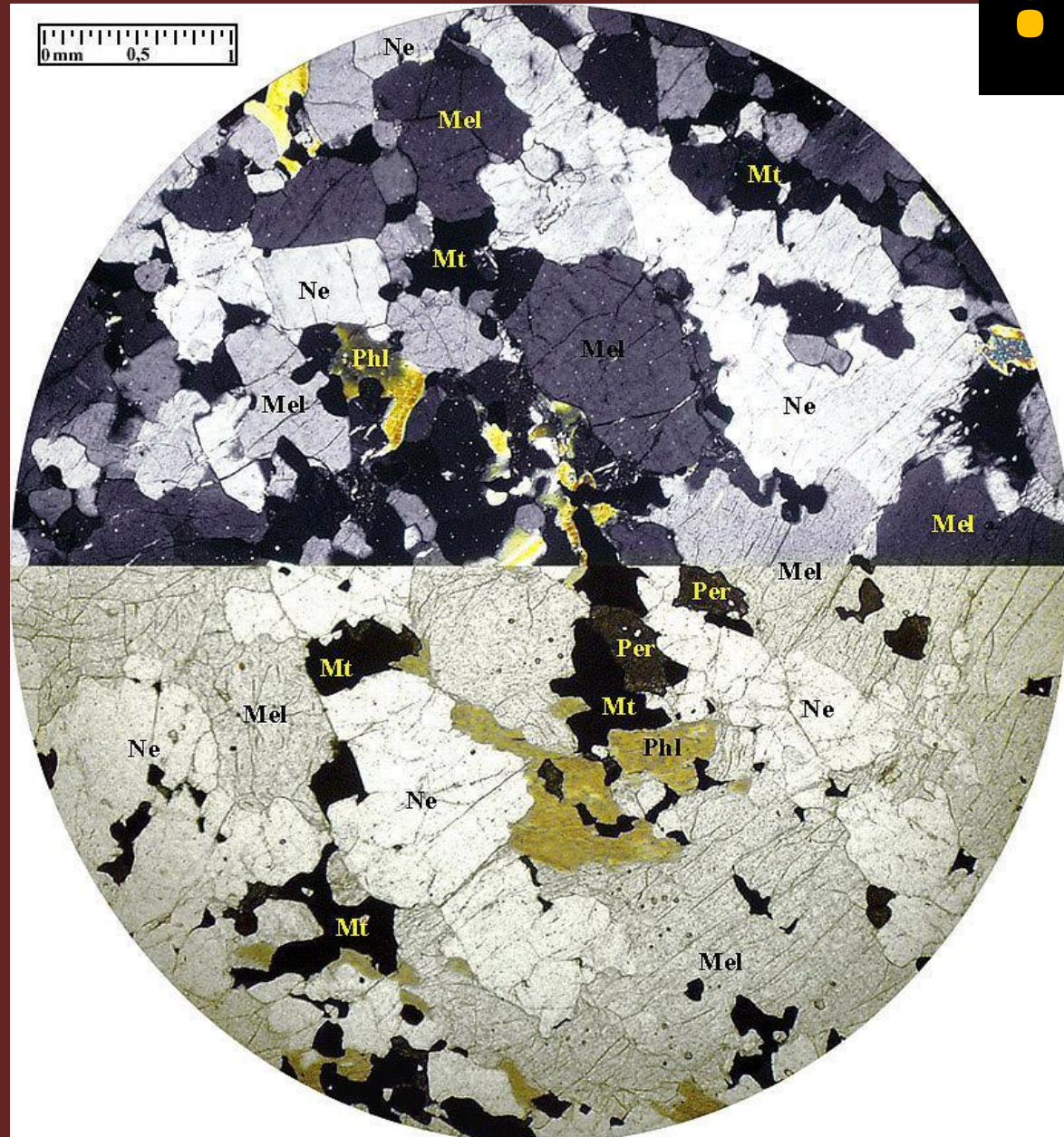
Характерна для гранитов рапакиви. В породе присутствуют овоидальные кристаллы Fsp, окруженные оболочкой Pl

Разновидность порфиридной структуры.



Аллотриоморфнозернистые структуры

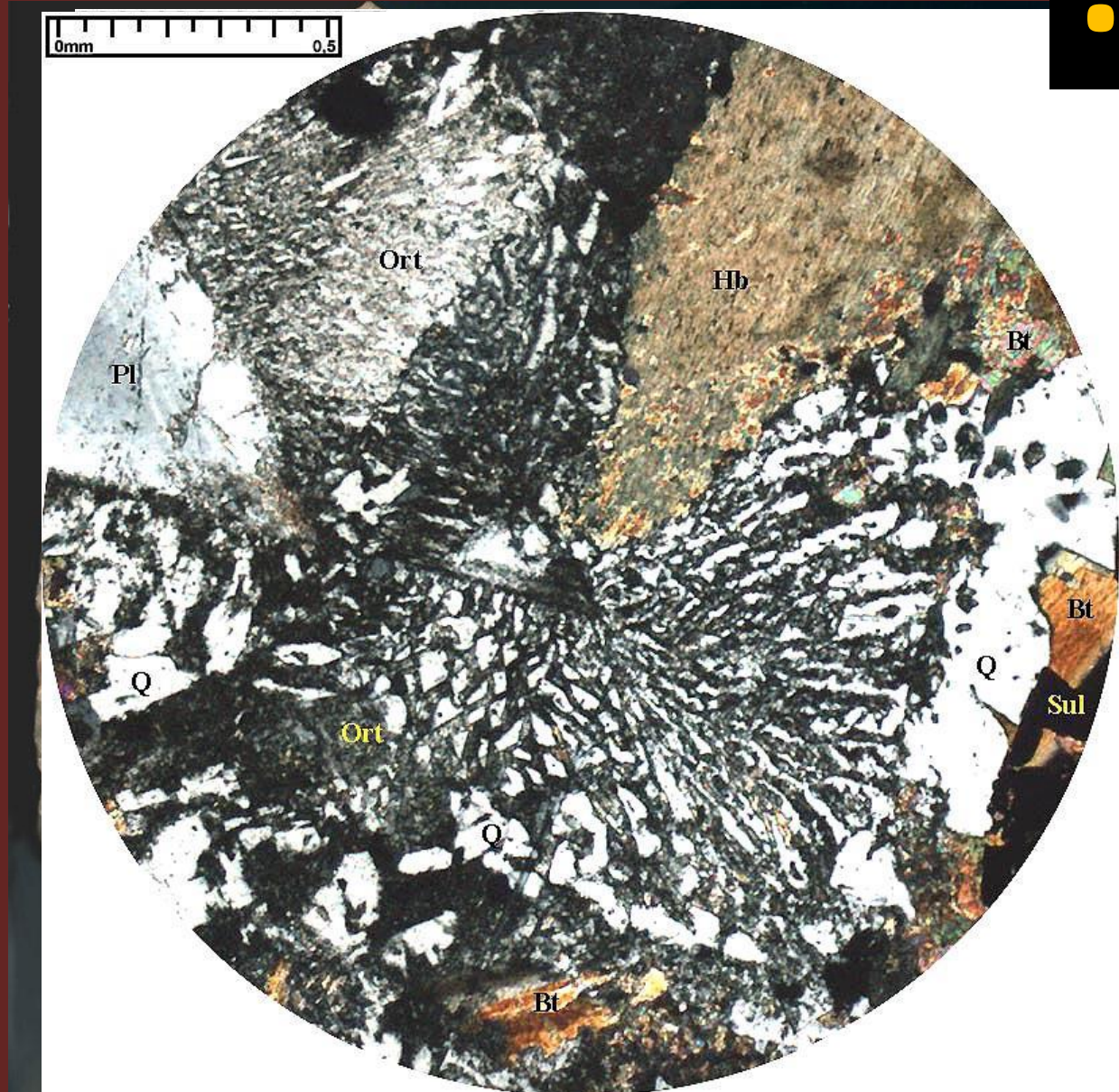
Характеризуются тем, что все их составные части ксеноморфны.



Графическая структура (письменная)

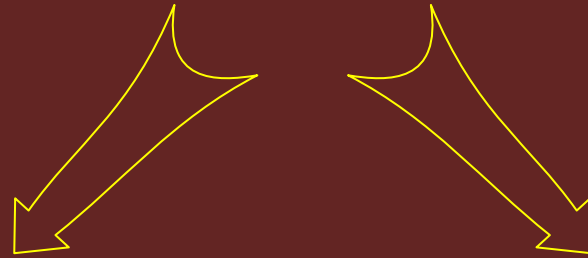
характеризуется проращением двух минералов, образующих особенную письменную структуру. Зерна имеют одинаковую оптическую ориентировку на значительном протяжении.

Эта структура часто возникает при эвтектоидной кристаллизации минералов



Неполнокристаллические структуры

Характеризуются наличием стекла – образуются в результате быстрого охлаждения магм. Характерны для вулканитов.



Афировые

Не содержат
вкрапленников

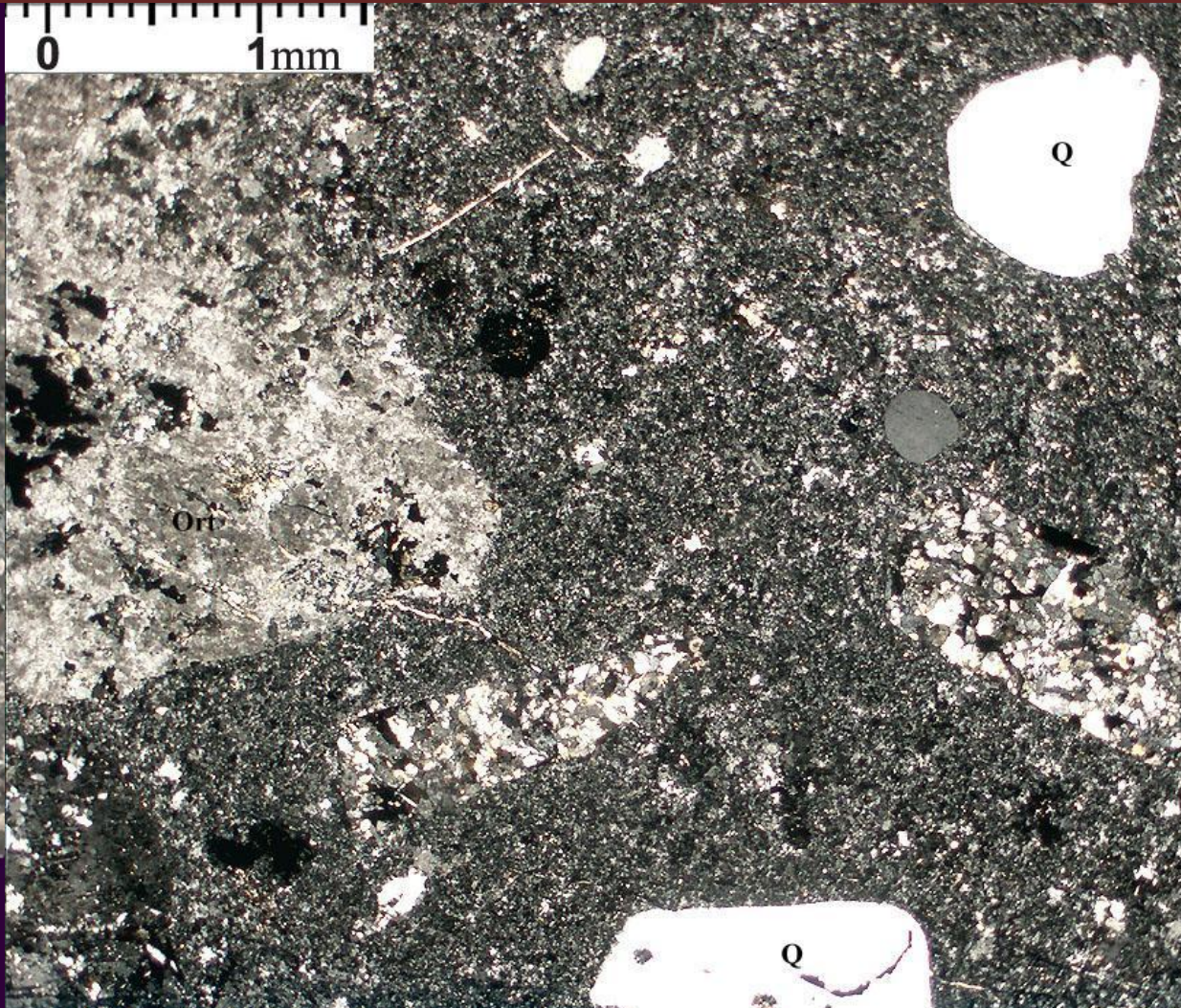


Порфировые

Содержат
вкрапленники
(фенокристаллы),
располагающиеся в
основной массе

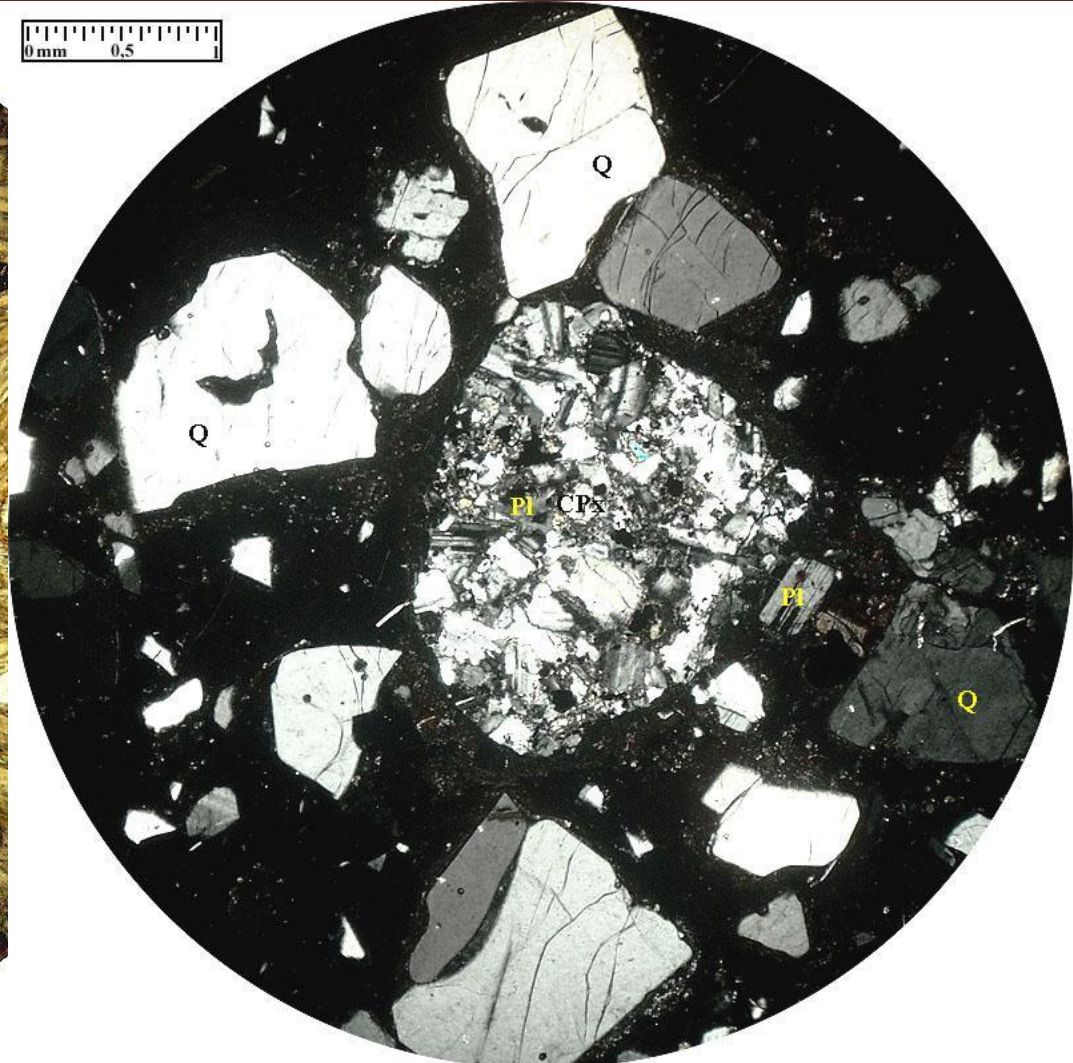
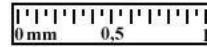
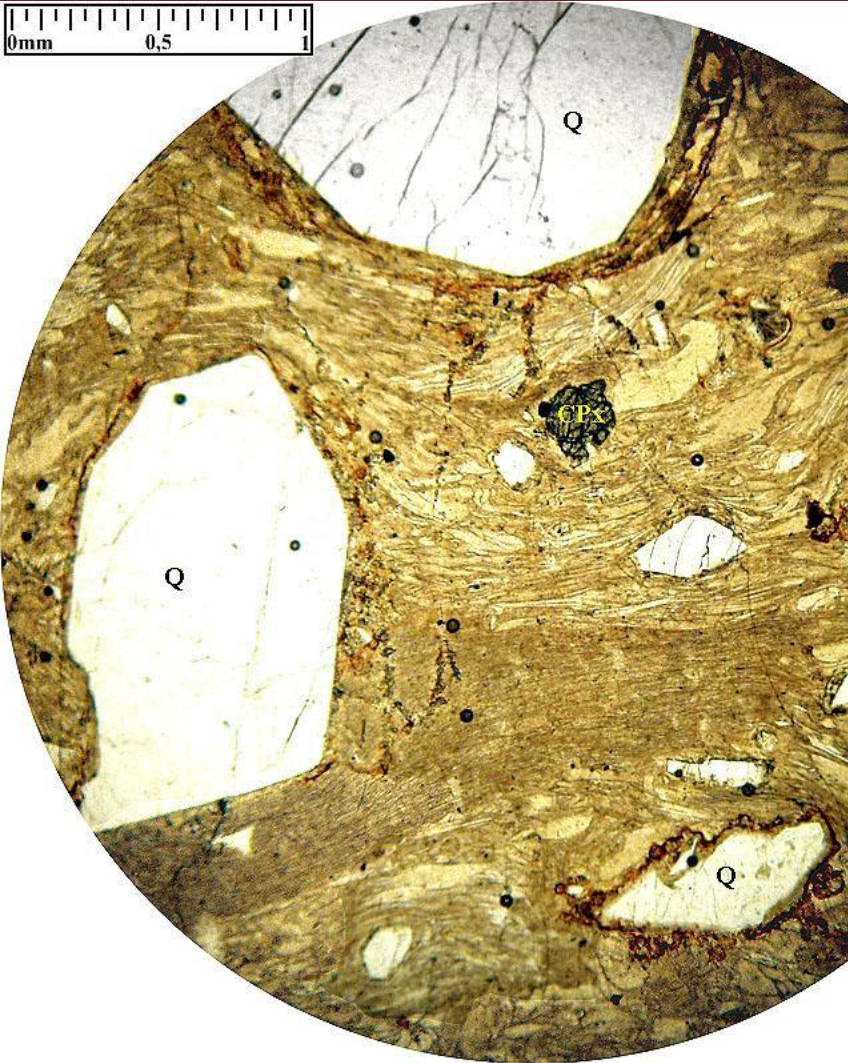
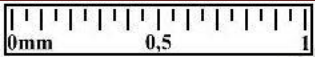


Неполнокристаллические структуры



По строению основной массы выделяют:

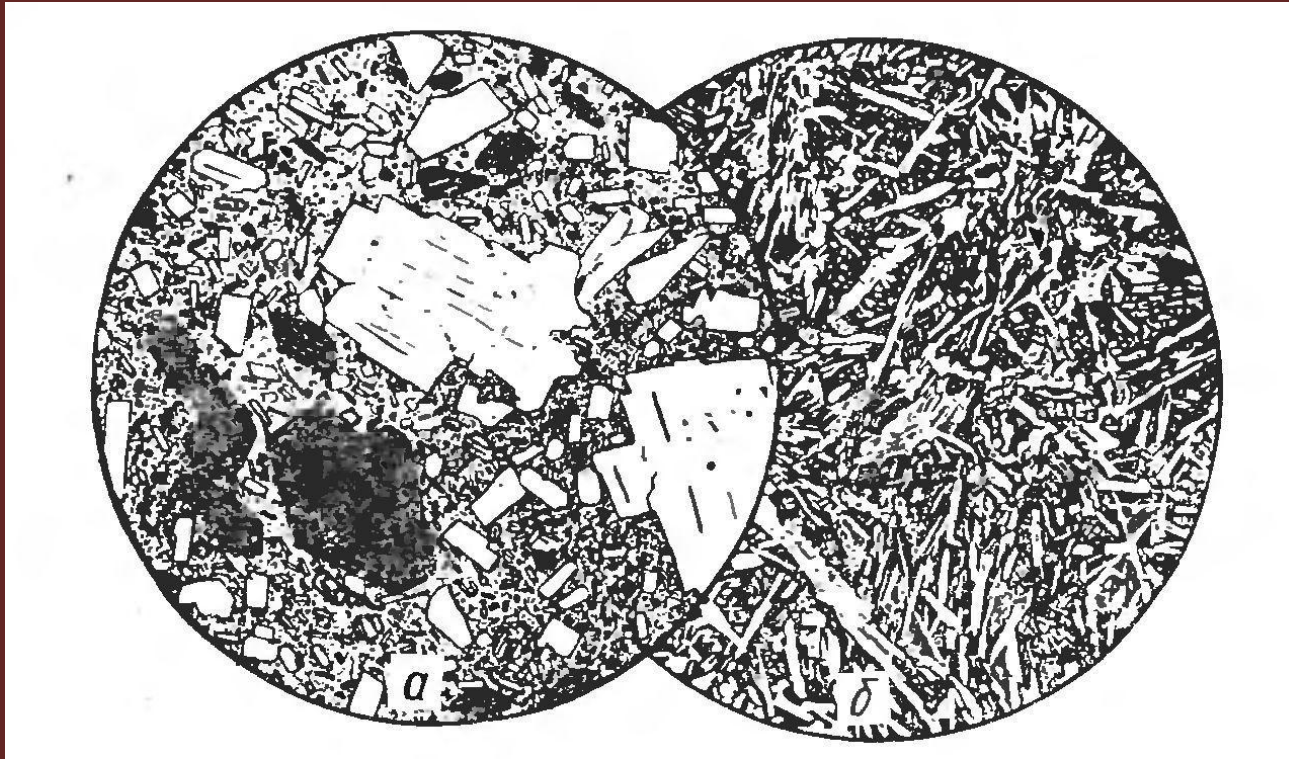
- Микролитовые
- Скрытокристаллические
- Стекловатые



Микролитовые структуры основной массы

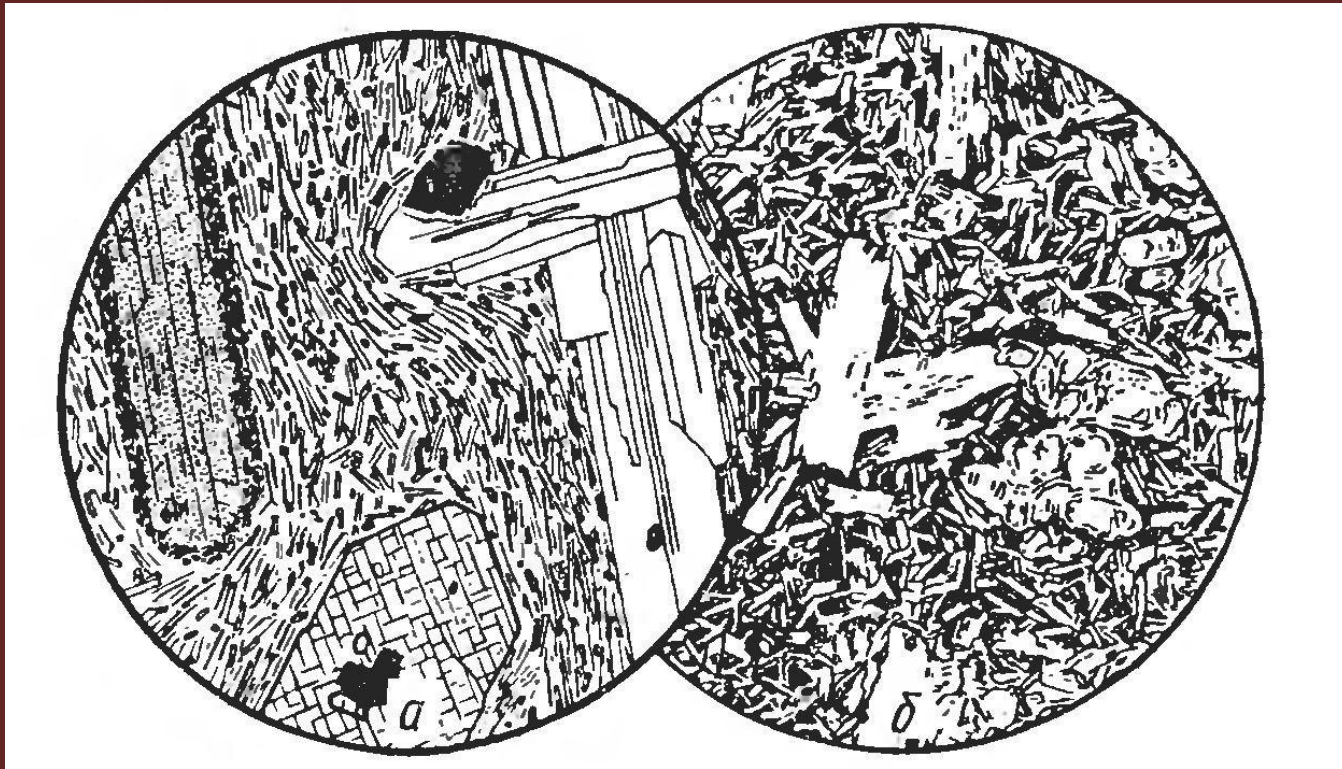
Интерсертальная структура характеризуется наличием большого числа микролитов плагиоклаза, между которыми располагаются мелкие зерна темноцветных минералов и стекло.

Толеитовая структура сходна с офитовой, но в промежутках встречается стекло.



Трахитовая структура – вся основная масса породы сложена микролитами K Fsp и Pl

Пилотакситовая структура – микролиты сложены плагиоклазом



Рогообманковый порфирит,
структура основной массы
пилотакситовая

Спилит, структура основной
массы апоинтерсертальная



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 Geosphere and Biosphere Programme (IGBP). Membership is open to countries or defined regions. IUGS works through topic specific Commissions, Task Groups, and Initiatives.

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

Схема классификации Магматических пород Международного геологического союза (IUGS)

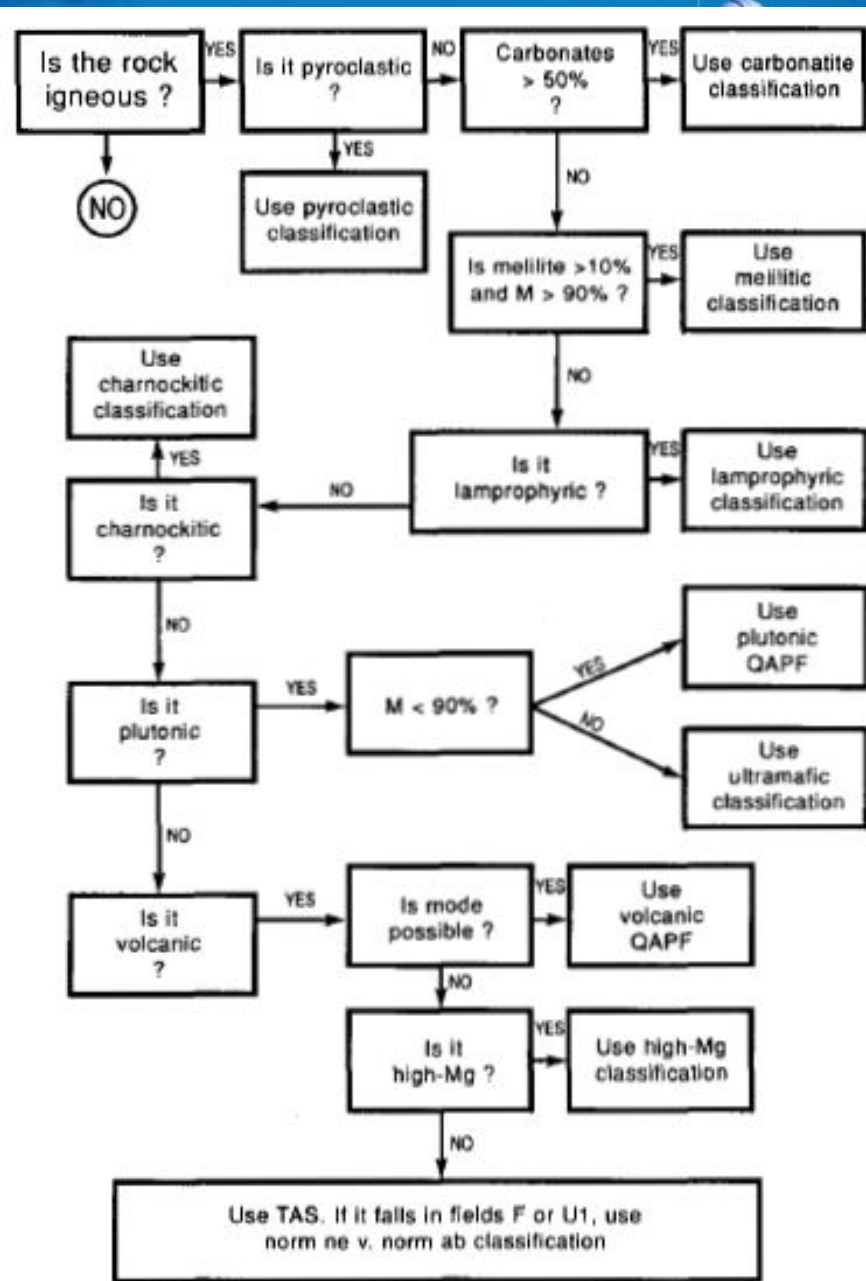
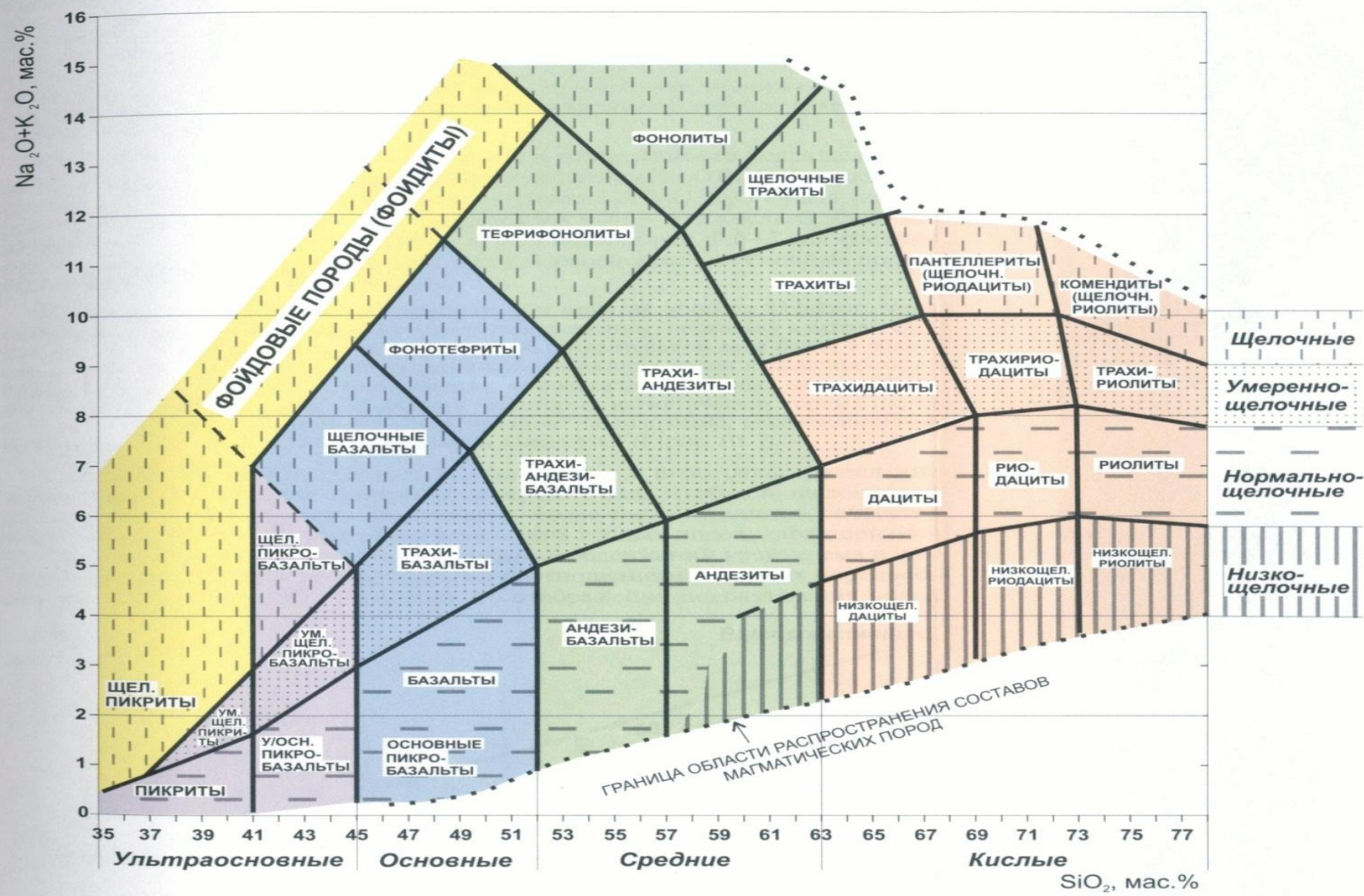


Диаграмма TAS = Total Alkali – Silica = сумма щелочей-кремнезем



По содержанию SiO_2 выделяют породы:

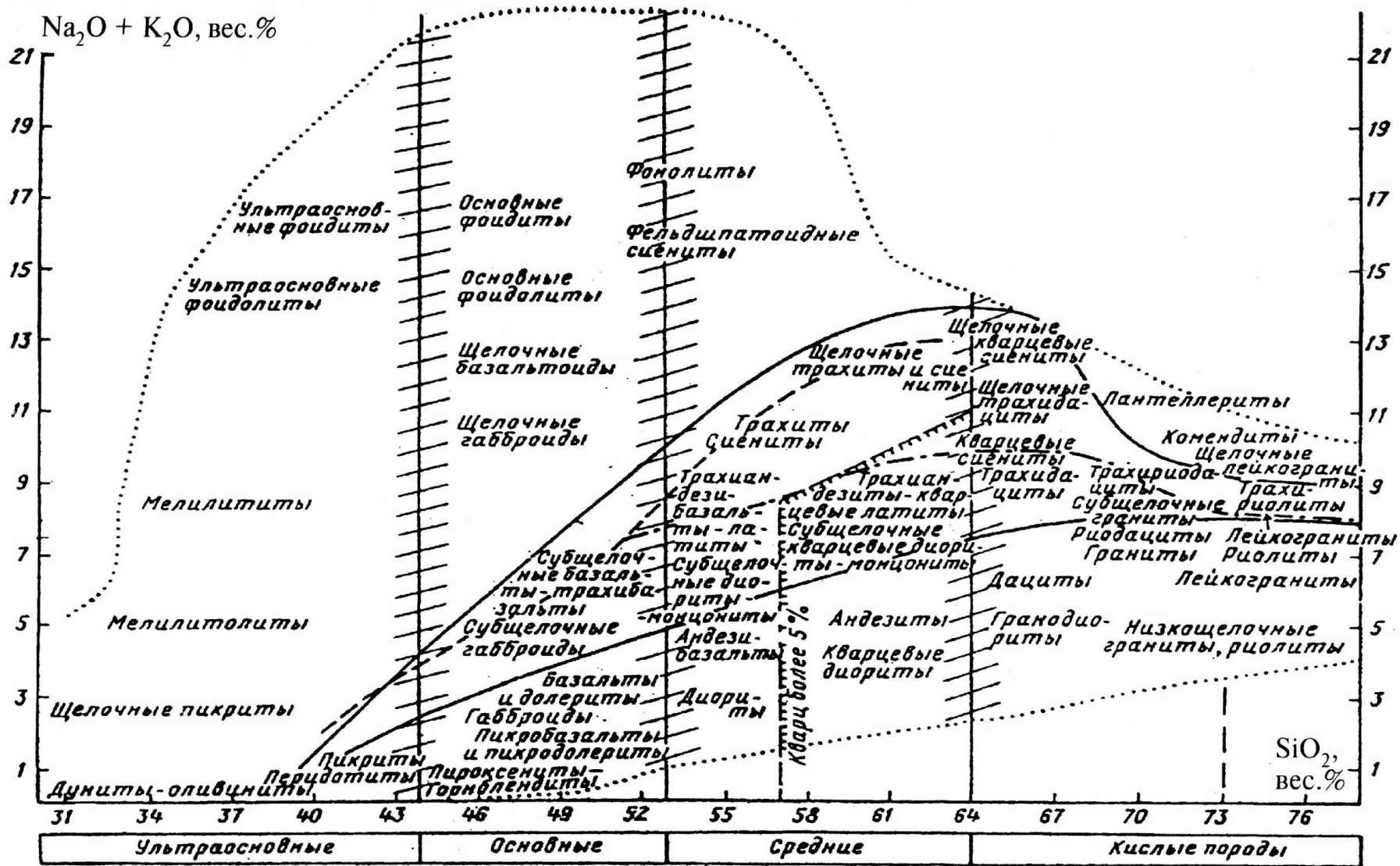
Низкокремнеземистые	–	< 30% SiO_2
Ультраосновные		30-45 % SiO_2
Основные		45-53% SiO_2
Средние		53-64% SiO_2
Кислые		64-78 % SiO_2
Ультракислые		> 78% SiO_2

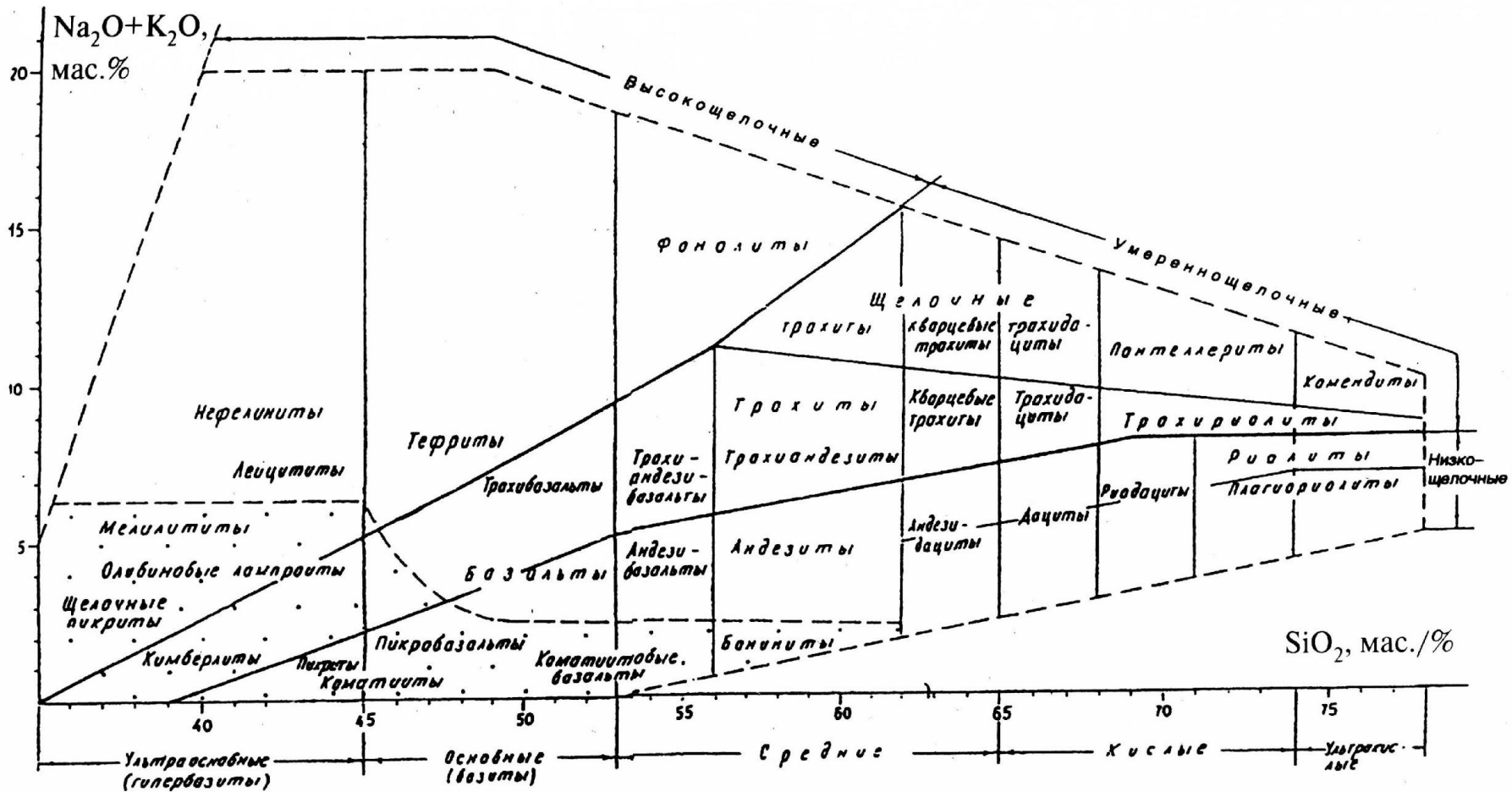
По содержанию Al_2O_3 выделяют ряды:

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.



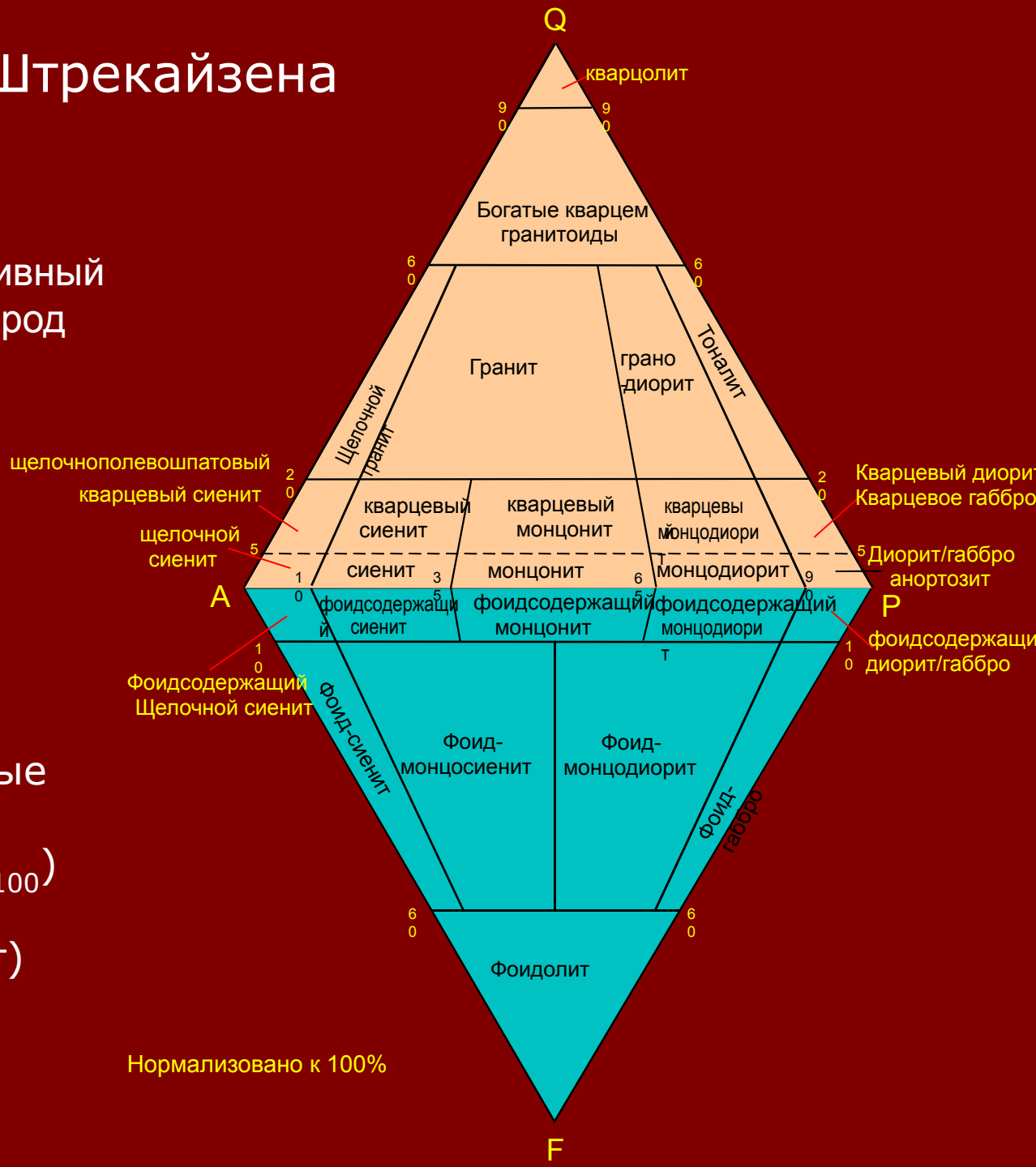


Классификация горных пород по минеральному составу

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)

Тройные диаграммы и их использование

A = Z10 Y20 X70

Порода:

35% плагиоклаз

15% кварц

15% амфибол

10% биотит

20% KFsp

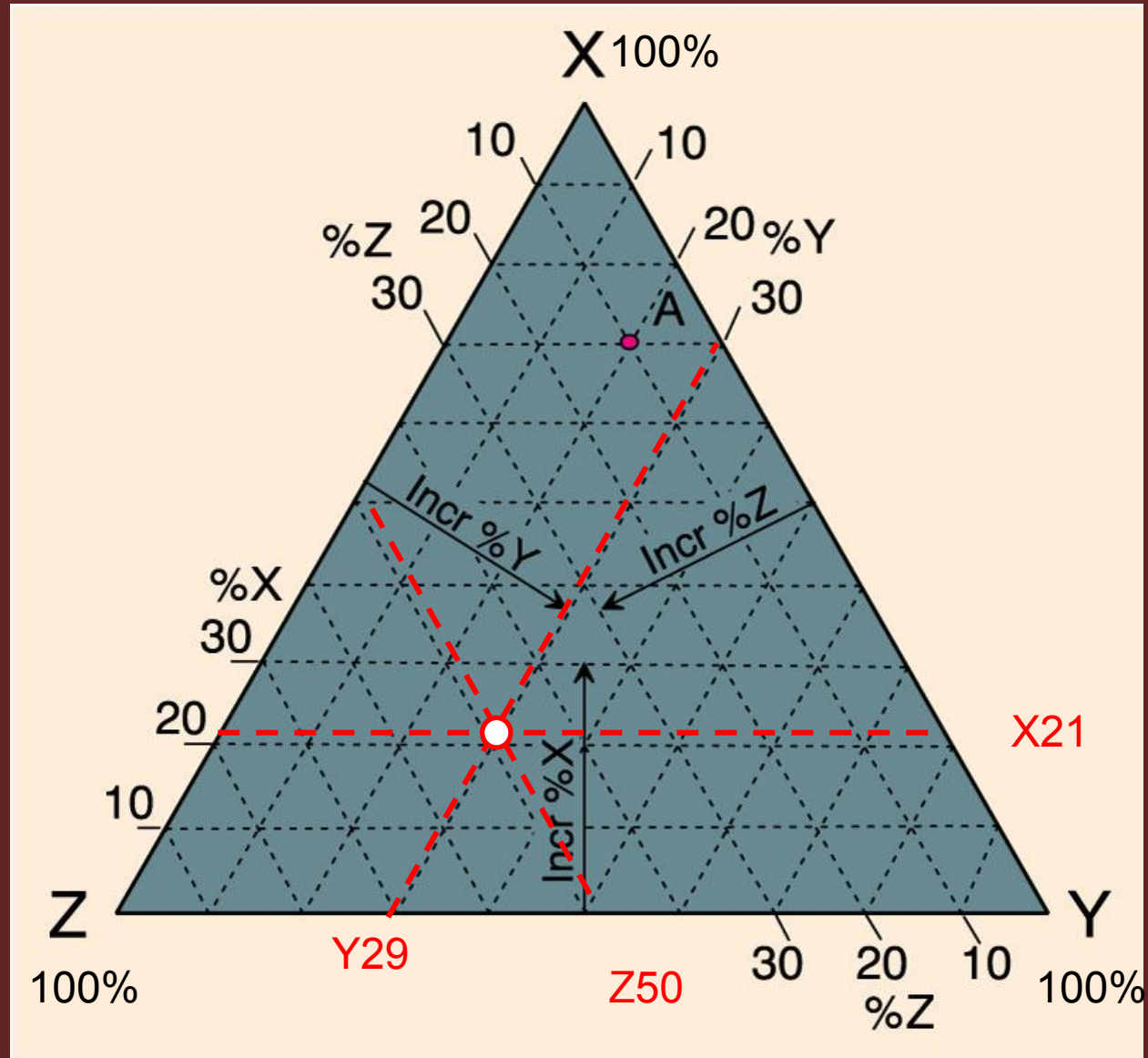
Z=KFsp, X=Qtz, Y = Pl

Z+X+Y=70% объема породы

Z= 50

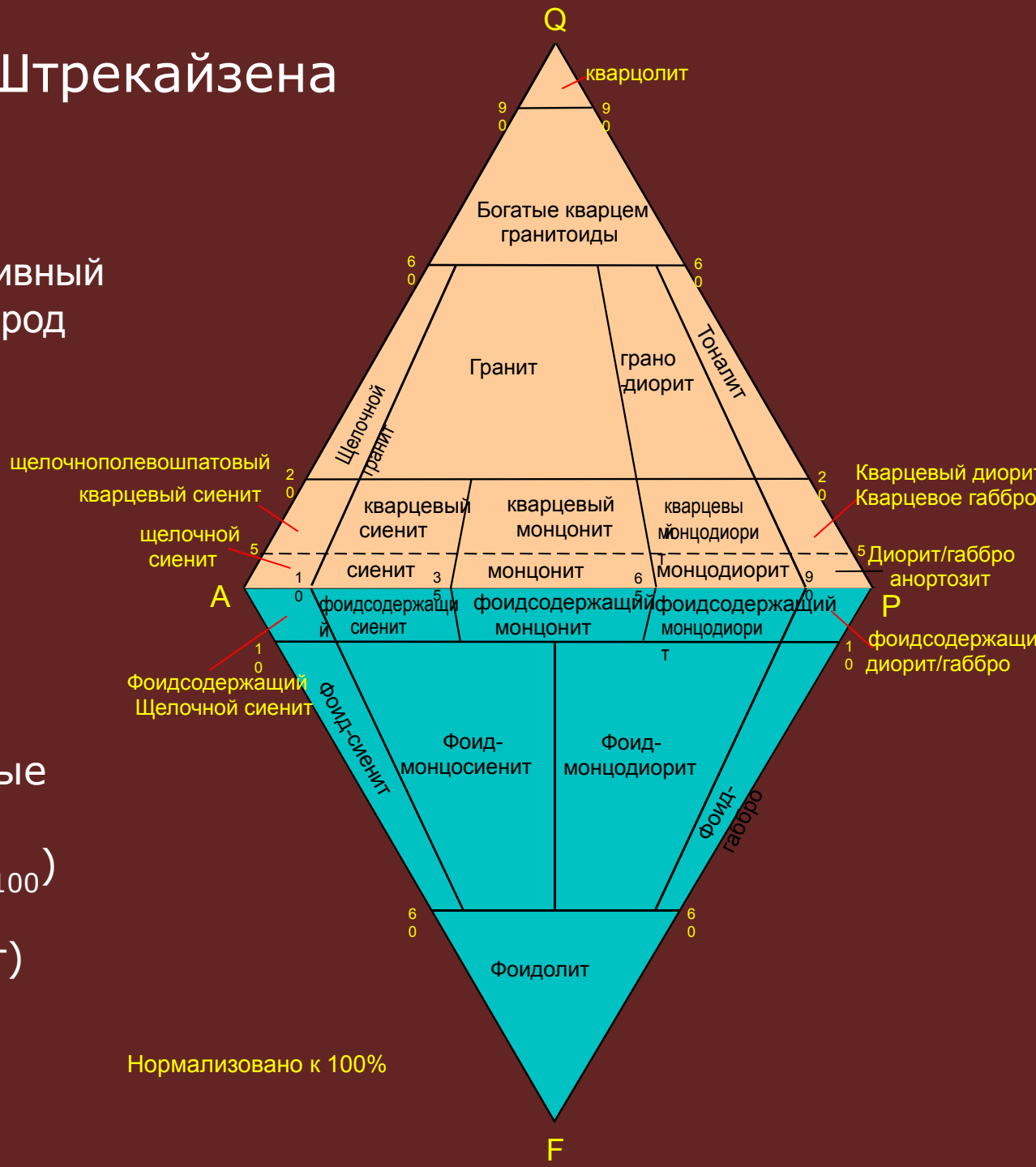
X= 21

Y= 29



Классификация Штрекайзена IUGS

Модальный или нормативный
Минеральный состав пород



Q – кварц

A – щелочные полевые шпаты

R – плагиоклаз (An_{5-100})

F – фельдшпатоиды (нефелин, лейцит)

Полнокристаллические магматические породы

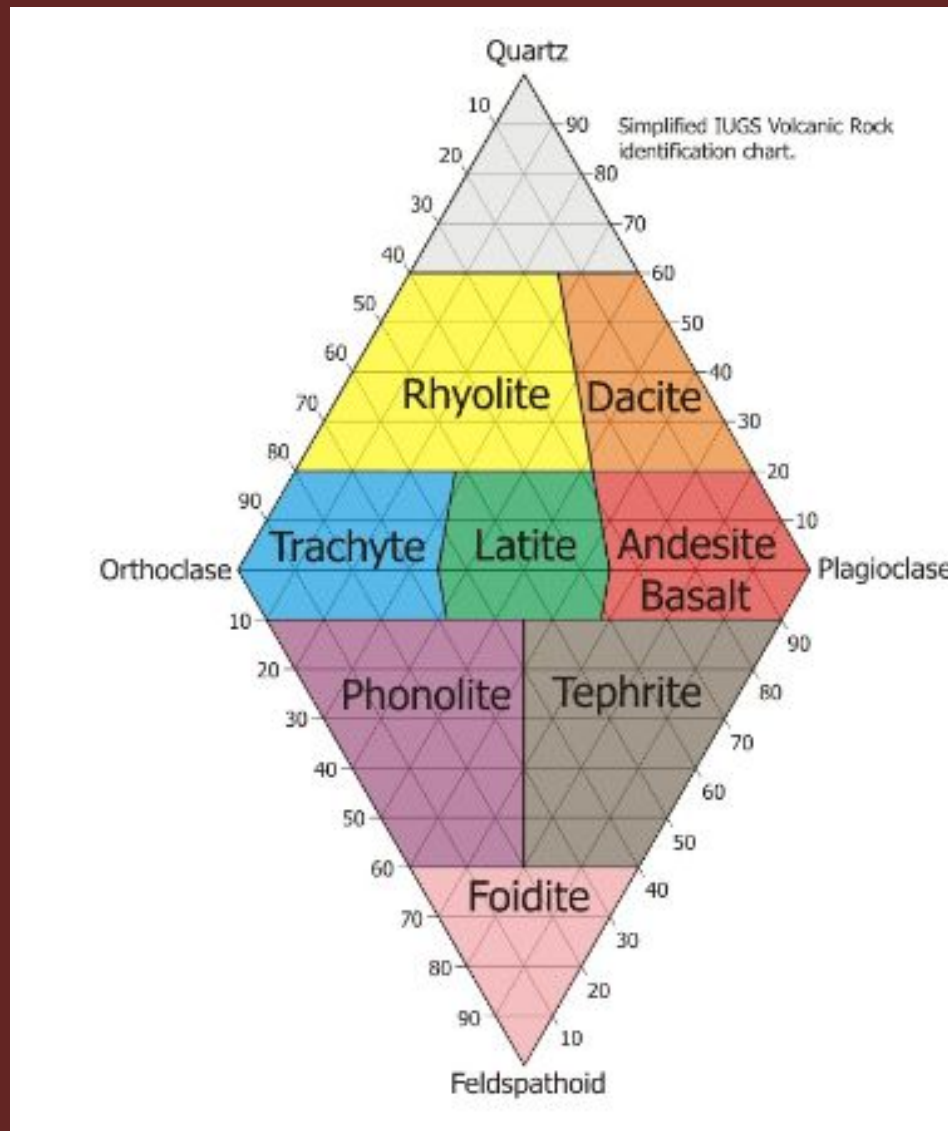
Ультраосновные породы



Можно ли классифицировать вулканические породы с использованием диаграммы Штрекайзена?

Можно.

С использованием данных о нормативном минеральном составе



Для идентификации горной породы необходимо знать

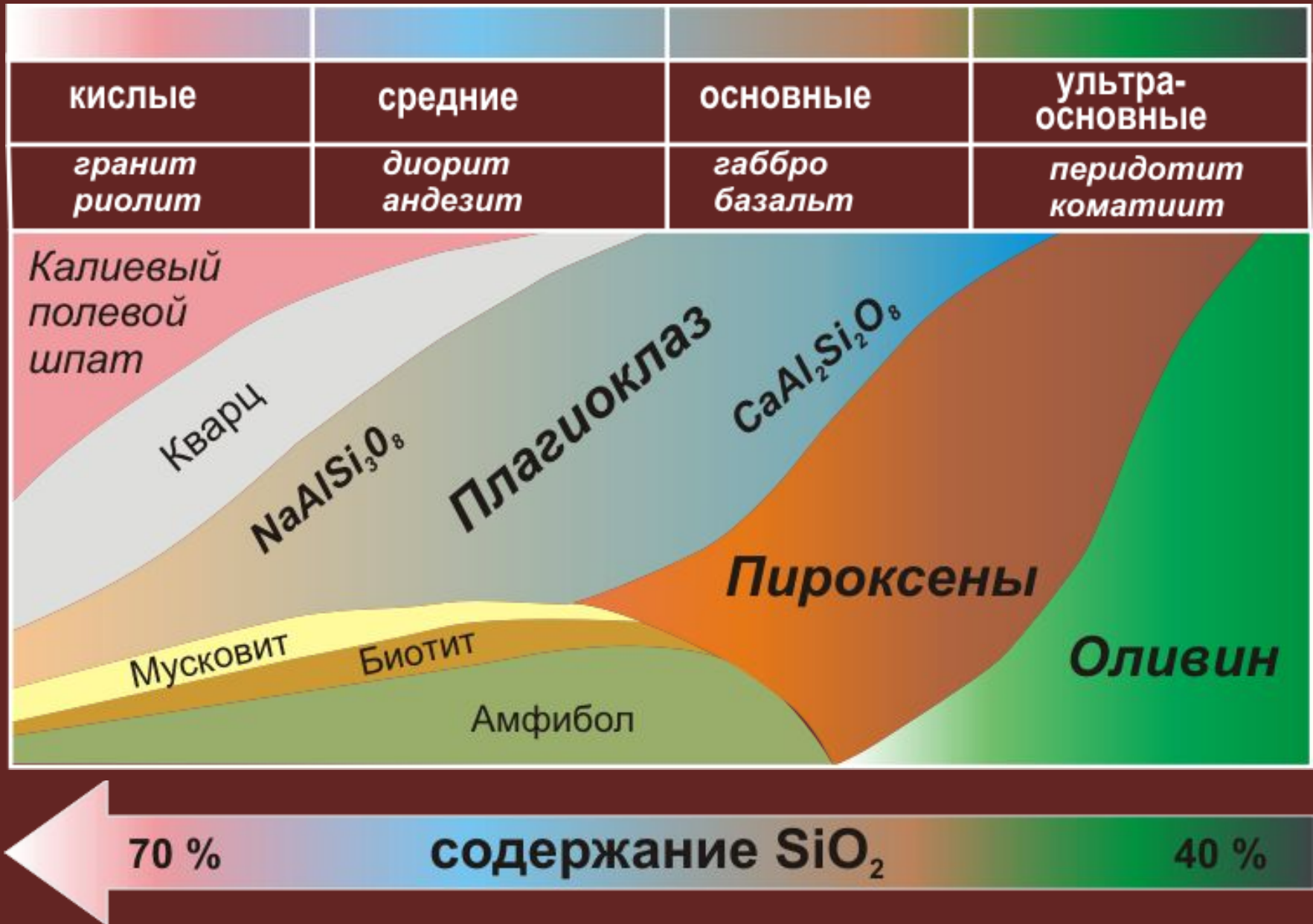


1. Геологическое положение
2. Структуру
3. Минеральный состав
4. Химический состав



**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

