

# Лекция № 9

---

## Систематика и номенклатура магматических пород

---

Традиционно для магматических пород проводят определение их химического и минерального составов.

**Химический состав** горных пород изучается как с помощью классических методов химического анализа, так и с привлечением современных высокоточных методов: рентгено-флюоресцентного (XRF) анализа и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Последний метод используется для анализа содержаний элементов в диапазоне от  $10^{-12}$  до  $10^{-2}$  мас.% и для измерения отношений изотопов.

**Минеральный состав** горных пород определяется путем визуального изучения геологических образцов (преимущественно plutonic горные породы) и при исследовании шлифов под микроскопом.

# Химический состав магматических пород

Силикатные магматические породы состоят из **главных оксидов**, содержание которых задается в массовых (весовых) процентах:

30–80 SiO <sub>2</sub>	до 0,5 MnO	до 10 K <sub>2</sub> O
до 5 TiO <sub>2</sub>	до 50 MgO	до 2 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
до 30 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	до 30 CaO	до 10–15 H <sub>2</sub> O
до 15 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	до 15 Na <sub>2</sub> O	до 1–2 CO <sub>2</sub>

Некоторые породы содержат до 1–2 мас.% фтора и хлора. В несиликатных породах может быть значительно (на порядок) увеличено содержание углекислоты и фосфора (карбонатиты и фоскориты), а также может фиксироваться высокое содержание серы (сульфидные образования).

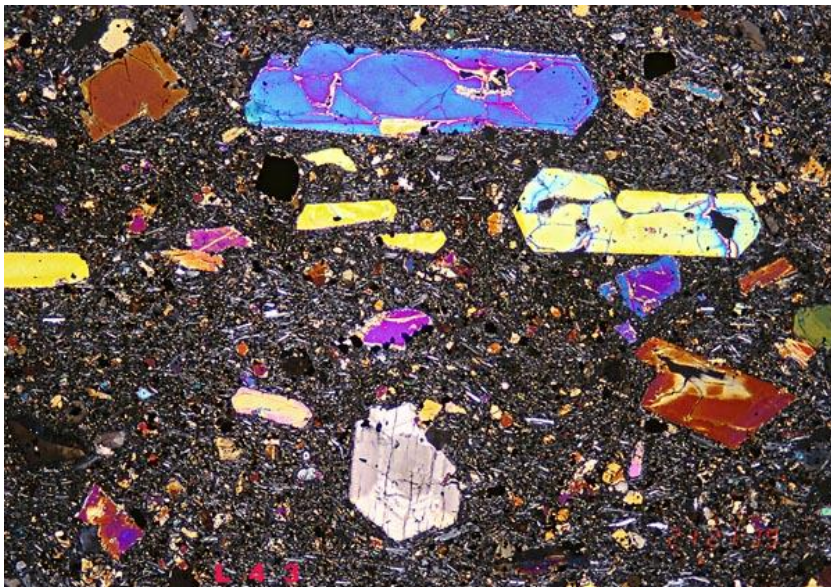
Из приведенных диапазонов состава видно, что магматические породы в целом соответствуют жидким магмам, однако содержания летучих компонентов (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) в расплавах существенно выше, так как значительная их часть удаляется из расплавов при их подъеме к поверхности и затвердевании.

**Постмагматические преобразования пород** (образование серпентина, хлорита, кальцита и др.) могут вновь обогащать их водой и углекислотой.

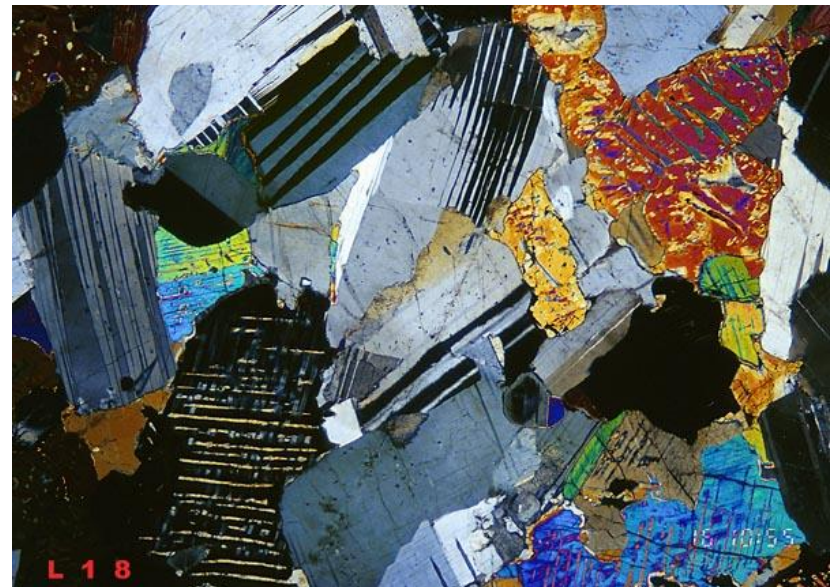
# Химический состав магматических пород

Классификация магматических пород по химическому составу чаще всего производится в координатах  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ , мас.%. На таких диаграммах породы можно подразделять по содержанию  $\text{SiO}_2$  и одновременно выделять для них ряды щелочности.

**Важно (!):** Породы, относящиеся к разным фациям глубинности, при сходном минеральном и химическом составе, различаются по структурным особенностям и, соответственно, *должны иметь различные названия.*

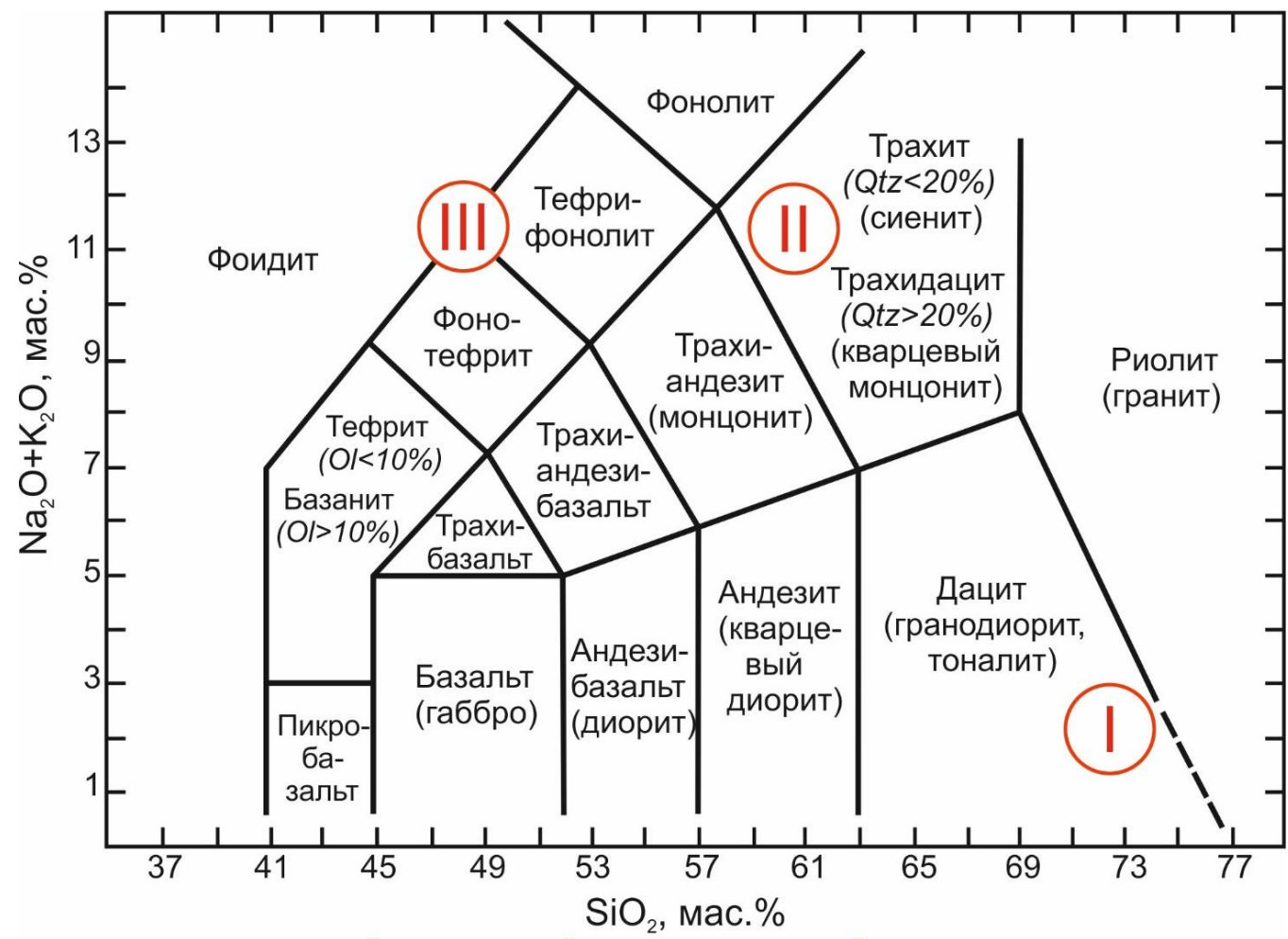


Базальт



Габбро

# Классификационная диаграмма вулканических пород (TAS – Total Alkalis–Silica)



УЛЬТРАОСНОВНЫЕ | ОСНОВНЫЕ | СРЕДНИЕ | КИСЛЫЕ

(Le Maitre et al., 2002), с дополнениями

# Разделение магматических пород по химическому составу

По содержанию  $\text{SiO}_2$  породы подразделяются на 4 группы:

- ультраосновные (менее 45%);
- основные (45–52%);
- средние (52–63%);
- кислые (более 63%).

В случае пород с  $\text{SiO}_2 > 78$  мас.% предлагается выделять *ультракислые* породы. Они встречаются редко, преимущественно в жильной фации.

**Ряды щелочности** на диаграмме (красные цифры в кружках):

- породы нормальной щелочности (I);
- породы умеренной щелочности (II);
- щелочные породы (III).

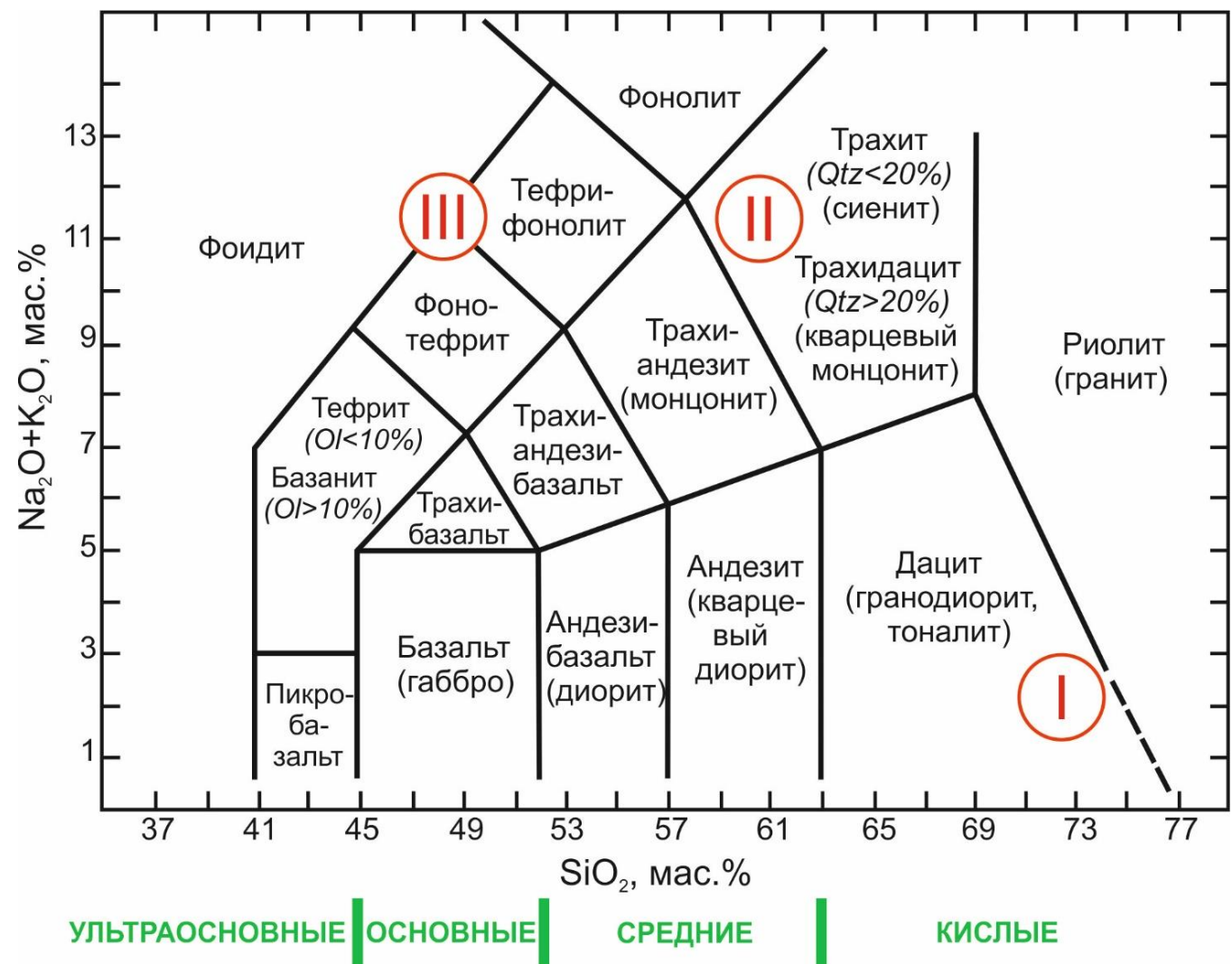
На некоторых старых вариантах классификационных диаграмм дополнительно выделены породы пониженной и повышенной щелочности, а также субщелочные образования.

# Ряды щелочности

Для выделения рядов щелочности используются данные как по **модальному минеральному составу**, реально установленному в породе, так и по **нормативному минеральному составу**, который рассчитывается по валовому химическому составу породы посредством пересчета содержаний оксидов на содержания конкретных минералов (крайних членов твердых растворов) главных породообразующих минералов.

Одним из наиболее широко используемых методов петрохимических пересчетов является метод *CIPW* (по первым буквам фамилий петрологов – W. Cross, J.P. Iddings, L.V. Pirsson и геохимика – H.S. Washington, которые предложили этот метод в начале XX века). Нормативный пересчет позволяет получить гипотетическую упрощенную минеральную ассоциацию (нормативный состав), которая может не соответствовать модальному составу породы. В частности, в результате пересчета может появиться нормативный *нефелин*, который будет отсутствовать в модальном составе породы.

# Классификационная диаграмма вулканических пород (TAS – Total Alkalis–Silica)



(Le Maitre et al., 2002), с дополнениями

# Ряды щелочности

Например, в составе сиенита (существенно полевошпатовой плутонической породы) или трахита (его эффузивного аналога) устанавливаются следующие компоненты системы  $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O}$ :

$\text{Na}\{\text{AlSi}_3\text{O}_8\}$  – альбит, алюмосиликат натрия, компонент твердого раствора щелочных полевых шпатов и плагиоклазов.

$\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  – жадеит, силикат натрия и алюминия, компонент твердого раствора моноклинных пироксенов.

В отличие от альбита, жадеит не включается в нормативный пересчет, а его компоненты искусственно создадут другой компонент,  $\text{Na}\{\text{AlSiO}_4\}$  – нефелин, алюмосиликат натрия, фельшпатоид. Таким образом, появление **нормативного** нефелина – особенность *ряда пород умеренной щелочности*.

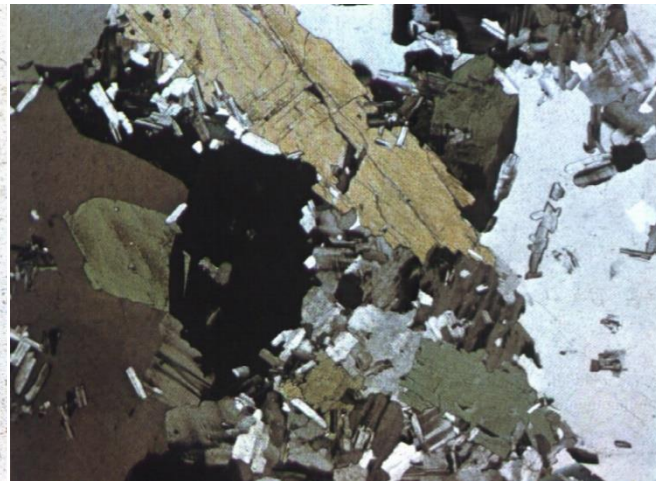
В щелочных породах, которые подразделяются на полевошпат–фельшпатоидные и бесполевошпатовые, всегда устанавливается присутствие **модального** нефелина.



# Коэффициент алкаитности

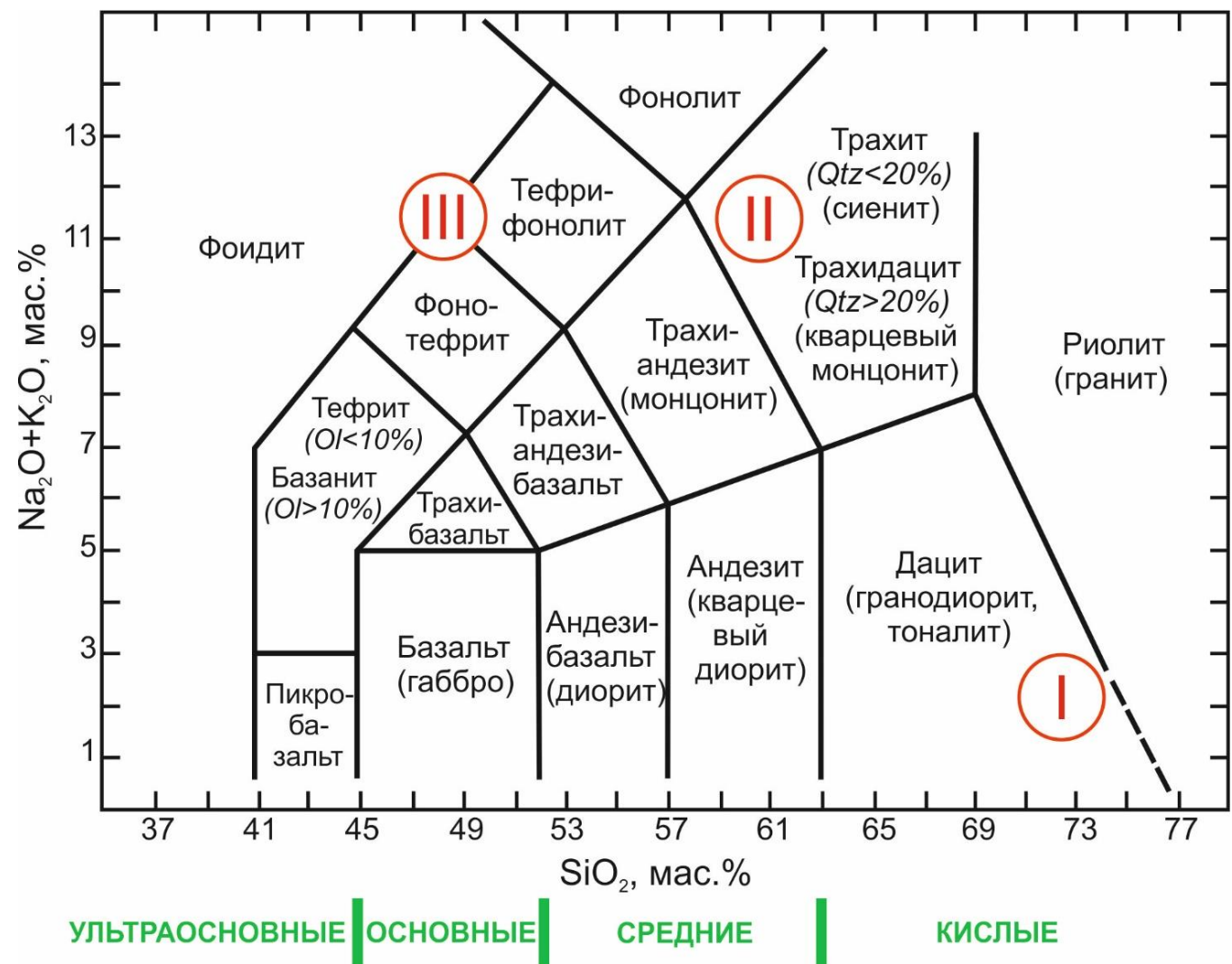
$$K_A = (\text{Na} + \text{K}) / \text{Al}$$

Это еще одна важная характеристика щелочности горных пород. Если  $K_A > 1$ , то порода относится к **алкаитовым** или щелочным. Для большинства пород нормального ряда и бедных щелочами глиноземистых пород характерен показатель  $K_A \leq 1$ . Такие породы называют **пюмазитовыми**. Так как в полевых шпатах и фельдшпатоидах эта величина равна 1, более высокое значение  $K_A$  достигается, если в породе присутствуют **щелочные темноцветные минералы**: пироксен (эгирин, эгирин-авгит), щелочные амфиболы.



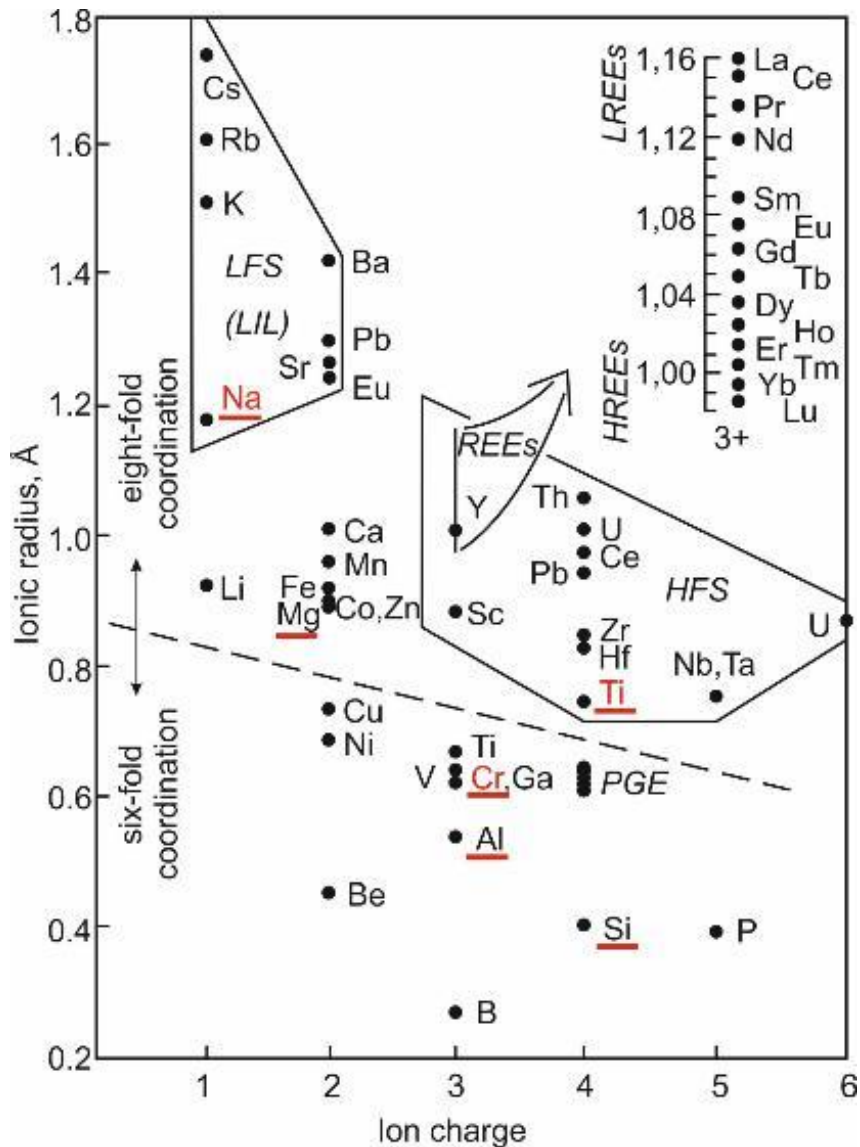
Арфведсонит (Arf) в щелочном граните.

# Классификационная диаграмма вулканических пород (TAS – Total Alkalis–Silica)



(Le Maitre et al., 2002), с дополнениями

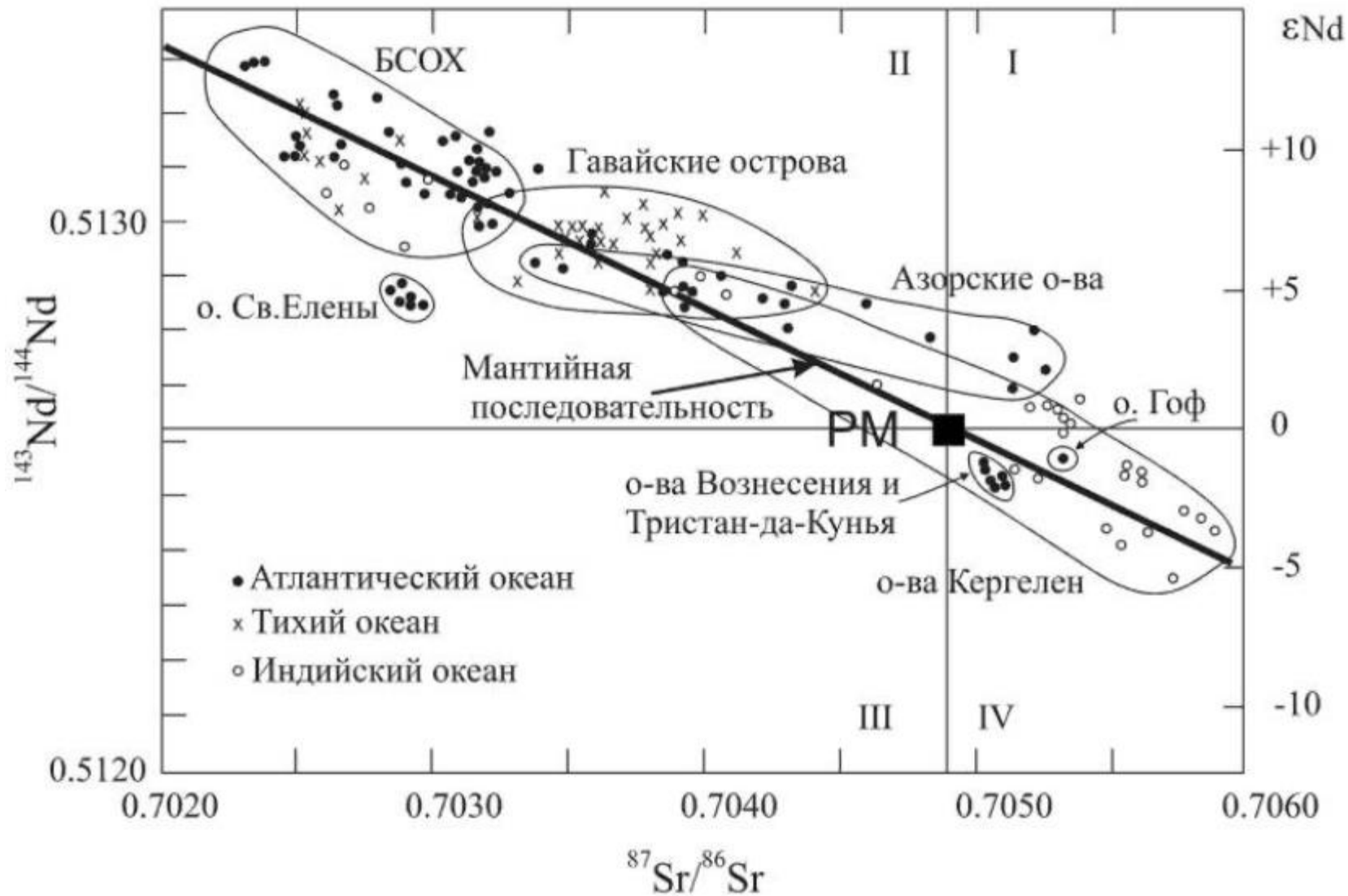
# Примесные элементы магматических пород



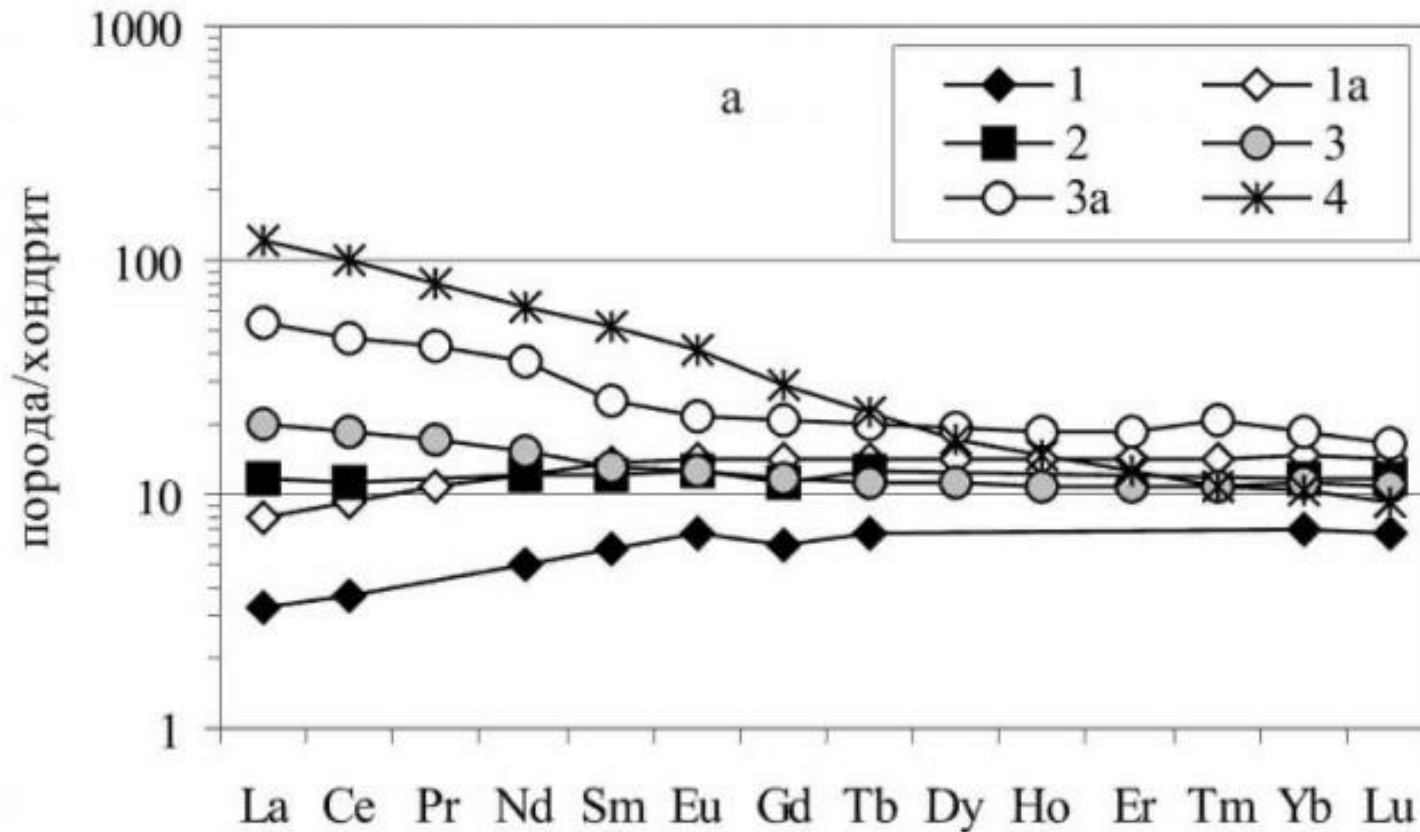
Большинство примесных (редких) элементов содержатся в очень малых концентрациях ( $0,1 - 0,01\%$ ).

Среди них выделяют **совместимые** (распределяются в твердые фазы) и **несовместимые** (распределяются в расплав) элементы.

# Примесные элементы магматических пород



# Редкоземельные элементы (REE)



Распределение редкоземельных элементов в базальтах различных типов: 1–1a – толеитовые базальты океанических хребтов (NMORB) и островных дуг, 2 – базальты океанических плато, 3–3a – базальты островных дуг и континентальных рифтов, 4 – базальты океанических островов (OIB)

# Минеральный состав магматических пород

Для классификации полнокристаллических интрузивных пород удобно использовать **модальный минеральный состав**, в то время как систематика неполнокристаллических и стекловатых эффузивных пород возможна только на химической основе.

Все минералы, слагающие магматические породы, можно разделить на 4 группы:

- ❑ Главные породообразующие минералы (их в породе всегда  $>5$  об.%)
- ❑ Второстепенные минералы ( $<5$  об.%)
- ❑ Акцессорные минералы (всегда  $<5$  об.%, обычно от 1–2% до единичных зерен)
- ❑ Вторичные минералы (от единичных зерен до резкого преобладания в породе, замещают на постмагматическом этапе главные, второстепенные и акцессорные минералы).

# Минеральный состав магматических пород

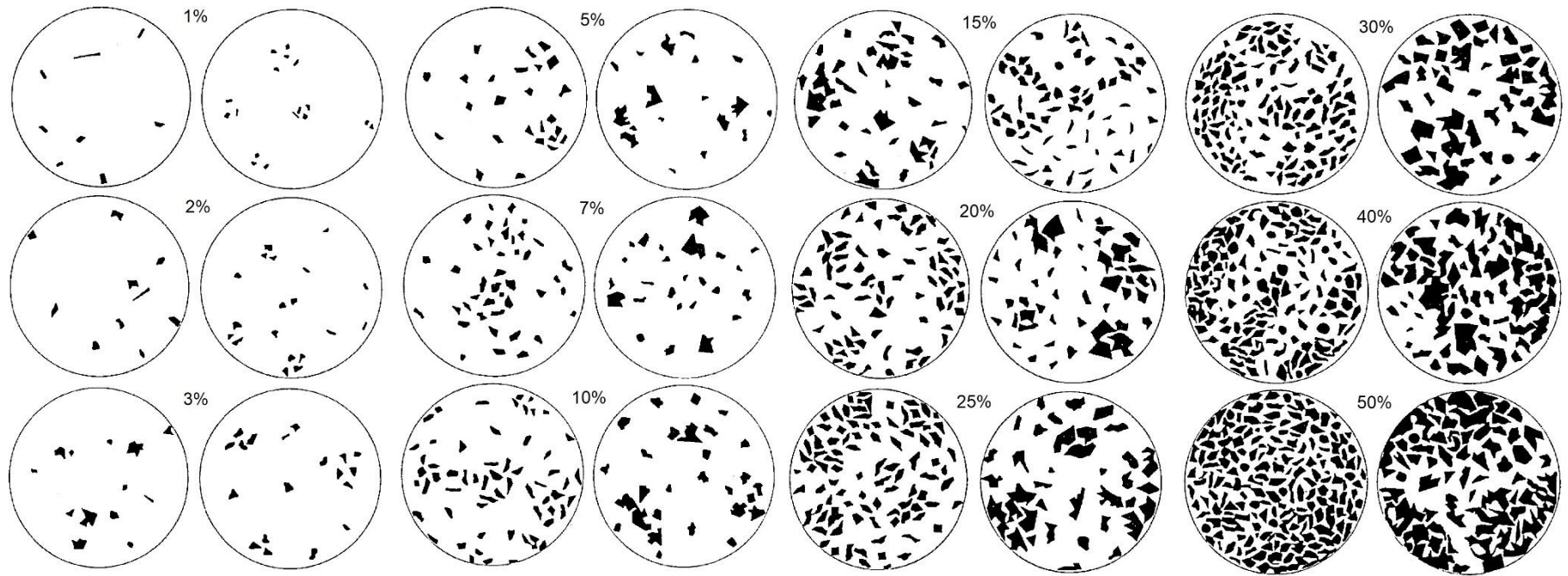
Граница между *главными породообразующими* и *второстепенными* минералами довольно условна (5%). Второстепенный минерал может легко становиться главным в другой породе.

Например, ромбический пироксен (энстатит) в составе дунита (существенно оливиновой плутонической породы, содержащей обычно менее 5 об.% ортопироксена), является второстепенным минералом, а в составе гарцбургита (10–40 об.%) – главным.

В качестве *акцессорных* минералов широко распространены апатит, циркон, титанит, а также ряд рудных минералов – титаномагнетит, ильменит, хромит, сульфиды, которые в некоторых случаях способны образовывать крупные скопления – *рудные тела*.

Минералогическая систематика плутонических пород учитывает содержания **главных породообразующих минералов**, которые определяются в геологических образцах и шлифах горных пород под микроскопом.

# Номограмма глазомерной оценки содержания пороодообразующих минералов в поле зрения



(Williams et al., 1982)

Для определения содержаний минералов в шлифах горных пород ведется оценка их процентных соотношений в различных полях зрения, обычно при небольшом увеличении.

**Важно!** Точность оценки зависит от количества просмотренных полей зрения!

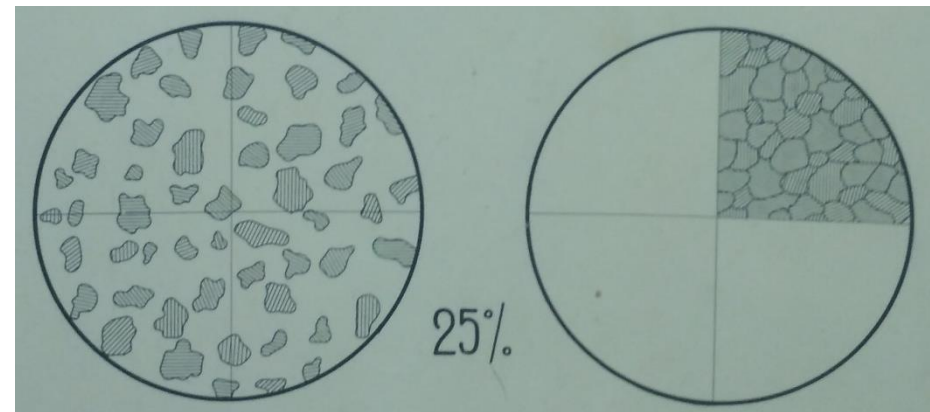
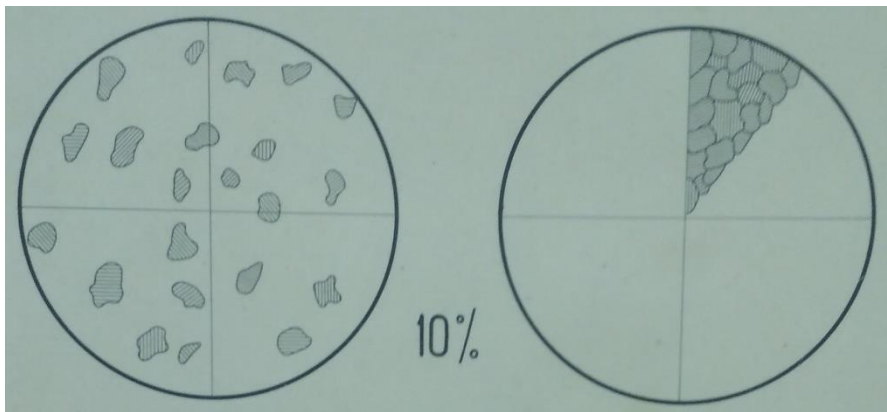


# Глазомерная оценка минерального состава

*Практическая рекомендация.* Обычно определение содержаний начинают с тех минералов, которые существенно отличаются по своим свойствам (цвету, рельефу и пр.) от других фаз.

Определение ведется по нарастанию содержаний, причем концентрация самого распространенного минерала вычисляется вычитанием суммы содержаний остальных минералов из 100 об.%.

Удобно мысленно группировать минералы в один сектор, чтобы понять, какую часть поля зрения они занимают.



# Цветное число плутонических пород

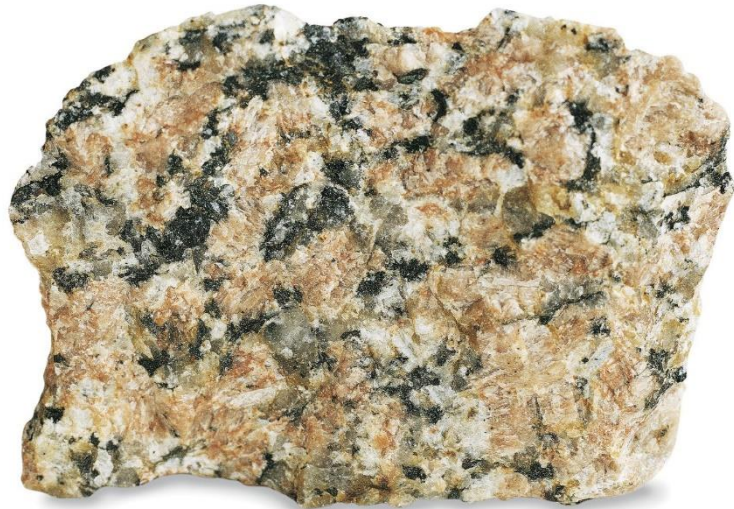
**Цветное число** – содержание меланократовых (темноцветных) минералов (изменяется в диапазоне 0–100).

По этому показателю полнокристаллические горные породы разделяются на:

- ❑ лейкократовые (0–35);
- ❑ мезократовые (35–65) (часто не указываются);
- ❑ меланократовые (65–90);
- ❑ ультрамеланократовые, или ультрамафические (90–100).



Дунит (цветное число 100)



Гранит (цветное число 10)

# Минералогическая систематика

Полнокристаллические породы можно разделить на разновидности по количественным соотношениям реальных минералов при нанесении содержаний **главных породообразующих минералов** на классификационные треугольники. Такие треугольники существуют для всех типов плутонических пород.

Рассмотрим конкретный пример.

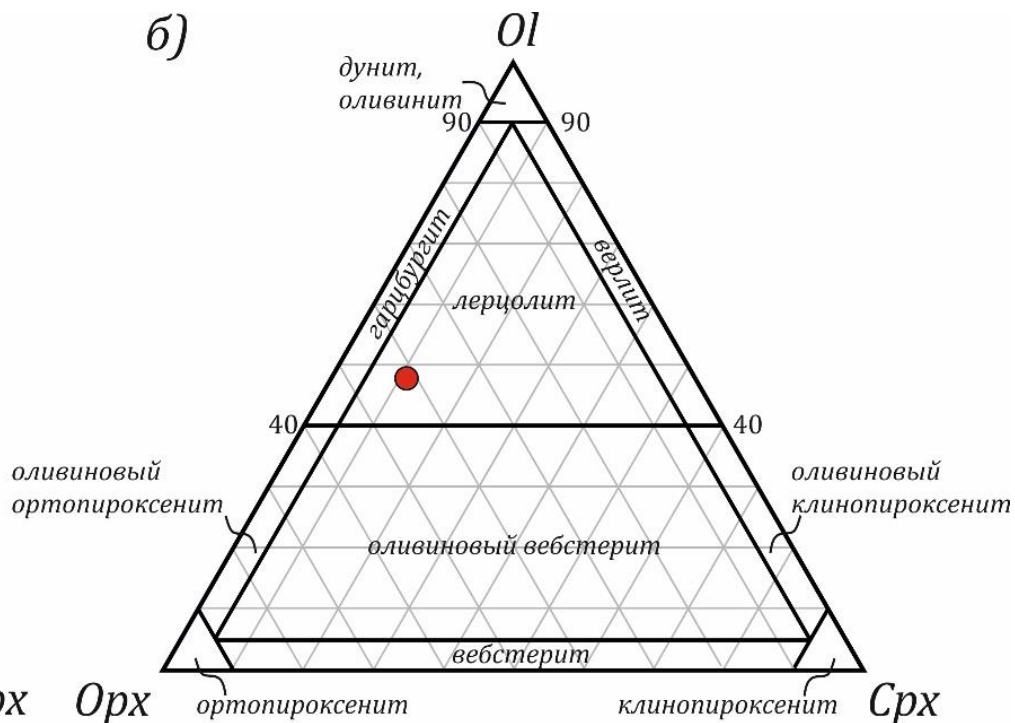
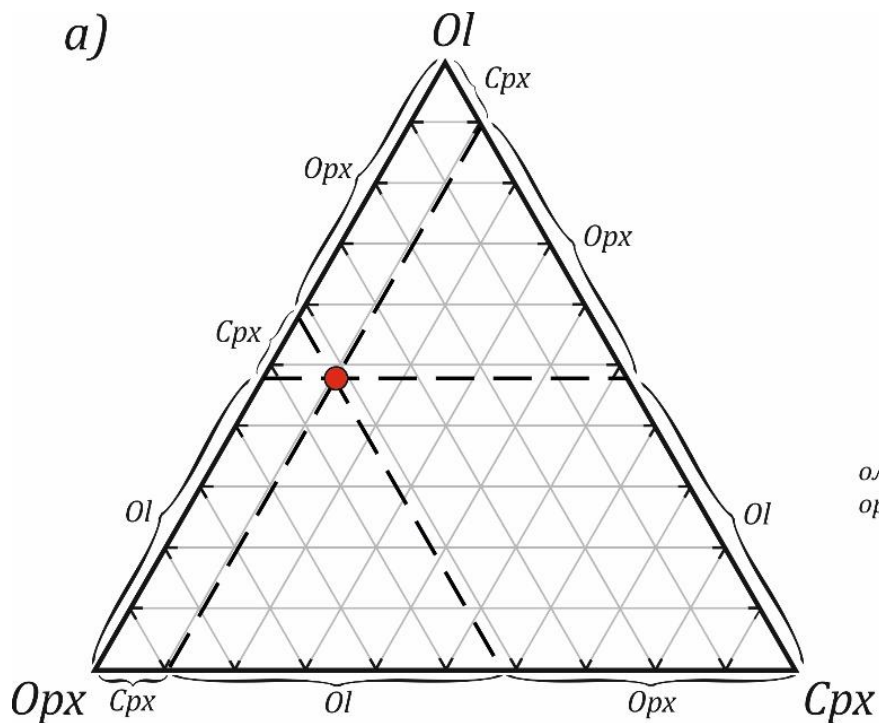
Определен следующий минеральный состав полнокристаллической горной породы (об.%): оливин (*Ol*) – 45; ортопироксен (*Orx*) – 40; клинопироксен (*Cpx*) – 10; зеленая роговая обманка (*Hbl*) – 4; хромит (*Chr*) – 1.

Делим минералы на группы: главные породообразующие – *Ol*, *Orx*, *Cpx*; второстепенный – *Hbl*; акцессорный – *Chr*.

На долю всех главных породообразующих минералов приходится 95 об.%. Пересчет на 100%: *Ol* – 47,4; *Orx* – 42,1; *Cpx* – 10,5.

# Минералогическая систематика

Используем классификационную диаграмму ультрамафитов ( $Ol-Orx-Crx$ ).  
**Важно!** В вершине соответствующего минерала его содержание 100%. При удалении от вершины количество минерала снижается вплоть до 0% в двух соседних вершинах. Проводим линии параллельные соответствующим сторонам треугольника (например, содержание  $Ol$  отмечается линией, параллельной стороне  $Orx-Crx$ , и т.д.). Пересечение трех линий дает искомую точку состава породы.



# Как назвать породу?

В соответствующем поле диаграммы читаем название породы – **лерцолит**.

В названии необходимо также указать второстепенные минералы. В нашем примере это роговая обманка (амфибол). Ее наличие в породе можно отразить словами «амфиболсодержащий» или «с амфиболом». Вариант «амфиболовый» неверен, так как прилагательными отражаются минералы с содержанием более 5%.

Полное название породы – **амфиболсодержащий лерцолит**.

Минералогическая систематика не требует обязательного включения акцессорного минерала (хромита) в название породы. Тем не менее, в ряде случаев акцессорные минералы можно включать в название породы (лерцолит с хромитом), если по каким либо причинам необходимо отметить, что в данной породе присутствует именно хромит, а не, допустим, титаномагнетит.

Современная международная систематика не учитывает в названиях магматических пород присутствие вторичных минералов.

# Состав вулканической породы

Определение вулканических пород с использованием треугольных диаграмм и минералогической систематики невозможно. Правильное название таких пород дается на основе их химического состава.

Тем не менее, мы часто можем относительно точно оценить состав породы, если по результатам ее изучения в шлифе удастся ответить на вопрос: как бы мы назвали породу, если бы она была plutonic. Далее используется система аналогов: габбро–базальт, риолит–гранит и т.п.

- В шлифе нужно обратить внимание на следующее:
- Парагенезис вкрапленников (особую роль играет *состав плагиоклаза*)
- Парагенезис микролитов (мелких кристаллов основной массы в стекле)
- Состав стекла (стекла основного состава часто имеют коричневую или зеленую окраску; основные стекла имеют положительный рельеф, а кислые и щелочные – отрицательный).

# Вулканогенно-обломочные породы

**Вулканогенно-обломочные породы** – литифицированные (уплотненные) выбросы обломочного материала (вулканических бомб, пепла, фрагментов пород, кристаллов, вулканического стекла и др.).

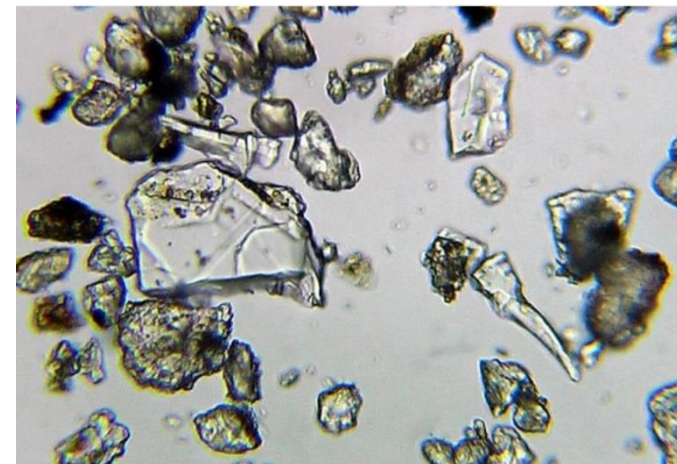
Если в вулканогенно-обломочных породах имеется примесь осадочного материала, различают:

- ❑ туффиты (<50% осадочного материала);
- ❑ вулканогенно-осадочные породы (>50% осадочного материала).

Обломки (пирокласты), возникающие при эксплозивных извержениях (вулканических взрывах) подразделяются по размерам на:

- ❑ бомбы (имеют форму лепешек и веретен) и блоки (имеют угловатую форму) – более 64 мм;
- ❑ лапилли – от 2,5 до 64 мм;
- ❑ пепел – частицы размером менее 2,5 мм.

Частицы вулканического пепла  
под микроскопом



# Вулканогенно-обломочные породы

**Тефра** – обобщенный термин для *рыхлых, нецементированных обломков* вулканических пород вне зависимости от их размеров.

**Туф** – вулканогено-обломочная порода, возникшая в результате *литификации (уплотнения и цементации) пирокластического материала*.

**Полное наименование** туфа должно включать следующие характеристики:

- химический состав породы (в идеале – до видового названия вулканической разности);
- размер обломков:
  - грубообломочные (50–200 мм),
  - крупнообломочные (2–50 мм),
  - среднеобломочные (0.1–2 мм),
  - мелкообломочные (0.01–0.1).
- объемное соотношение обломков разного типа:
  - пород (литокластов),
  - стекла (витрокластов),
  - кристаллов (кристаллокластов).



# Жильные горные породы

## Асхистовые

(отвечают по составу материнским интрузивным породам)

## Диасхистовые

(контрастно отличаются от материнских интрузивных пород по цветному числу)

## Микро-

(микрограниты, микрогаббро)

-порфиры

(гранит-порфиры)

-порфириты

(диорит-порфириты)

## Лейкократовые

Аплиты

Пегматиты

## Меланократовые

Лампрофиры

(вкрапленники – темно-цветные минералы):

спессартиты (Pl+Hbl)

керсантиты (Pl+Bt)

вогезиты (Kfs+Hbl)

минетты (Kfs+Bt)