

Лекция 2. Упрощенная классификация эффузивных горных пород океана

По курсу «Магматизм океанов», геологический факультет МГУ

<http://wiki.web.ru/wiki/>

Геологический_факультет_МГУ:Магматизм_океанов

История классификации



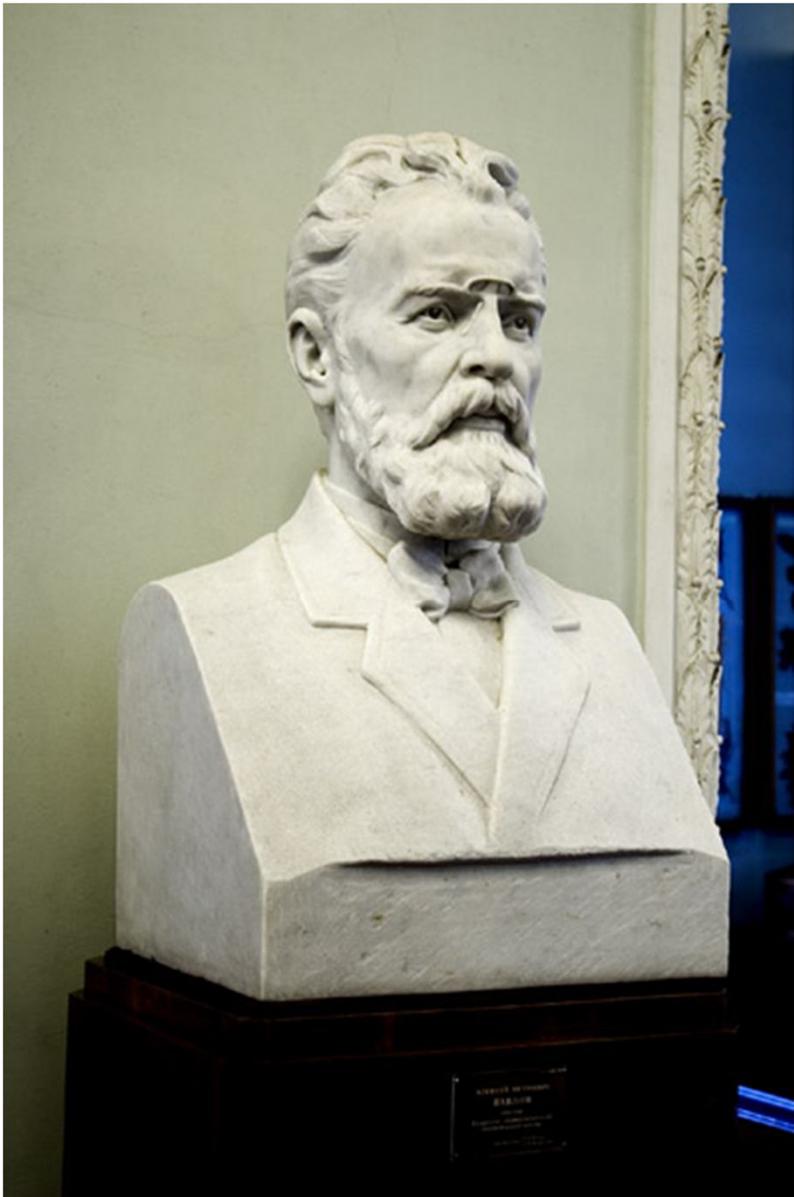
Василий Михайлович
Севергин (1765 – 1826)



Александр Броньяр
(1770-1847)

Предложили определять горные породы по их **минеральному составу**.

До этого, породы назывались по цвету, месту добычи строительного камня, рисунку-узору, запаху и т.д.



Алексей Петрович Павлов
(1854-1929)

Разделение по химизму:

Группы пород	SiO ₂ , вес. %
Ультраосновные породы	<45%
<u>Основные породы</u>	45-52
Средние породы	52-65
Кислые породы	>65%

В океанах преобладают основные магматические породы

Семейства эффузивных пород

В этой лекции

• **Базальты**

Курс петрографии

- **Андезиты**
- **Дациты**
- **Фонолиты**
- **Риолиты**
- **Пикриты**

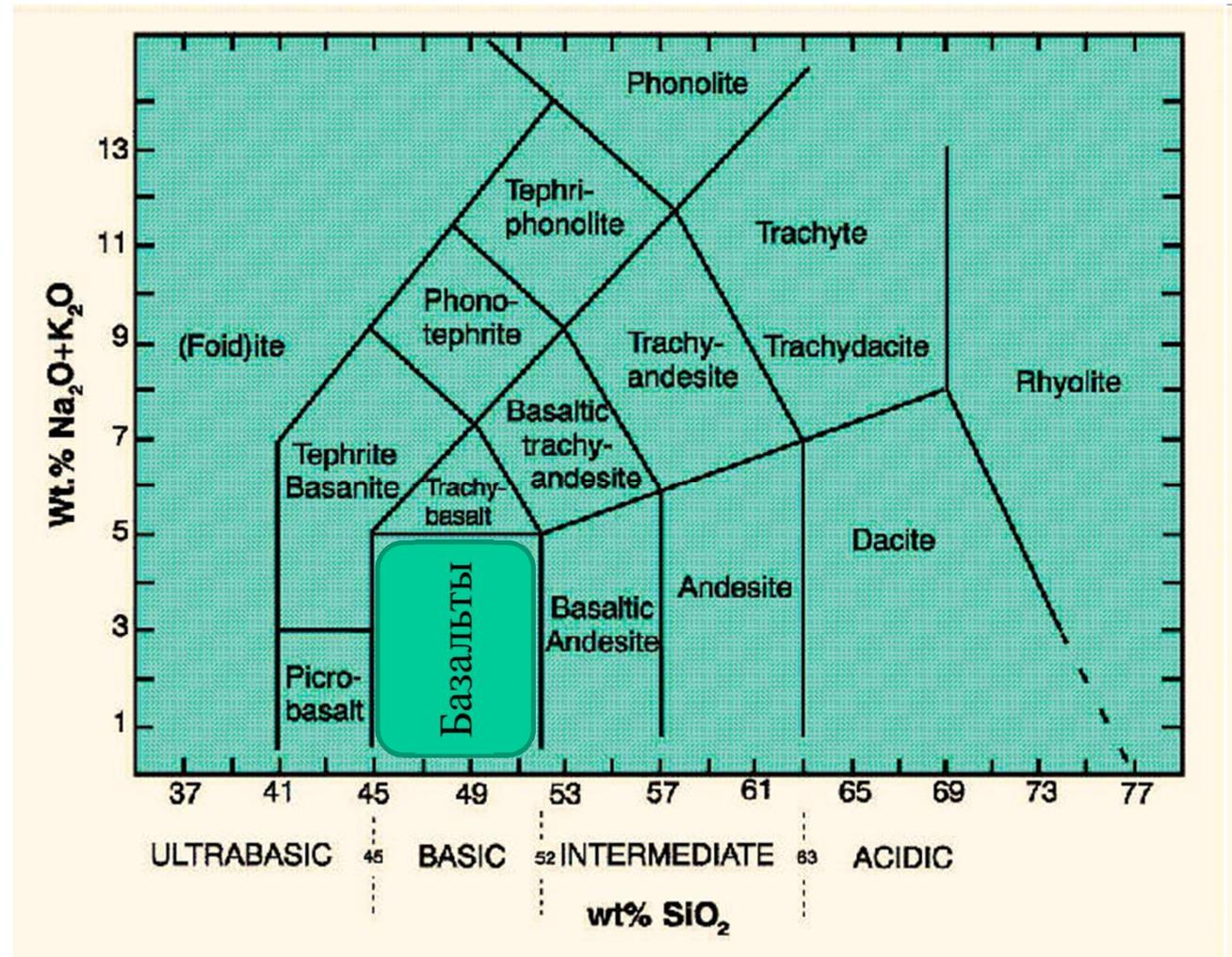
В отдельном спецкурсе
(только для петрологов)

- **Мелилититы**
- **Онгониты**
- **Лимбургиты**
- **Нефелинолиты**
- **Тефриты**
- **Трахибазальты**
- **Трахиты**
- **Пантеллериты**
- **Бониниты**
- **Шошониты**
- **Содалитовые эффузивы**
- **Анальцимовые вулканиты**
- **Лампроиты**
- **Лейцититы**

Семейство базальтов

К семейству базальтов относятся эффузивные и субвулканические горные породы, в которых содержится SiO_2 от 45 до 52 % мас., сумма K_2O и Na_2O не превышает 5% мас.

Должны быть сохранены первично-магматические структуры и текстуры, должна быть сохранена хотя бы часть первично-магматических минералов.



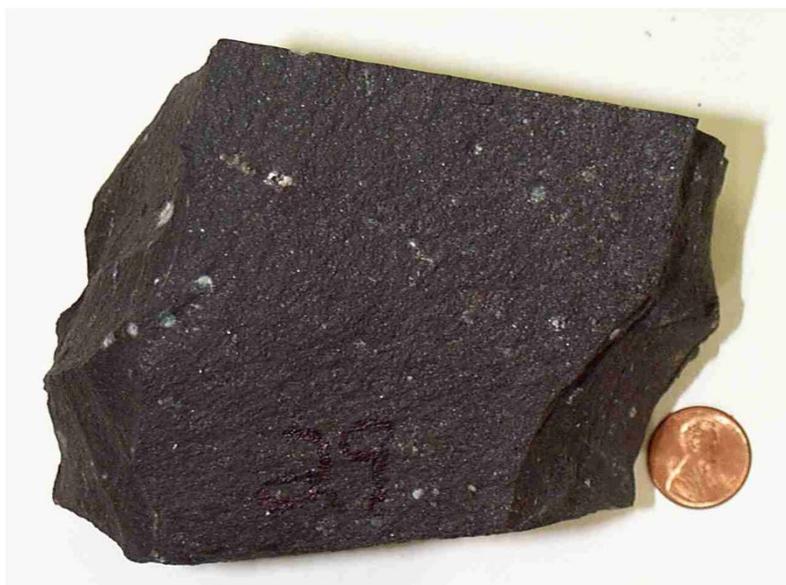
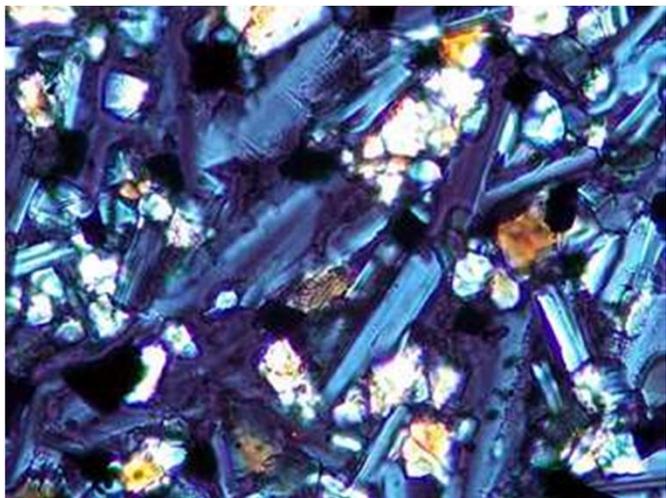
Классификация эффузивных горных пород **нормального ряда**.

Порода	Основная масса	Вкрапленники
Риолит	кварц-альбит-к.п.ш.	кварц, санидин
Дацит	кварц-альбит-к.п.ш.	плагиоклаз
Андезит	андезин+рудный	плагиоклаз, роговая обманка, биотит, клинопироксен
Базальт	лабрадор +клинопироксен +рудный	клинопироксен, оливин, плагиоклаз ортопироксен, роговая обманка
Ультраосновные вулканиты Пикриты, коматииты	клинопироксен+оливин +рудный	оливин, флогопит, клинопироксен

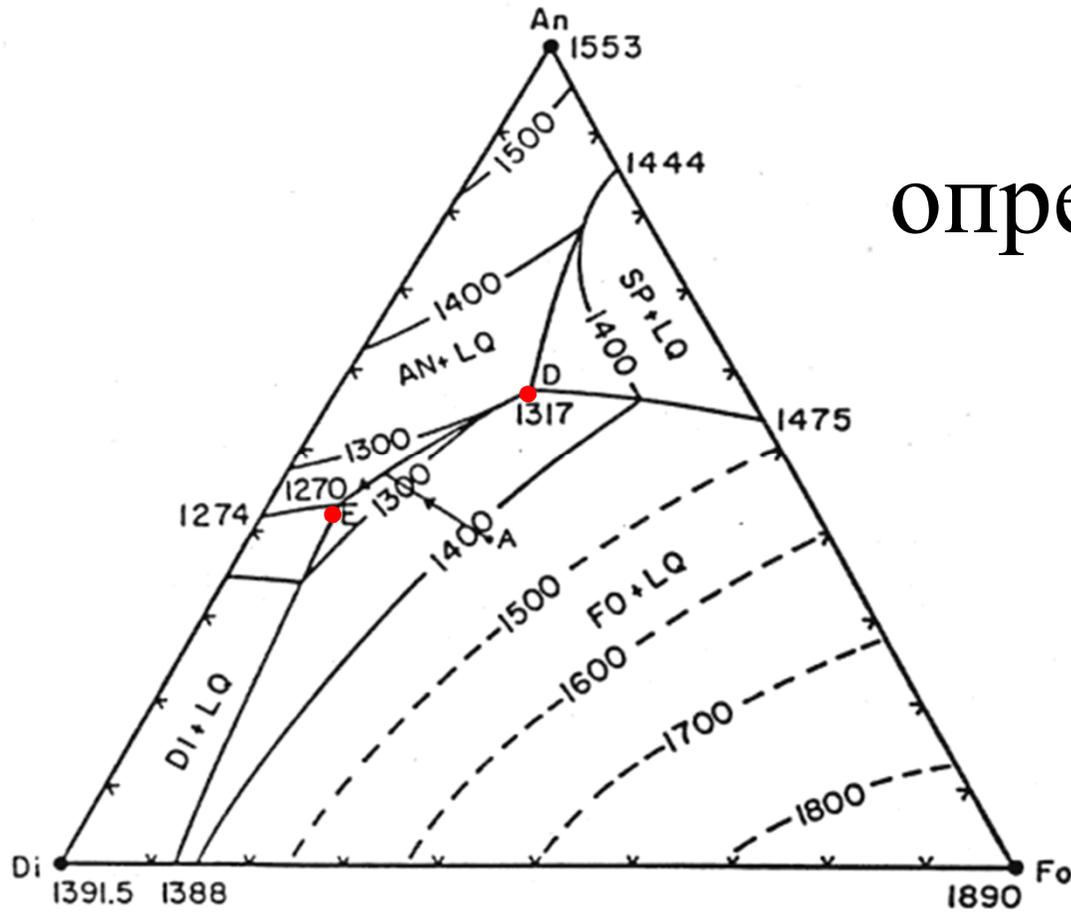
К нормальному ряду относятся только самые распространенные породы не содержащие щелочных минералов.

1. Классификация пород семейства базальтов.

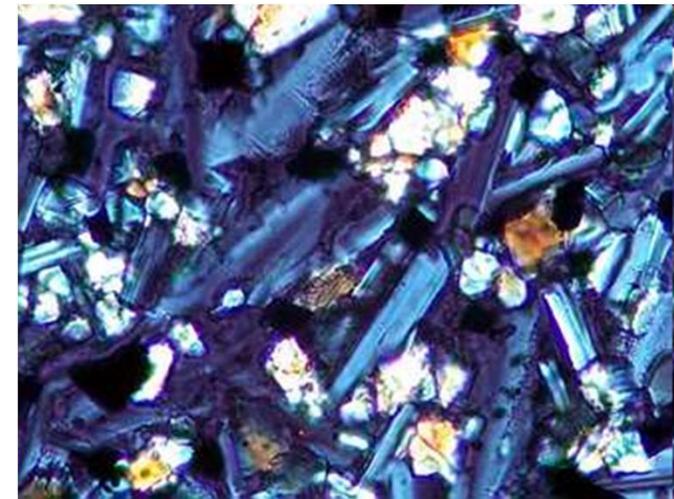
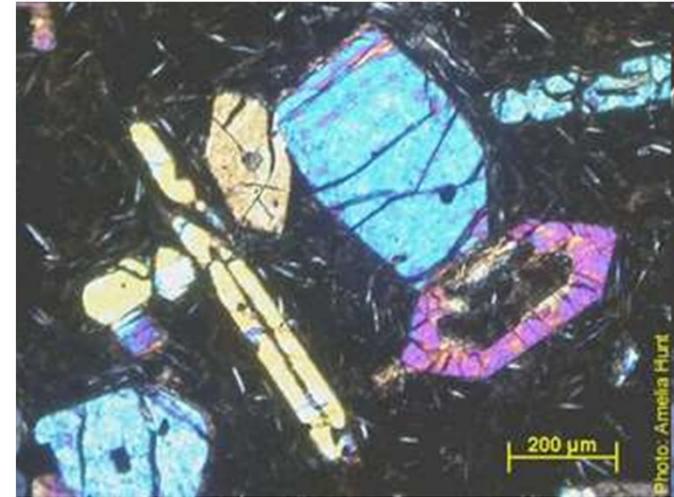
Базальт – вулканическая порода, в основной массе которой примерно равное содержание плагиоклаза и пироксена.

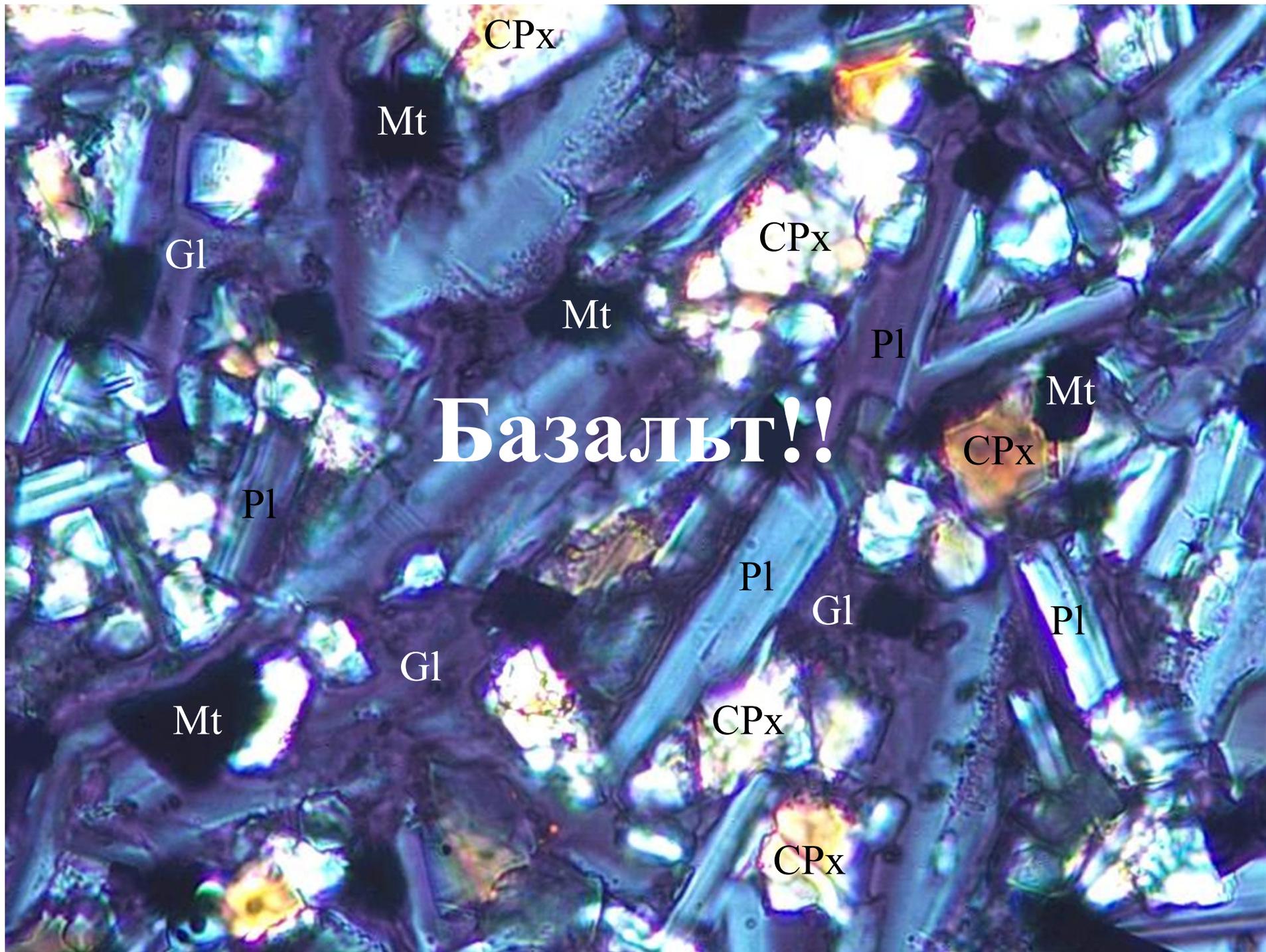


Обоснование определения базальта

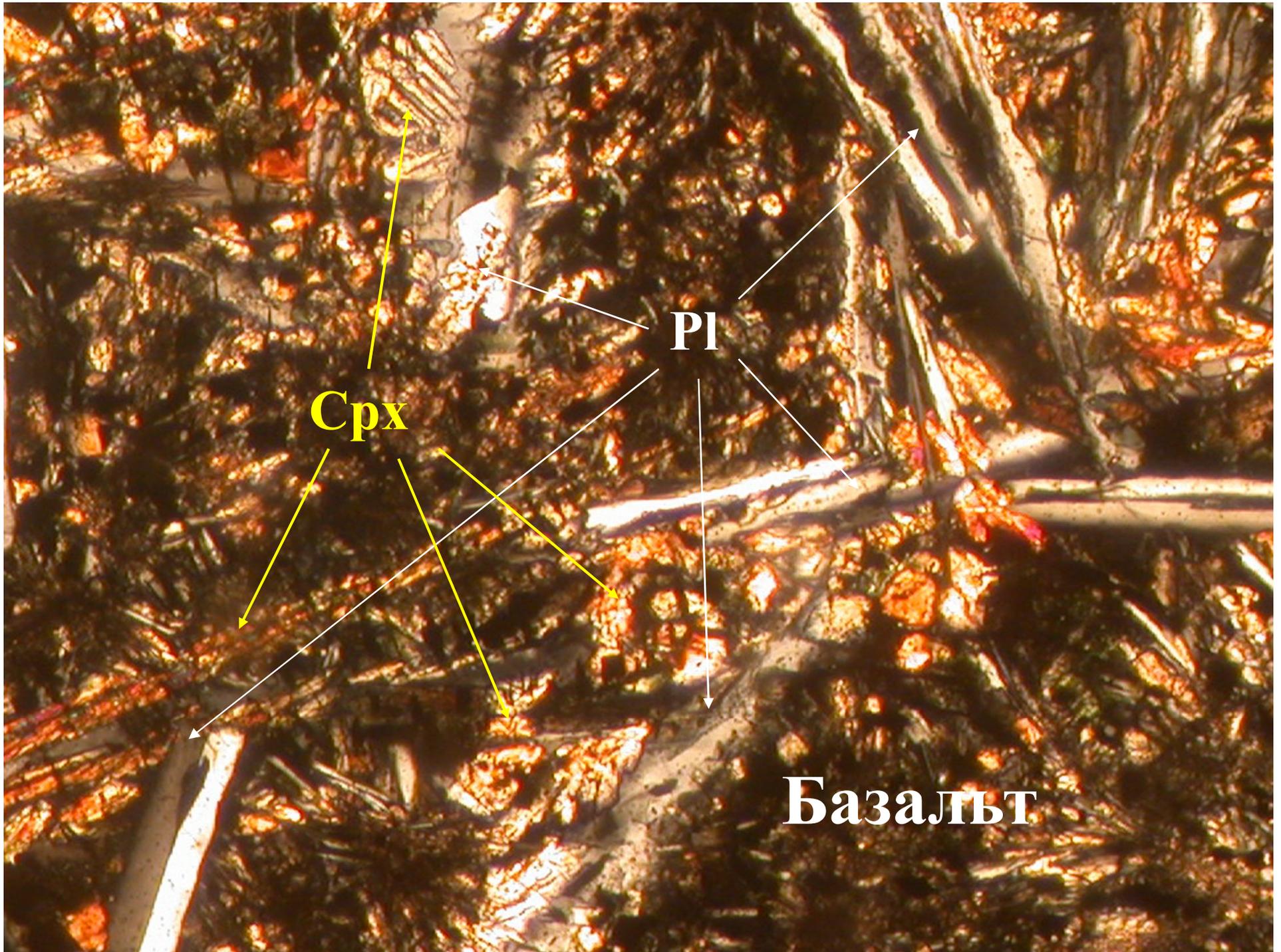


Экспериментальная диаграмма Диопсид-Анортит-Форстерит в сухой системе при давлении 1 атм.





Базальт!!



Макроскопические характеристики



Плагιοфировый базальт, драгирован около Галапагосских о-вов, 2010 г.



Оливиновый базальт, Гавайи, 2009 г.

1. При описании указывается набор и количество видимых глазом или с помощью лупы вкрапленников. Если вкрапленников много – порода называется порфировой, если практически нет – афировой.

Вторичные изменения



Свежий базальт со стекловатой закалочной коркой, Хуан де Фуко, лето 2000 г.



Палеобазальт с миндалекаменной текстурой. Индийский океан, лето 2007 г.

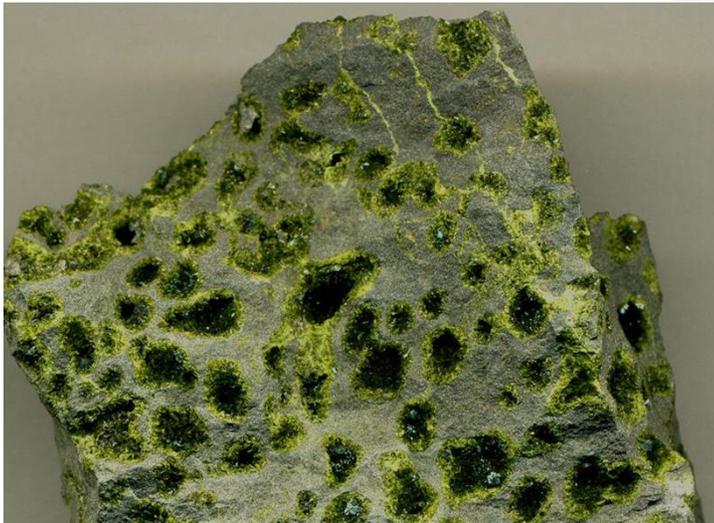
Текстурные особенности: количество, размер и форма газовых пузырей



Мелкопористый оливиновый базальт



профировый
базальт без
видимых пор.



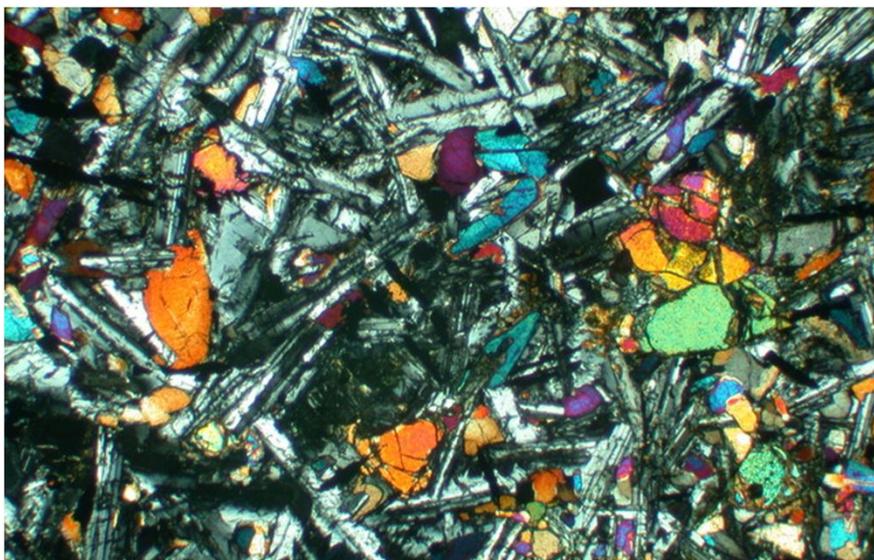
Палеобазальт с эпидотом в порах



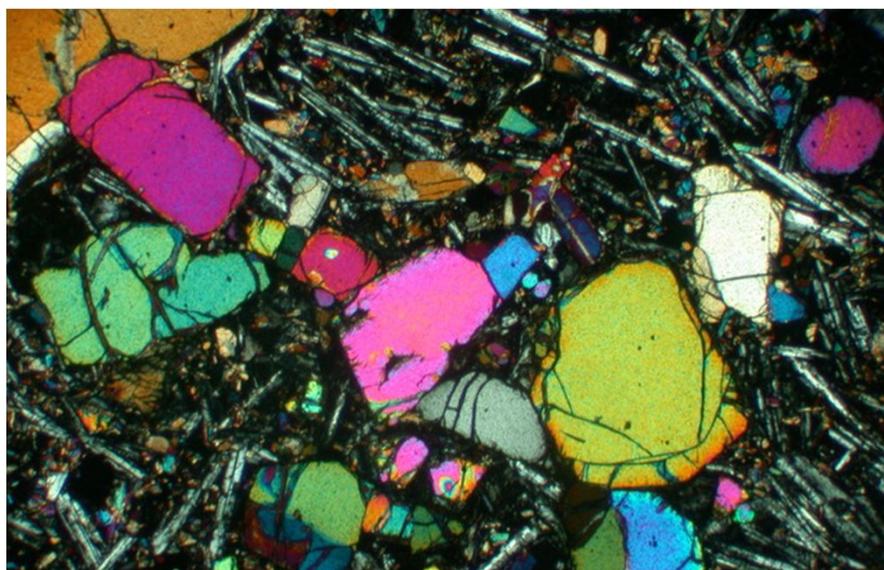
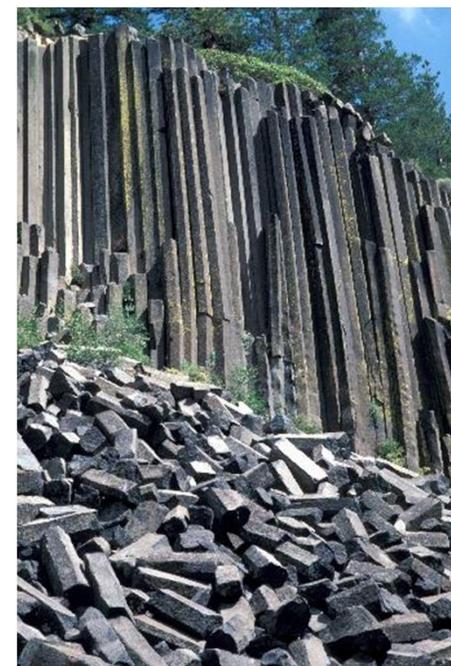
Крупнопористый
базальт



афировый базальт без
видимых пор, плато
Коламбия Ривер.



Drumcarrow Craig, Шотландия

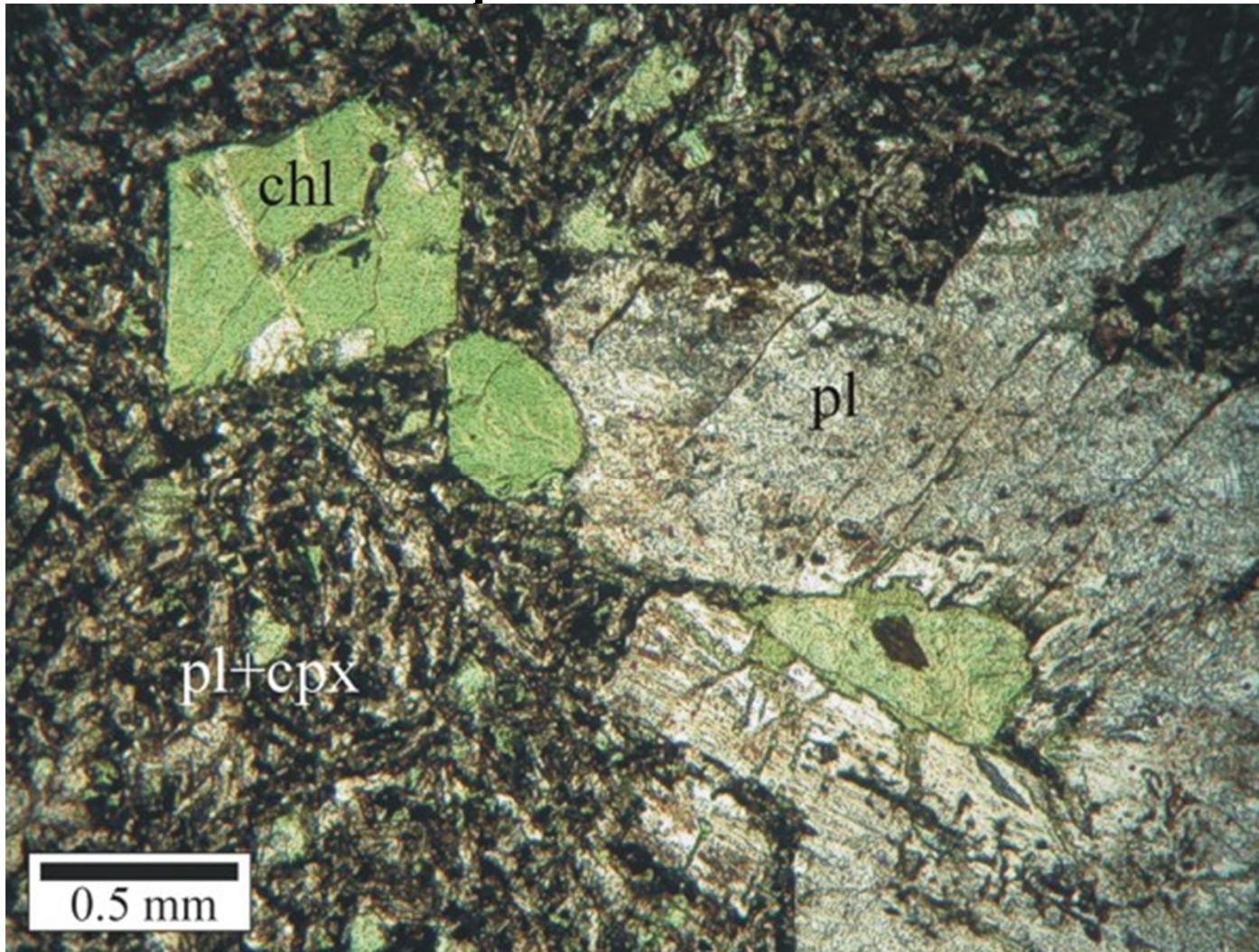


East Lomond, Шотландия



Столбчатая отдельность в Орегоне и Калифорнии

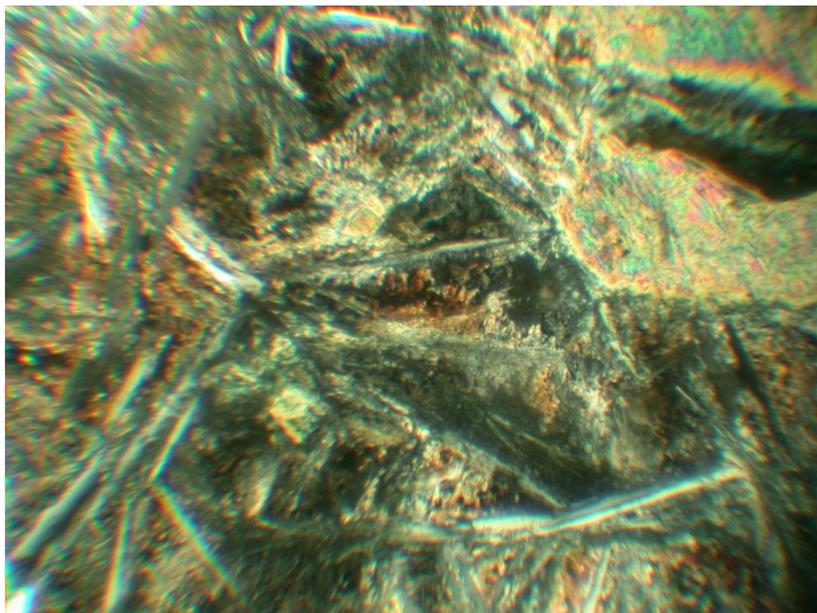
Измененные породы семейства базальтов



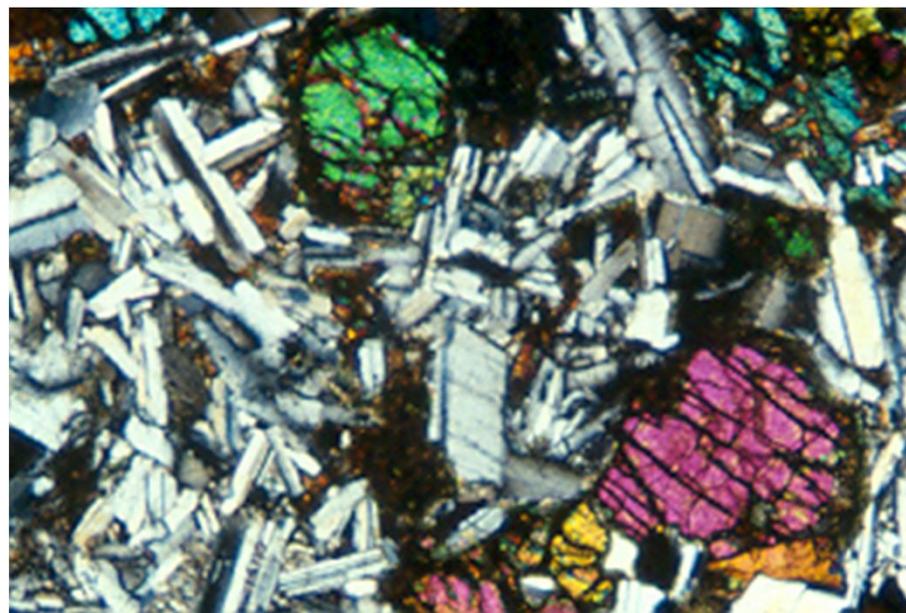
Сохранены первично-магматические минералы и первичные структуры и текстуры, но изменено вулканическое стекло и развиты вторичные минералы

Палеобазальт = палеотипный базальт \approx базальт-порфирит

Спилиты и диабазы



Спилит, Галапагосский рифт, обр.2157



Диабаз, Lake Nipigon, Онтарио, Канада

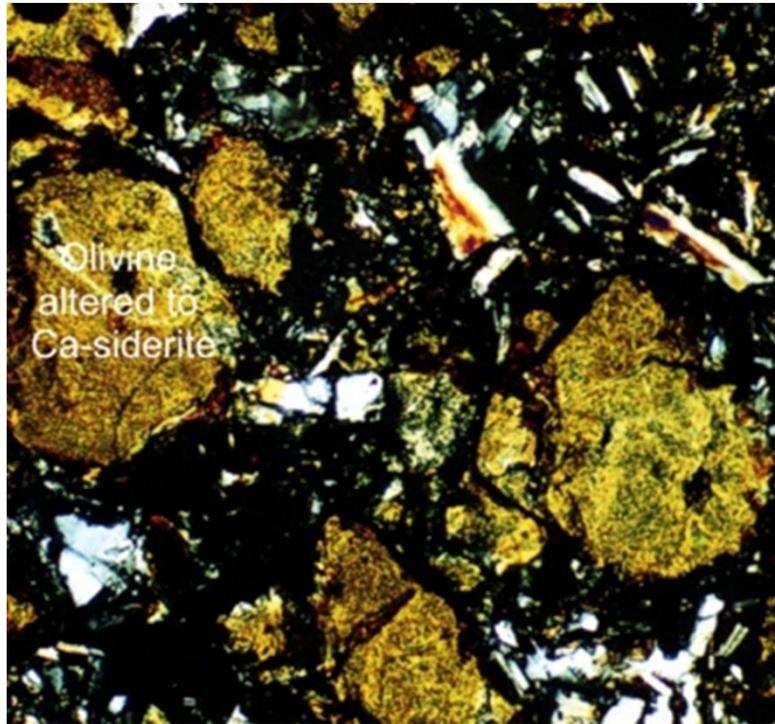


Fidalgo Island, р-н Сиэттла, США

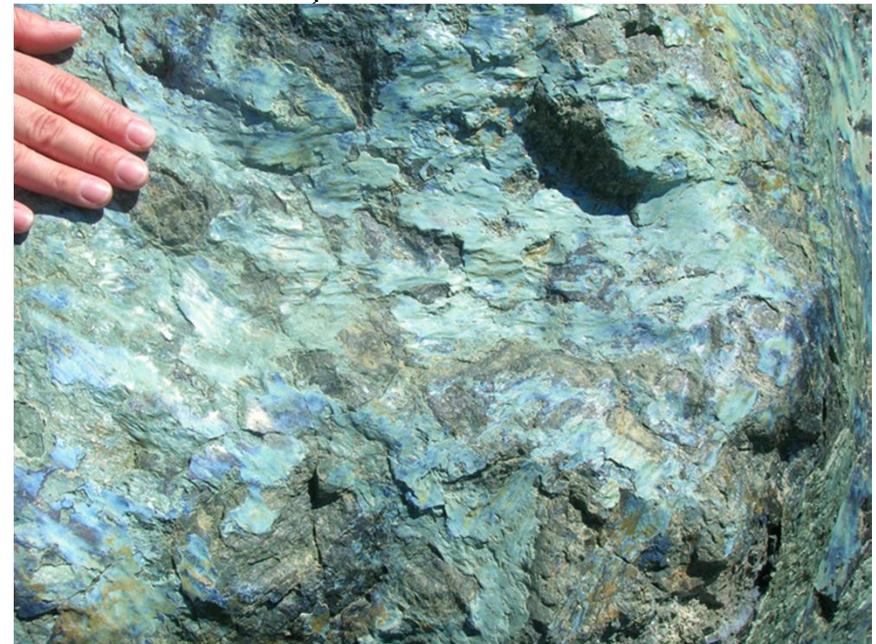


Северная Каролина, США

Метабазальты и метабазиты



Зеленые сланцы



Голубые сланцы

В метабазальтах сохранены первичные текстуры и структуры и могут быть реликты первичных минералов

В метабазитах происходит полное изменение минерального состава и порода полностью перекристаллизуется

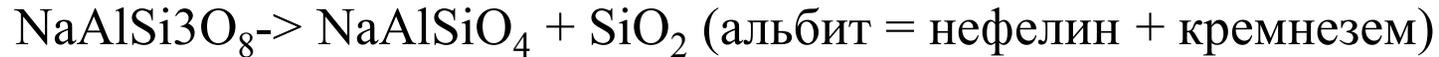
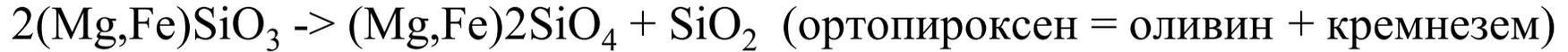
Классификация современных базальтов по геотектонической обстановке

- базальты срединно-океанических хребтов и трансформных разломов (базальты СОХ или MORB)
- базальты океанических островов (OIB)
- островодужные базальты (IAB)
- базальты задуговых бассейнов или окраинных морей (BABB)
- базальты крупных магматических провинций (BLIP)

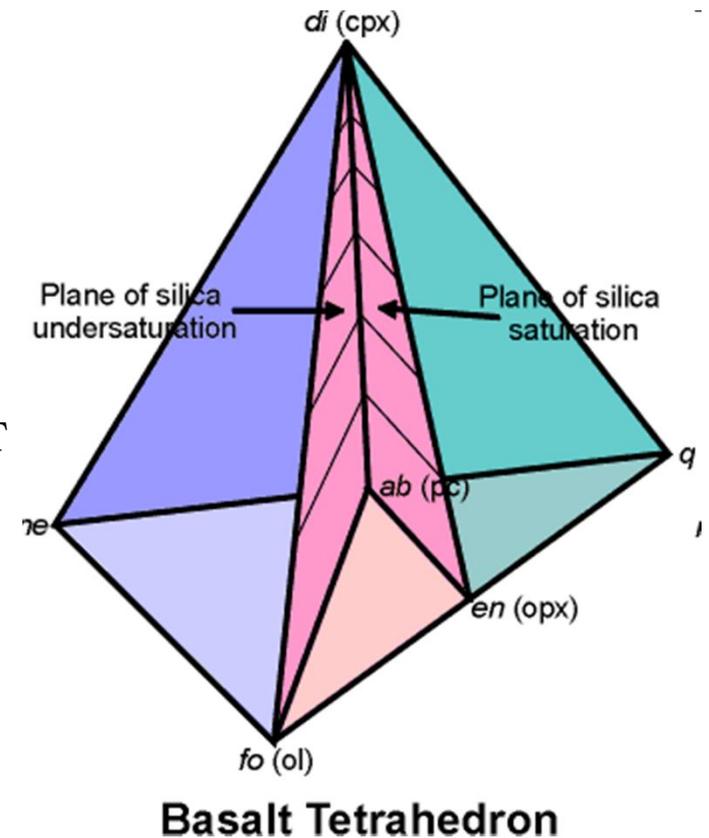
Некоторые случаи являются спорными, например Исландия является островом на срединно-океаническом хребте. При этом, исландские базальты несут в себе геохимические черты и магматизма срединно-океанических хребтов, и океанических островов. Особенно много спорных случаев при классификации древних базальтов, для которых мы не можем точно определить палеогеографическую обстановку.

1.2 По степени насыщения кремнеземом

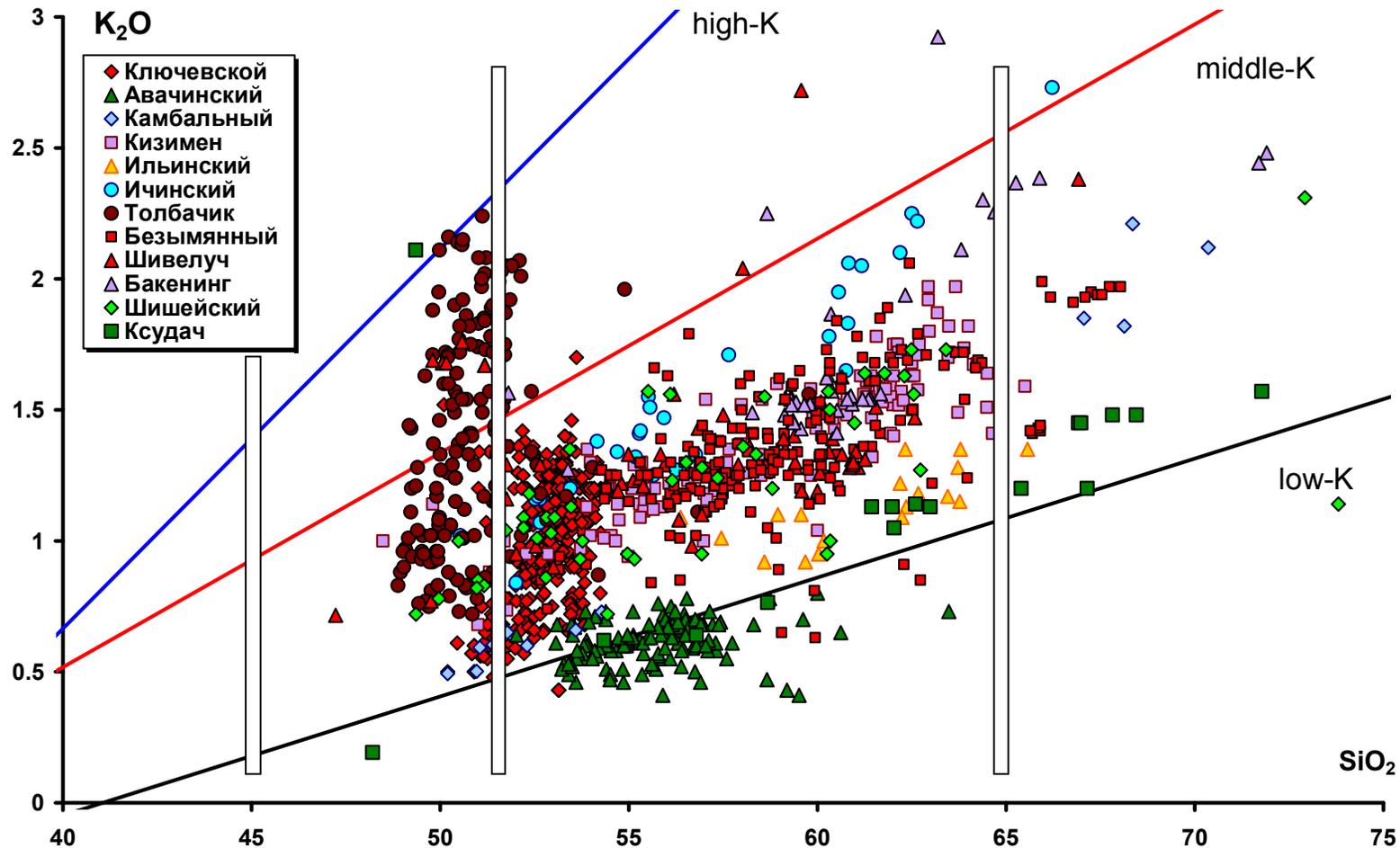
Классификация предложена Йодером (Yoder, Tilley, 1962) и основана на том, что активность кремнезема в расплаве контролируется преимущественно реакциями типа:



- кварц-нормативные (содержащие избыток кремнезема.) Толеит – порода с кварц-полевошпатовыми сростаниями в базальтах.
- нефелин-нормативные (недостаток кремнезема)
Щелочной оливиновый базальт – базальт с нефелин-нормативной концентрацией, противоположность толеита.
- гиперстен-нормативные (при отсутствии нормативных кварца или нефелина)



Классификация по содержанию калия на диаграмме $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$



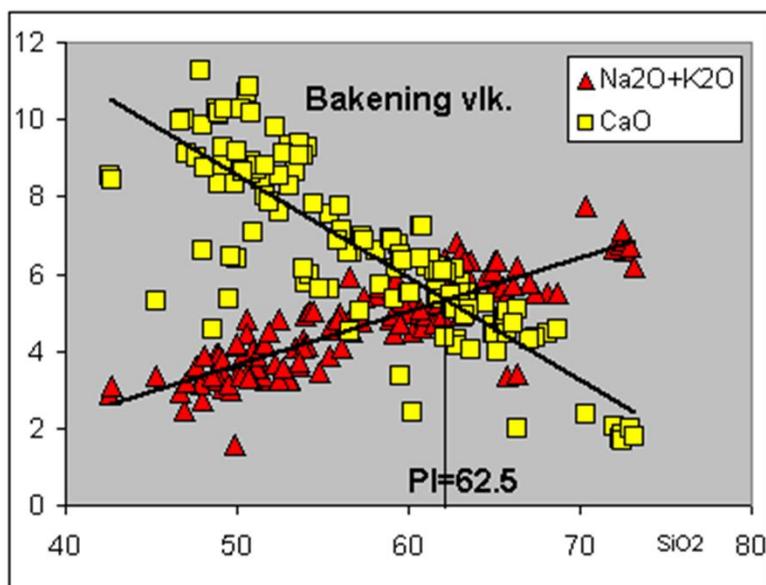
Вулканические серии Камчатки по Плечов, 2008.

По известково-щелочному индексу Пикока.

По Плечов, 2008:

- щелочные (менее 51%)
- щелочно-известковые (52-56 %)
- известково-щелочные (56-61 %)
- известковые (более 61%)

Оценка индекса Пикока для серии островодужного вулкана Бакенинг (Камчатка) $PI=62.5$



Вулкан	$I_{\text{Пикока}}$		K_{52}
Авачинский	67	изв.	0.48
Бакенинг	62.1	изв.	1.02
Безымянный	64.4	изв.	0.98
Карымский	61.2	изв.	0.44
Камбальный	64.5	изв.	0.57
Ильинский	63.9	изв.	0.64
Кизимен	63.1	изв.	0.95
Ключевской	58.8	изв.-щел.	0.84
Ксудач	62.2	изв.	0.56
Курильское озеро	63.5	изв.	0.5
Мутновский	62.3	изв.	0.56
Шивелуч	61.8	изв.	1.27
Толбачик	55.2	щел.-изв	2.05
Толмачев Дол	58.8	изв.-щел.	0.98
Вилючинский	60.3	изв.-щел.	0.53
Узон	59.8	изв.-щел.	0.46

Типовые петрохимические характеристики, применяющиеся для
классификации базальтов

Характеристика	Значения
$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (вес.%)	>4 Натриевая серия 1-4 Калиево-натриевая серия <1 калиевая серия
$a_l' = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$ (вес.%) коэффициент глиноземистости	<0.75 низкоглиноземистые 0.75 - 1 - умеренно-глиноземистые 1-2 – высокоглиноземистые
$\text{K}_2\text{O}/\text{TiO}_2$	<0.8 >0.8
$f' = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2$ Фемичность	<16 лейкократовые 16-21 мезократовые 21-23 меланократовые
$A = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ $S = \text{SiO}_2 - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2)$	

Источник "Магматические горные породы", т.1, М., Наука, 1983, 368 с.

Базальты



Синим выделены для примера базальты, характерные для срединно-океанических хребтов

Элементы-примеси

Элементы-примеси - такие элементы, которые в рассматриваемой системе не входят стехиометрично в формулы минералов.

(LILE):

Li, K, Rb, Cs, Sr,
Ba

(HFSE):

Zr, Nb, Ta, Hf

(REE):

La, Ce, Nd, Sm,
Eu, Tb, Yb,
Lu

Группа Fe:

Ni, Co, Cr, V,
Mn (Fe)

The Geochemical Periodic Table

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rd
Fr	Ra	Ac															
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			Ac	Th	Pa	U											

	Volatiles		First Series Transition Metals		Alkali/Alkaline Earth Trace Elements
	Semi-Volatiles		High Field Strength Elements		Rare Earths & Related Elements
	Major Elements		Noble Metals		U/Th Decay Series Elements

Применение уравнения масс-баланса

$$C_{\text{bulk}} = \sum c_i x_i \quad - \text{общий масс-баланс}$$

$$C_{\text{bulk}} = c_1 x_1 + c_2 (1 - x_1) \quad - \text{масс-баланс для двух} \\ \text{компонентов}$$

Для фракционирования в системе минерал-расплав:

$$C_{\text{bulk}} = C_s F + C_L (1 - F), \quad \text{где } F \text{ – степень фракционирования}$$

$$C_s / C_L = Kd = D = \text{const} \quad (\text{для рассеянных элементов})$$

$$C_{\text{bulk}} = c_L D F + c_L (1 - F) \Rightarrow$$

$$C_L / C_{\text{bulk}} = 1 / (D F + 1 - F)$$

Фракционная кристаллизация рассеянных элементов

$$C_{\text{surface}} = D \cdot C_L$$

Концентрация элемента
на поверхности кристалла

$$C_L = X_L / M_L$$

$$C_L = X_0 - X_S / M_0 - M_S$$

Концентрация элемента в расплаве

$$dX_S / dM_S = D \cdot C_L = D \cdot (X_0 - X_S / M_0 - M_S) \quad \text{Дифференциальная форма уравнения}$$

$$dX_S / (X_0 - X_S) = D \cdot dM_S / (M_0 - M_S)$$

Перегруппировка членов уравнения

$$\ln (X_0 - X_S) = D \ln (M_S - M_0) + C$$

Интегрирование

Оценим свободный член интегрирования при $t=0$ (до кристаллизации $X_S = M_S = 0$):

$$C = \ln X_0 - D \ln M_0$$

$$\ln [(X_0 - X_S) / X_0] = D \ln [(M_0 - M_S) / M_0]$$

Фракционная кристаллизация рассеянных элементов

$$X_s = X_0[1-(1-M_s/M_0)^D]$$

Дифференцируем по M_s

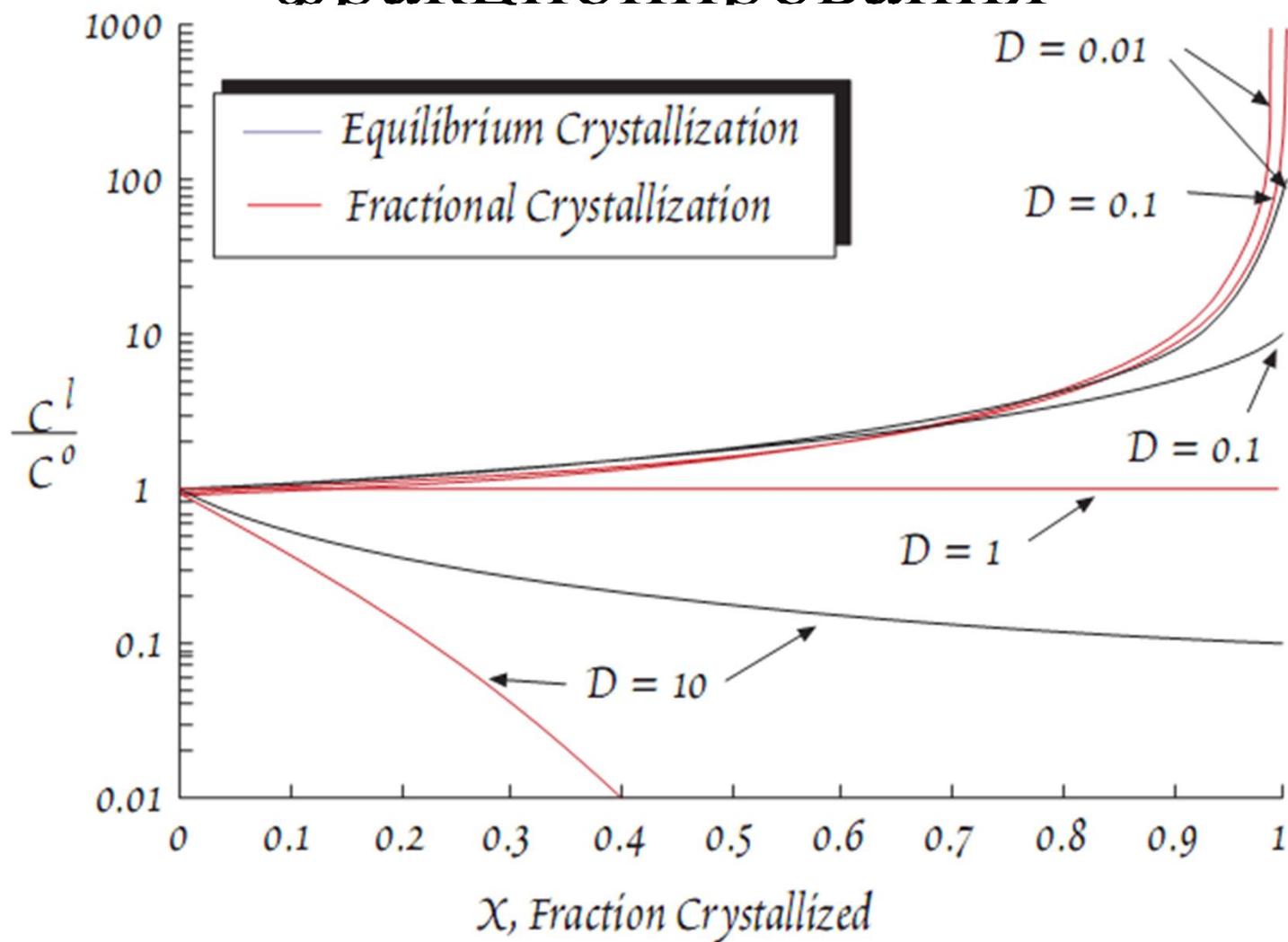
$$C_{\text{surface}} = dX_s/dM_s = D * X_0 M_0 (1 - M_s/M_0)^{D-1}$$

$C_0 = X_0/M_0$ начальная концентрация

$F = (1 - M_s/M_0)$ степень фракционирования

$$C/C_0 = D F^{D-1}$$

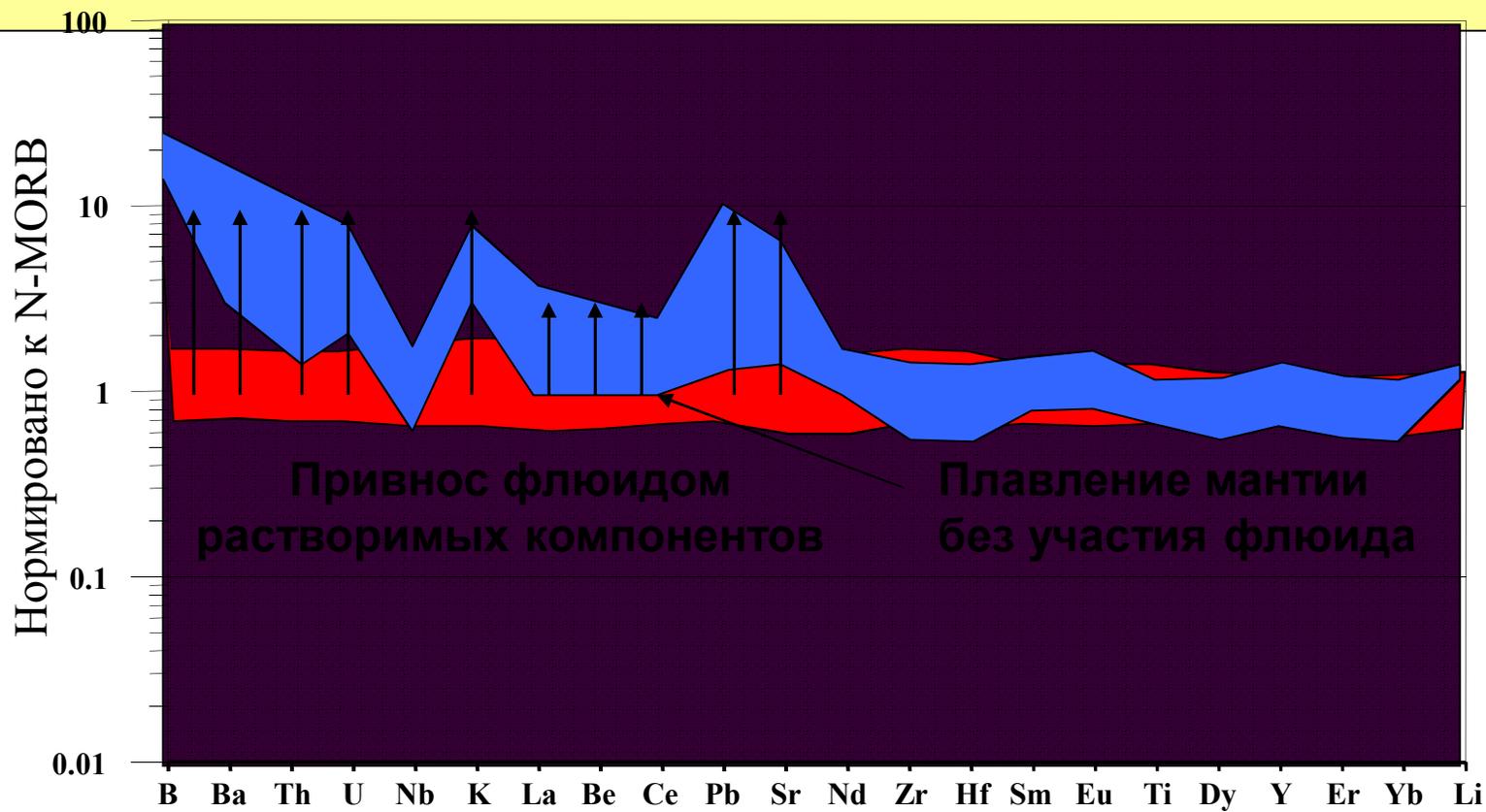
Различные способы фракционирования



Некоторые реперные элементы-примеси

- Ni, Co, Cr - Совместимые (когерентные) элементы. Ni (Co) преимущественно входит в оливин. Cr входит в хромшпинелид и клинопироксен. Высокие концентрации показывают малую степень фракционирования.
- V, Ti - Несовместимые элементы на ранних этапах фракционирования, но сильно совместимы с ильменитом и титаномagnetитом. Раздельное поведение отражает появление самостоятельной фазы титана.
- Zr, Hf - Сильно несовместимые элементы. Должны постоянно накапливаться при фракционировании.
- Ba, Rb - Несовместимые до появления минералов калия (калиевый полевой шпат, слюды - биотит, роговая обманка). Rb предпочитает слюды и Fsp. По K/Ba отношению можно выявить появление K-фаз.
- Sr - Замещает Ca в плагиоклазе (но не в клинопироксене). Совместим при низких давлениях (ранний плагиоклаз), несовместим при высоких (плагиоклаз неустойчив). Оценка глубинности фракционирования.
- REE - Гранат преимущественно накапливает тяжелые REE. Ортопироксен и роговая обманка имеют тот же эффект, но в меньшей степени. Сфен и плагиоклаз содержат преимущественно легкие REE. Eu²⁺ преимущественно в плагиоклазе. Степень деплетированности/фракционирования.
- Y - несовместимый (на уровне HREE). Преимущественно входит в гранат и амфибол. Сфен и апатит также могут концентрировать Y.

Островодужная геохимическая специфика



4. Изотопные системы.

Стабильная изотопия: для магматизма

характерно более «тяжелое»
содержание O, то есть $\delta^{18}\text{O}=5\text{‰}$

- Н - водород (^1H , ^2H , ^3H)
- С - углерод (^{13}C , ^{14}C)
- О - кислород (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O)
- S - сера (^{32}S , ^{34}S)
- He - гелий (^3He , ^4He)
- В - бор (^{10}B , ^{11}B)

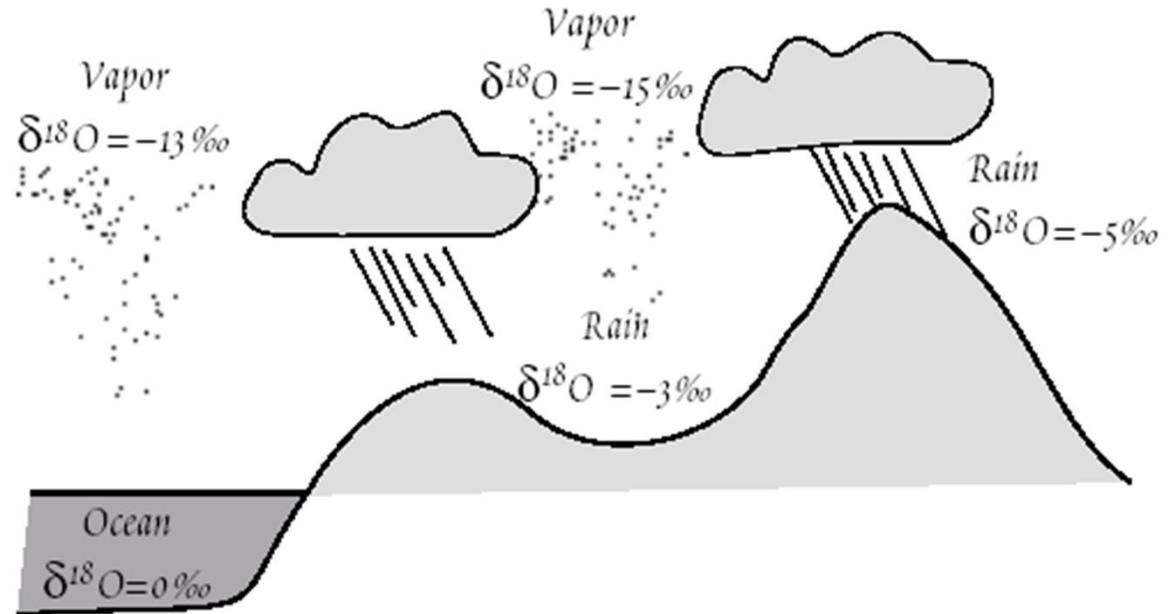
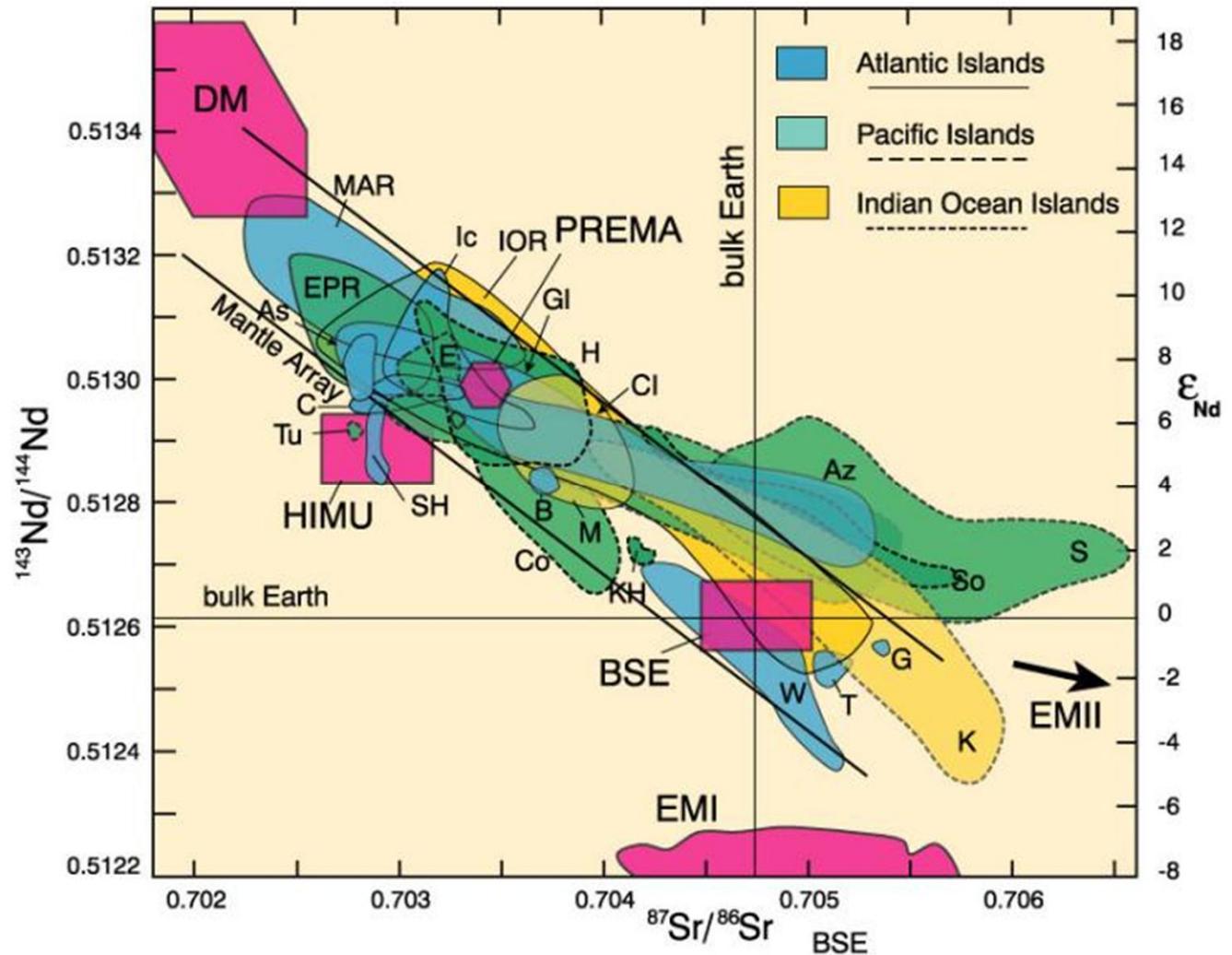


Схема изотопного фракционирования кислорода.

4. Изотопные системы.

Радиогенные системы: Используются для определения источников вещества и возраста.

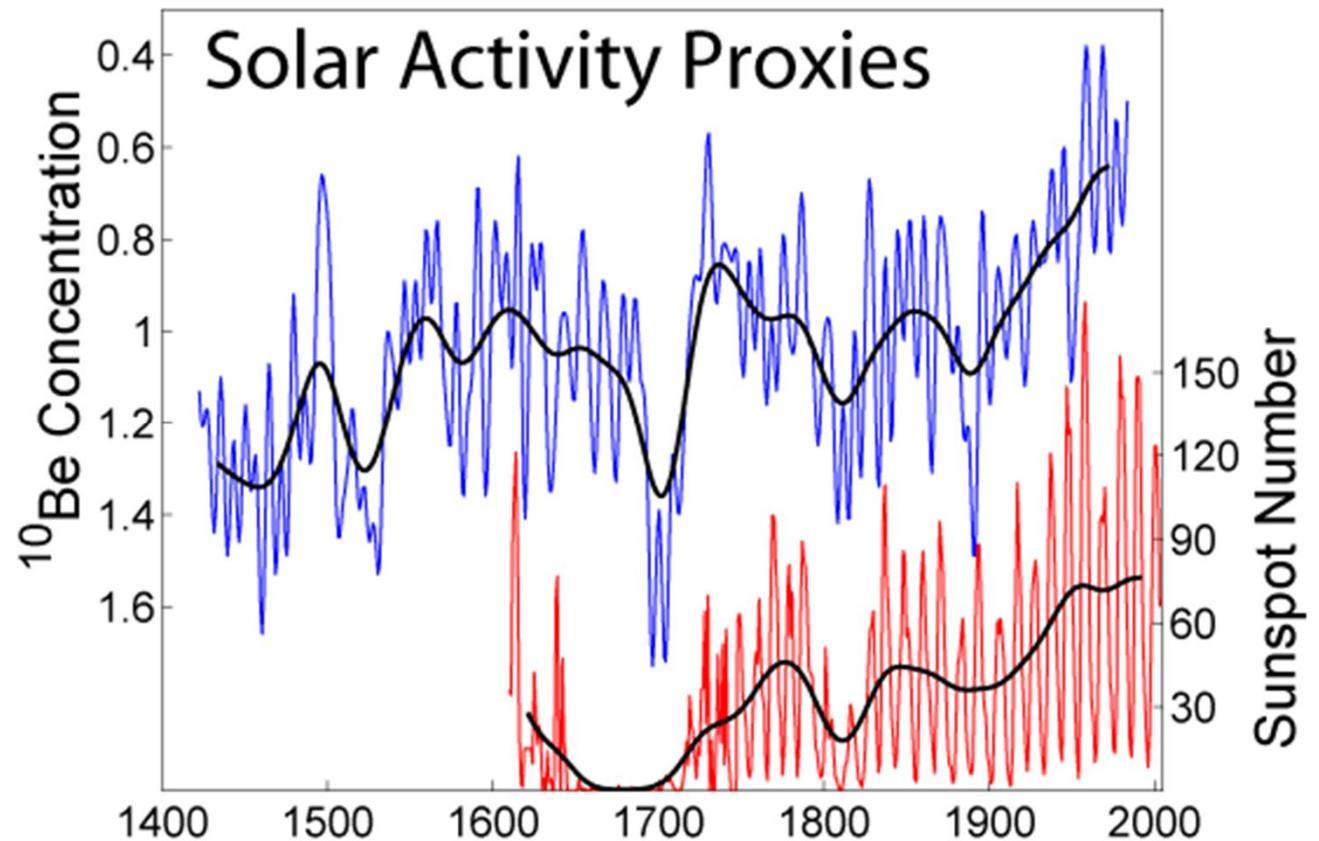
- **K-Ar**
- **Sm-Nd**
- **Rb-Sr**
- **U-Pb-Th**
- **Lu-Hf**
- **Re-Os**
- **La-Ce**



4. Изотопные системы.

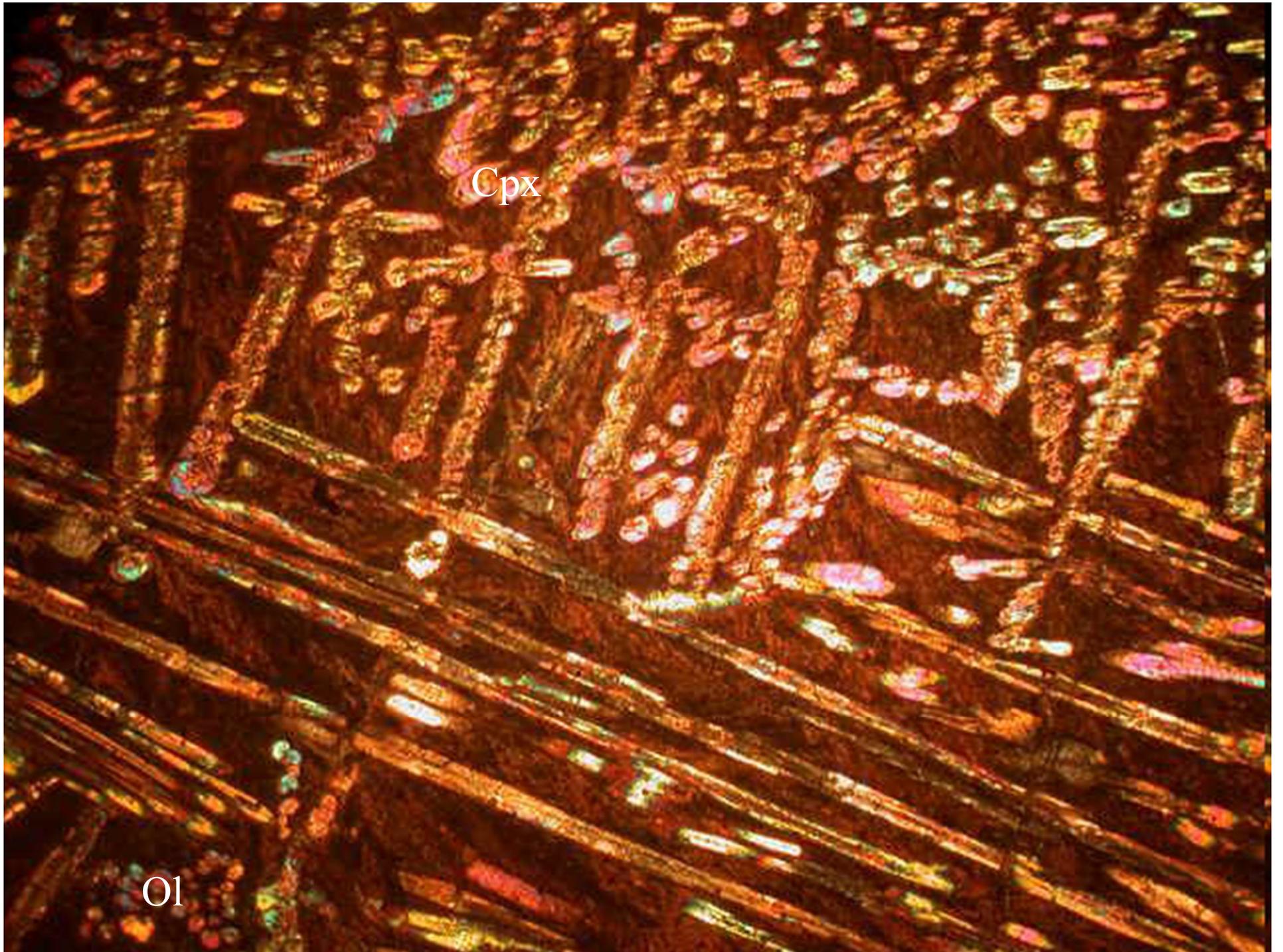
Короткоживущие космогенные изотопы: Используются для получения информации о возрасте и обстановках образования пород.

- ^{10}Be
- ^{36}Cl
- ^{14}C



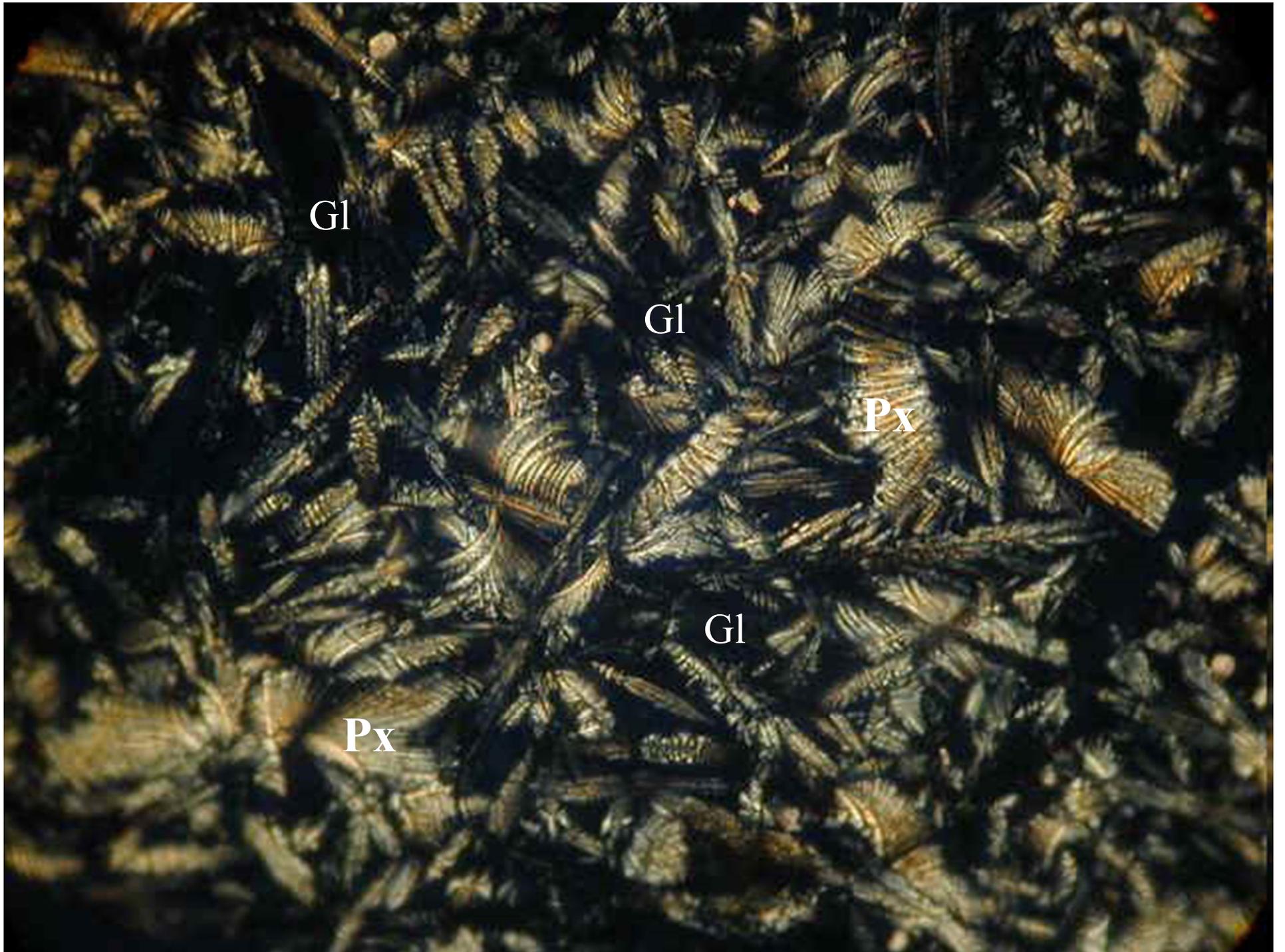
Краткие итоги лекции

- Классификация эффузивных пород строится на их минеральном составе. Выделяется около 160 базовых названий эффузивных пород, объединяемых в 16-20 семейств.
- Океаническая кора преимущественно сложена сильно измененными породами семейства базальтов.
- Элементы-примеси и отношения изотопов используются для дополнительной характеристики породы, а не для ее классификации



Cpx

O1



G1

G1

Px

G1

Px