

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД РИФТОВЫХ ЗОН КОНТИНЕНТОВ

- Систематика щелочных пород
- Гипотезы образования щелочных магм
- Ультракалиевые породы – лампроиты
- Аномальная мантия и мантийный метасоматизм
- Влияние CO_2 . Карбонатиты.
- Полигенетическое происхождение фонолитов

СПЕЦИФИКА ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

1. Щелочные породы содержат больше $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, чем может войти в полевые шпаты. Этот избыток щелочей расходуется на образование фельдшпатоидов, Na-пироксенов и щелочных амфиболов.
2. Относительный избыток $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ приводит к дефициту SiO_2 . Это выражается в том, что щелочные породы становятся "критически недосыщены" в отношении кремнезема. В результате при петрохимических пересчетах появляются нефелин, акмит, в сильно калиевых разностях - лейцит.
3. Дефицит полевошпатовых компонентов может проявляться и в недосыщенности по отношению к Al_2O_3 , хотя такие щелочные породы могут содержать достаточно SiO_2 , чтобы по этому критерию относиться к "насыщенным" и даже "пересыщенным".

ВАЖНЕЙШИЕ ТИПЫ ЩЕЛОЧНЫХ ВУЛКАНИТОВ

1. **БАЗАНИТ:** Ne-содержащий базальт (иногда лейцит + Ol)
2. **ТЕФРИТ:** безоливиновый базанит
3. **НЕФЕЛИНИТ:** парагенезис Ne + Cpx \pm Ol
4. **ЛЕЙЦИТИТ:** парагенезис Lc + Cpx \pm Ol
5. **МЕЛИЛИТИТ:** парагенезис мелилит + Cpx \pm Ol
6. **ШОШОНИТ:** высоко-K базальт, включающий K-шпат \pm Lc
7. **ФОНОЛИТ:** парагенезис щелочного полевого шпата + Ne
8. **КОМЕНДИТ:** щелочной риолит, $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3 \geq 1$
9. **ПАНТЕЛЛЕРИТ:** щелочной риолит, $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3 = 1.6-1.8$

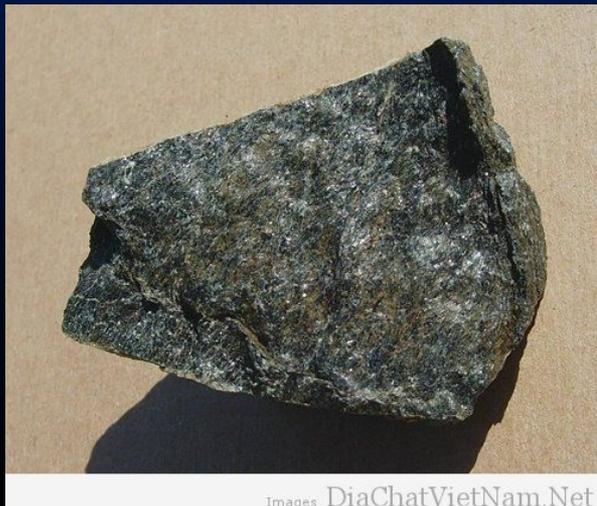
-
10. **ЛАМПРОИТ:** высоко-K и ультракалиевые породы, богатые летучими, содержат флогопит, биотит \pm Ol \pm Px
 11. **ЛАМПРОФИР:**

ЛАМПРОИТЫ И ЛАМПРОФИРЫ

ЛАМПРОИТ (англ. lamproite) – общее название для группы **богатых лейцитом и санидином**

вулканических пород. Термин введен П.Ниггли в 1923 г.

Алмазоносный **лампроит** впервые открыт в Австралии в 1976 году.

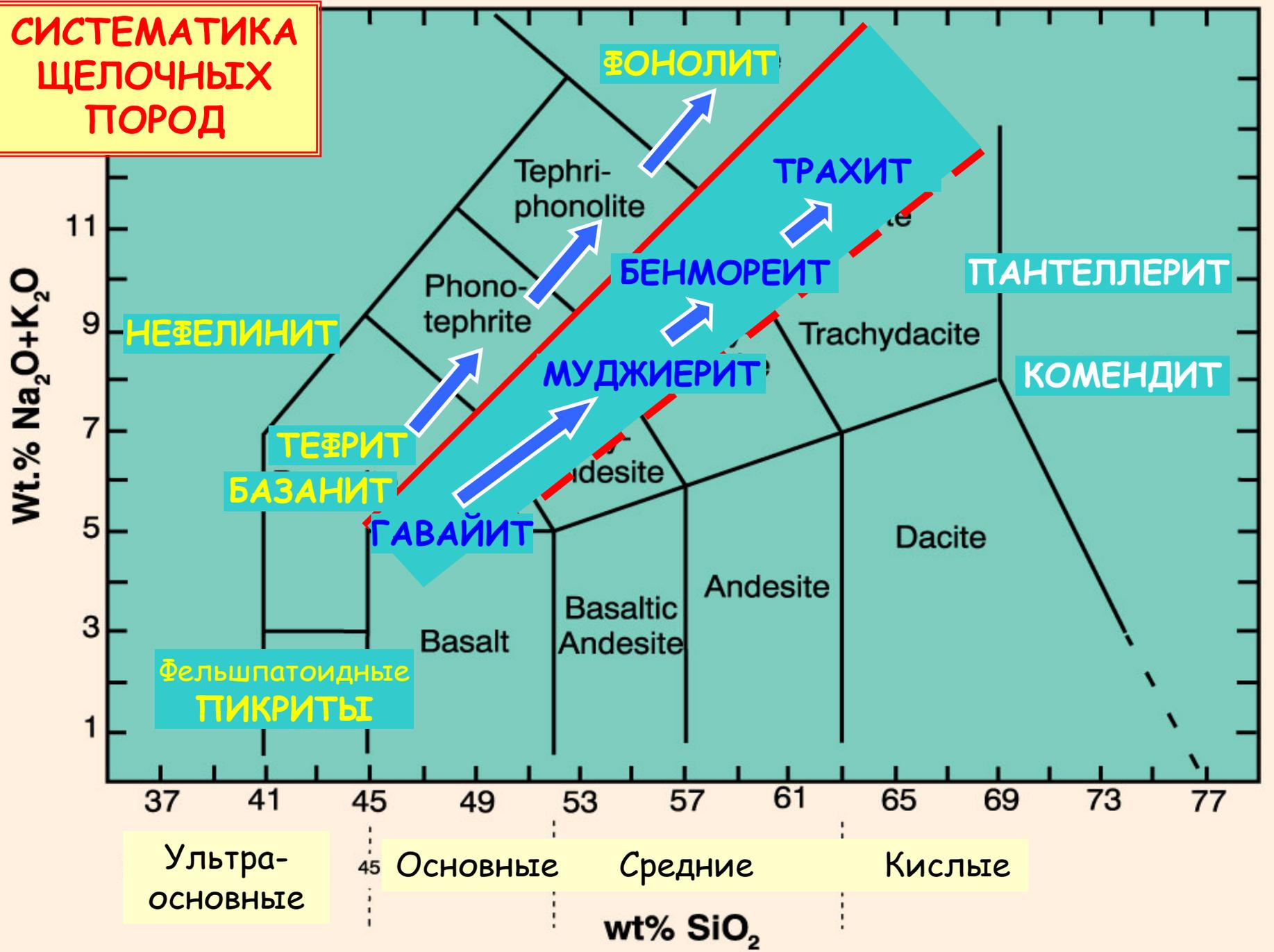


ЛАМПРОФИРЫ (от греч. lampros — блестящий, lamprophyres) — особая гипабиссальных полно-кристаллических пород ультраосновного, основного и среднего состава, обычно порфировой текстуры.

Термин введен Гюмбелем (Cumbel, 1879) для богатых слюдой и вследствие этого блестящих пород из даек Германии.

Содержат не менее 30% железомagneзиальных силикатов, среди которых главные — **биотит (флогопит) и/или амфибол**, второстепенные — Srх , Ol , мелилит. К главным минералам относятся также лабрадор, калиевый олигоклаз, K-Na анортоклаз, фельдшпатоиды (нефелин, лейцит, анальцим). Аксессуары — магнетит, апатит, циркон.

**СИСТЕМАТИКА
ЩЕЛОЧНЫХ
ПОРОД**



Ультра-основные

45 Основные

Средние

Кислые

wt% SiO₂

ГИПОТЕЗЫ ОБРАЗОВАНИЯ СЕРИЙ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

- Контаминация известняков (одна из первых идей)



-
- Фракционная кристаллизация субщелочных магм

О1-базальт (или анкарамит) → Гавайит → Муджиерит → Бенморейт → Трахит или Фонолит

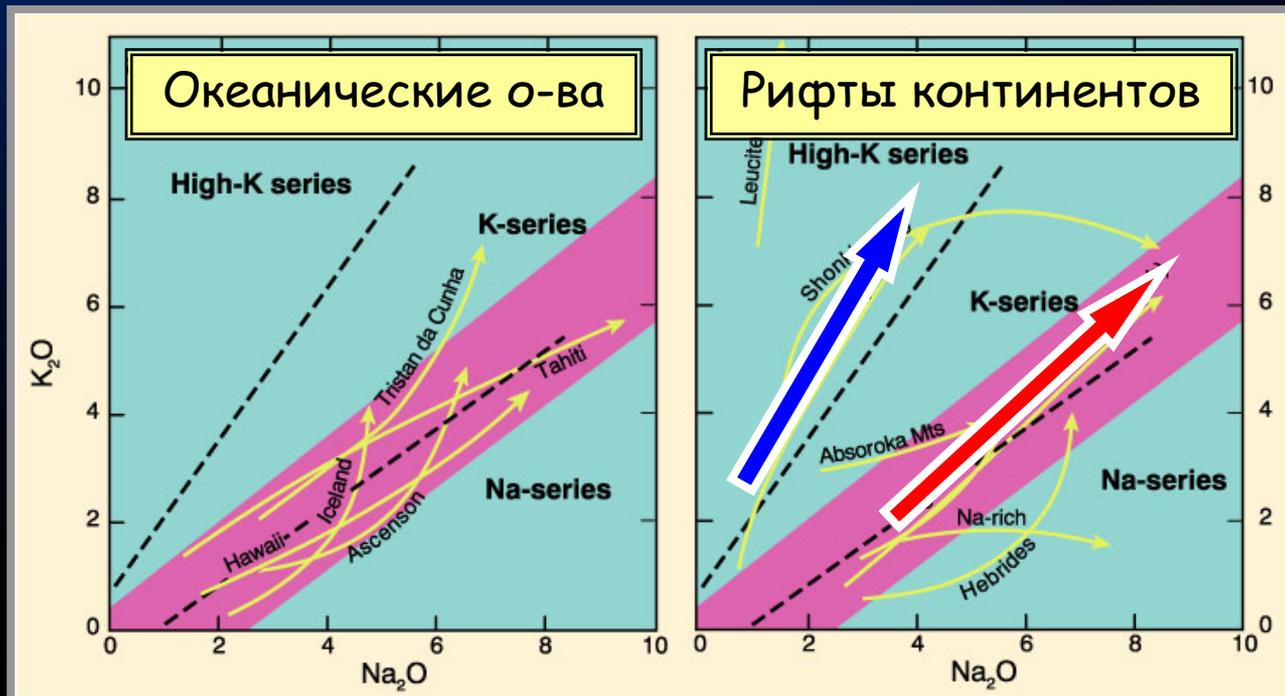
-
- Плавление субщелочных базальтов или амфиболитизированных аналогов основания коры

Гавайит (+ H₂O и CO₂) → Фонолит → Бенморейт → Муджиерит

----- Степень плавления ----->

ДВУХСТАДИЙНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ СЕРИЙ

1. Мантийное плавление и образование первичных щелочно-базальтовых магм
2. Внутрикоровая дифференциация этих расплавов, возможно рециклинг - плавление ранних продуктов кристаллизации.



Мантийный источник особенно важен для высоко-К магм

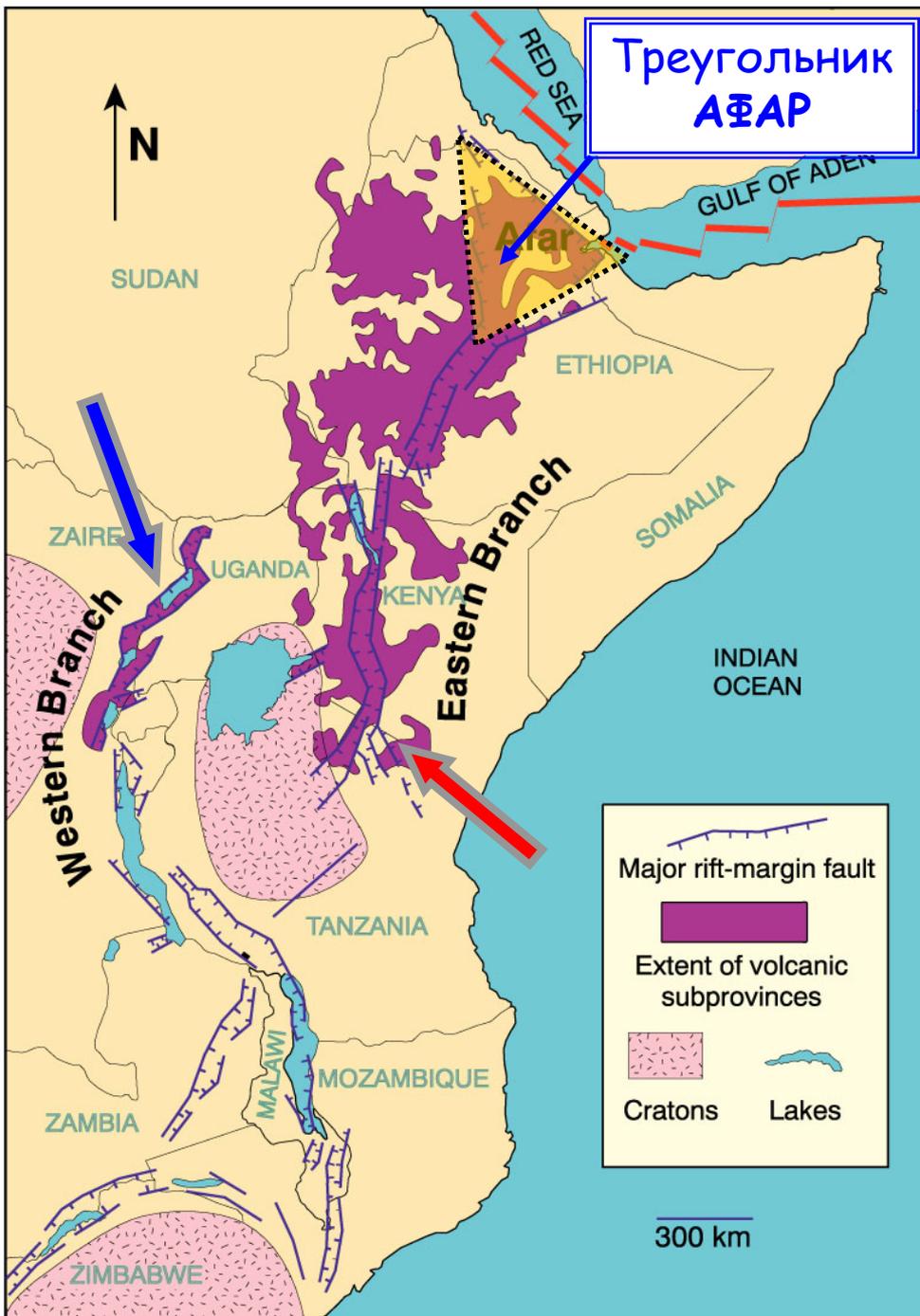
ВОСТОЧНО-АФРИКАНСКИЙ РИФТОВЫЙ ПОЯС (ВАРТ)

Более 6000 км !

Главные структуры:

1. Ньяса-Танганьикская зона
2. Кенийский (рифт Грегори) и Эфиопский рифт
3. Треугольник Афар
4. Красноморская зона
5. Аденская зона

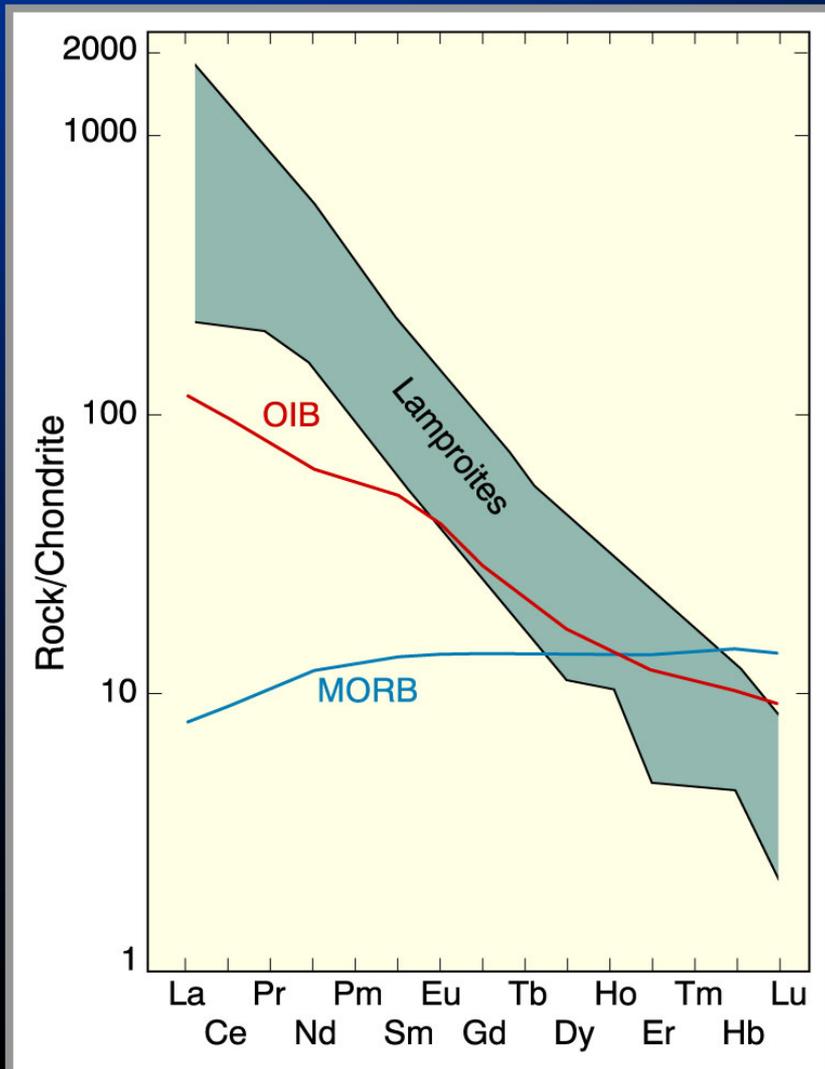
Толпиты



Составы высоко-Mg пород ультра-K серий Уганды в сравнении с лампроитами Австралии

Компонент	Лейцитит	Катунгит	Мафурит	Мафурит	Лампроит
Компонент	Вул. поле Бирунга	Вул. поле Торо-Анколе		Уганда	Австралия (105)
SiO ₂	43.7	35.00	37.95	39.06	42.31
TiO ₂	3.41	4.84	4.56	4.36	3.75
Al ₂ O ₃	10.0	7.69	7.98	8.18	3.92
FeO	10.6	11.17	10.27	9.13	8.27
MnO	0.21	0.26	0.22	0.26	-
MgO	11.2	12.37	14.27	17.66	24.42
CaO	13.8	16.02	12.31	10.40	5.00
Na ₂ O	1.89	1.33	0.95	0.18	0.50
K₂O	2.90	3.54	6.33	6.98	4.01
P ₂ O ₅	0.52	0.97	0.75	0.61	1.59

ЛАМПРОИТЫ: минералогия и химические особенности



Лампроиты – семейство ультра-калиевых вулканических и гипабиссальных пород, которые характеризуются максимальной степенью обогащения несовместимыми элементами:

$Ba > 5000$, $La > 200$ ppm, $Zr > 500$

$K_2O/Na_2O > 5$

Эти породы **никогда не содержат** полевых шпатов – обычный набор фенокристаллов:

**Ol + флогопит ± лейцит ±
Ti-K-амфибол (рихтерит) ± Crx**

ЛАМПРОИТЫ: содержания микроэлементов и сравнение с составами щелочных базальтов



МАНТИЙНЫЙ МЕТАСОМАТИЗМ И АНОМАЛЬНАЯ МАНТИЯ

Метасоматизированная мантия -

аномально обогащенная несовместимыми элементами в результате инфильтрационного просачивания расплавов низких степеней плавления и/или под воздействием мантийных флюидных потоков

Явление метасоматизма

всегда обусловлено наличием подвижного и химически активного агента (расплава или флюида), который имеет возможность перемещаться в пределах примитивной мантии и вступать в реакции со слагающими ее минералами.

Признаки преобразования мантийного вещества под воздействием флюидных потоков

1. Находки ксенолитов с высоким содержанием гидро-силикатов, фосфатов и минералов титана. Присутствие Al-Fe-Ti клинопироксена.

Эти метасоматизированные породы можно характеризовать как:

верлиты ($Ol + Crx$, $Ol > 40\%$),

оливиновые клинопироксениты ($Ol + Crx$, $Ol < 40\%$),

или **пироксениты** ($Orx + Crx + Ol$, $Ol < 40\%$),

ЛАМППРОИТЫ: продукты аномальной мантии !?

Степень обогащения высоко-К лампроитов относительно мантийных перидотитов

Элемент	Ксенолиты		ЛАМпроит	Степень обогащения	
	Sp-Пер	МЕТ		ЛАМ/Sp-Пер	ЛАМ/МЕТ
Rb	1.9	47	457	241	9.7
Ba	33	1442	10607	321	7.4
Nb	4.8	60	147	31	2.5
K	8300	16683	79680	10	4.8
La	2.6	-	348	134	-
Ce	6.3	80	629	100	7.9
Sr	49	747	1296	26	1.7
Ti	540	15480	37740	70	2.4

Признаки преобразования мантийного вещества под воздействием флюидных потоков

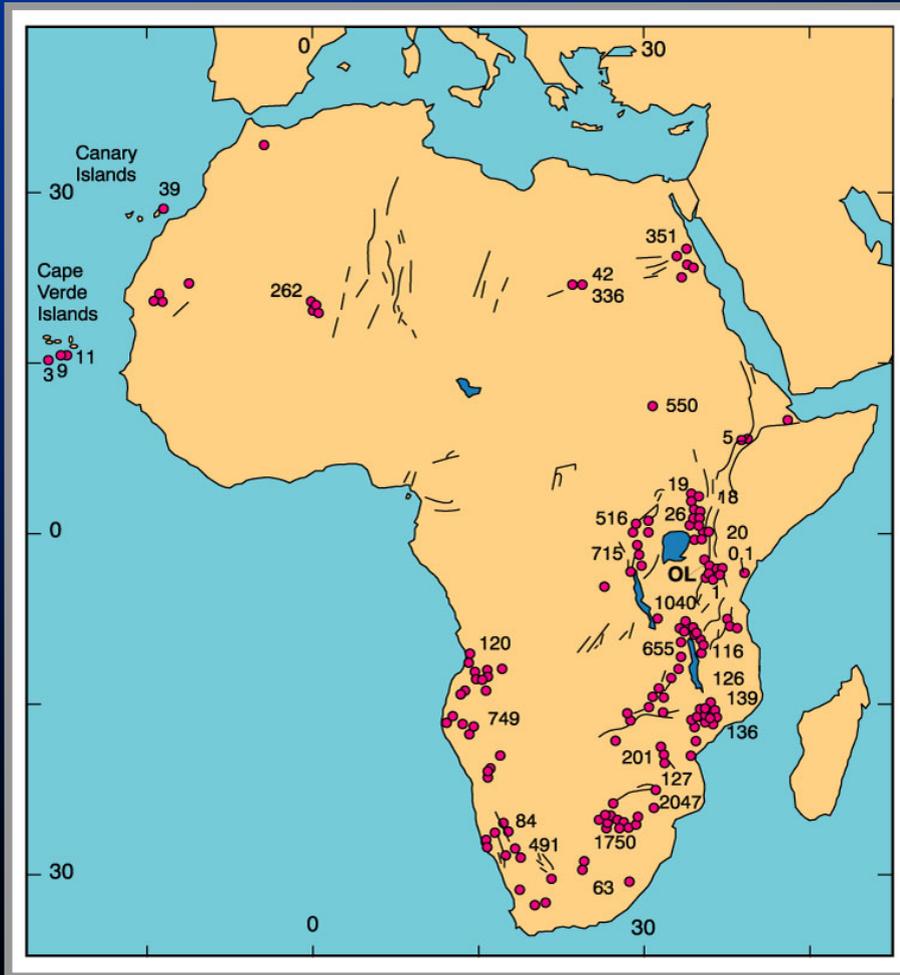
1. Находки ксенолитов.
2. Обогащение межзернового пространства нодулей редкоземельными элементами.
3. Обнаружение флюидных включений, заполненных высокоплотной двуокисью углерода (CO_2).

Присутствие CO_2 в мантийном источнике – важнейший фактор образования и эволюции щелочных магм !!!

Составы высоко-Mg пород ультра-K серий пограничных районов Уганды

Оксид	Лейцитит	Катунгит	Мафурит	Мафурит	Лампроит
	Вул. поле Бирунга	Вул. поле Торо-Анколе		Уганда	Австралия (105)
SiO ₂	43.7	35.00	37.95	39.06	42.31
TiO ₂	3.41	4.84	4.56	4.36	3.75
Al ₂ O ₃	10.0	7.69	7.98	8.18	3.92
FeO	10.6	11.17	10.27	9.13	8.27
MnO	0.21	0.26	0.22	0.26	-
MgO	11.2	12.37	14.27	17.66	24.42
CaO	13.8	16.02	12.31	10.40	5.00
Na ₂ O	1.89	1.33	0.95	0.18	0.50
K₂O	2.90	3.54	6.33	6.98	4.01
P ₂ O ₅	0.52	0.97	0.75	0.61	1.59

КАРБОНАТИТЫ: минеральный состав и ассоциации



В мире известно более 330 проявлений карбонатитовых лав.

Общая площадь не выше 100 км².

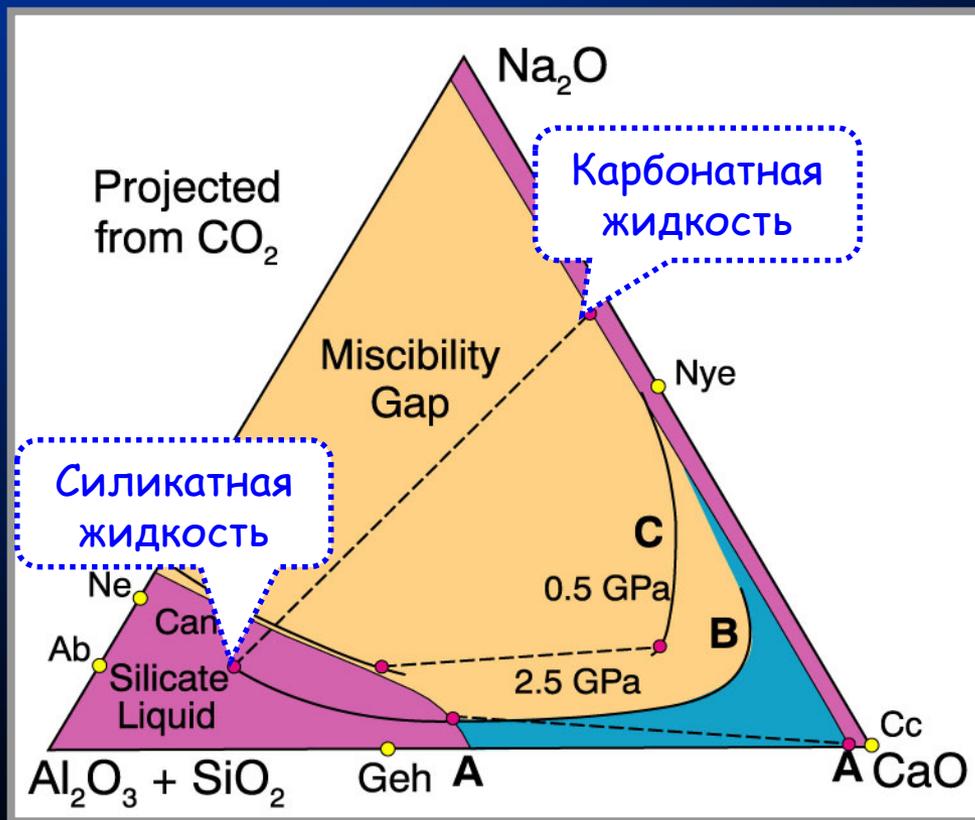
Карбонатит – магматическая порода, содержащая > 50% карбоната.

Обычно это **кальцит**, но может быть **доломит** или просто **сода** (влк. Олдоиньо-Ленгаи в Танзании).

Часто в ассоциации с **Срх**, **щелочным амфиболом**, **Мт** и **биотитом**.

Обычно карбонатиты ассоциируют с Na-щелочными сериями, включая породы от нефелинитов до фонолитов.

КАРБОНАТИТЫ: как продукт несмешиваемости карбонатно-силикатных систем

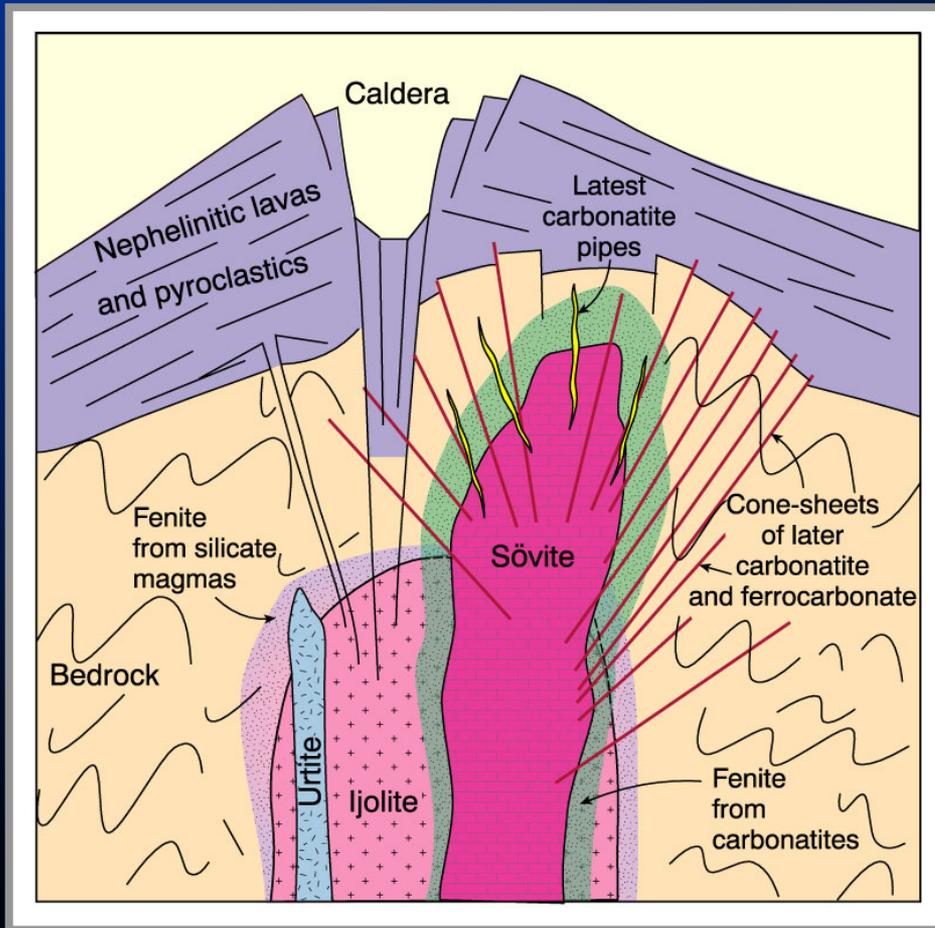


Фазовое расслоение в системе Na₂O-CaO - SiO₂-Al₂O₃-CO₂ Проекция из вершины CO₂ для CO₂-насыщенных условий.

Карбонатиты Вост. Африки

Оксид	Танзания	Уганда
SiO ₂	0.16	13.53
TiO ₂	0.02	1.94
Al ₂ O ₃	0.0	2.40
FeO	0.25	11.66
MnO	0.38	0.45
MgO	0.38	8.45
CaO	14.02	35.33
Na₂O	37.22	0.87
K₂O	8.38	0.07
P ₂ O ₅	0.85	3.27
H ₂ O ⁺	0.56	5.83
CO₂	31.55	11.64
SO ₃	3.72	0.28

КАРБОНАТИТЫ: СВЯЗЬ С ИНТРУЗИВНЫМИ ТЕЛАМИ



В этой схеме главное тело карбонатитов (красный цвет) интрузирует комплекс щелочных пород.

В последующем оно прорывается лавами более поздних карбонатитов.

Поздние карбонатиты обычно обогащены железом и РЗЭ.

Интрузивные тела ийолитов, уртитов и карбонатитов окружены ареолами фенитизации.

Идеализированный разрез интрузивного комплекса, включающего карбонатиты.

Возможная зональность метасоматизированной мантии

И.Д.Рябчиков провел термодинамический анализ условий выделения петрогенных компонентов из мантийных флюидов при взаимодействии с примитивным веществом на различных глубинах и пришел к следующим выводам:

(1) Богатые калием минеральные фазы должны "сбрасываться" из флюида раньше - на более глубинных уровнях верхней мантии. Тогда как обогащение натрием должно проявляться на меньших глубинах.

Эти соображения и оценки лежат в русле современных представлений об относительных условиях формирования источника существенно натровых (гавайитовых) и ультракалиевых серий.

(2) Второй результат этого анализа касается выделения глиноземистых фаз. В разных участках верхней мантии могут существовать флюиды, обогащенные щелочами относительно Al (т.е. имеющие агпаитовый сухой остаток - *напомнить*), причем коэффициент агпаитности флюидов понижается при уменьшении давления.

ВНУТРИКОРОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОБРАЗОВАНИЕ ФОНОЛИТОВ

СОСТАВЫ ПОРОД КЕНИЙСКОГО СВОДА

Оксид	Гавайитовая серия		Фонолит	"Трахитовая" серия		
	Базанит	Муджиерит		Трахибазальт	Бенморейт	Трахит
SiO ₂	43.90	50.85	55.22	47.64	59.24	63.65
TiO ₂	2.79	1.51	0.77	3.07	1.31	0.94
Al ₂ O ₃	14.38	19.69	21.09	14.20	15.92	14.12
FeO	11.80	5.88	4.01	13.61	6.52	7.84
MnO	0.23	0.20	0.26	0.24	0.20	0.27
MgO	6.10	1.96	0.48	5.41	2.27	0.04
CaO	10.48	5.86	2.21	10.86	4.77	1.31
Na ₂ O	4.55	6.16	9.57	2.82	5.20	6.34
K ₂ O	1.56	3.69	4.56	1.23	4.10	5.22
P ₂ O ₅	0.54	0.44	0.06	0.58	0.28	0.07
Нормативный состав						
Q	-	-	-	-	0.7	4.4
Ne	15.9	14.7	26.2	-	-	-
Di	29.1	9.5	5.6	22.9	11.5	5.4

Три группы фонолитов

- (1) **Первая группа** – когда относительно небольшие объемы этих пород ассоциируют с оливиновыми базальтами, гавайитами и муджиеритами.
- (2) **Вторая группа** – когда фонолиты в виде небольших трубок и потоков встречаются на флангах крупных нефелинитовых вулканов.

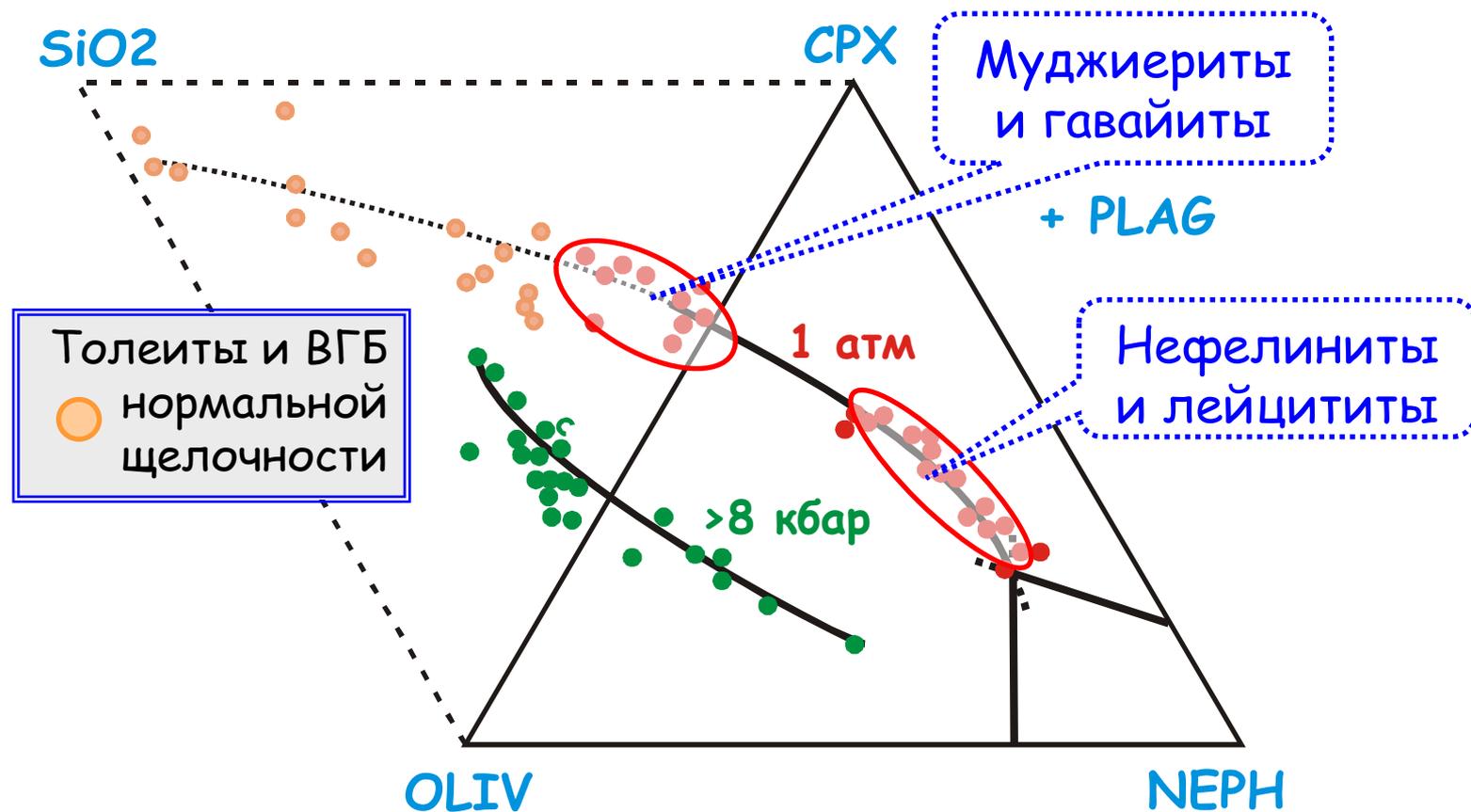
Именно эти фонолиты (обоих типов) объясняют фракционной кристаллизацией щелочно-базальтовой или нефелинитовой магмы.

(3) **Третья группа** представляет фонолиты покровного типа, которые отличаются огромными объемами и кратковременным характером излияний на фоне довольно однородного состава и редкой ассоциации с базальтоидами.

Происхождение фонолитов 3-й группы связывают с процессами частичного плавления под купольными поднятиями земной коры.

**ФРАКЦИОННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ
как механизм образования
фонолитов**

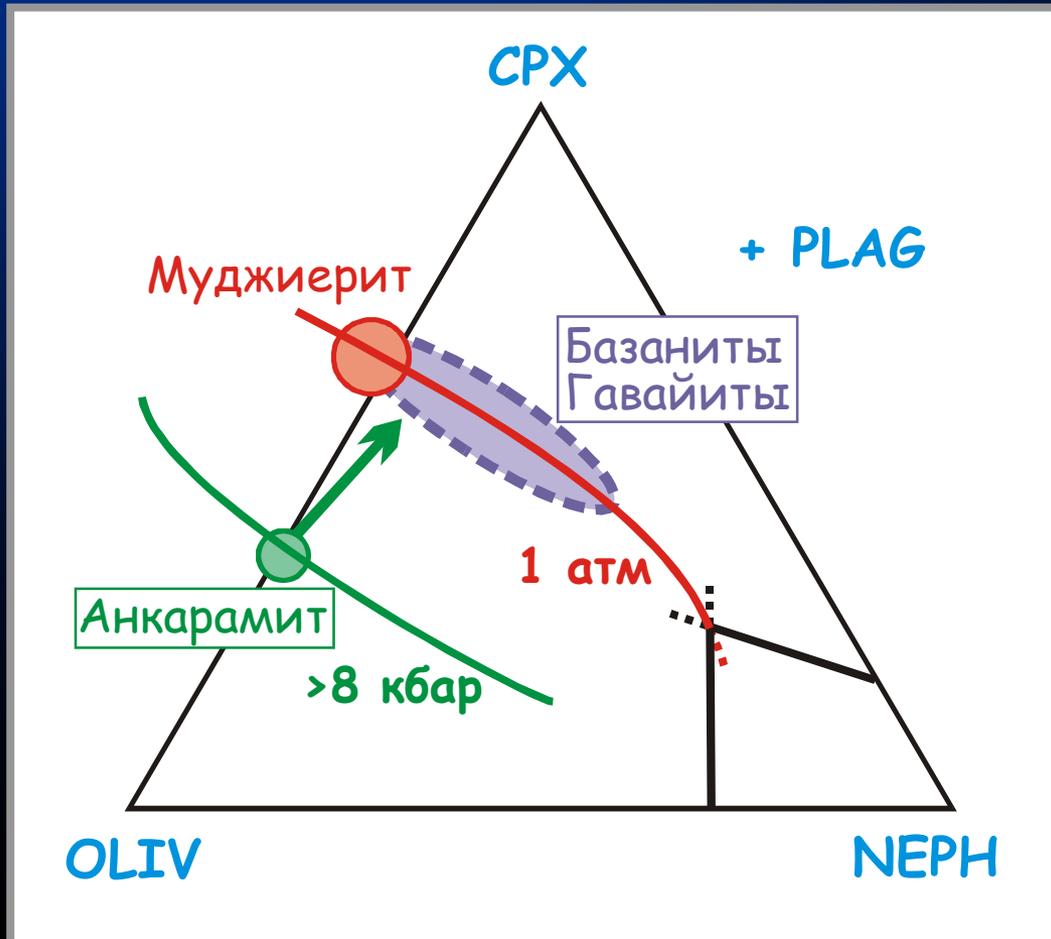
Составы котектических стекол в опытах плавлению щелочных пород и нормальных базальтов



Опыты со щелочными породами: ● 1 атм ● 8-30 кбар

Проецирование составов пород щелочной серии влк. Карисимби на диаграмму OLIV-CPX-NEPH

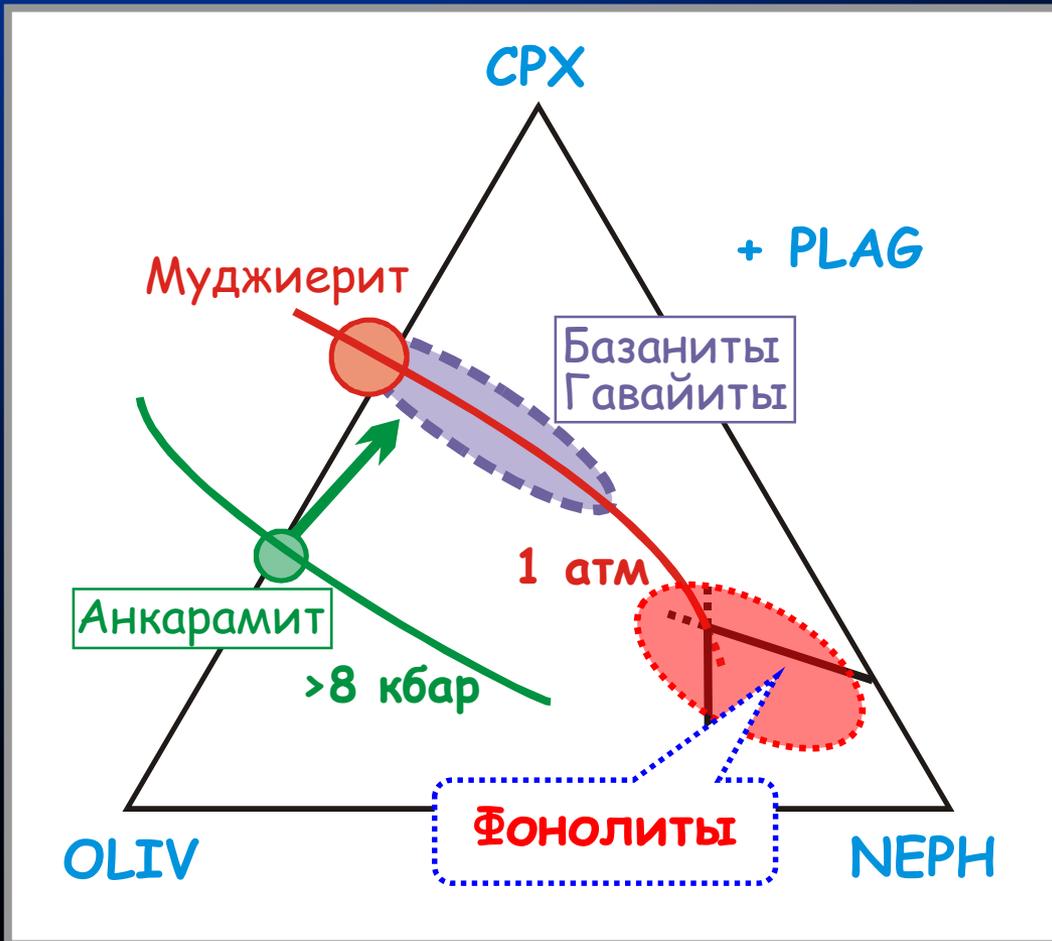
Анкарамит → гавайит → муджиерит → бенморейт → трахит



ВЫВОДЫ:

1. Базаниты и гавайиты представляют продукт фракционирования анкарамитовых магм
2. "Кислотная" часть серии от муджиеритов до трахитов может быть связана с источником посредством кристаллизации магнетита.

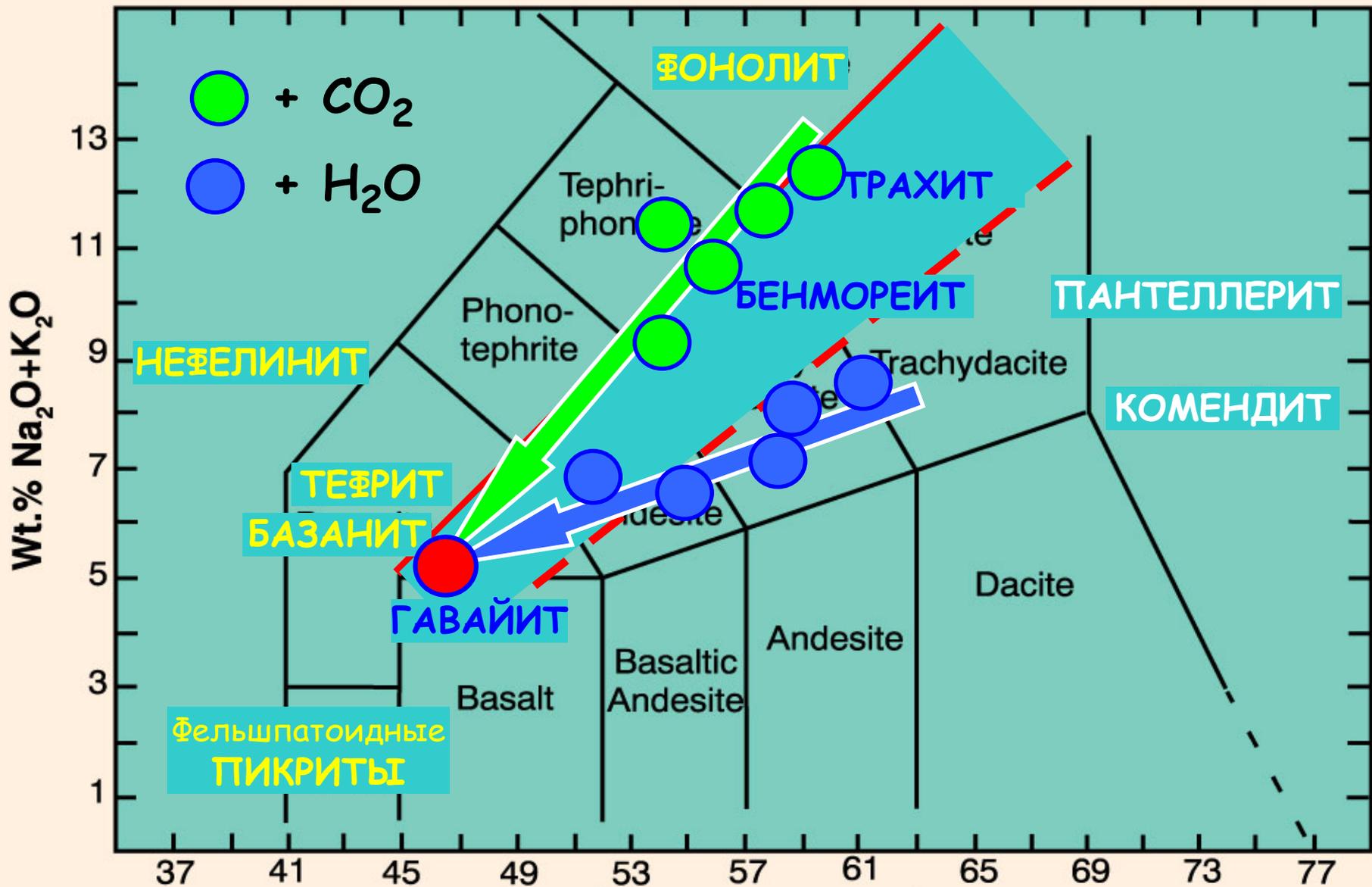
Проецирование составов фонолитов на диаграмму OLIV-CPX-NEPH



ВЫВОДЫ:

1. **Фонолиты могут быть** продуктом фракционной кристаллизации гавайитовых и нефелинитовых магм.
2. **Фонолиты могут представлять** результат плавления корового материала, имеющего состав щелочных базальтов.

**ЧАСТИЧНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ
БАЗАНИТОВ
как механизм образования
фонолитов**



РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ПО ПЛАВЛЕНИЮ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД И АМФИБОЛИТИЗИРОВАННЫХ АНАЛОГОВ