

# ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД РИФТОВЫХ ЗОН КОНТИНЕНТОВ

- Систематика щелочных пород
- Гипотезы образования щелочных магм
- Ультракалиевые породы – лампроиты
- Аномальная мантия и мантийный метасоматизм
- Влияние  $\text{CO}_2$ . Карбонатиты.
- Полигенетическое происхождение фонолитов

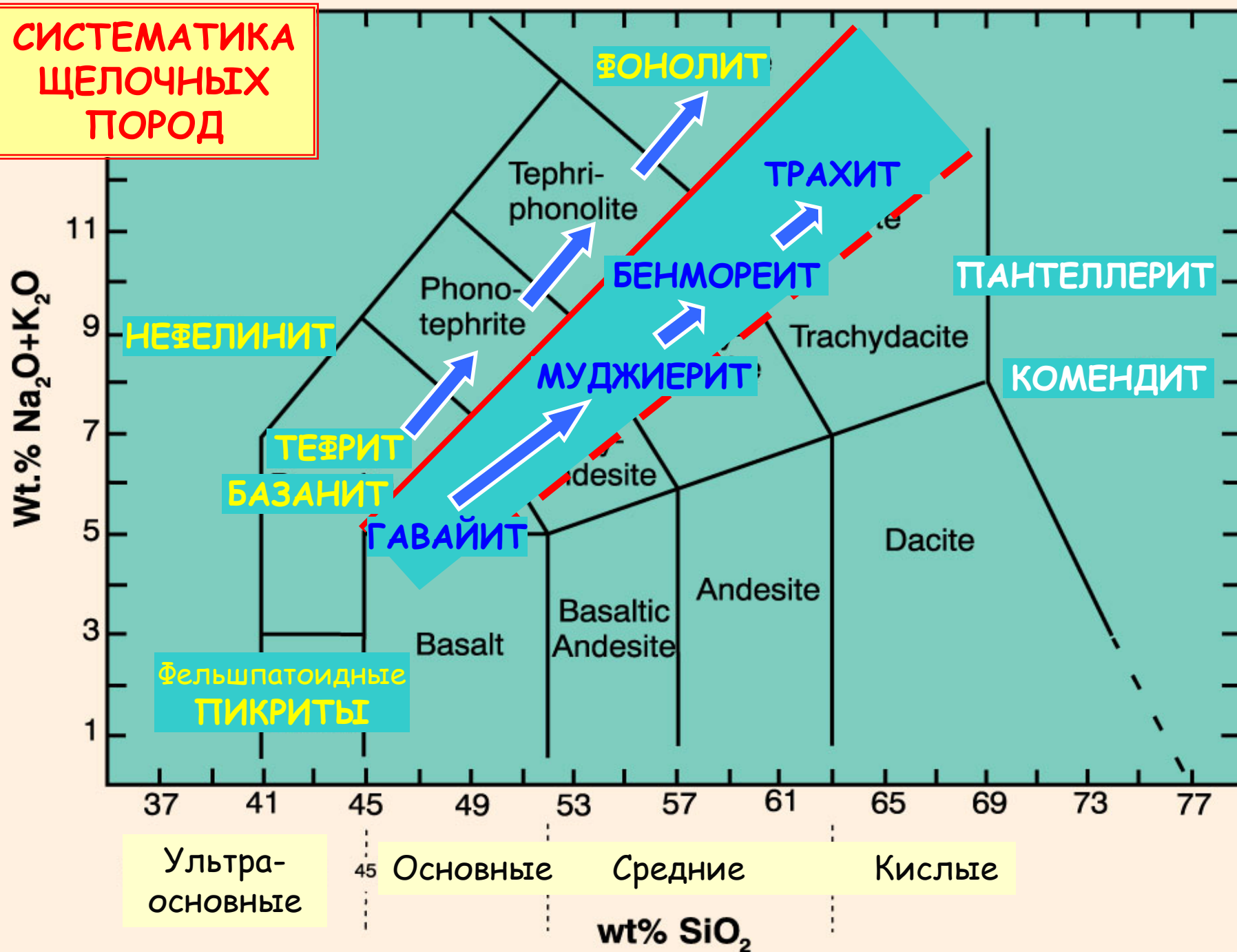
## СПЕЦИФИКА ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

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  $\text{SiO}_2$ . 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , хотя такие щелочные породы могут содержать достаточно  $\text{SiO}_2$ , чтобы по этому критерию относиться к "насыщенным" и даже "пересыщенным".

## ВАЖНЕЙШИЕ ТИПЫ ЩЕЛОЧНЫХ ВУЛКАНИТОВ

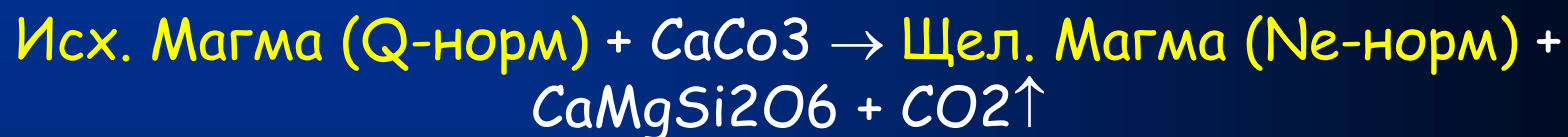
- |                 |   |
|-----------------|---|
| 1. БАЗАНИТ:     | Ne-содержащий базальт (иногда лейцит + Ol)          |
| 2. ТЕФРИТ:      | безоливиновый базанит                               |
| 3. НЕФЕЛИНИТ:   | парагенезис Ne + Cpx $\pm$ Ol                       |
| 4. ЛЕЙЦИТИТ:    | парагенезис 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             |
| 11. ЛАМПРОФИР: | летучими, содержат флогопит, биотит $\pm$ Ol $\pm$ Px |

# СИСТЕМАТИКА ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД



# ГИПОТЕЗЫ ОБРАЗОВАНИЯ СЕРИЙ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

- Контаминация известняков (одна из первых идей)



- 
- Фракционная кристаллизация субщелочных магм

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

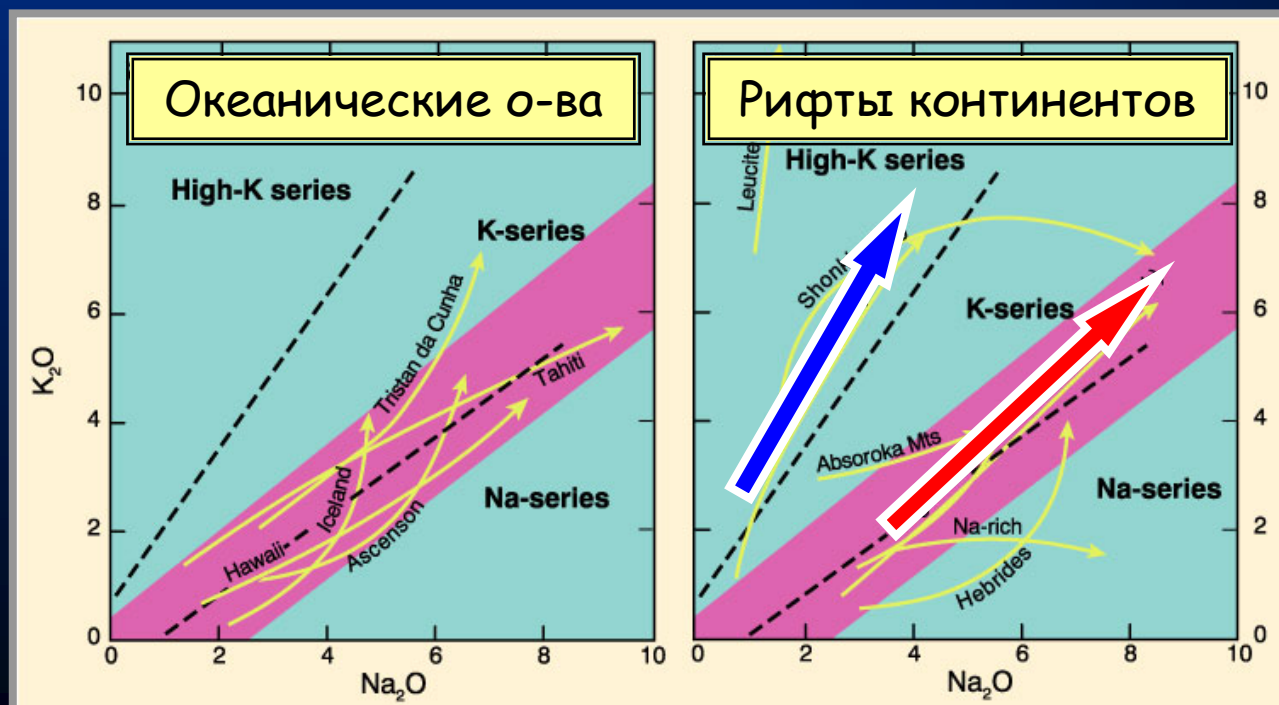
- 
- Плавление субщелочных базальтов или амфиболитизированных аналогов основания коры

Гавайит (+ H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>) → Фонолит → Бенморейт → Муджиерит

— — — — Степень плавления — — — —>

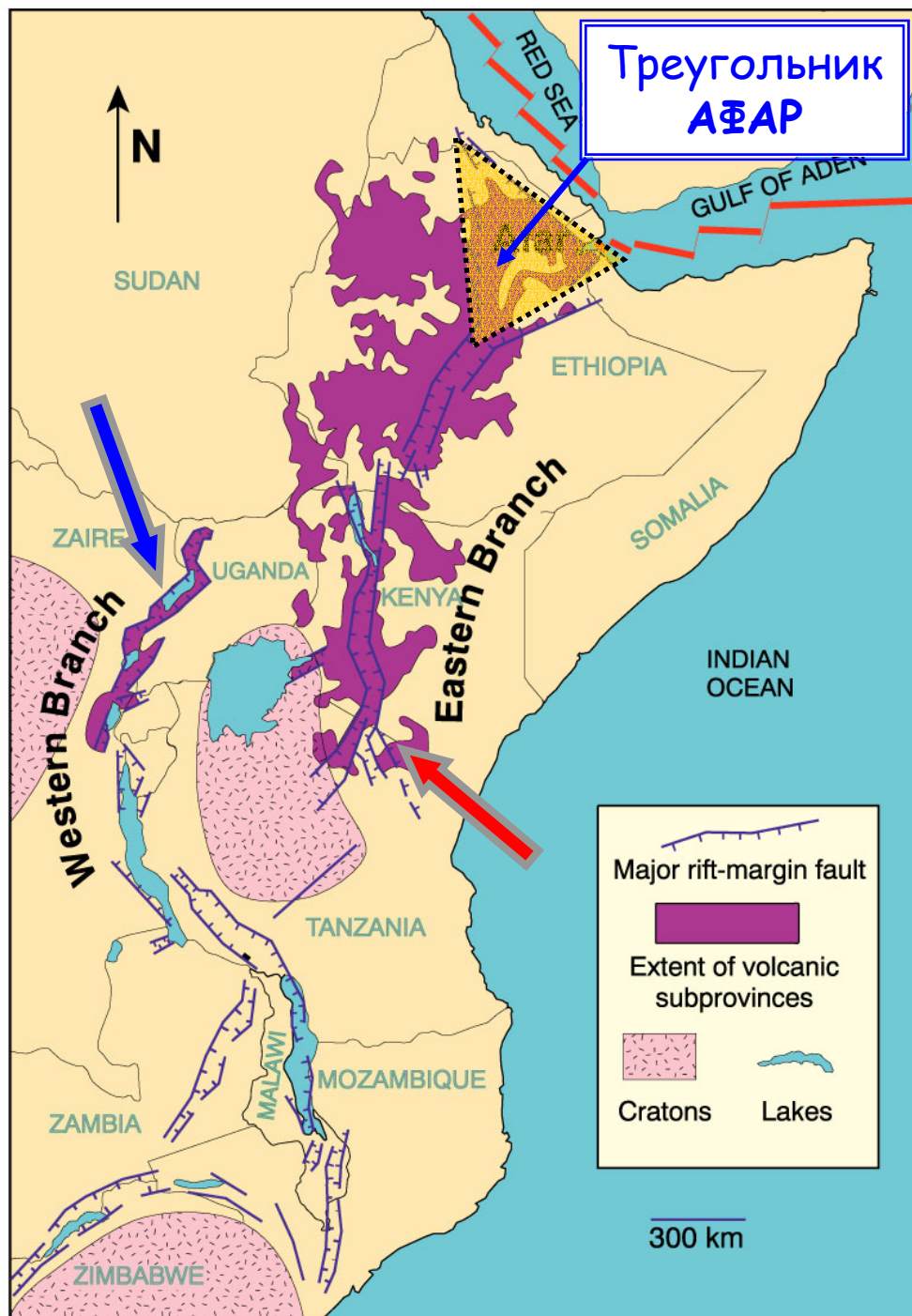
# ДВУХСТАДИЙНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ СЕРИЙ

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 (ВАРПТ)

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

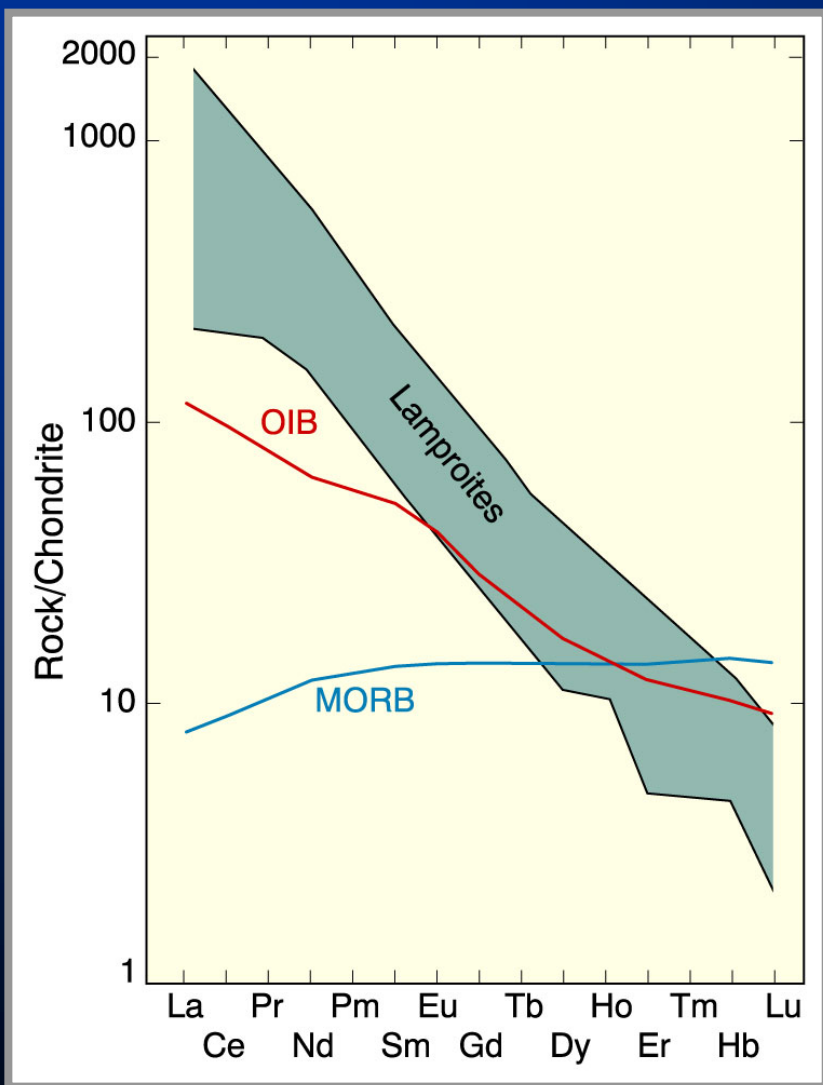
Толепиты

## 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 <sub>2</sub>	43.7	35.00	37.95	39.06	42.31
TiO <sub>2</sub>	3.41	4.84	4.56	4.36	3.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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	-
<b>MgO</b>	<b>11.2</b>	<b>12.37</b>	<b>14.27</b>	<b>17.66</b>	<b>24.42</b>
CaO	13.8	16.02	12.31	10.40	5.00
Na <sub>2</sub> O	1.89	1.33	0.95	0.18	0.50
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>2.90</b>	<b>3.54</b>	<b>6.33</b>	<b>6.98</b>	<b>4.01</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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:

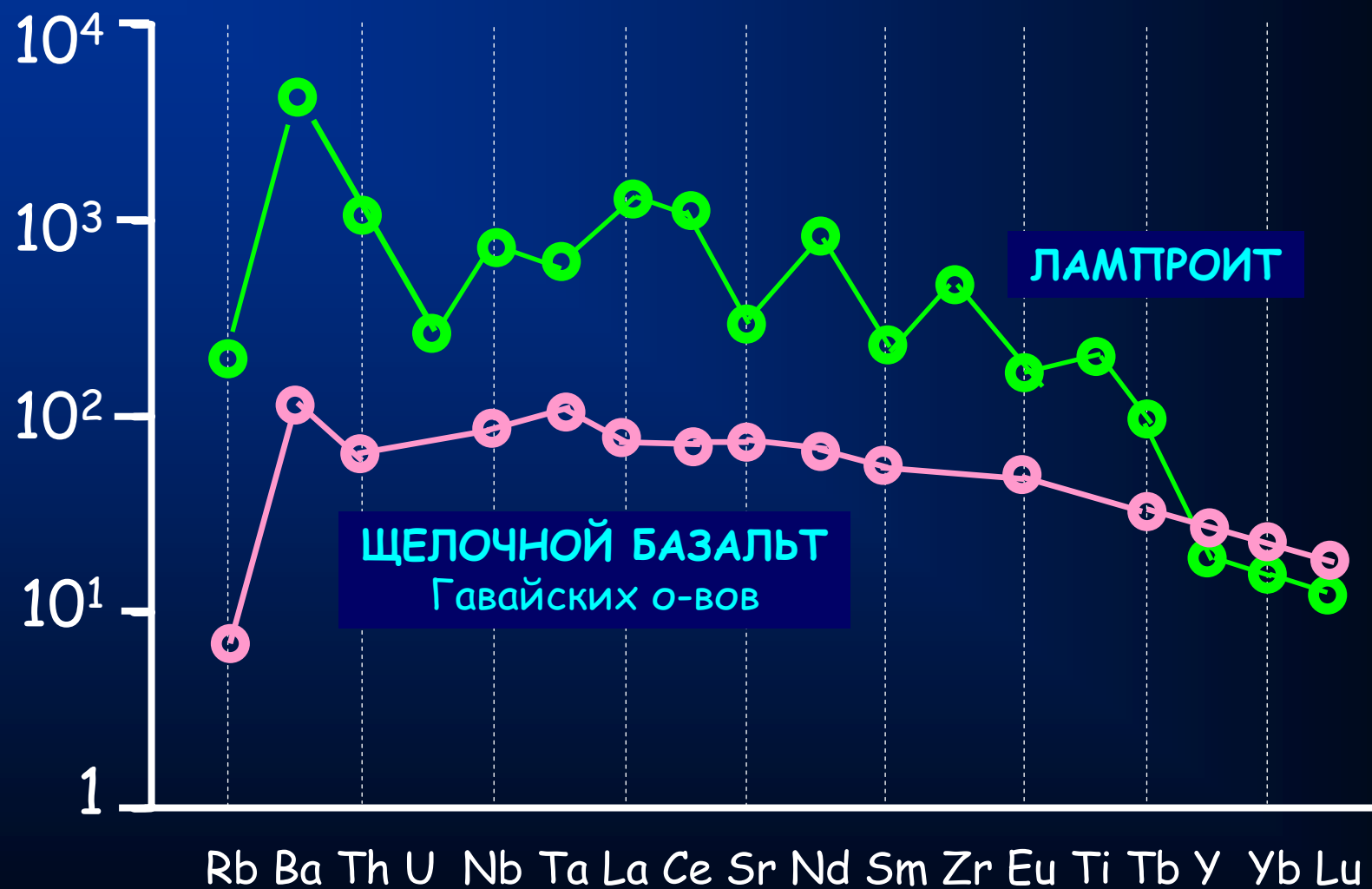
$Ba > 5000$ ,  $La > 200$  ppm,  $Zr > 500$

$K_2O/Na_2O > 5$

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



## ЛАМПРОИТЫ: 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

# МАНТИЙНЫЙ МЕТАСОМАТИЗМ И АНОМАЛЬНАЯ МАНТИЯ

---

## Признаки преобразования мантийного вещества под воздействием флюидных потоков

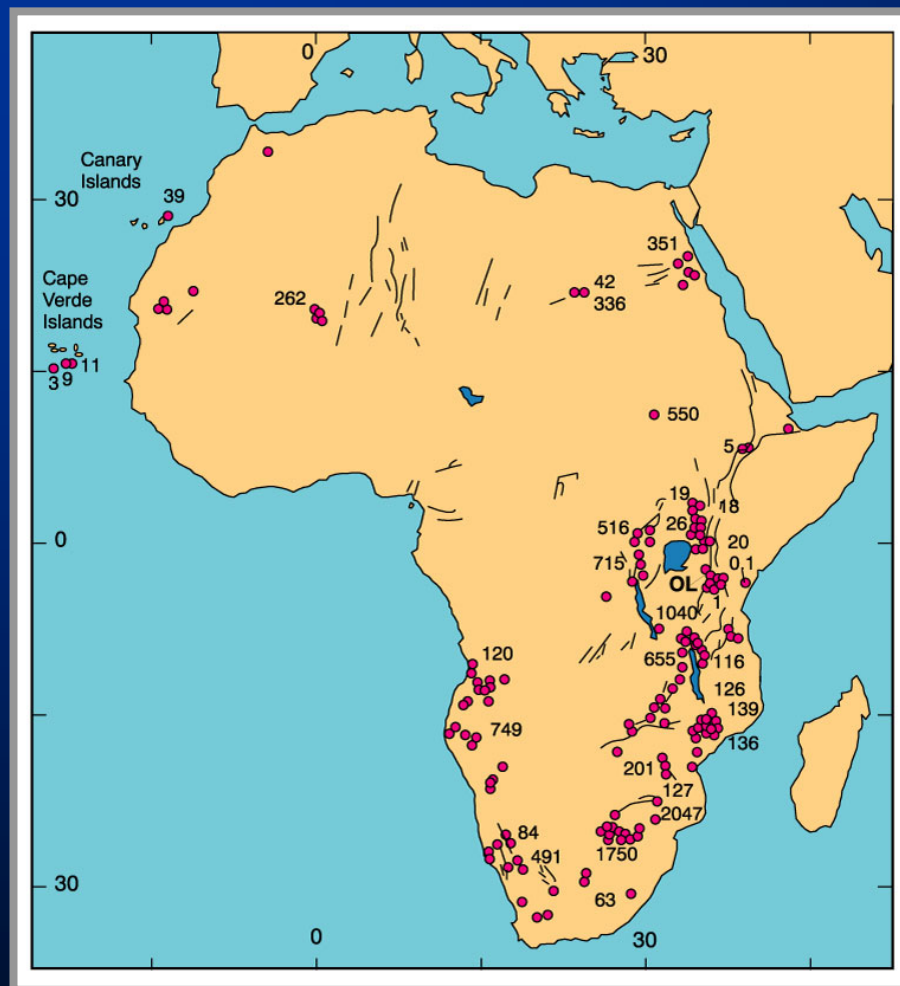
1. Находки ксенолитов с высоким содержанием гидро-силикатов, фосфатов и минералов титана. Присутствие Al-Fe-Ti клинопироксена.
2. Обогащение межзернового пространства нодулей редкоземельными элементами.
3. Обнаружение флюидных включений, заполненных высокоплотной двуокисью углерода ( $\text{CO}_2$ ).

Присутствие  $\text{CO}_2$  в мантийном источнике – важнейший фактор образования и эволюции щелочных магм.

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

	Лейцитит	Катунгит	Мафурит	Мафурит	Лампроит
Оксид	Вул. поле Бирунга	Вул. поле Торо-Анколе		Уганда	Австралия (105)
SiO <sub>2</sub>	43.7	35.00	37.95	39.06	42.31
TiO <sub>2</sub>	3.41	4.84	4.56	4.36	3.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	1.89	1.33	0.95	0.18	0.50
K <sub>2</sub> O	2.90	3.54	6.33	6.98	4.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 км<sup>2</sup>.

**Карбонатит** – магматическая порода, содержащая > 50% карбоната.

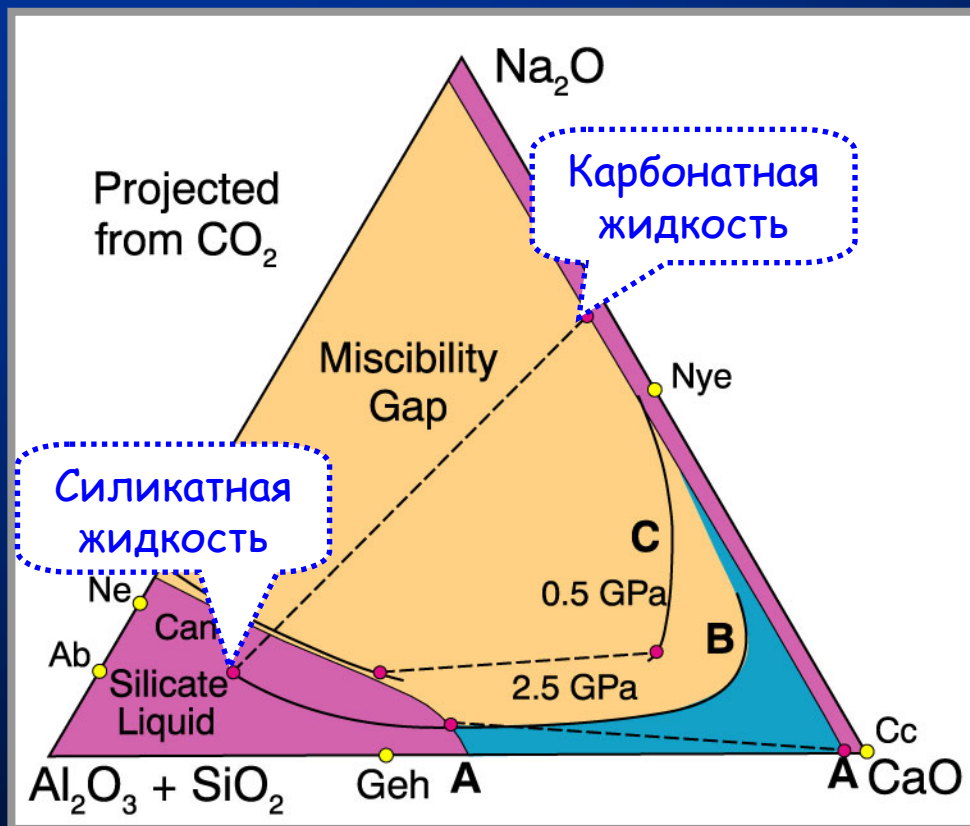
Обычно это **кальцит**, но может быть **доломит** или просто **сода** (влк. Олдоиньо-Ленгаи в Танзании).

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

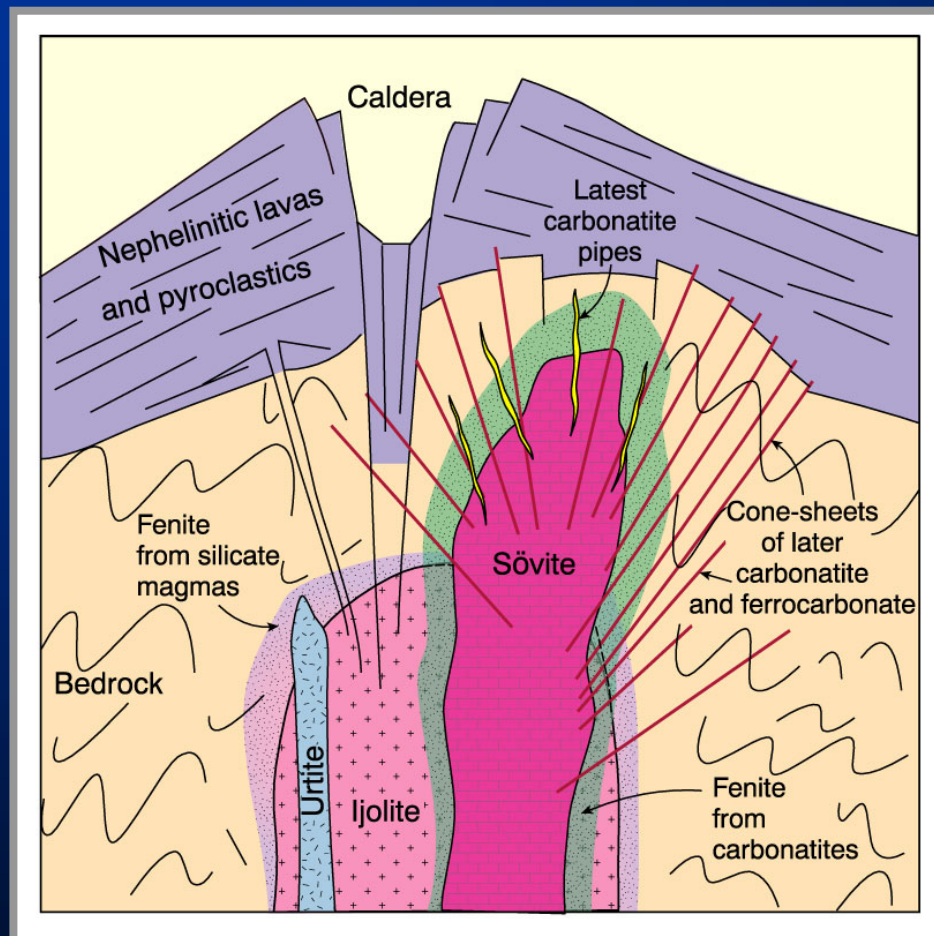


Фазовое расслоение в системе Na<sub>2</sub>O-CaO - SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub> Проекция из вершины CO<sub>2</sub> для CO<sub>2</sub>-насыщенных условий.

## Карбонатиты Вост. Африки

Оксид	Танзания	Уганда
SiO <sub>2</sub>	0.16	13.53
TiO <sub>2</sub>	0.02	1.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0	2.40
FeO	0.25	11.66
MnO	0.38	0.45
MgO	0.38	8.45
CaO	14.02	35.33
Na <sub>2</sub> O	37.22	0.87
K <sub>2</sub> O	8.38	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.85	3.27
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.56	5.83
CO <sub>2</sub>	31.55	11.64
SO <sub>3</sub>	3.72	0.28

## КАРБОНАТИТЫ: СВЯЗЬ С ИНТРУЗИВНЫМИ ТЕЛАМИ



Идеализированный разрез интрузивного комплекса, включающего карбонатиты.

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

В последующем оно прорывается лавами более поздних карбонатитов.

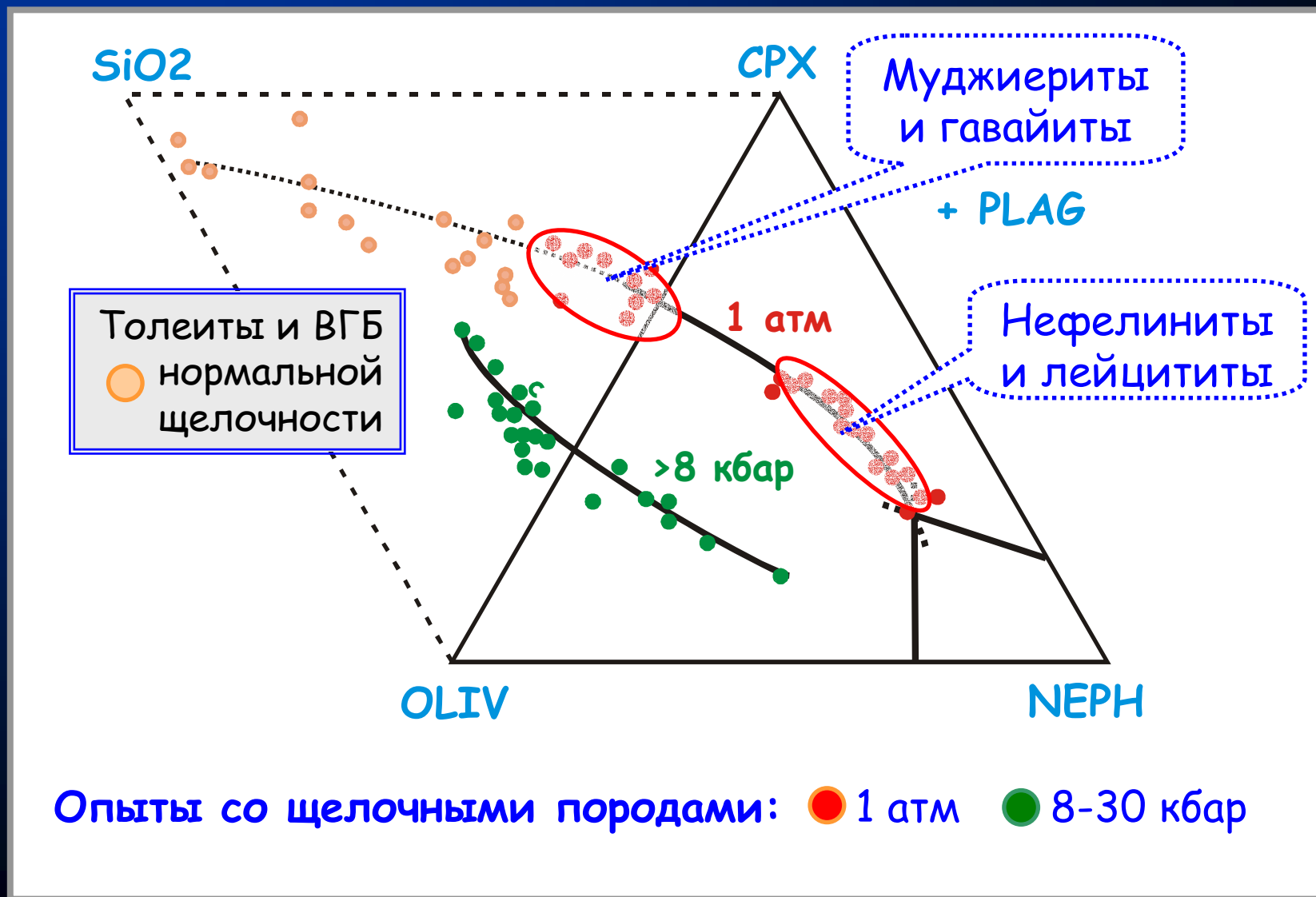
Поздние карбонатиты обычно обогащены железом и РЗЭ.

Интрузивные тела ийолитов, уртитов и карбонатитов окружены ареолами фенитизации.

## СОСТАВЫ ПОРОД КЕНИЙСКОГО СВОДА

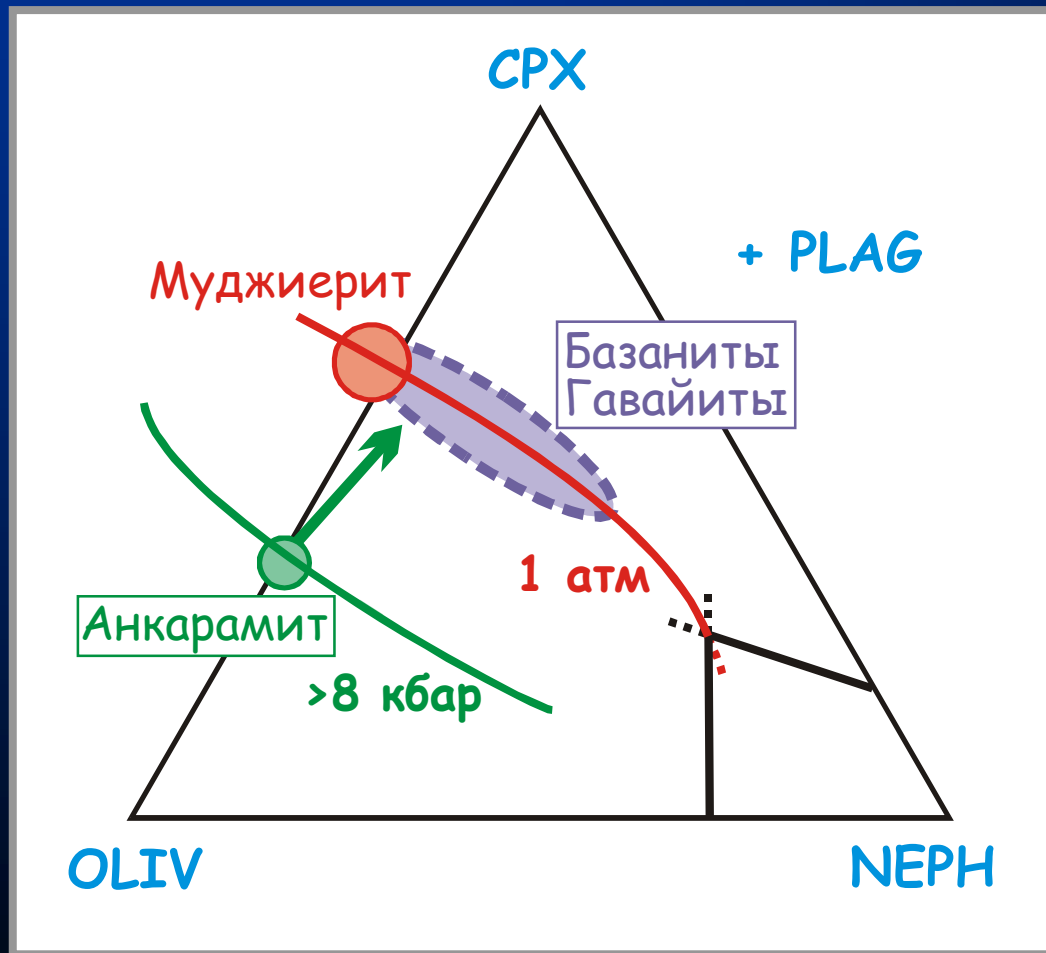
Оксид	Гавайитовая серия		Фонолит	"Трахитовая" серия		
	Базанит	Муджиерит		Трахибазальт	Бенморейт	Трахит
SiO <sub>2</sub>	43.90	50.85	55.22	47.64	59.24	63.65
TiO <sub>2</sub>	2.79	1.51	0.77	3.07	1.31	0.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.38	19.69	21.09	14.20	15.92	14.12
FeO	11.80	5.88	4.01	13.61	6.52	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 <sub>2</sub> O	4.55	6.16	9.57	2.82	5.20	6.34
K <sub>2</sub> O	1.56	3.69	4.56	1.23	4.10	5.22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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

# Составы котектических стекол в опытах плавлению щелочных пород и нормальных базальтов



# Проецирование составов пород щелочной серии влк. Карисимби на диаграмму OLIV-CRX-NERH

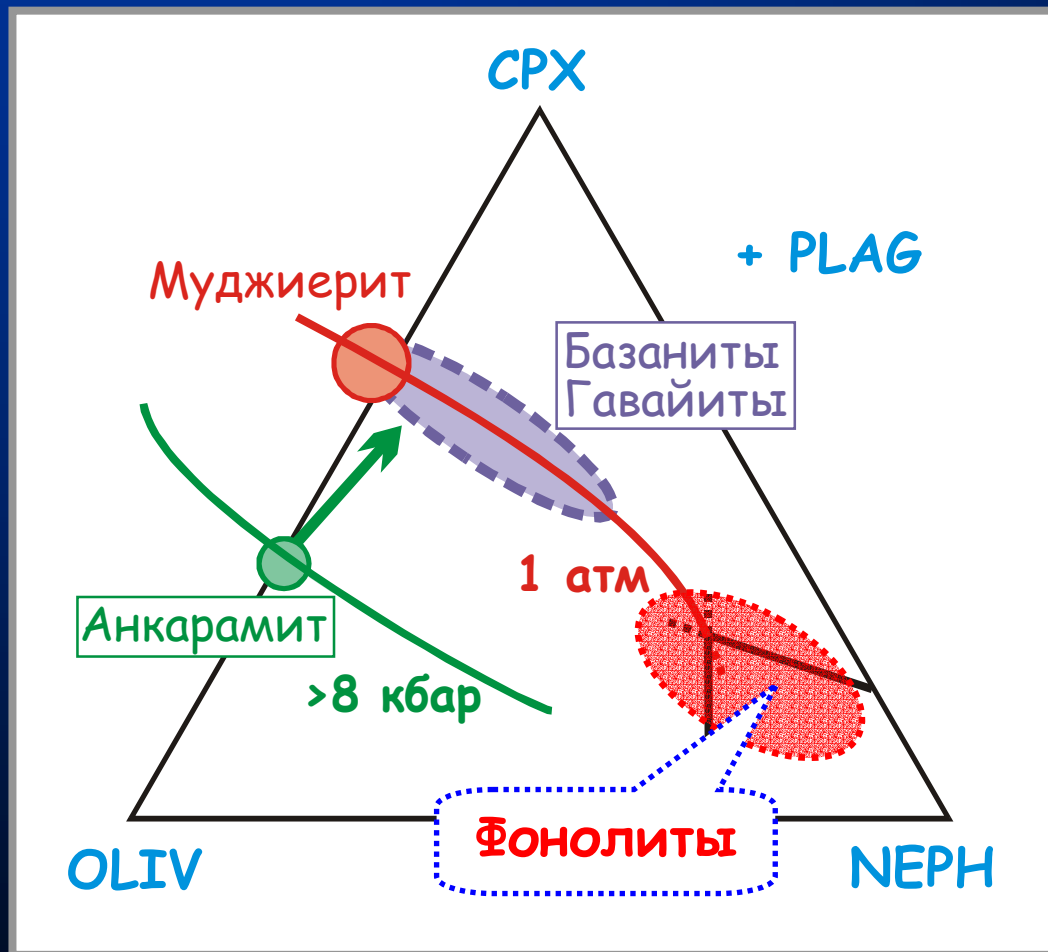
Анкарамит → гавайит → муджиерит → бенморейт → трахит



## 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.

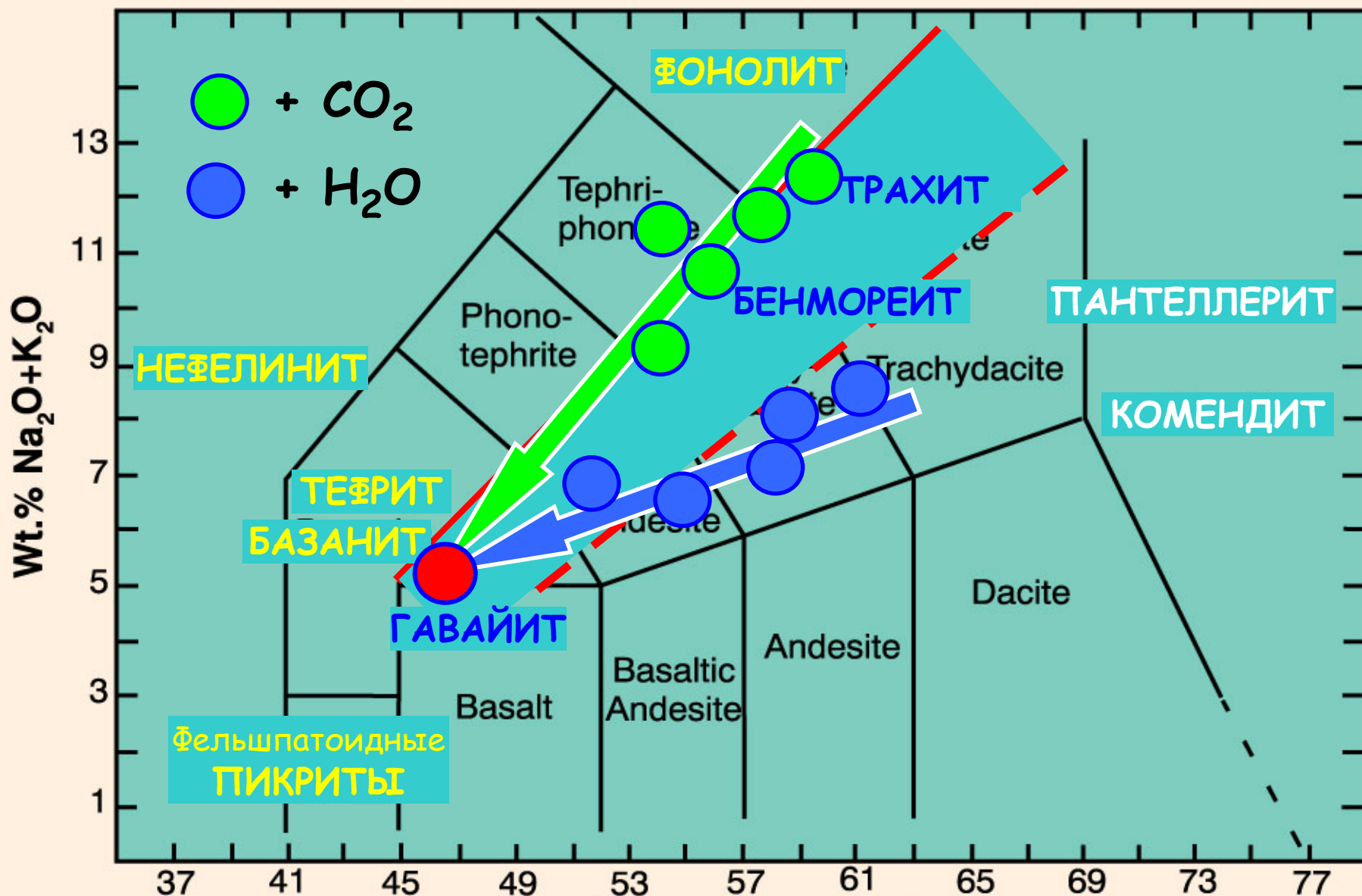
# Проецирование составов фонолитов на диаграмму OLIV-CRX-NERH



## ВЫВОДЫ:

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





**РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ ПО ПЛАВЛЕНИЮ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД И АМФИБОЛИТИЗИРОВАННЫХ АНАЛОГОВ**