

Магматизм современных геодинамических обстановок



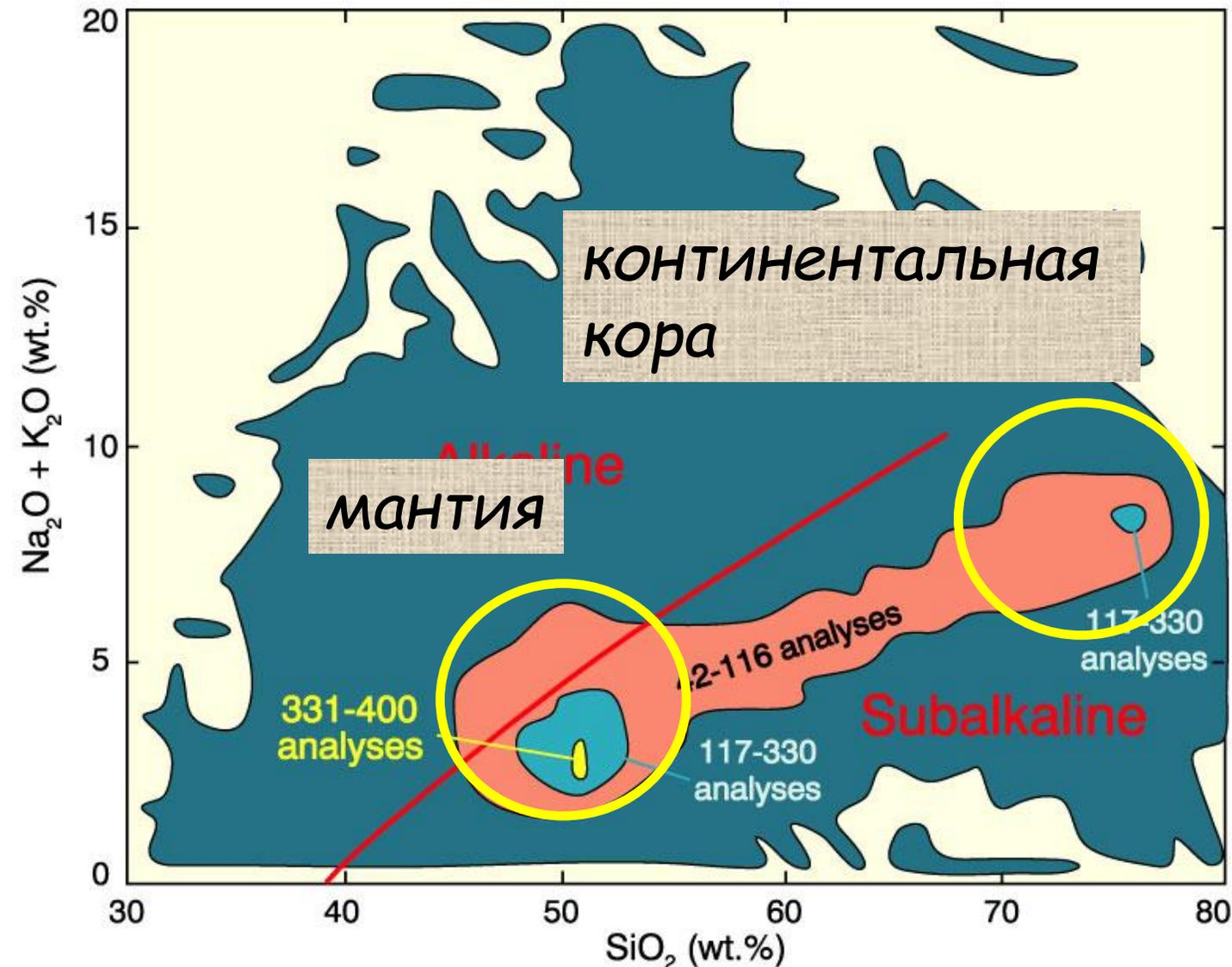
Лектор: П.Л. Тихомиров

Уровень сложности: для студентов-геологов 1-3 курса бакалавриата

План лекции

- классификации базальтов и петрохимических серий
- магматизм современных геодинамических обстановок
 - срединно-океанические хребты
 - внутриплитные области океанов
 - субдукционные провинции:
 - островные дуги
 - окраины андийского типа (конт. дуги)
 - задуговые бассейны
 - рифтовые зоны и «горячие точки» континентов
 - трапповые провинции (LIP)

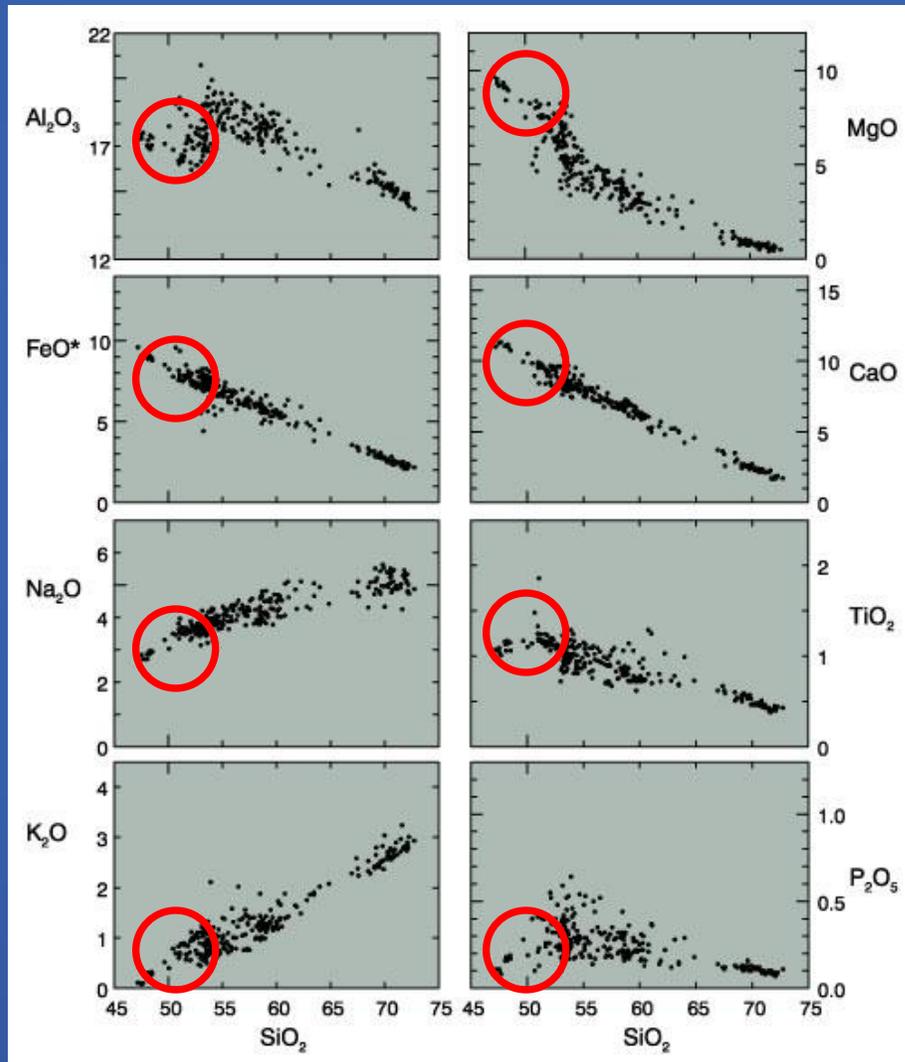
Бимодальное распределение магматических пород по содержанию SiO_2



базальтовые и гранитоидные
магмы - производные двух
главных геохимических
резервуаров внешних оболочек
Земли

Базальтовые магмы

- главные продукты частичного плавления мантии (первичные магмы)
- родоначальные магмы большинства петрохимических серий

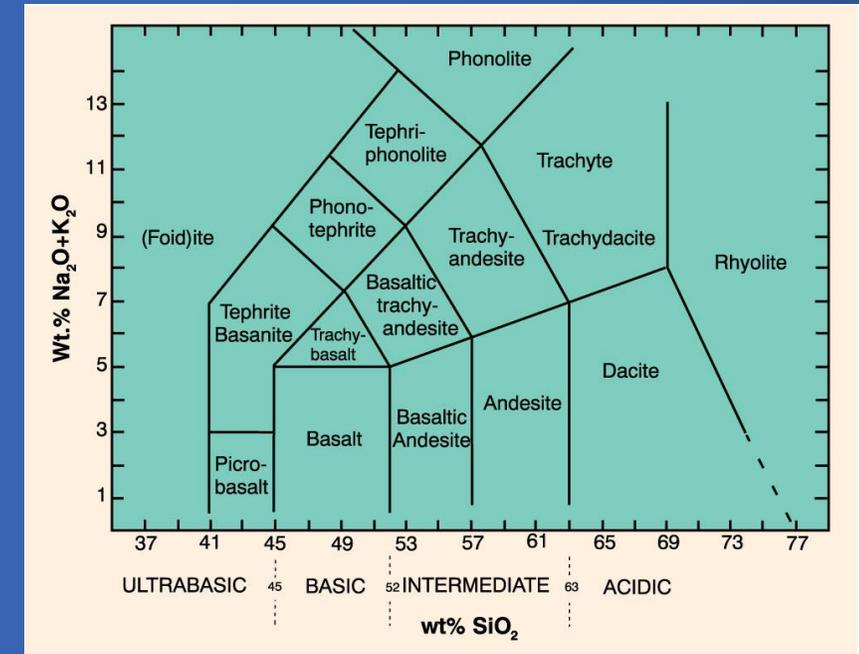


Типы базальтов и петрохимических серий

- толеитовые
- известково-щелочные
- субщелочные
- щелочные
- коматиитовые / бонинитовые

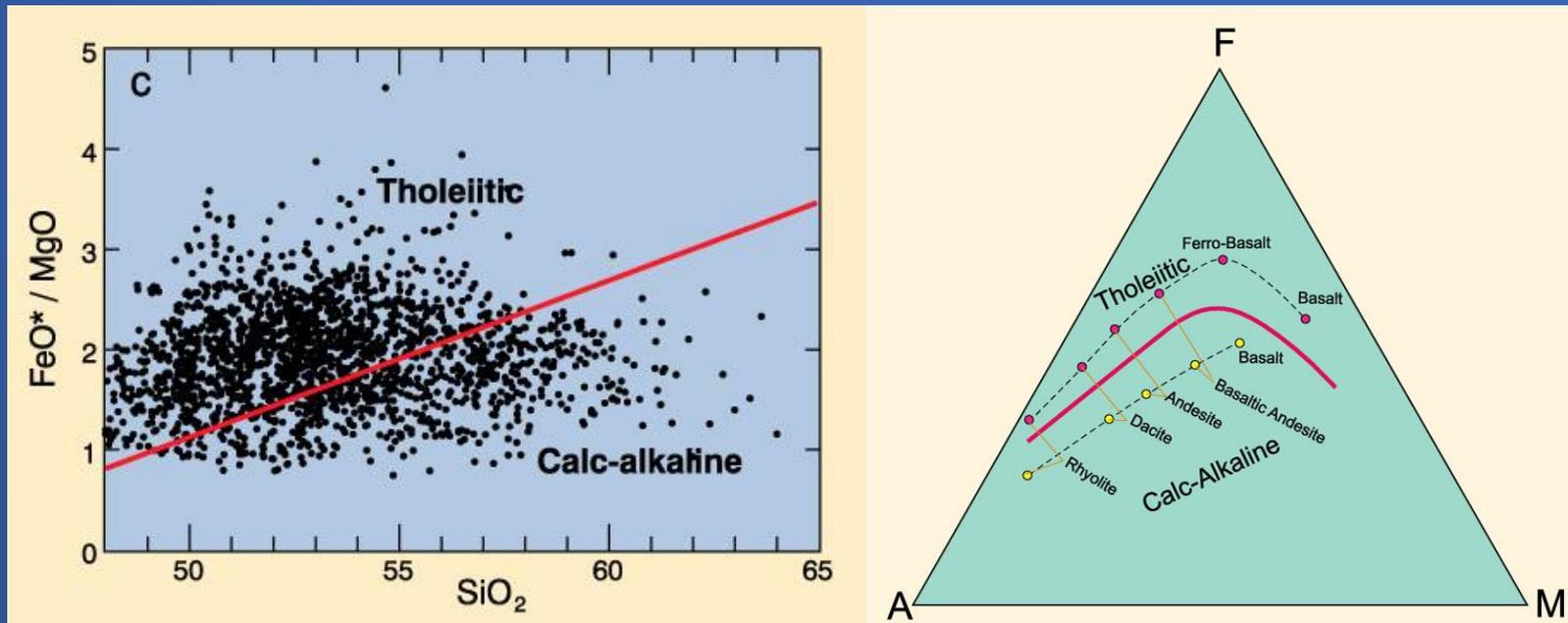
*нормальной
щелочности*

*нормальной
щелочности*



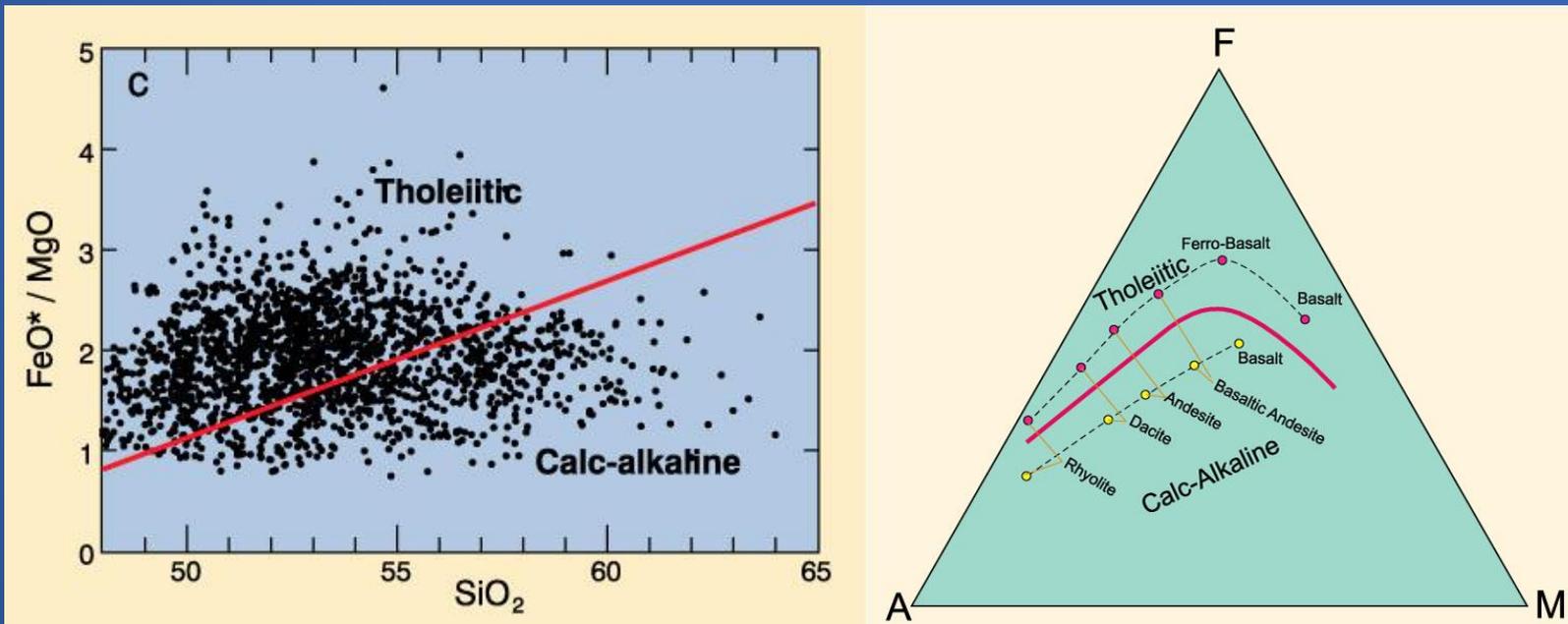
Толейтовая серия

1. Преобладают базальты (андезибазальты)
2. Низкая эксплозивность, трещинные извержения и щитовые постройки
3. Нет явной связи с конкретной тектонической обстановкой
4. Тренд быстрого накопления железа
5. Типичные содержания TiO_2 в базальтах 1-1.5%
6. Пониженные содержания K_2O (в базальтах нередко $<0.1\%$)
7. Источник – мантийный, обедненный (*деплетированный*), сравнительно малоглубинный (40-80 км)



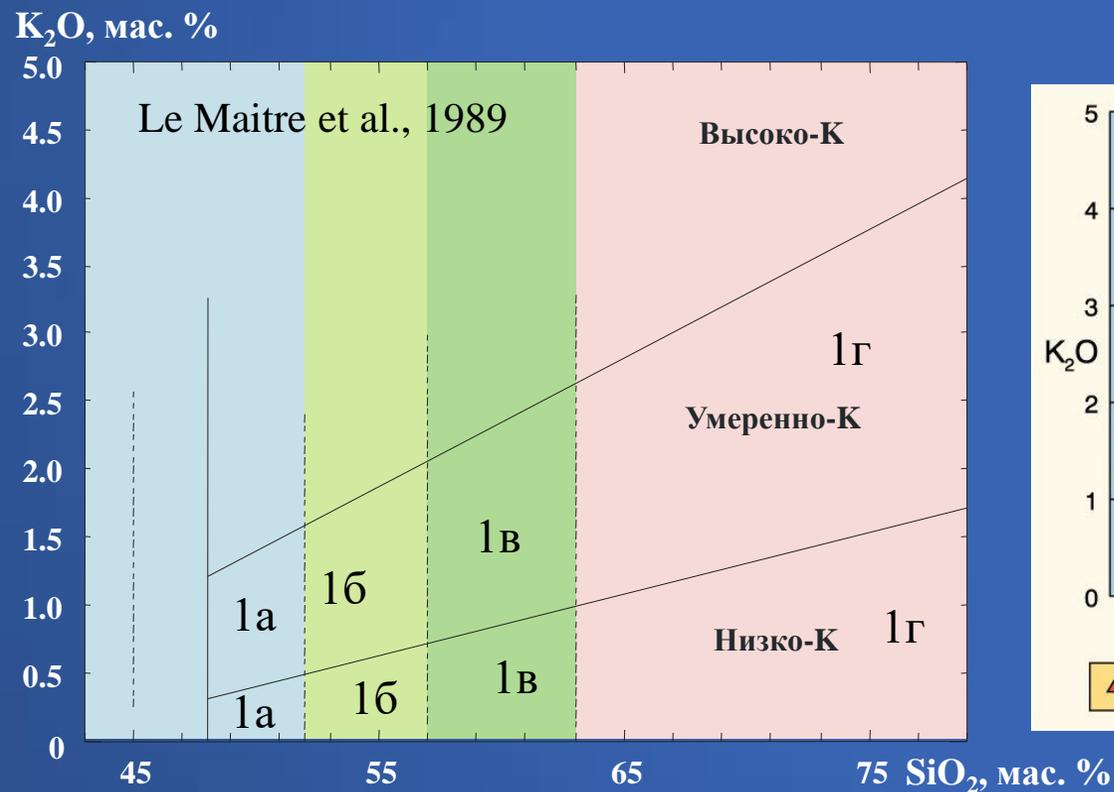
Известково-щелочная серия

1. Широкий ряд составов (от базальтов до дацитов и риолитов)
2. Высокая эксплозивность, стратовулканы
3. Связь с субдукционными обстановками
4. Умеренная железистость
5. Типичные содержания TiO_2 в базальтах 0.5-1% (низкотитанистые)
6. Источник магм – мантийный клин над зоной Беньофа
7. Повышенные содержания H_2O в магмах
8. Активные процессы контаминации и смешения магм

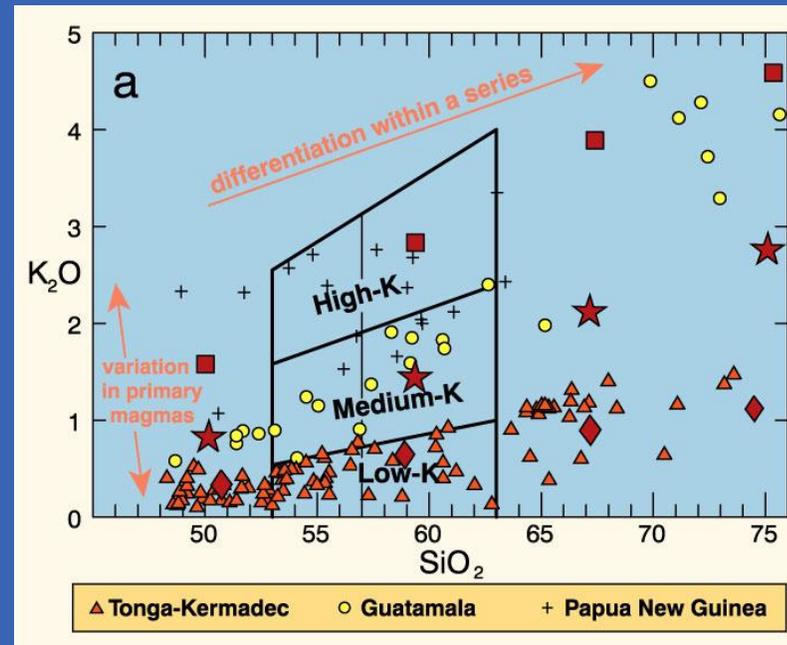


Дополнительное подразделение нормальнощелочных серий по уровню содержаний K_2O (Gill, 1981):

- низкокалийевые
- среднекалийевые
- высококалийевые (- шшонитовые)



примеры:

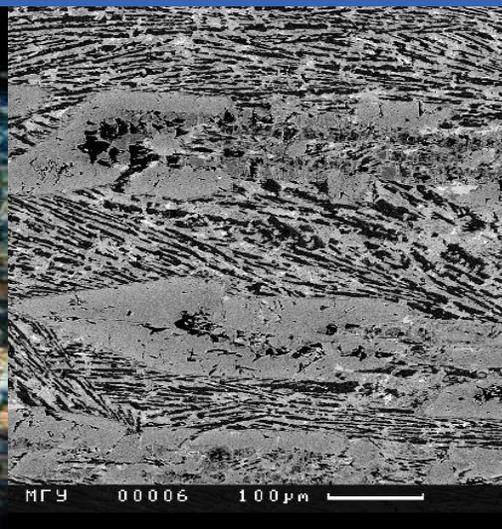
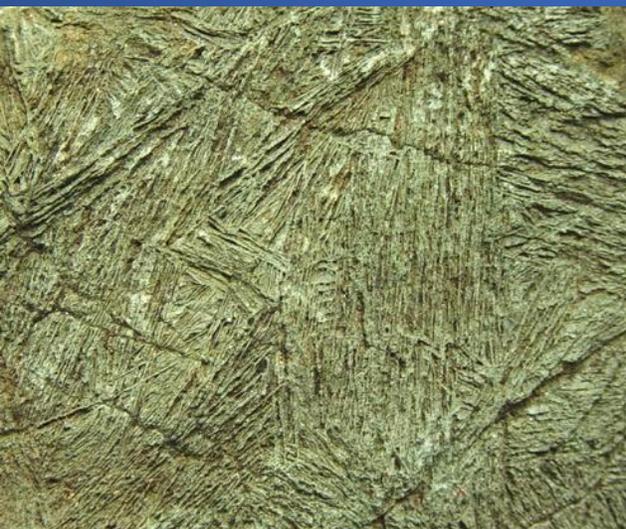


Щелочная и субщелочная серии

1. Широкий ряд составов (от трахибазальтов и ультраосновных пород до комендитов и пантеллеритов)
2. Объемы значительно ниже, чем у нормальнощелочных серий
3. Связь с внутриплитными обстановками
4. Высокие содержания TiO_2 (в базальтах 2-5%)
5. Источник магм – сравнительно глубинный, мантия > 100 км (до 400?)
6. Повышенные содержания CO_2 в магмах, у многих щелочных серий – ассоциация с карбонатитами и кимберлитами
7. Специфическая геохимия и минералогия

Коматиитовая / бонинитовая серия

1. Объединение совершенно различных в генетическом плане *коматиитовой* серии (AR-PR₁, зеленокаменные пояса) и *бонинитовой* серии (фанерозой, специфический подтип субдукционных обстановок)
2. Общее – особенности минерального и химического состава (мало плагиоклаза – низкий Al₂O₃, обилие пироксенов – повышенный MgO при не слишком низком SiO₂)
3. Невысокие содержания TiO₂ (в базальтах 0.5-1%)
4. В коматиитовой серии – значительная доля высокотемпературных ультраосновных вулканитов, специфические закалочные структуры (*спинифекс*)



Типовые фанерозойские геодинамические обстановки, сопровождающиеся значимыми проявлениями магматической активности:

Океаны:

- срединно-океанские хребты (СОХ)
- внутриплитные обстановки (ок. острова, плато и т.д.)

Активные зоны перехода континент-океан

(субдукционные обстановки):

- островные дуги (энсиматические и энсиалические)
- континентальные дуги (андийский тип)

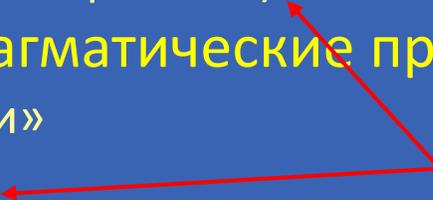
Пассивные зоны перехода континент-океан

(«вулканические пассивные окраины»)

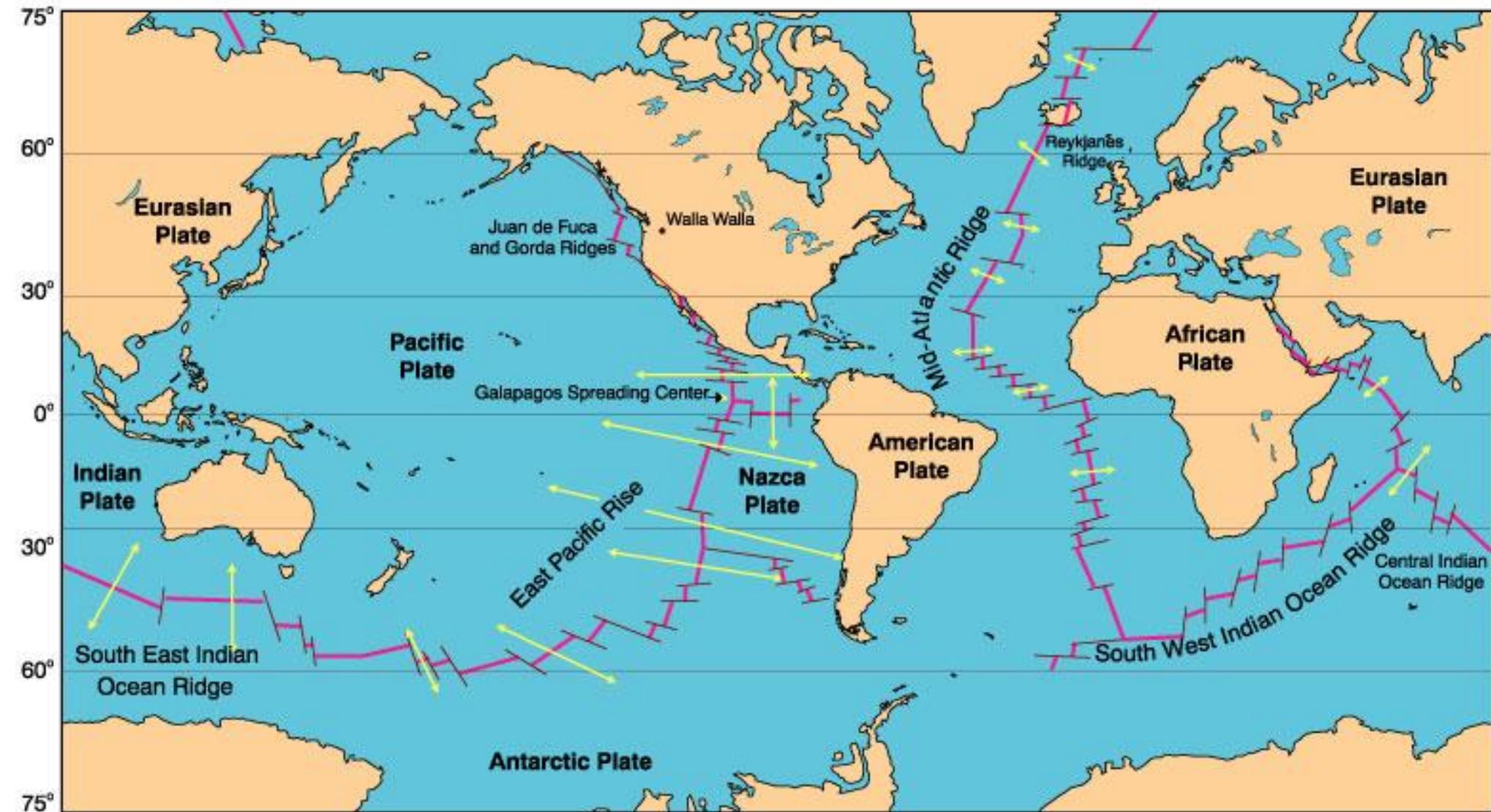
Внутриконтинентальные магматические провинции

- рифты и «горячие точки»
- трапповые провинции
- позднеорогенные провинции

нет четвертичных

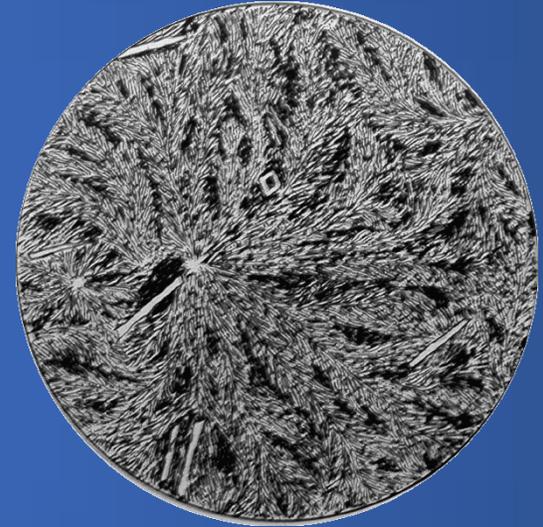


Срединно-океанические хребты



Срединно-океанические хребты

1. Практически исключительно базальтовый состав
2. Подводные эффузивные извержения – пиллоу-лавы
3. Ассоциация с кремнистыми глубоководными осадками и с прочими элементами офиолитовой ассоциации
4. Нередки афировые и / или спилитовые структуры базальтов
5. Химический состав - MORB



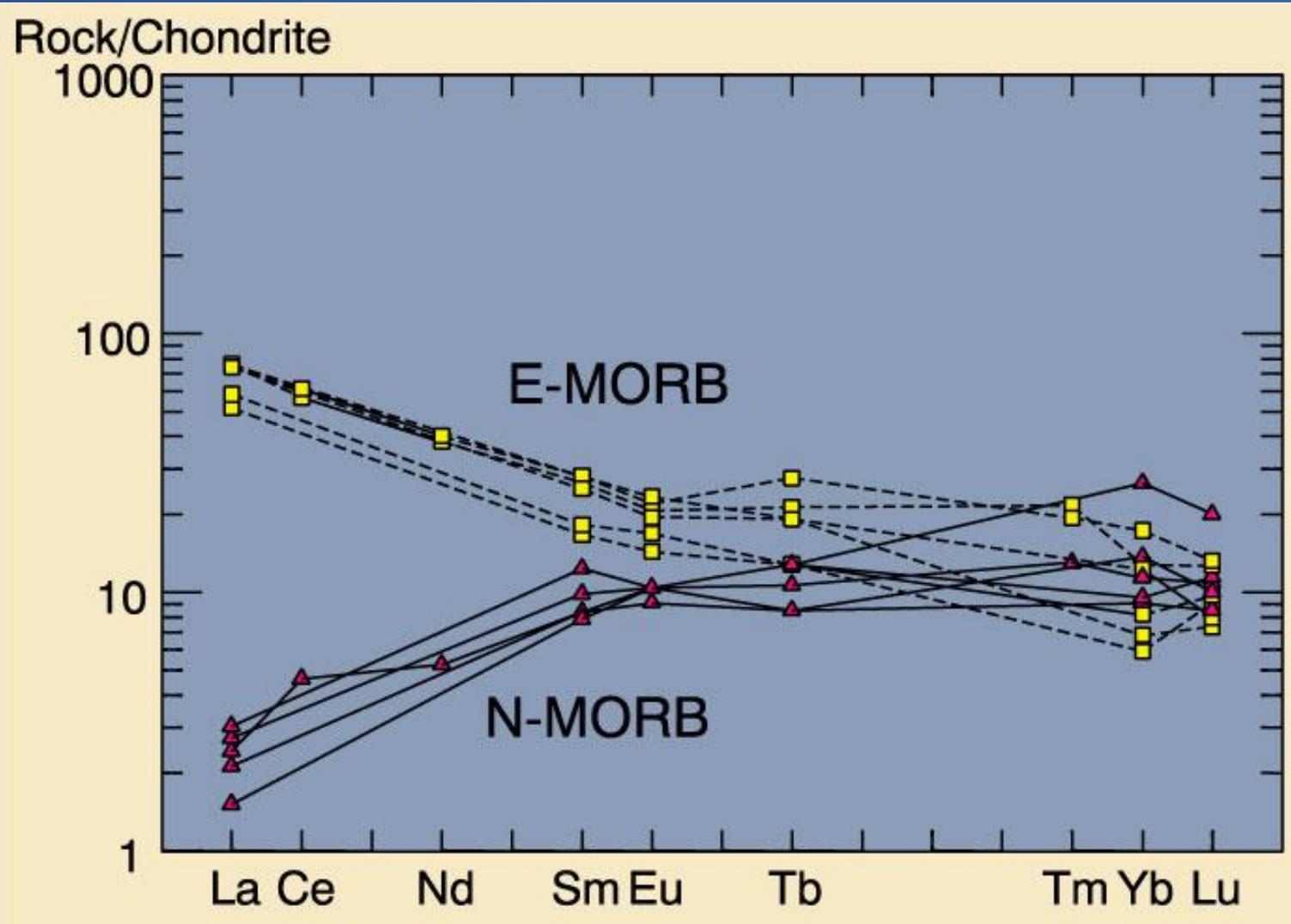
MORB (*mid ocean ridge basalts*)

- Толеитовые (железистые)
- Однородные (базальты)
- Умереннотитанистые (1-1.5%)
- Низкокалиевые / обедненные несовместимыми элементами

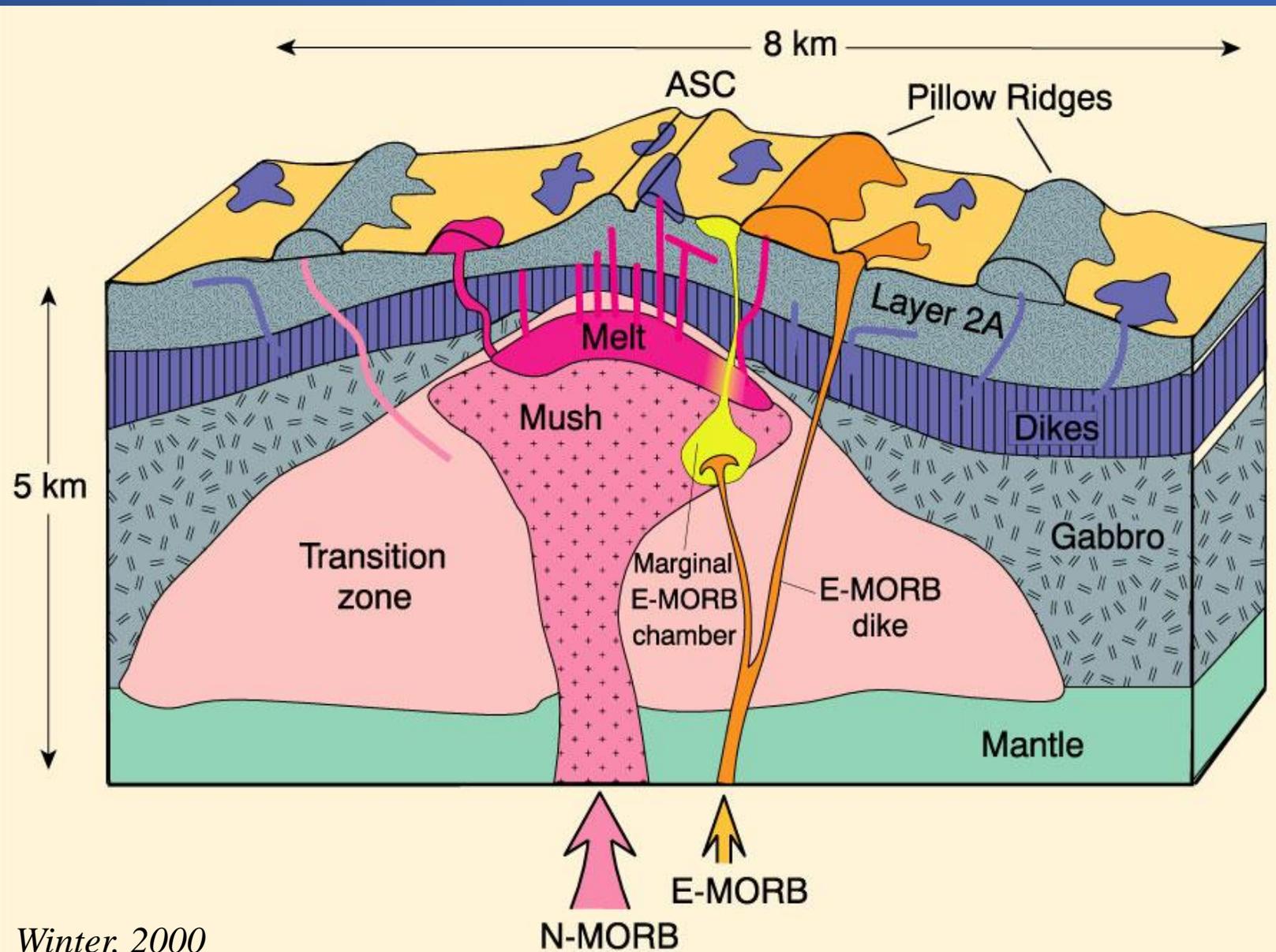


2 типа MORB

по спектру распределения содержаний РЗЭ

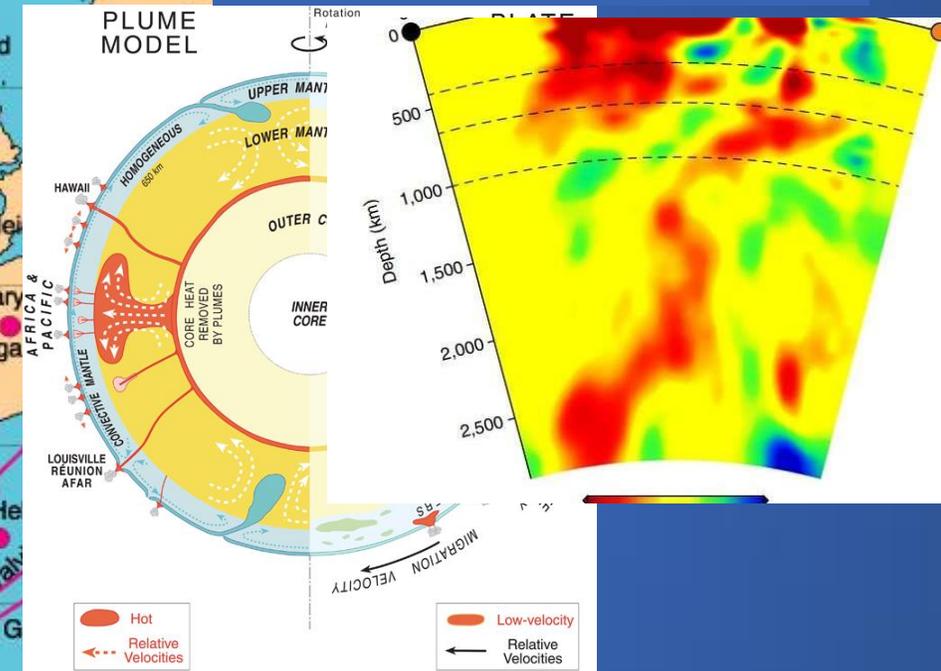
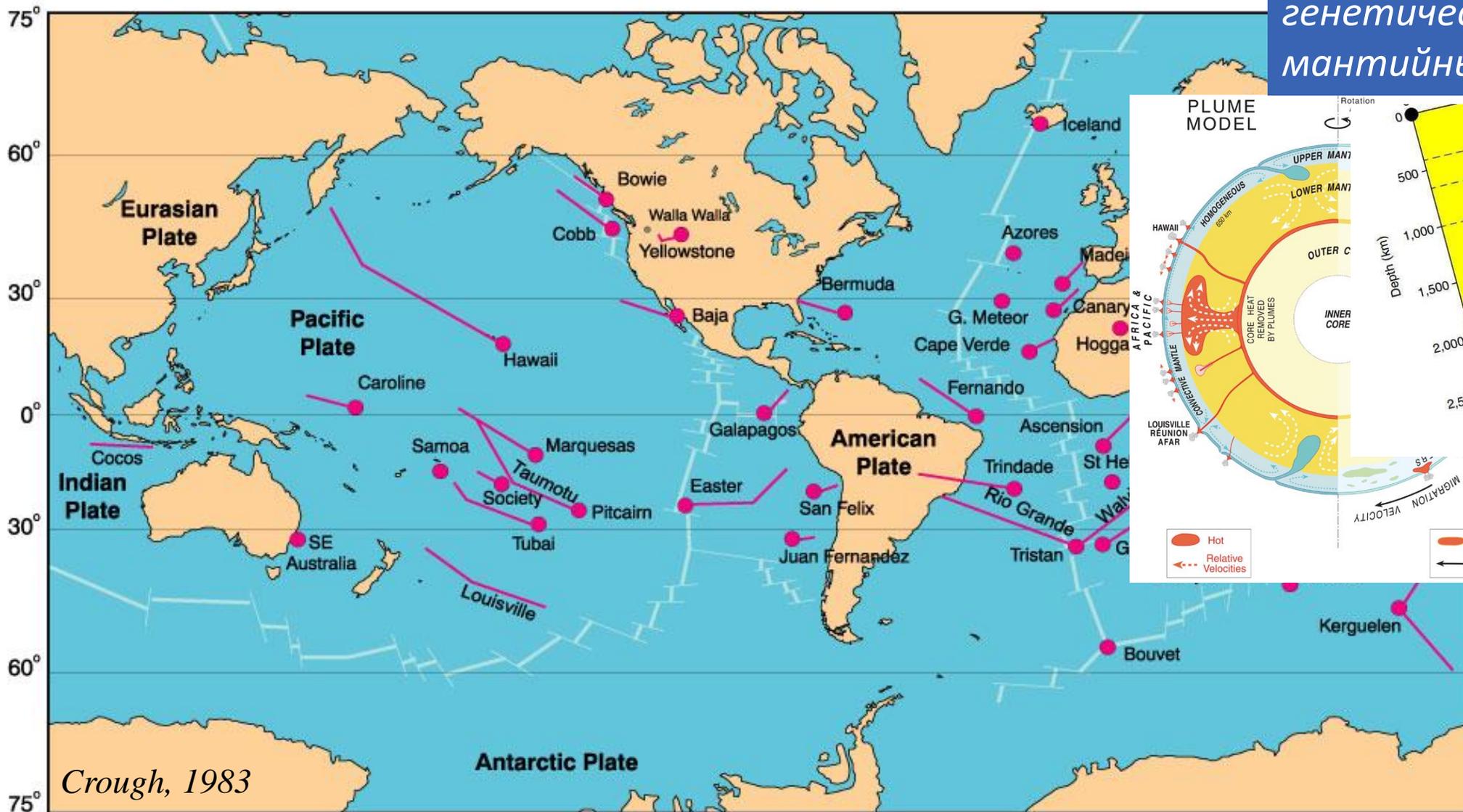


Модель тектоно-магматической системы COX



Внутриплитные обстановки океанов (острова и подводные поднятия)

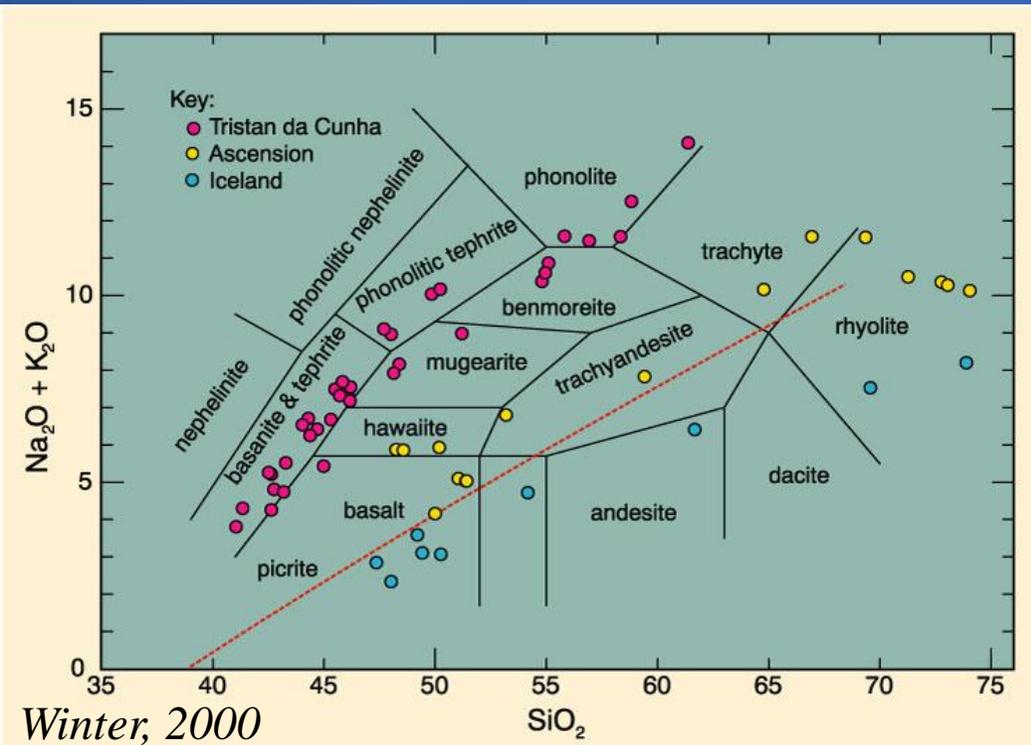
наиболее популярная
генетическая модель –
мантйные плюмы



Crough, 1983

OIB (*ocean island basalts*)

- Толeutовые – субщелочные – щелочные
- Дифференцированные серии
- Порфировые структуры
- Высокотитанистые, обогащены несовместимыми элементами

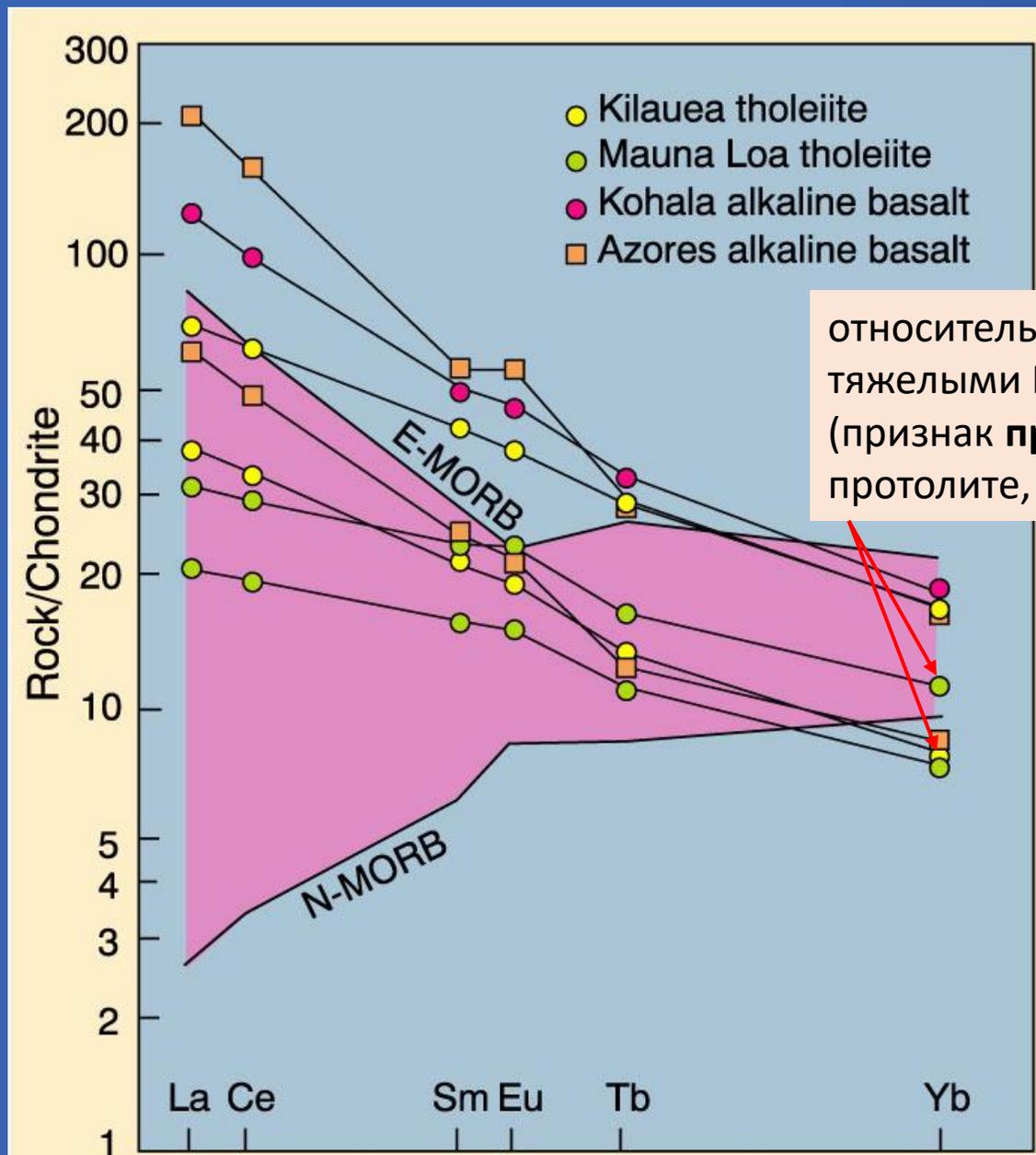


преимущественно Na и K-Na серии
(калиевые серии редки)

Внутриплитные вулканы океанов

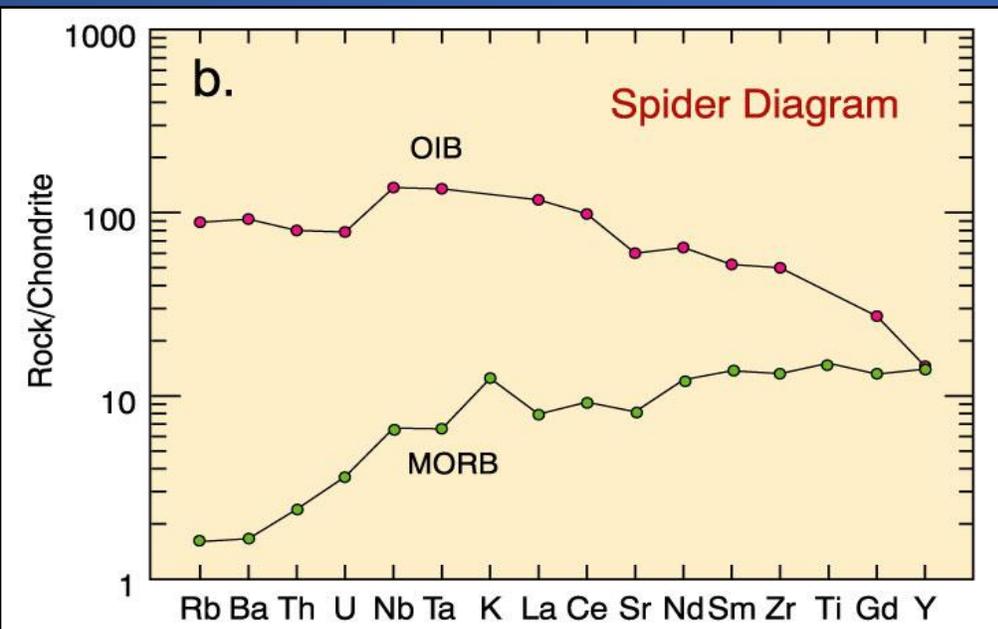
причины геохимического разнообразия:

- состав источника магм
- степень плавления протолита
- степень кристаллизационного фракционирования магмы

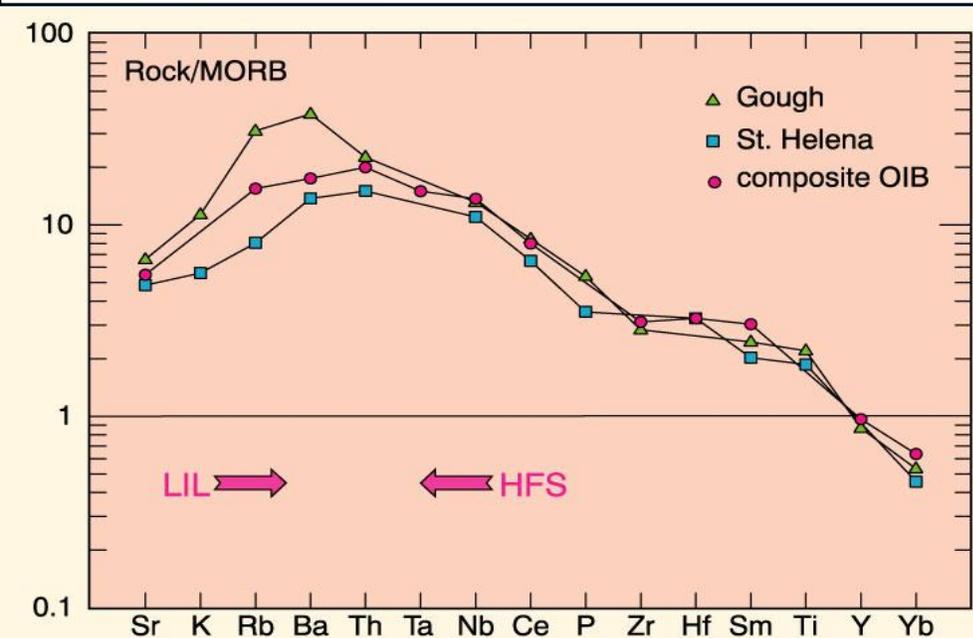


относительное обеднение тяжелыми РЗЭ (признак **присутствия граната** в протолите, глубина > 100 км)

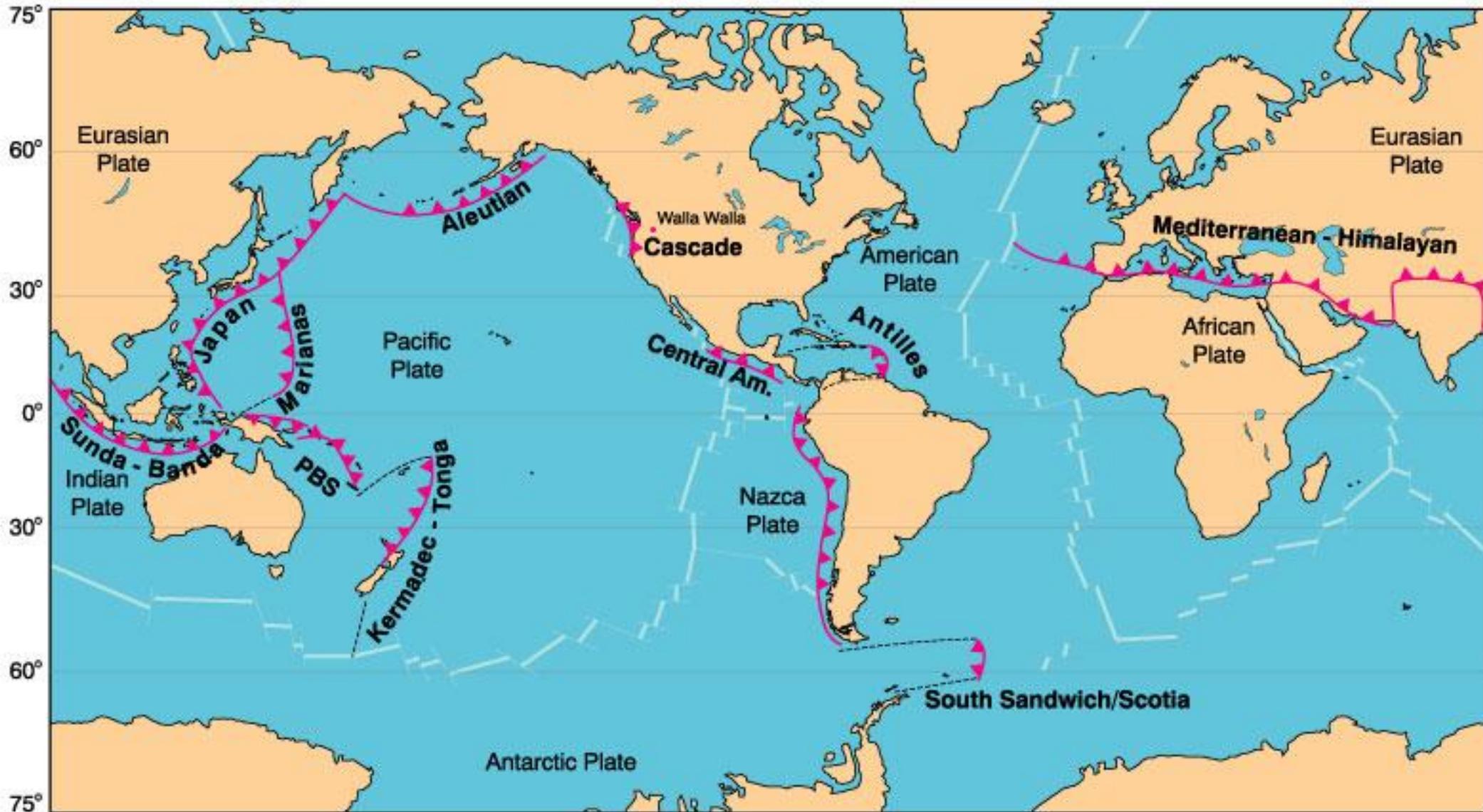
Внутриплитные вулканы океанов



- общее обогащение несовместимыми элементами в сравнении с MORB
- сходное поведение LILE и HFSE



Активные окраины континентов (конвергентные границы плит, субдукционные обстановки)

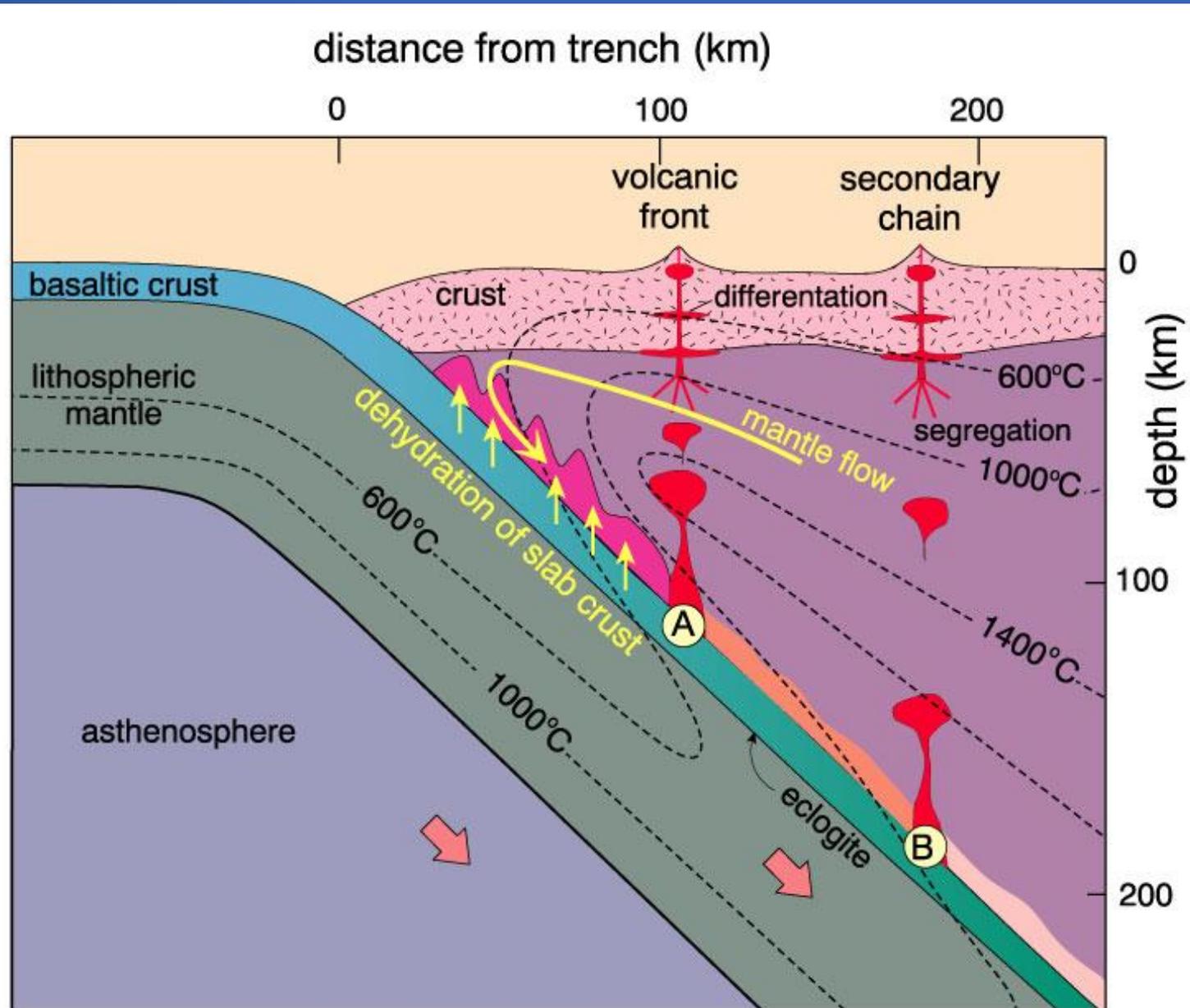


Магматизм активных зон перехода континент-океан

1. Серии: толеитовые, известково-щелочные, до субщелочных, редко - до щелочных
2. Дифференцированные серии (однородные, контрастные и непрерывные)
3. Преимущественно порфировые структуры



Модель субдукционной тектоно-магматической системы



Надсубдукционные обстановки:

Островные дуги:

- энсиматические (*oceanic arcs*)

- энсиалические (*island arcs*)

Задуговые бассейны (окраинные моря)

Окраины андийского типа (*continental arcs*)



I. Энциматические дуги

1. Резко преобладают базальты, меньше андезибазальтов
2. В разрезах – значительная доля подводных (субаквальных) вулканитов и морских осадков
3. Серии: толеитовая, известково-щелочная, бонинитовая

Современные примеры: Марианская дуга, Тонга-Кермадек, Южно-Анtilьская



II. Энсиалические дуги

1. Дифференцированные серии; преобладают андезиты, но базальтов значительно больше, чем кислых пород
 2. В сравнении с энсиматическими дугами резко повышена доля субаэральных вулканитов
 3. Серии: толеитовая, известково-щелочная, (субщелочная)
 4. Признаки контаминации и смешения магм
 5. Признаки корового петрогенеза (в том числе – крупные тела гранитоидов)
- Современные примеры: Японская, Зондская, Курило-Камчатская, Филиппинская дуги (в целом – явное большинство)*



Общие черты магматизма островных дуг

1. Чередование наземных и подводных условий вулканизма
2. Ассоциация с морскими вулканогенно-осадочными породами
3. Высокий коэффициент эксплозивности
4. Дифференцированные серии
5. Порфиоровые структуры в базальтах
6. Гомодромный ряд эволюции состава (рост SiO_2 со временем)
7. Повышенное давление воды в магмах
8. Пространственно-временные вариации состава магм - в зависимости от мощности коры, наклона слэба и т.д.

III. Краины андийского типа

1. Дифференцированные серии: преобладают андезиты, базальты и кислые вулканы в близкой объемной пропорции
2. Наземный (субаэральный) вулканизм, высокая эксплозивность
3. Серии: (толеитовая), известково-щелочная, субщелочная, щелочная
4. Активное участие коры в петрогенезе, огромные гранитоидные батолиты
5. Сложный состав источников магм (мантийный клин + кора + субконтинентальная литосферная мантия ± материал слэба)



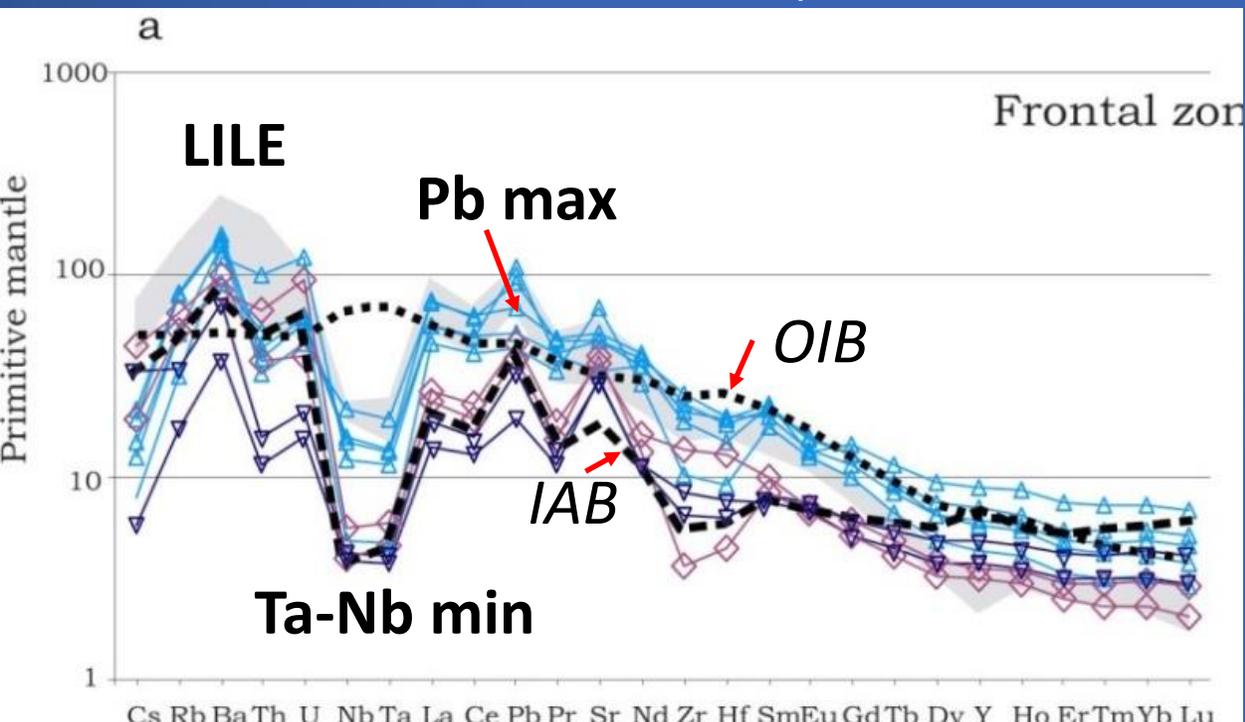
Современные примеры: *пояс Анд, Каскадные горы*

В ряду СОХ – энсиматические дуги – энсиалические дуги – андийские окраины закономерно возрастают:

1. Кремнекислотность коры (и доля корового материала в петрогенезе);
2. Отношение K/Na (в андийских окраинах появляются высококалиевые серии – шошониты);
3. Дифференцированность серий, разнообразие источников;
4. Доля производных ИЩ серии;
5. Объем ассоциирующих плутонических комплексов;
6. Глубинность магмогенерации и степень обогащения мантийных источников

Общие черты геохимии магм субдукционных обстановок

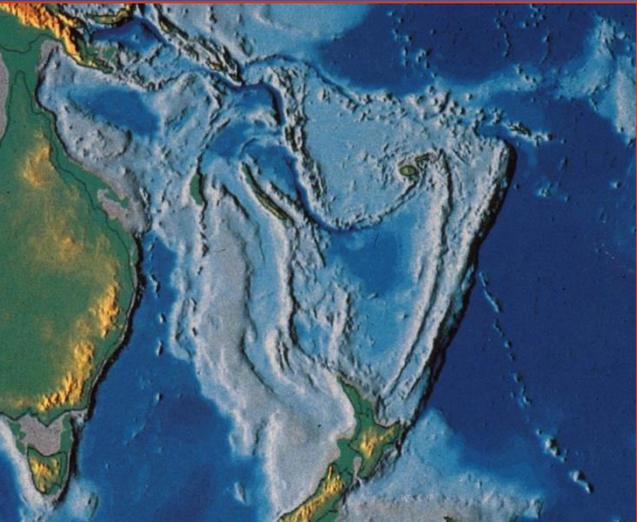
1. Широкие ряды состава пород (в общем случае)
2. Признаки известково-щелочных серий (пониженное содержание TiO_2 в базальтах, повышенное – Al_2O_3)
3. Относительное обеднение магм Ta и Nb (иногда также – Zr и Hf)
4. Повышенное содержание LILE в сравнении с HFSE и REE
5. Относительное обогащение Pb



IV. Задуговые бассейны

1. Обстановка, переходная от островодужной или внутриплитной к обстановке океанического спрединга
2. Значительные изменения состава магм и обстановки накопления вулканических толщ во времени
3. Временные ряды вулканических серий: СЦ – Т – СЦ, ИЦ – Т – СЦ.
4. При значительном раскрытии бассейна с океанической корой изливаются базальты, по геохимии практически идентичные MORB.

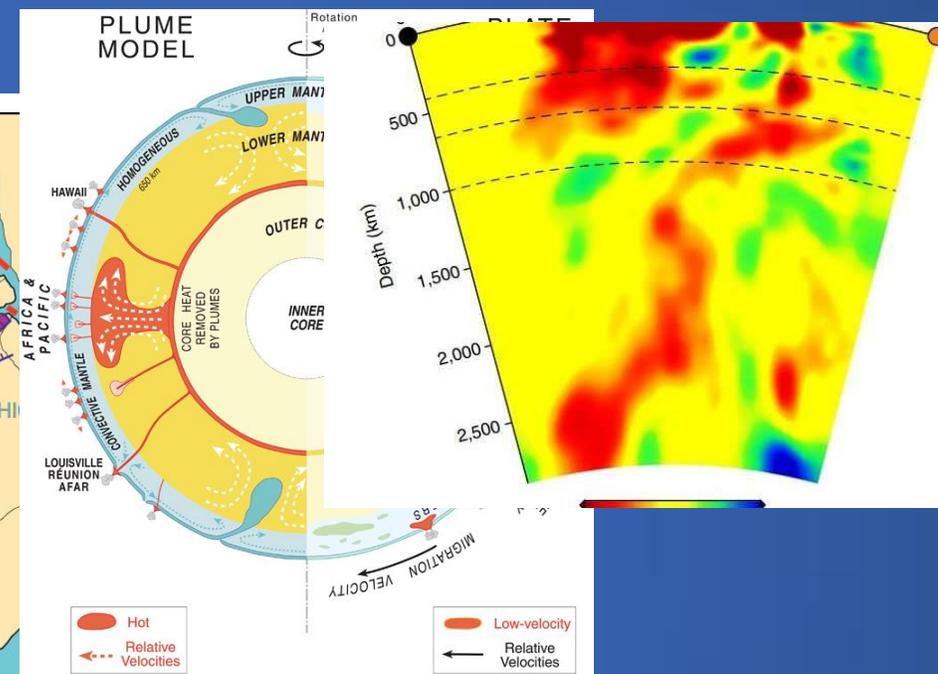
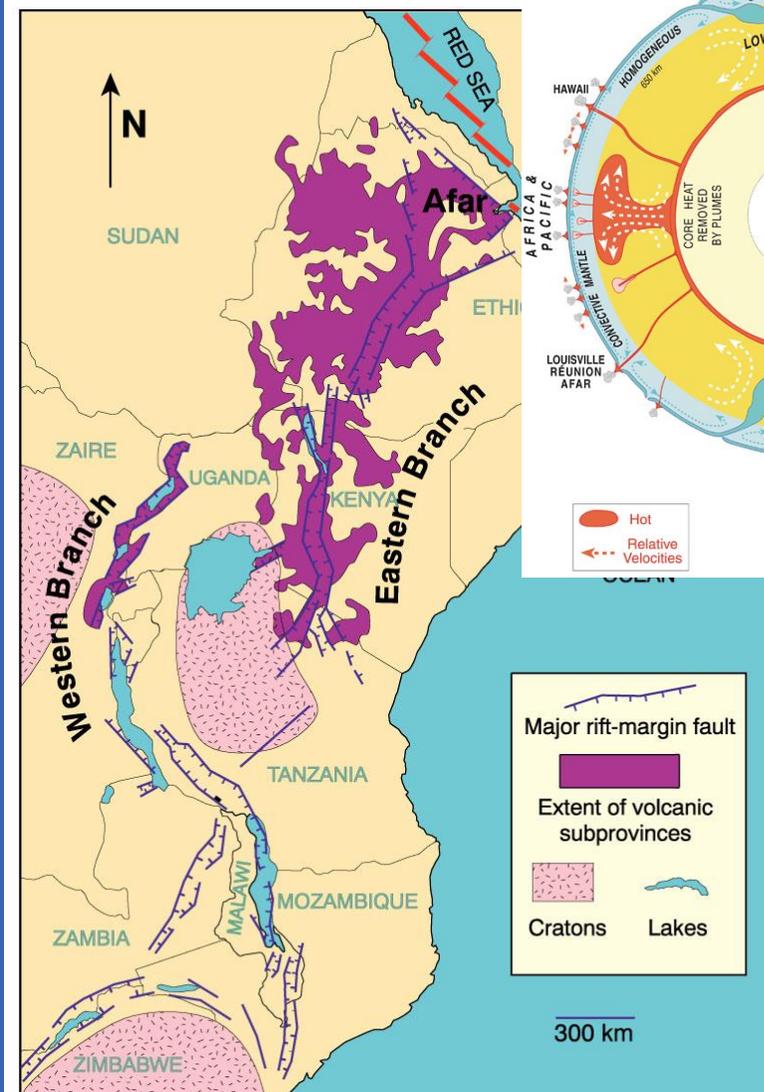
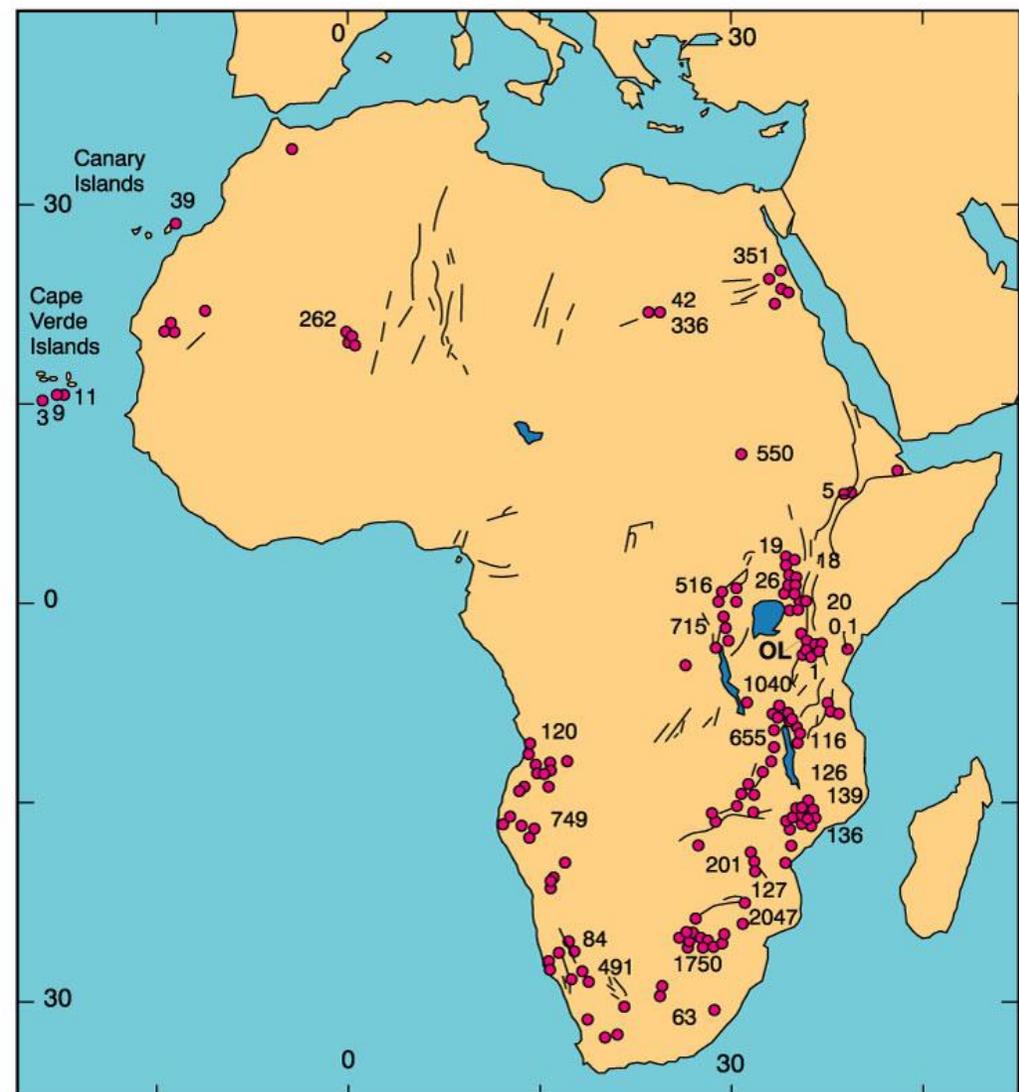
Современные примеры: Японское, Филиппинское моря, Южно-Курильская впадина Охотского моря



Прочие проявления магматизма у конвергентных границ плит:

1. Зоны континентальной коллизии: вулканизма почти нет; коровые гранитные плутоны (*Гималаи*)
2. Постколлизионные обстановки («зоны субсеквентного вулканизма») – по ряду признаков приближаются к обстановкам эпиорогенных рифтов (примеры: современное *Закавказье* и *Закарпатье*)
3. Обстановки трансформных границ плит (модель, предложенная А.И. Ханчуком с коллегами для ряда обстановок Западной и Восточной *Пацифики*)

Магматизм континентальных рифтов и “горячих точек”



Континентальные рифты и «горячие точки»

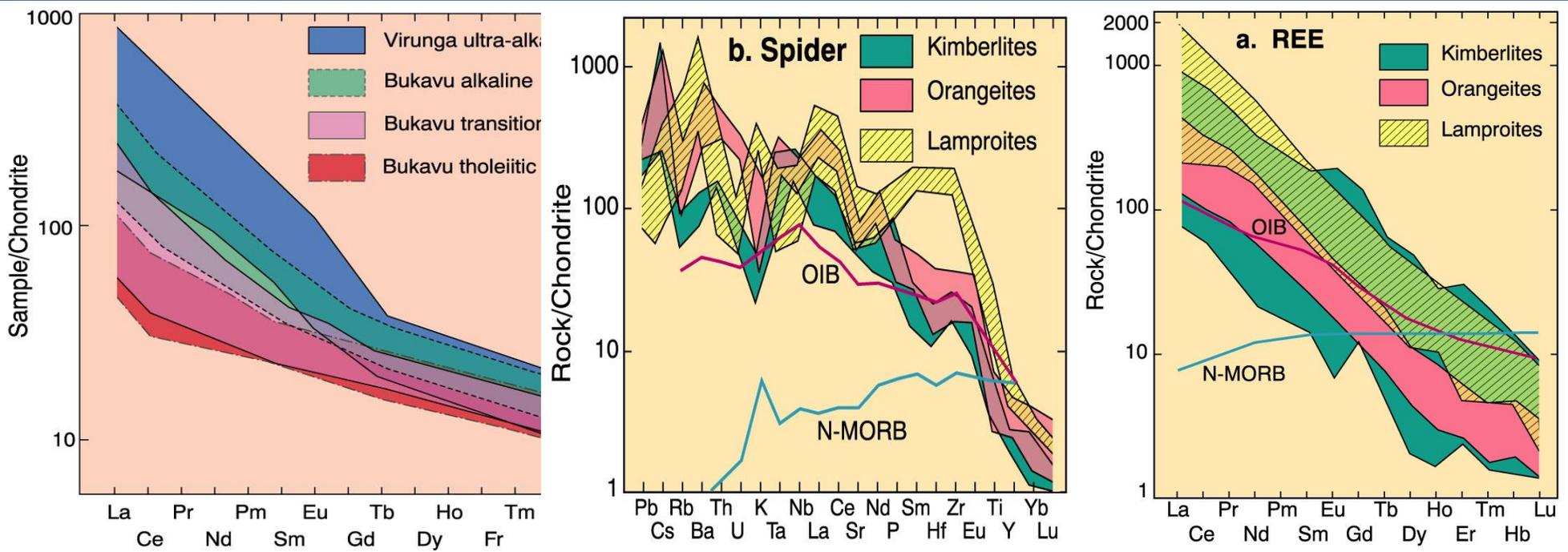
1. Внутриплитные обстановки, субаэральные вулканы
2. Дифференцированные серии
3. Порфиновые структуры пород
4. Содержания несовместимых элементов – от повышенных (в сравнении с MORB и надсубдукционными вулканами) до экстремально высоких
5. Глубинные источники магм (100-200 км, редко до 400?)
6. Связь щелочности (и общего обогащения) с возрастом коры и мощностью литосферы
7. Многие щелочные серии ассоциируют с производными карбонатитовых и прочих несиликатных магм

Связь состава магм с возрастом коры:

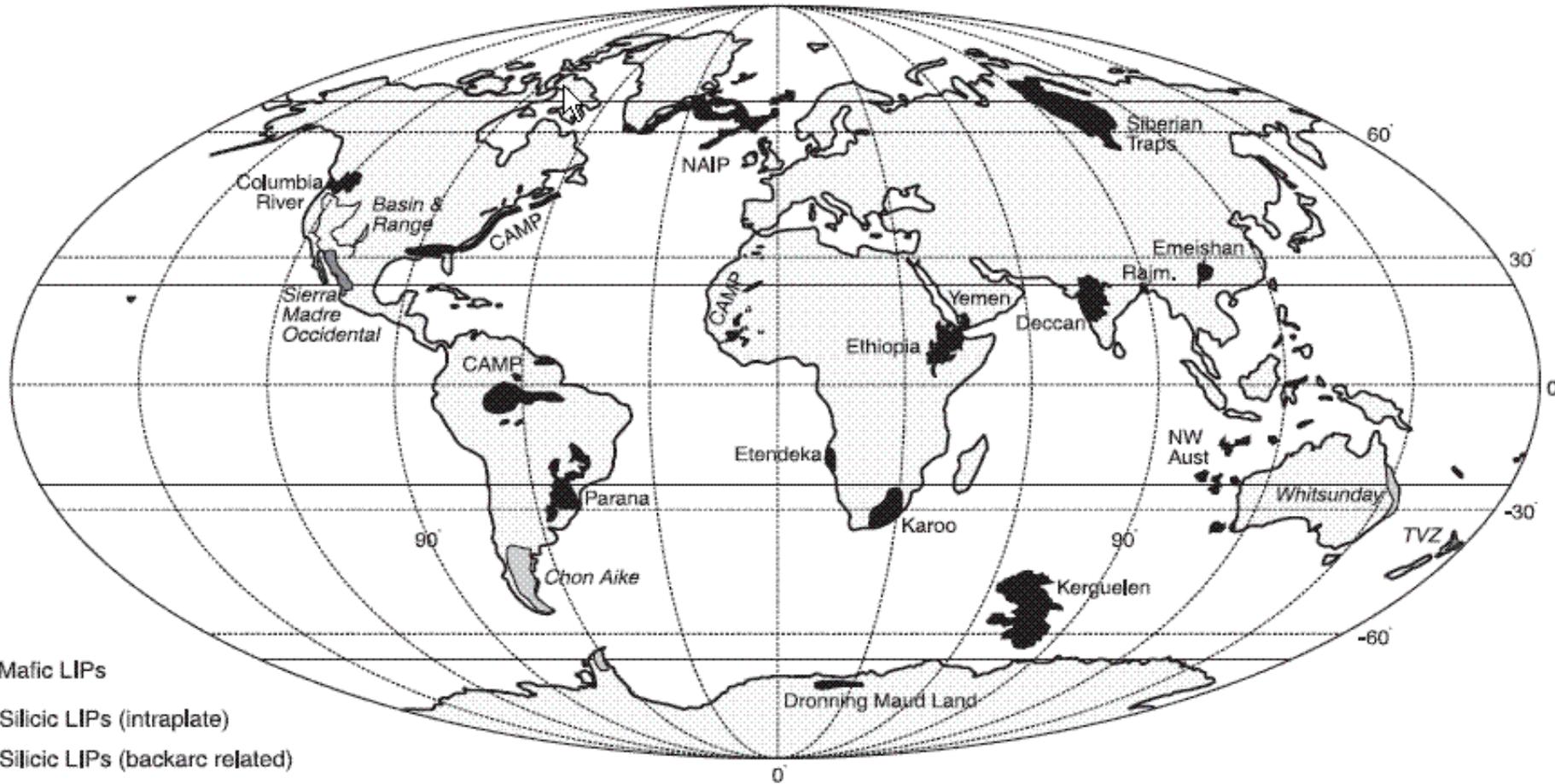
- в общем случае, чем древнее кора и мощнее литосфера, тем выше щелочность магм (как и содержание всех несовместимых элементов)
- классификация континентальных рифтов по возрасту дорифтовых комплексов:
 - эпиплатформенные
 - эпиорогенные - отличаются более активным участием континентальной коры в петрогенезе и, как следствие, бимодальным составом вулканитов. Мантийные источники менее глубинные, чем в системах эпиплатформенных рифтов, и щелочность магм в целом ниже (постепенный переход к постколлизийным обстановкам). В геохимии – признаки как внутриплитных, так и субдукционных магм

Особенности микроэлементного состава щелочных магм:

- резкое обеднение тяжелыми РЗЭ (гранат в источнике), следствие – высокое La/Yb
- резко выраженные максимумы и минимумы на спайдеграммах – следствие концентрации элементов в ряде породообразующих и акцессорных минералов (по сути, эти элементы уже не ведут себя как несовместимые)



Внутриплитные плато базальты (трапповые провинции)



LIP – Large Igneous Province
($>10^5$ км³, $>10^5$ км², <50 млн лет)

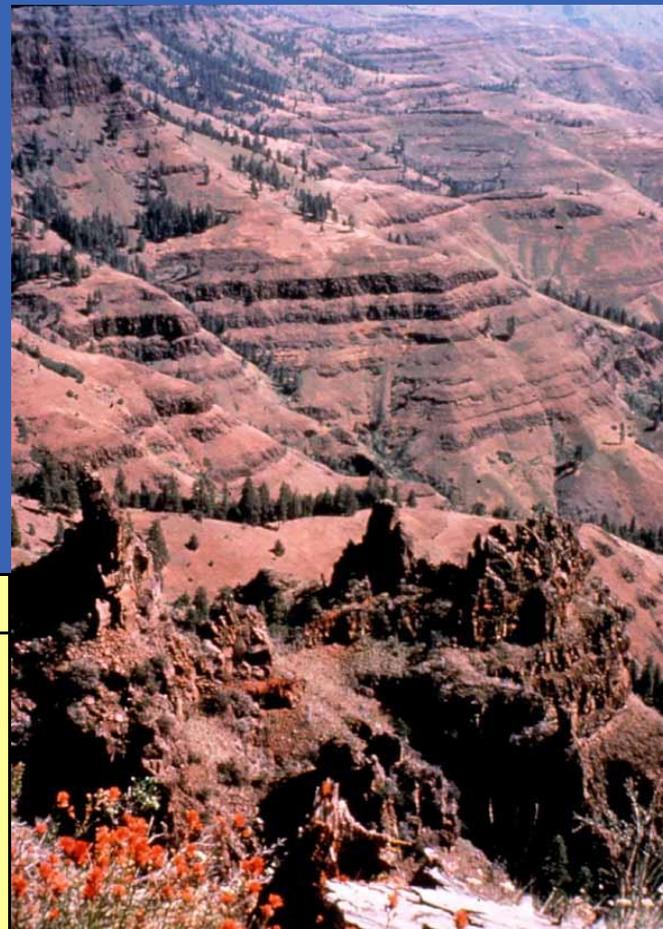
(Bryan & Ernst, 2008)

Внутриплитные платобазальты

Large Igneous Provinces (LIP)

- океанические плато
- базальты океанических котловин
- собственно траппы (continental flood basalts, CFB)
- подножия континентальных склонов (VRM)
- крупные дайковые пояса платформ
- архейские зеленокаменные пояса

(Bryan & Ernst, 2008)



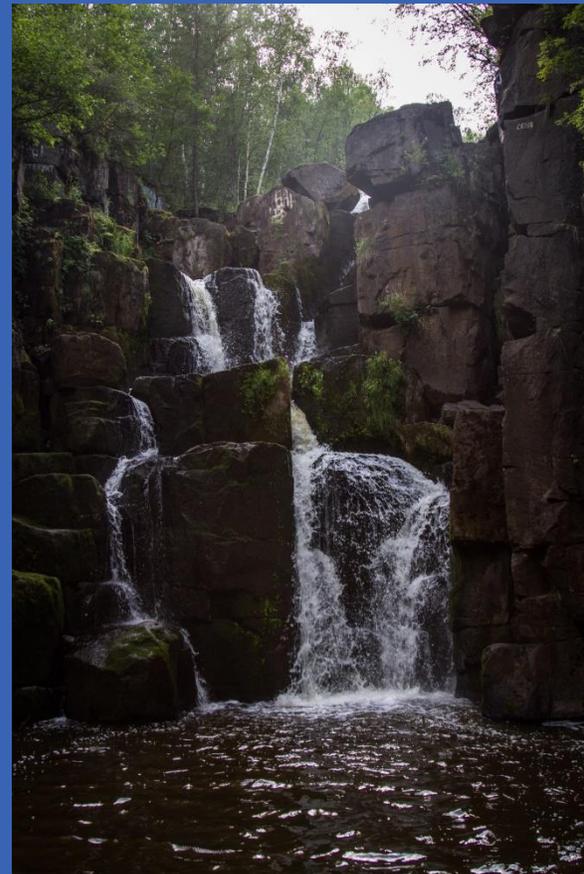
Название	Объем	Возраст	Расположение
CRB	$(1.7 \times 10^5 \text{ km}^3)$	N1	СЗ США
Кеeweenawan	$(4 \times 10^5 \text{ km}^3)$	PR	Пров. Superior
Дессан	(10^6 km^3)	K2-Pg2	Индия
Parana	$(\text{area} > 10^6 \text{ km}^2)$	K1	Бразилия
Karoo	$(2 \times 10^6 \text{ km}^3?)$	J1	Ю. Африка

Трапповые провинции

1. Преимущественно базальтовый состав
2. Преобладают эффузивные извержения
3. Серии: толеитовые (преобладают), субщелочные и щелочные
4. Мантийные источники магм - как обедненные, так и обогащенные

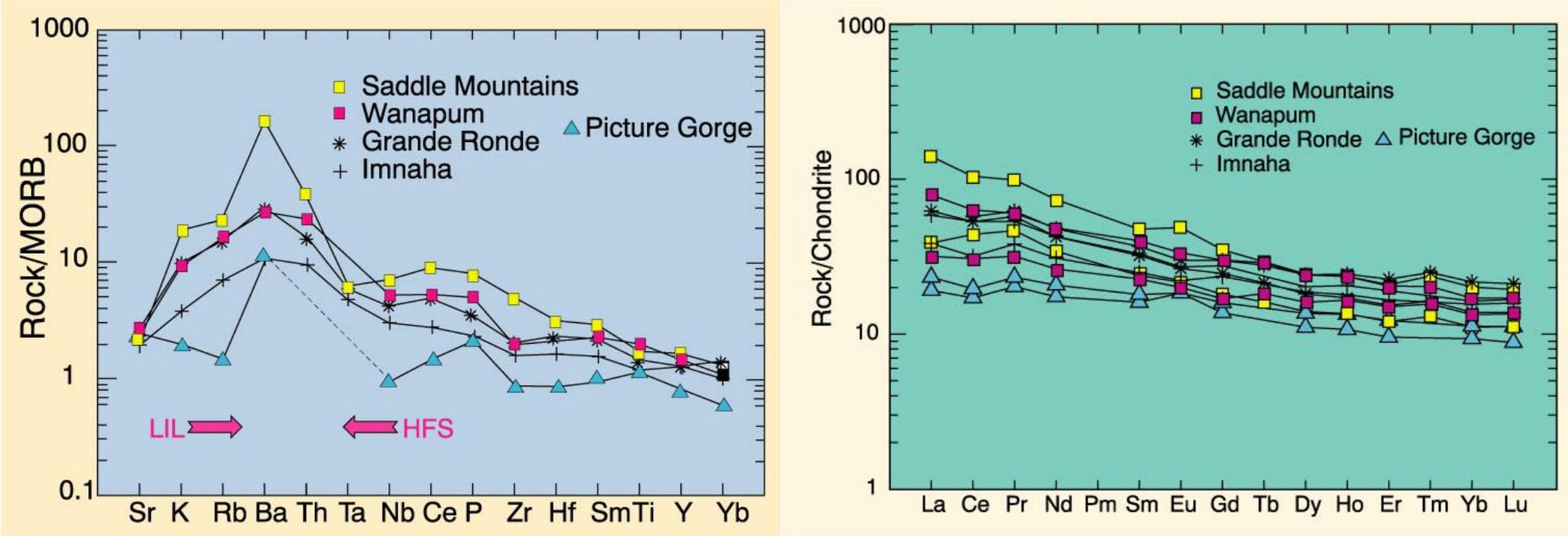
Отличия континентальных траппов от океанических платобазальтов:

1. Ниже доля высокомагнезиальных (>8-10% MgO) разновидностей
2. Признаки контаминации веществом коры
3. Кремнекислые вулканиты – до 5%
(Парана-Этендека, Северная Атлантика)
4. Иногда – Ta-Nb минимум (Тунгуска, Деккан)



(фото П.С. Ульяхиной)

Пример мультиэлементных диаграмм для пород трапповых провинций (Коламбия Ривер, США)



в целом, содержания несовместимых элементов
– в интервале между E-MORB и OIB

Рекомендуемая литература:

1. Wilson M. Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach. Unwin Hyman. London, 1989.
2. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. 1997.
3. Склярлов Е.В. (ред.). Интерпретация геохимических данных. 2001.
4. Богатиков О.А. (ред.). Магматические горные породы. 1987.
5. Демина Л.И., Короновский Н.В. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. 2011.
6. Winter J.D. Principles of igneous and metamorphic petrology. 2013.
7. Ernst R. Large Igneous Provinces. 2014.

Спасибо за внимание



www.igeotech.ru

Контакты

+7 (495) 246-85-54

+7 (499) 220-85-54

info@igeotech.ru

119234, Россия, г.Москва, ул.

Ленинские Горы, д. 1, стр. 77.

Научный парк МГУ