

ПЕТРОЛОГИЯ, часть 2. Магматизм

Лекция 2. Древнейшие магматические породы

Древнейшие магматические породы и условия их формирования. Геологическое положение, петрография, особенности породообразующих минералов, условия формирования и гипотезы происхождения коматиитов. Тоналит-грандьемит-граносиристовые формации (ТТГ-комплексы) и их роль в формировании континентальной земной коры.

каф.петрологии

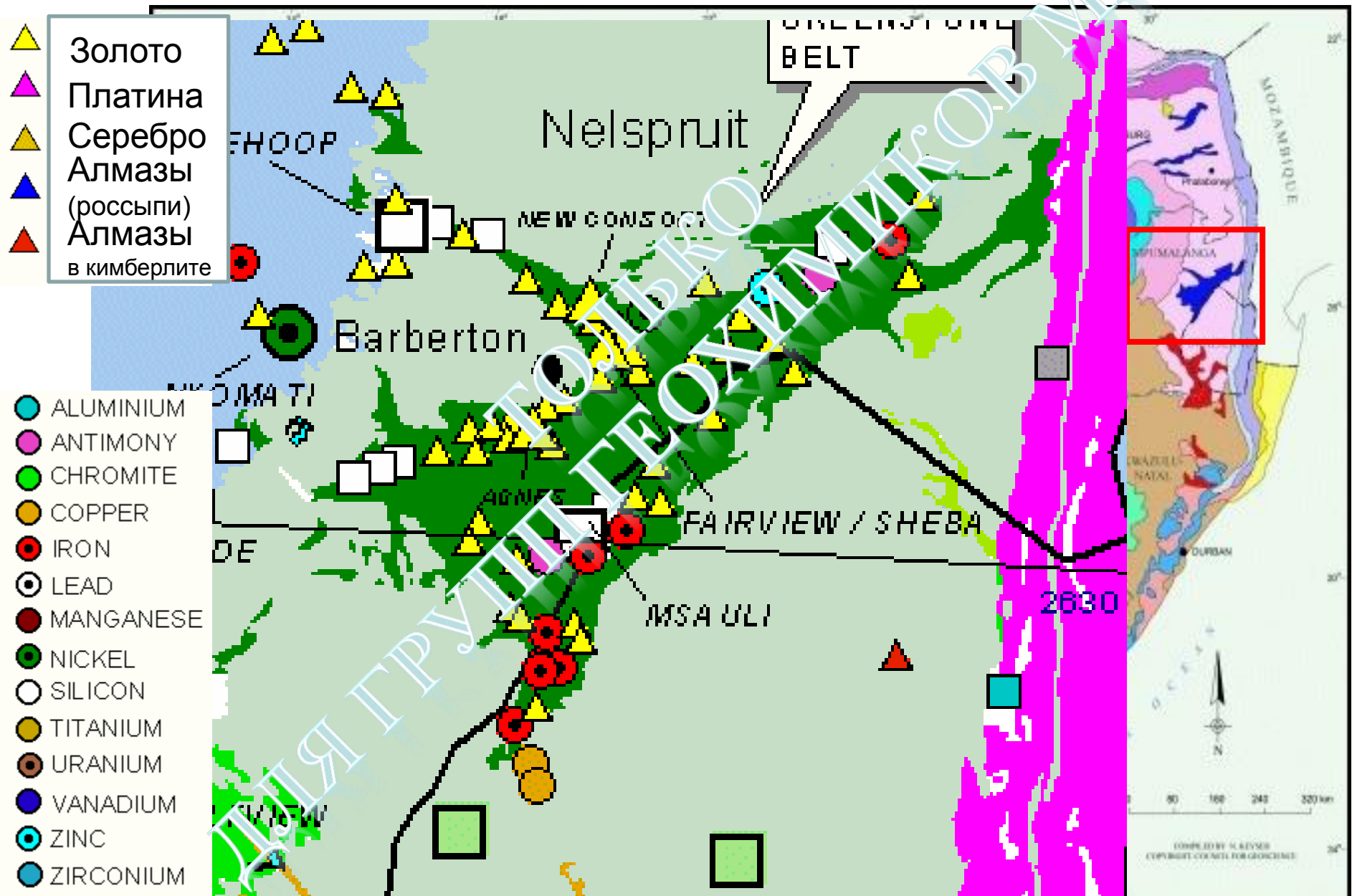
Геологический факультет МГУ

2013

Почему важны архейские породы?

- Архейские породы отличаются от современных
⇒ на них можно тестировать понимание современных петрологических процессов
- Архейские породы достаточно распространены (Барбертон, Кольский п-ов, Канада и др.)
- С архейскими породами связаны месторождения
 - Золото (большая часть крупнейших месторождений + вторичные месторождения)
 - Богатые платиной сульфидные руды
 - Никель
- Связаны с формированием континентальной коры, т.е. являются ключевыми в понимании геодинамики

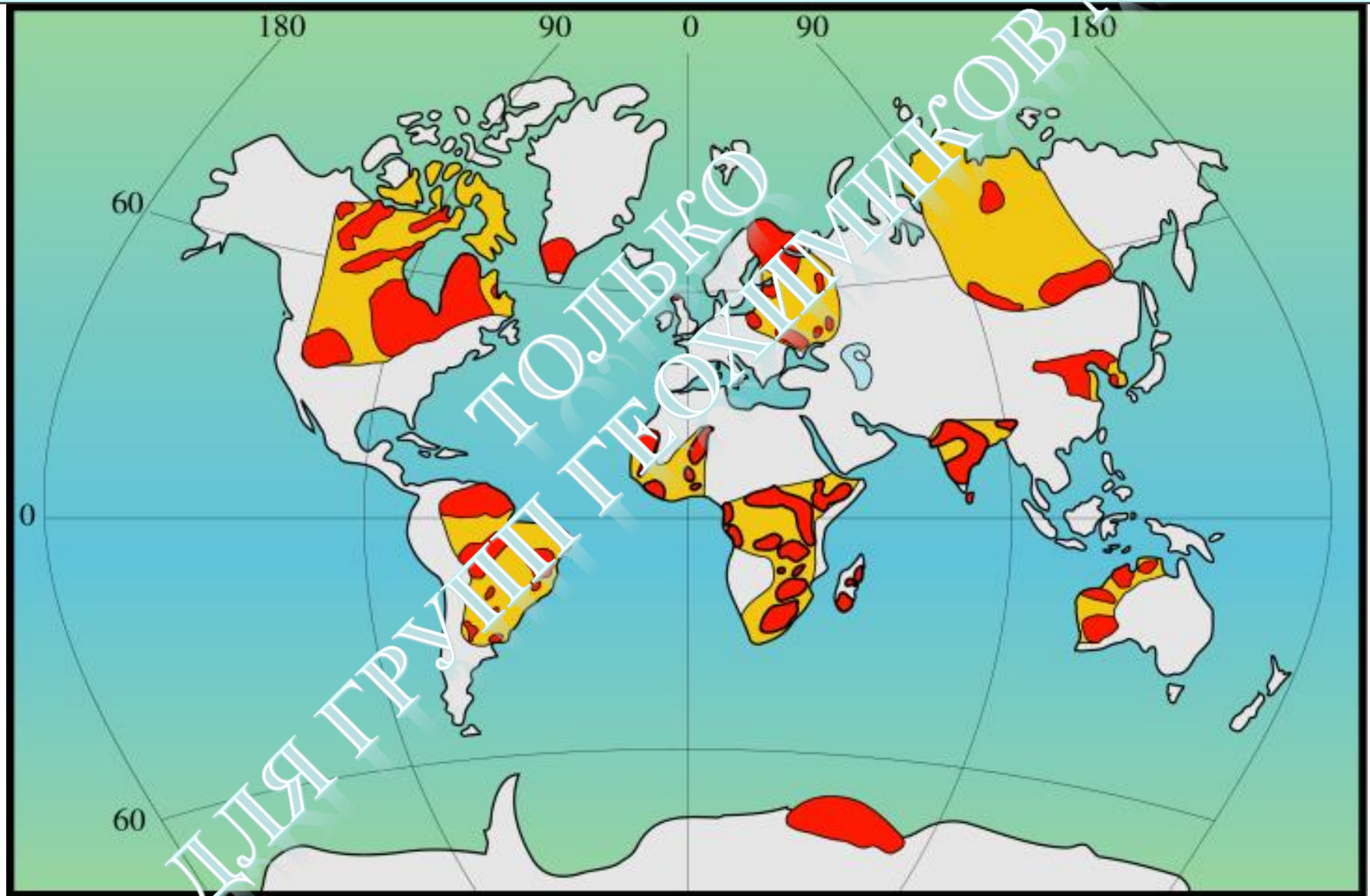
Месторождения провинции Барбертон (ЮАР)



Два типа характерных пород

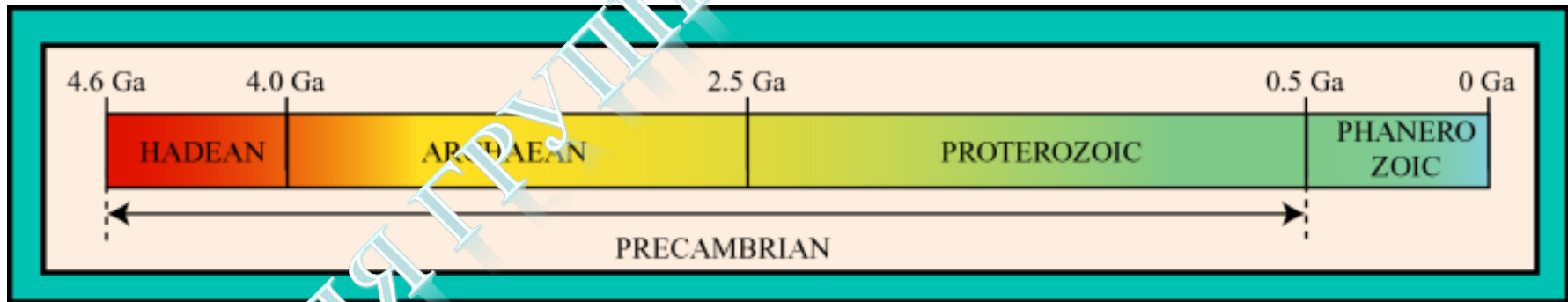
- Коматииты = безплагиоклазовые, высокомагнезиальные гавы
- ТТГ = Тоналиты, трондjemиты и гранодиориты
- Возможно, это связано со спецификой архейской геодинамики?

Распространение архейско-раннепротерозойского фундамента



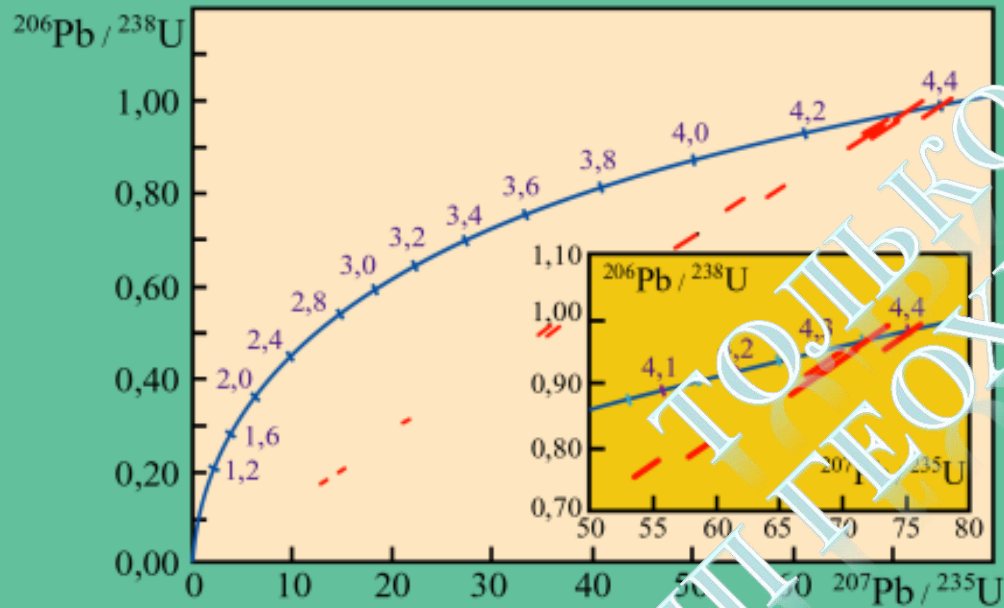
Самые древние породы Земли

Возраст, млрд.лет	Формация	Место	Тип первичной породы
3.82	Гнейсы Амитсок	Гренландия	Плутоническая
3.865	Гнейсы Исуа	Гренландия	Осадочная
4.01	Гнейсы Акаста	Юта	Меланократовое включение



Самые древние цирконы Земли

Jack Hill (Австралия) - 4.404 ± 0.008 Ga



letters to nature (11 JANUARY 2001)

Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago

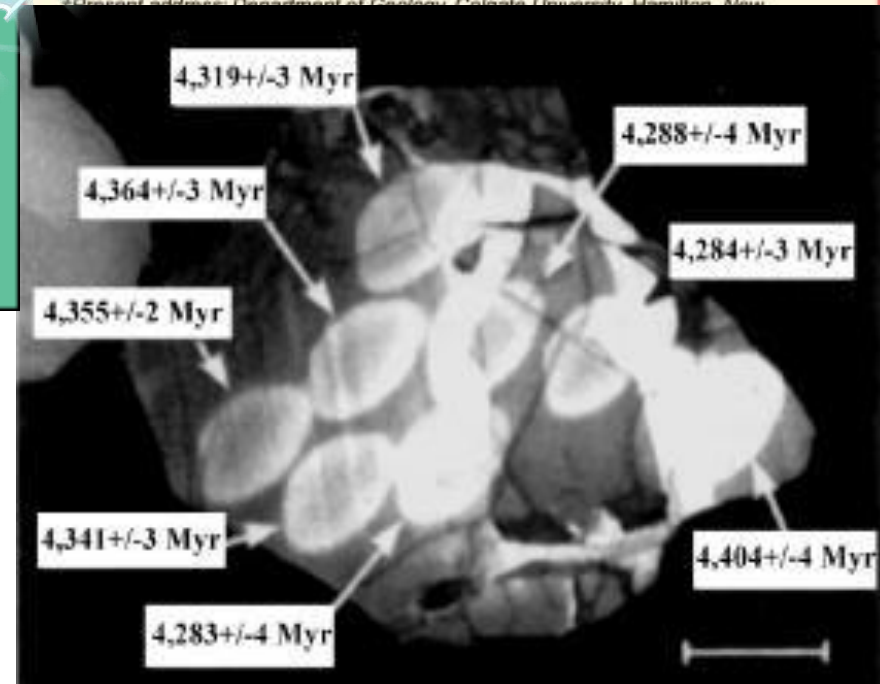
Simon A. Wilde[†], John W. Valley[†], William H. Peck[§] & Colin M. Graham[‡]

[†]School of Applied Geology, Curtin University of Technology, GPO Box U1987, Perth, Australia

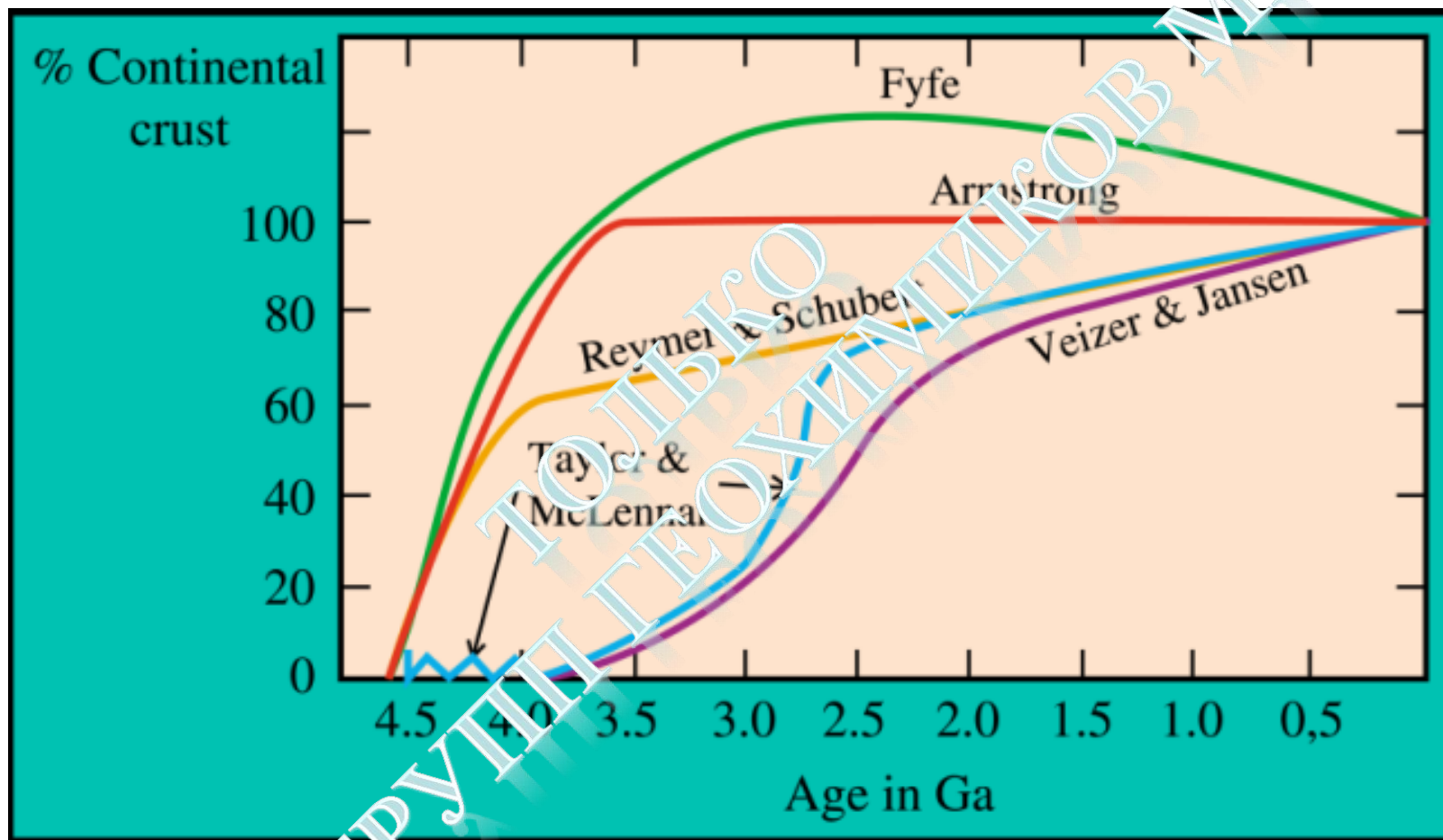
[‡]Department of Geology & Geophysics, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53706, USA

[§]Department of Geology & Geophysics, University of Edinburgh, Edinburgh, EH9 3JW, UK

[¶]Present address: Department of Geology, Colgate University, Hamilton, New York



Модели формирования континентальной коры



**75 % континентальной коры было сформировано
2.5 млрд. лет назад**

Главный период формирования коры был в Архее

Эволюция магматизма в истории Земли

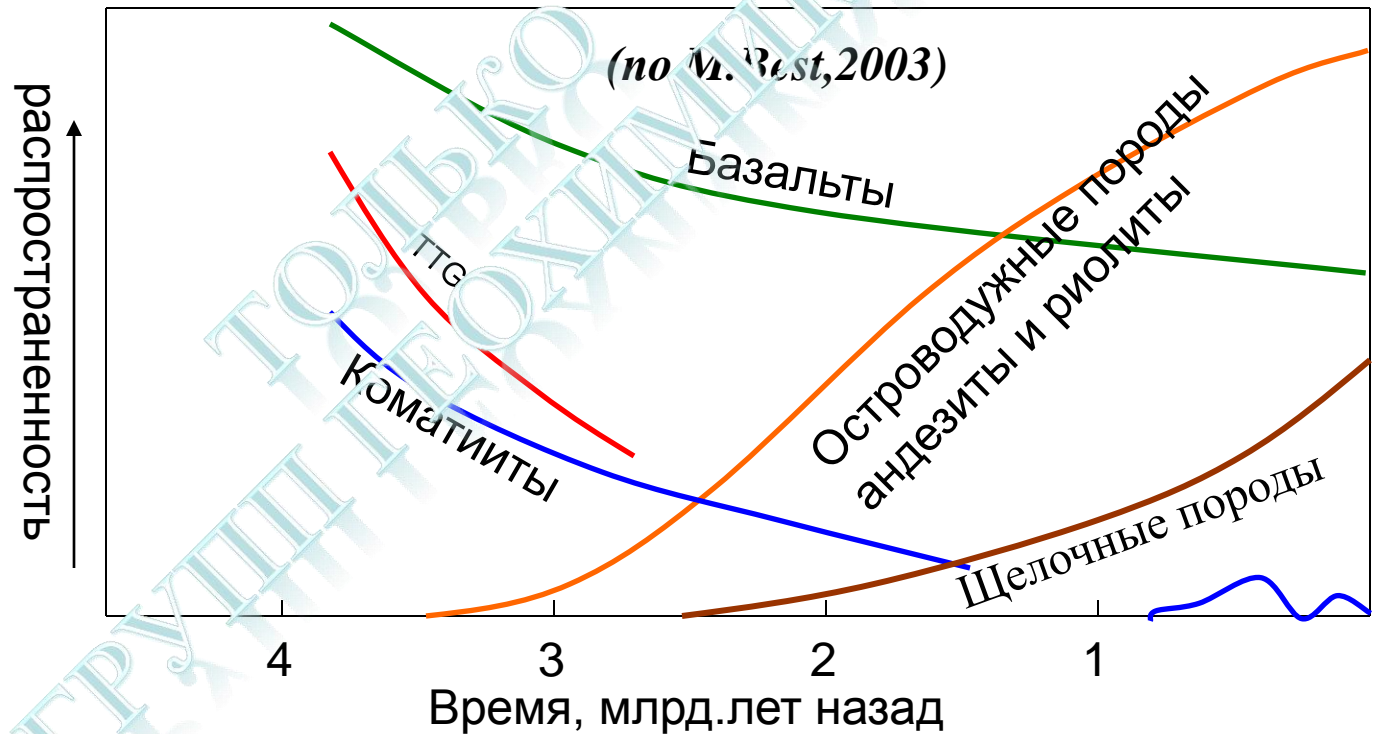
Подавляющее большинство магм в земной коре имеет силикатный состав (30 мас.% < SiO₂ < 85 мас.%).

Силикатные:

- Коматиитовая
- Базальтовая
- Андезитовая
- Риолитовая
- Щелочные

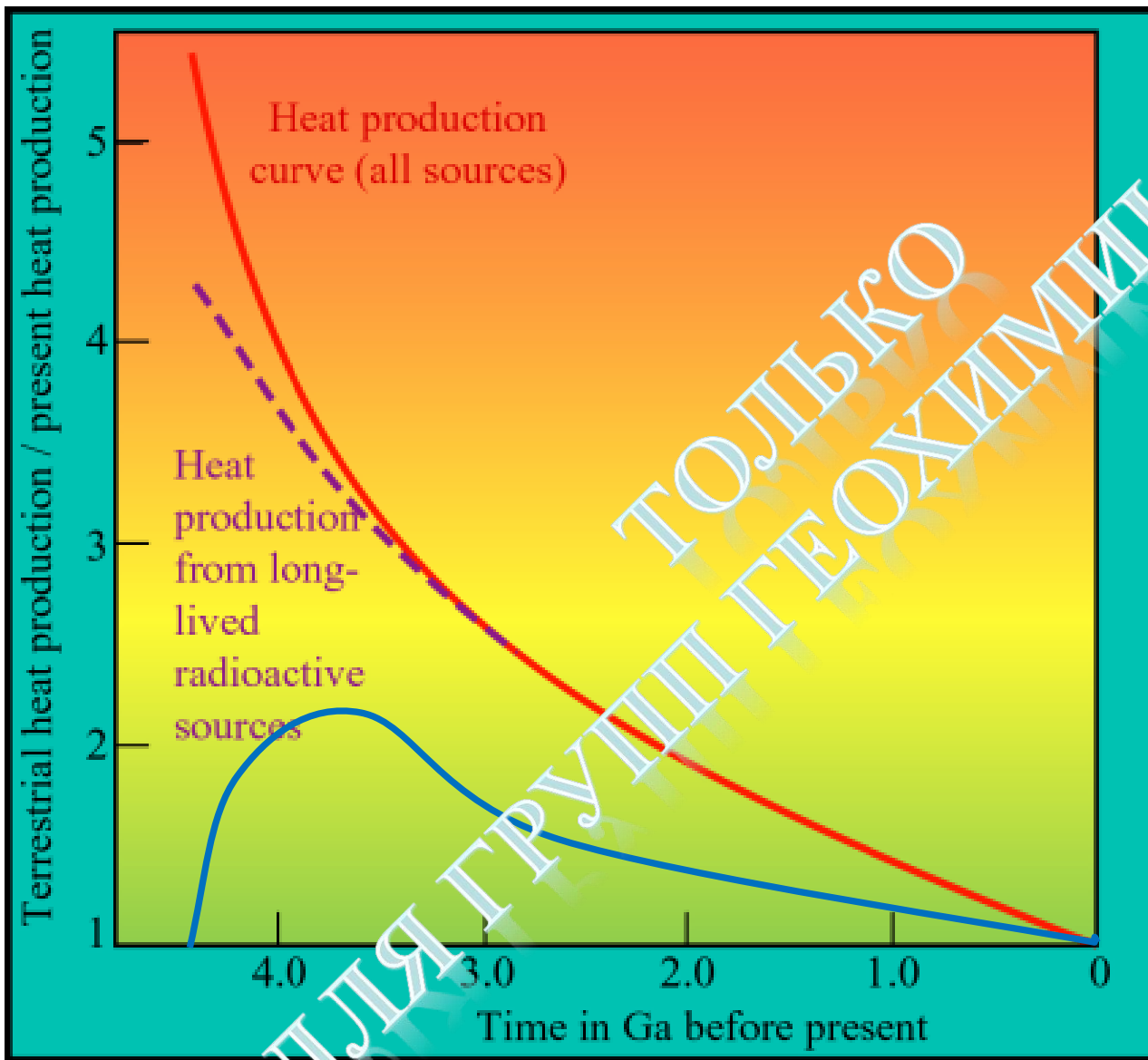
Несиликатные:

- Карбонатитовая
- Фоскоритовая
- Сульфидная
- и другие



Внешнее ядро Земли по современным представлениям жидкое, т.е. состоит из магмы. Его состав преимущественно металлический (Fe,Ni). В пределах земной коры металлические магмы не зафиксированы.

Количество выделяемого Землей тепла



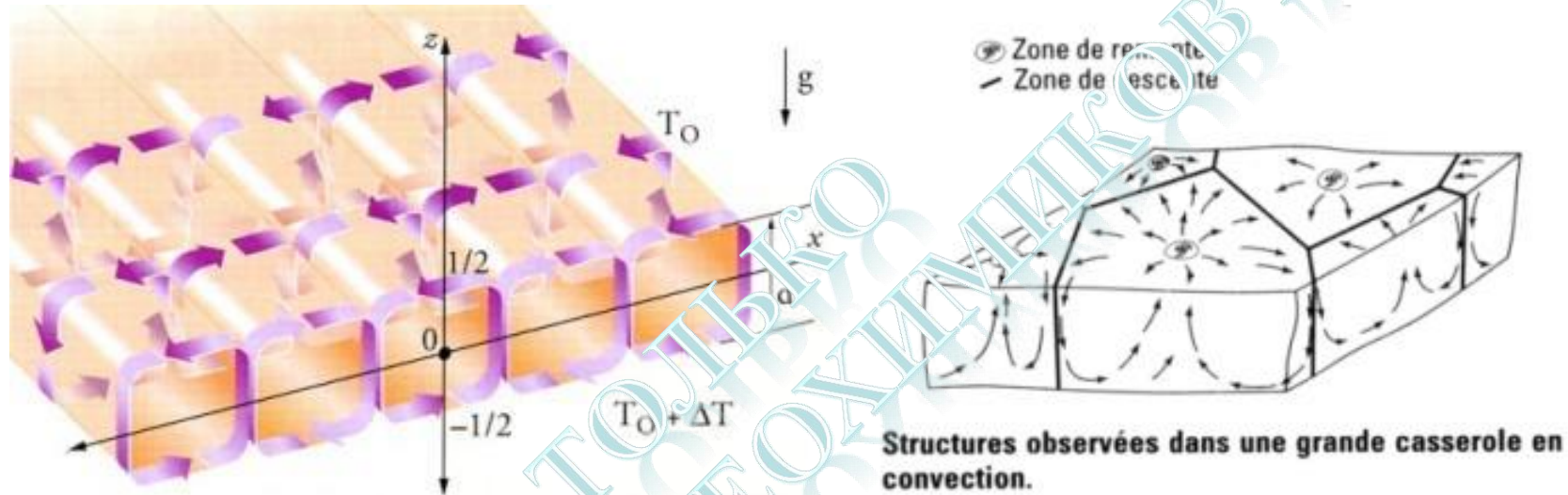
Постепенный нагрев Земли
от 4.5 до 3.5 млрд л.н.

Источники тепла:

1. радиоактивный распад
2. Метеоритная бомбардировка
3. Сепарация ядра

Постепенное остывание
от 3.5 млрд л.н. до
настоящего времени

Эффекты активного тепловыделения



$$(Ra = 10^3 - 10^4)$$

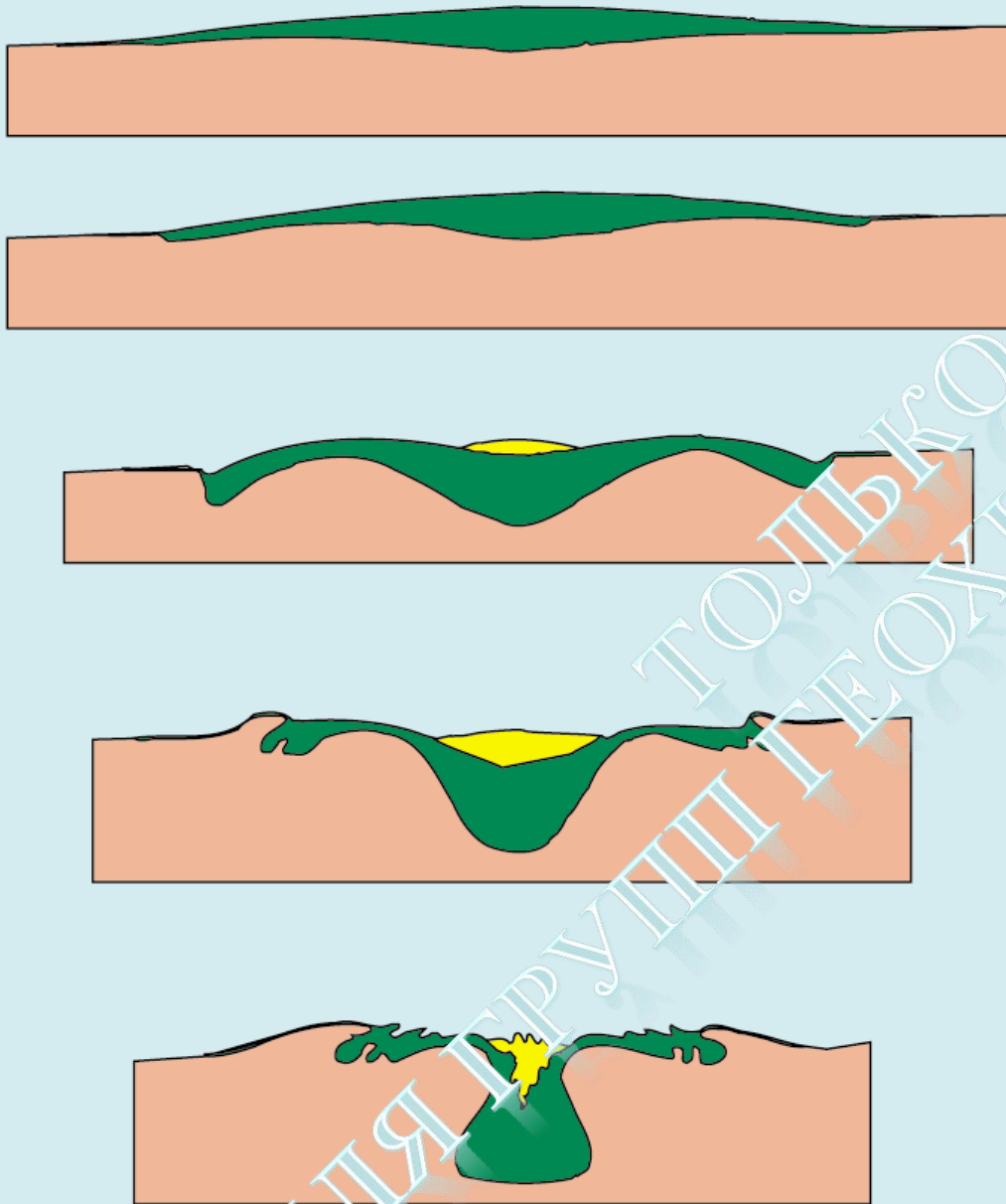
$$(Ra > 10^5)$$

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T d^3}{\nu \alpha}$$

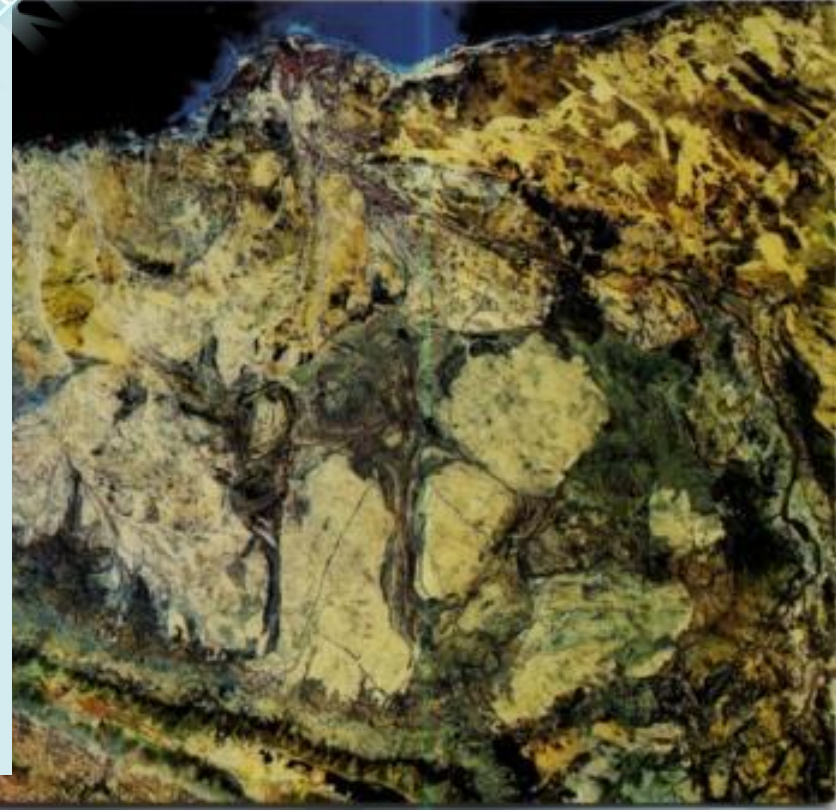
- * Ra = число Релея
- * g = ускорение свободного падения
- * d = характеристический размер области жидкости
- * ΔT = разность температур между стенками жидкости
- * ν = кинематическая вязкость жидкости
- * α = температуропроводность жидкости
- * β = коэффициент теплового расширения жидкости

Архейские структуры куполов и килей

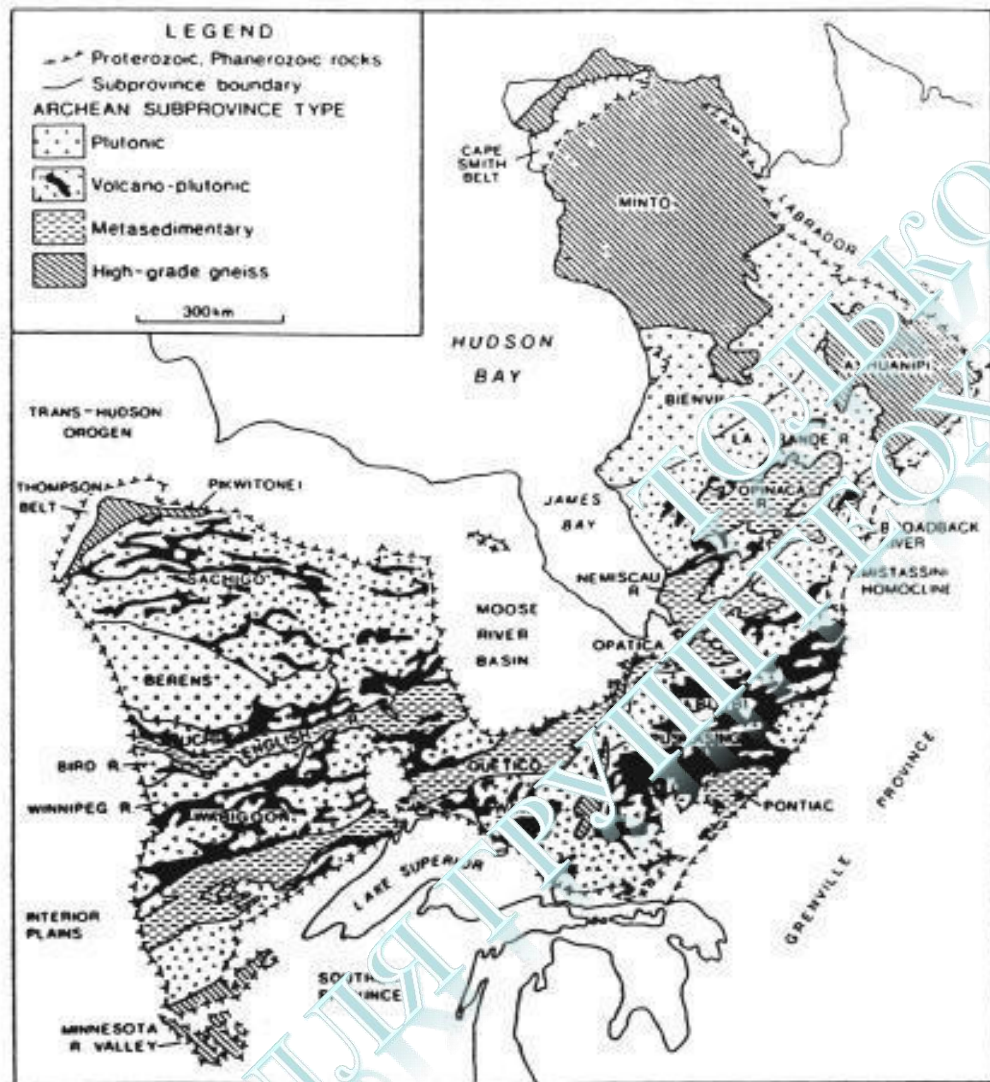
Вертикальная тектоника
("сагдукция")



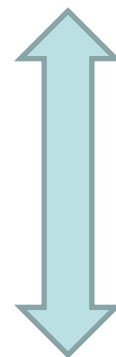
0 10 20
km



Бимодальное строение кратонов



Гранито-гнейсовый
базис, мигматиты



Зеленокаменные пояса:
Коматииты, базальты,
немного андезитов

Провинция Суперитор

Коматииты



SiO ₂	43.98
TiO ₂	0.34
Al ₂ O ₃	8.58
FeO	10.96
MnO	0.17
MgO	23.94
CaO	7.08
Na ₂ O	0.60
K ₂ O	0.05
P ₂ O ₅	0.02

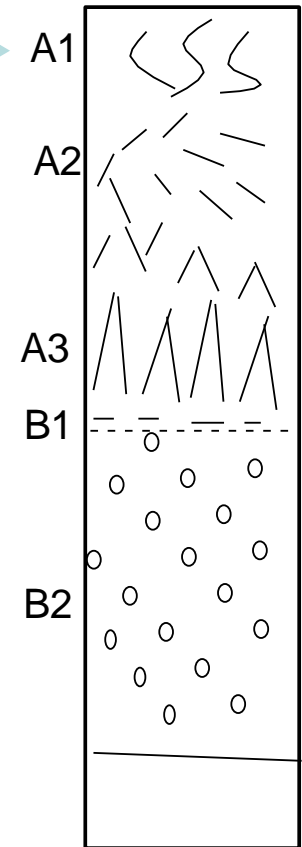
Viljoen, M. J. and R. P. Viljoen (1969). "The geology and geochemistry of the lower **ultramafic** unit of the Onverwacht group and a proposed **new class of igneous rocks**." *Geological Society of South Africa Special Publication 2*: 55-86.

Коматиитовые потоки



Спинифекс – суккулент из Западной Австралии (Barnes 1990)

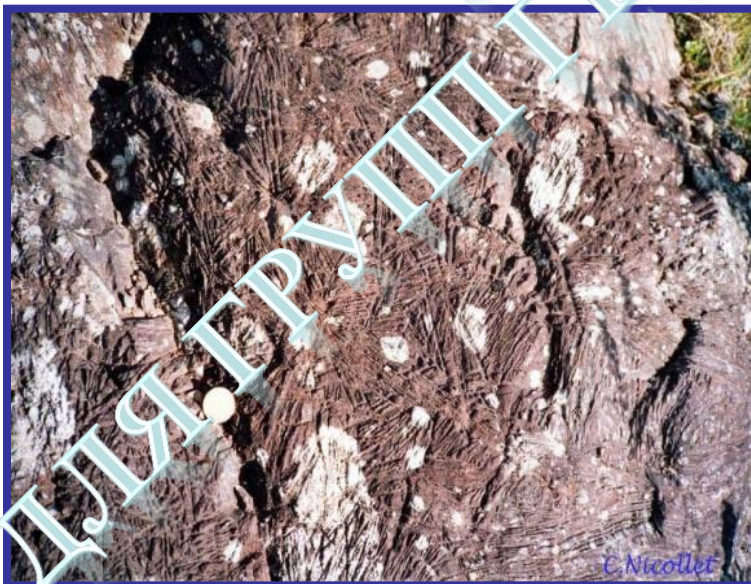
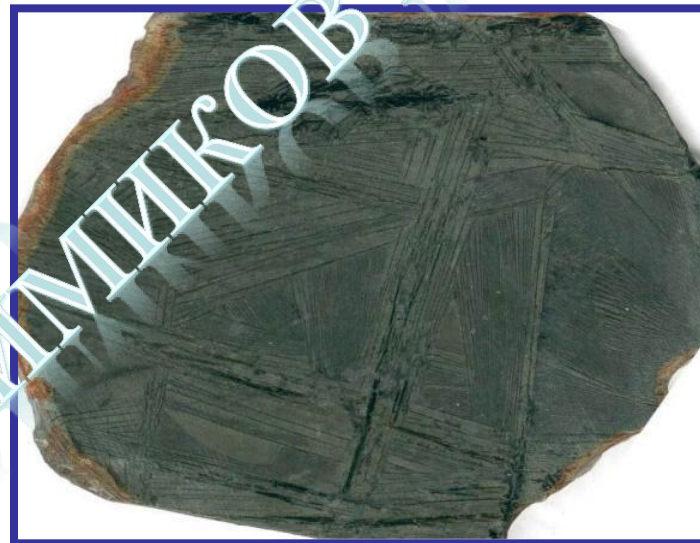
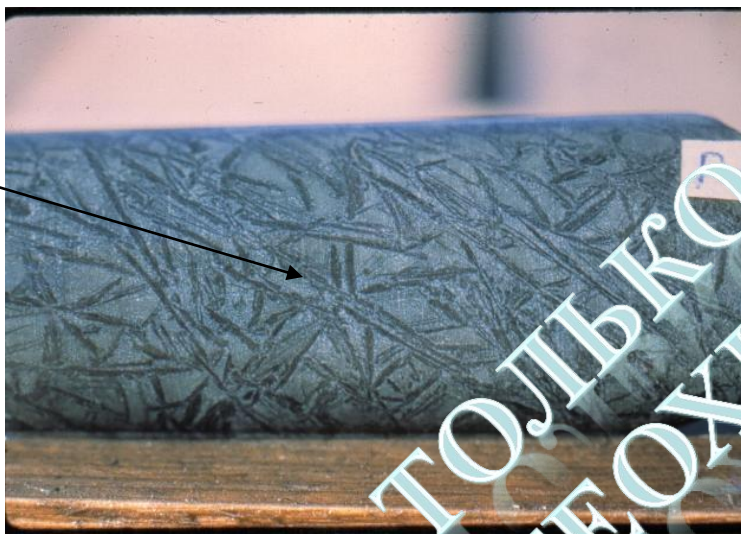
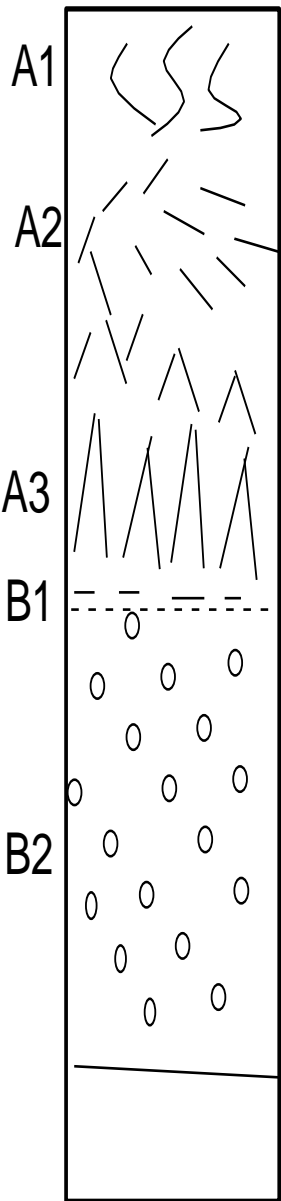
Строение потоков в Комати



Подводные условия извержения

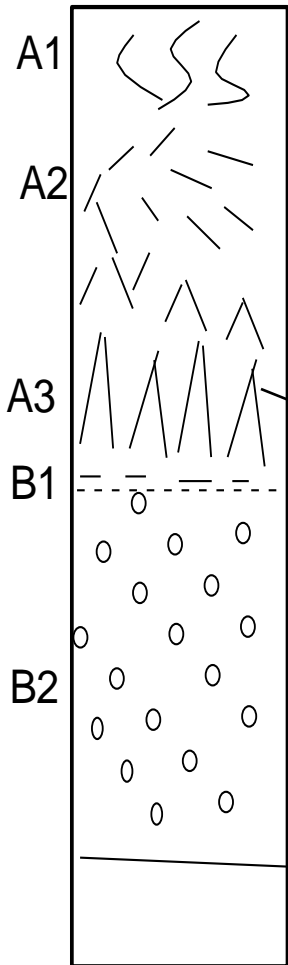
Строение потоков в Комати

Беспорядочно ориентированный спинифекс



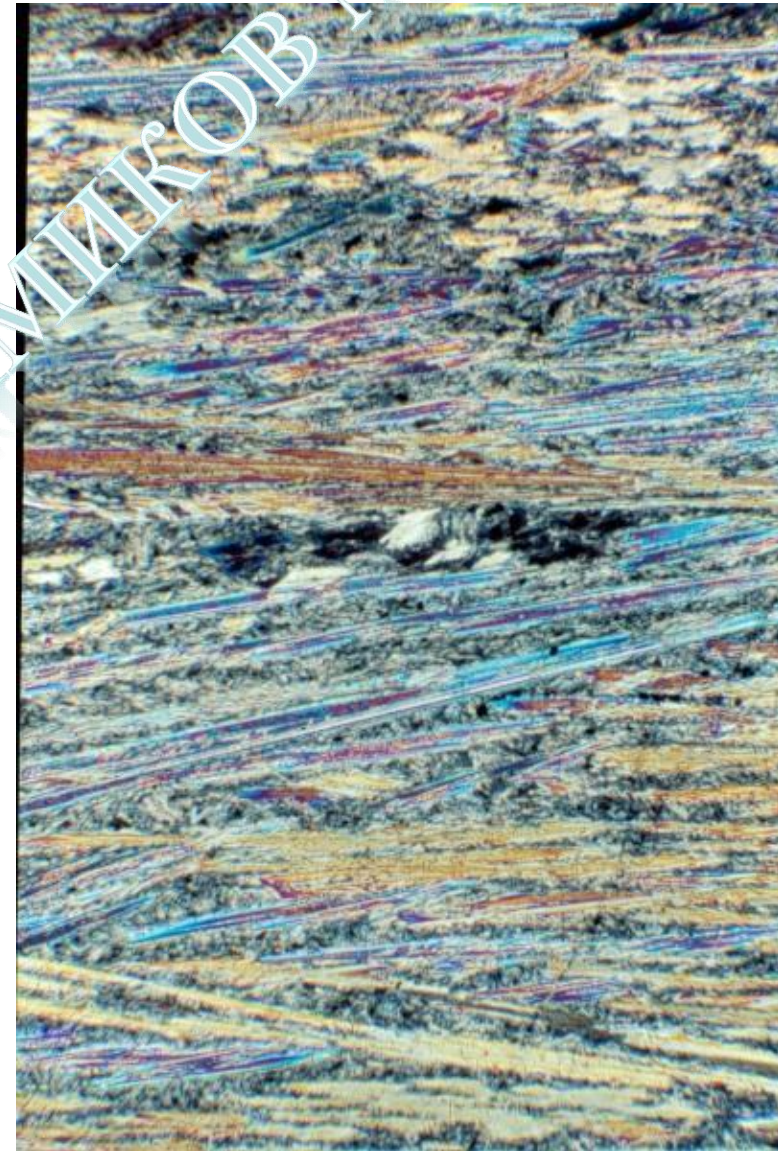
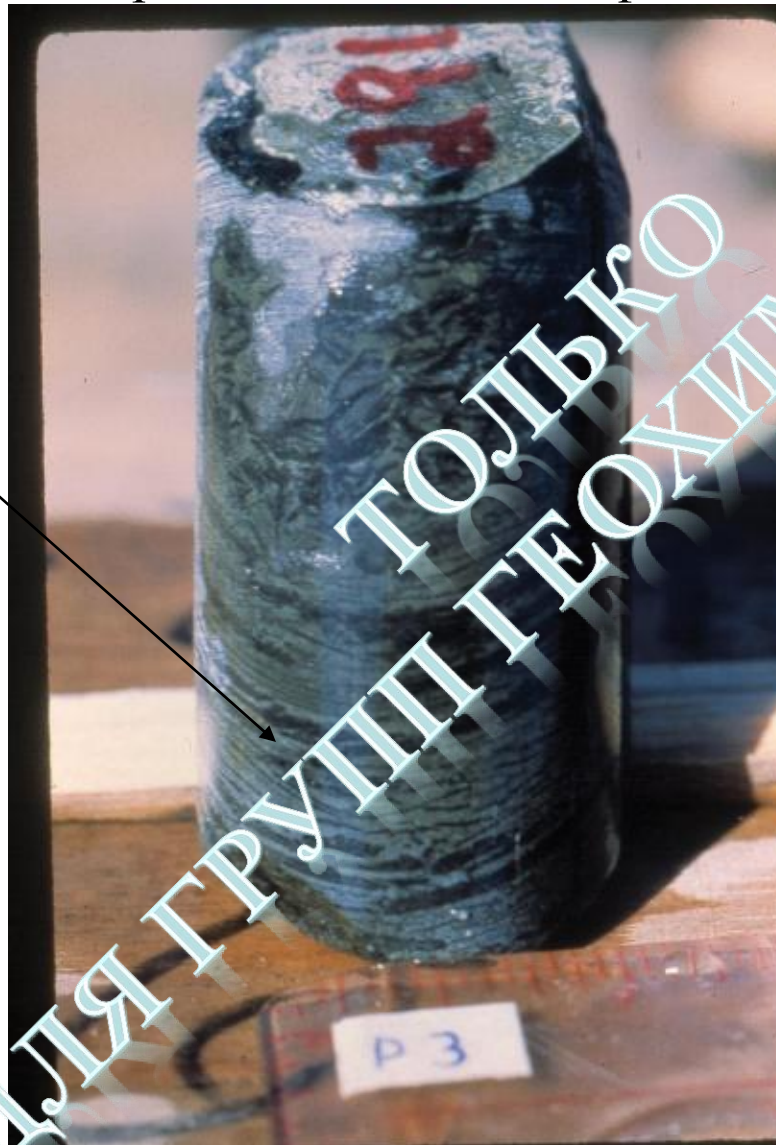
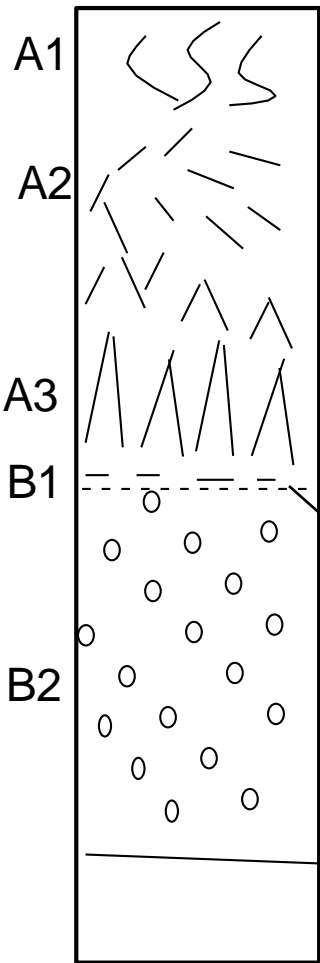
Строение потоков в Комати

Ориентированный спинифекс

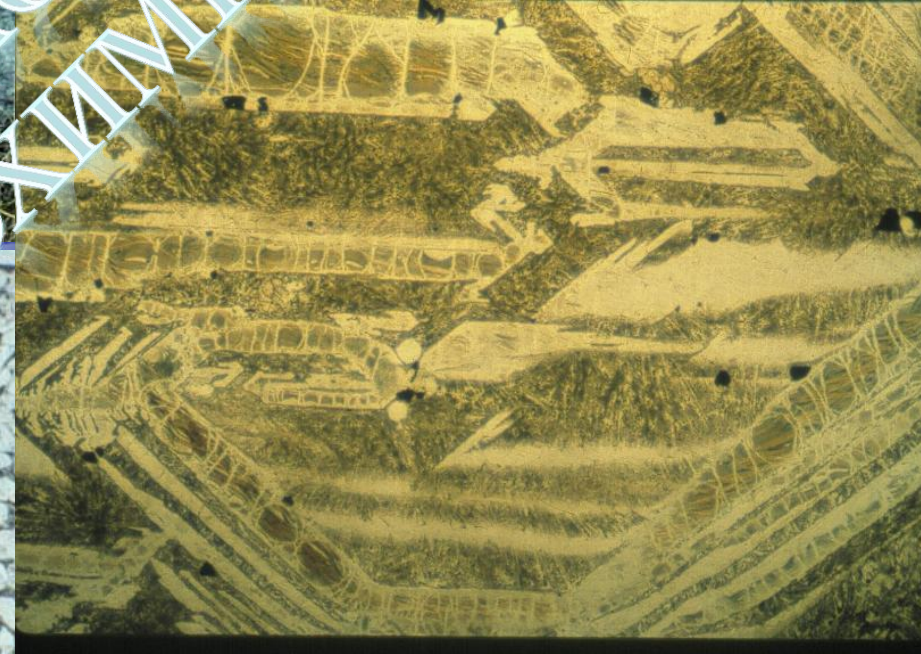
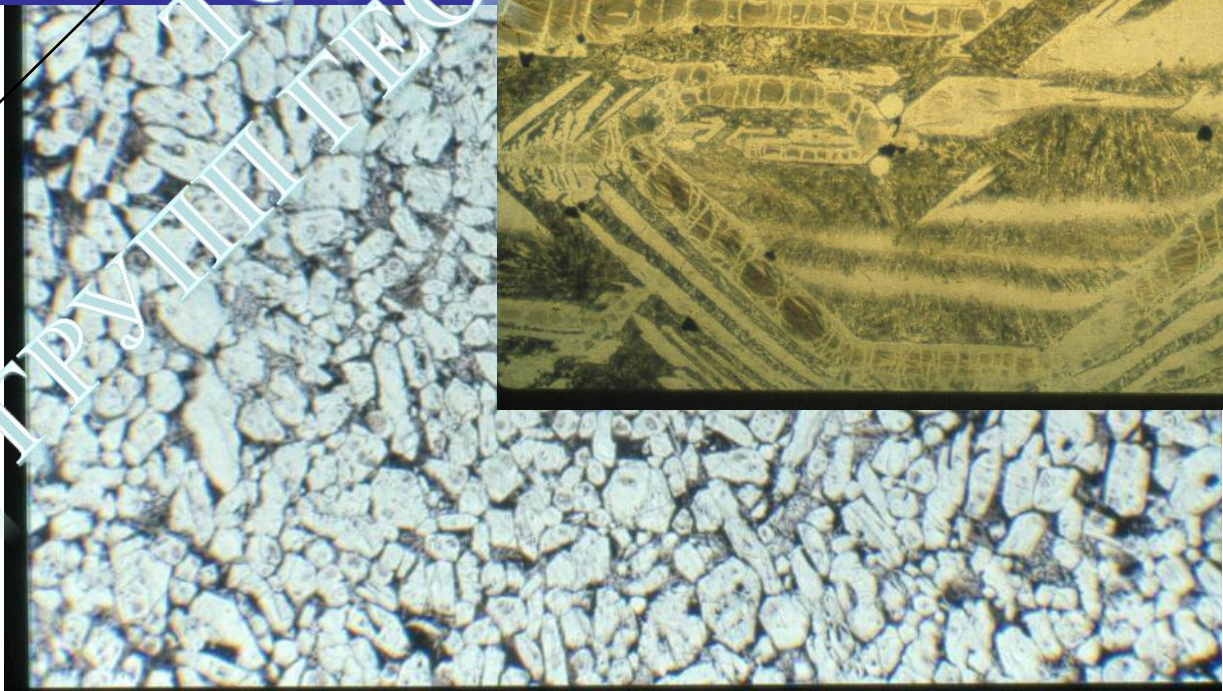
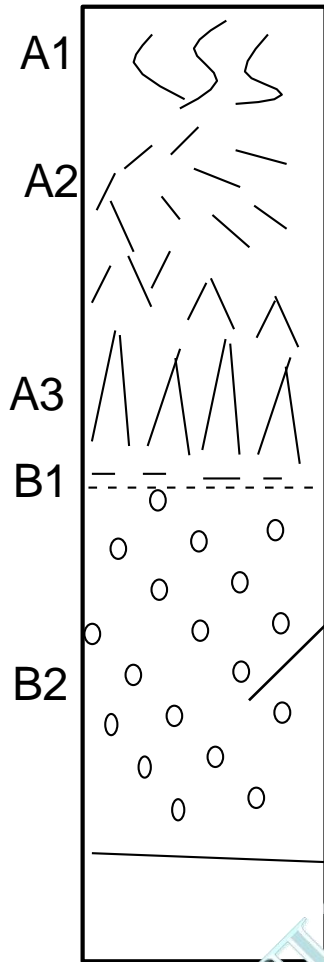


Строение потоков в Комати

Горизонтальный спинифекс



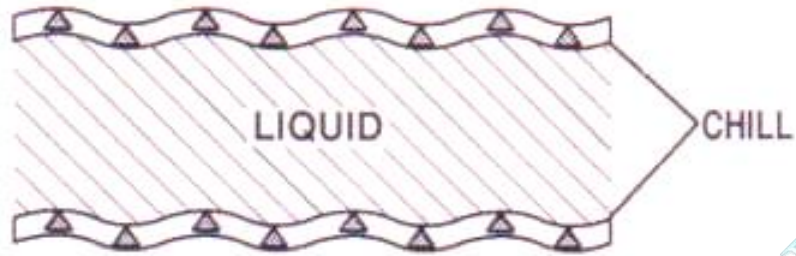
Строение потоков в Комати



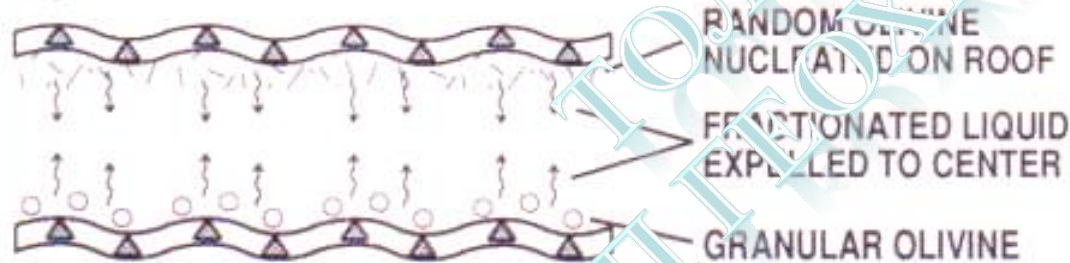
ДЛЯ ГРУППИШЕ ПОЛЬКО ОХИМШКОВ МГУ

Строение потоков в Комати

A) EXTRUSION



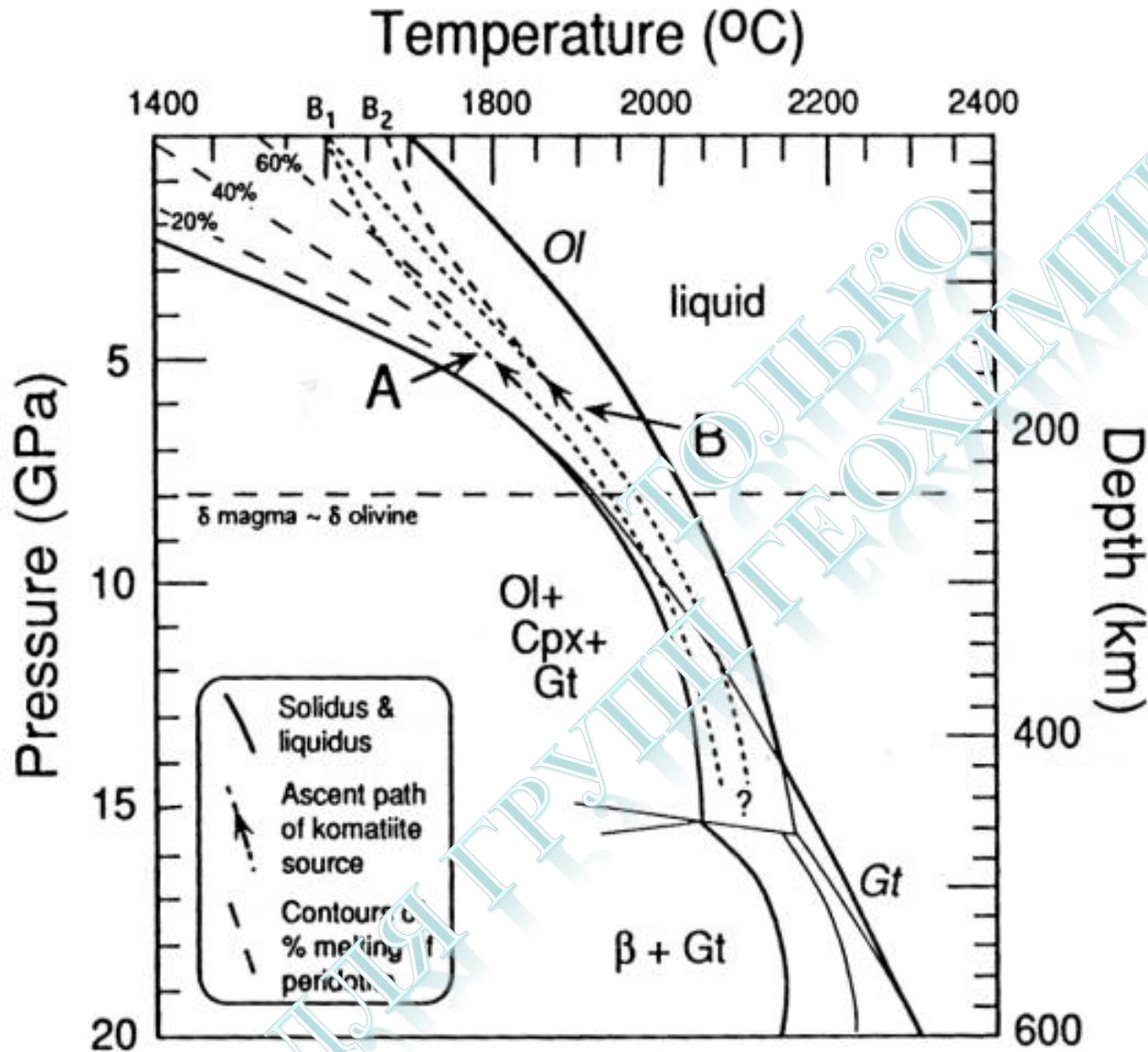
B)



C)



Условия формирования коматиитов



- Высокая магнезиальность требует высокой степени плавления мантии (40-60 %)
- Это возможно при очень высоких температурах и быстром подъеме
- Горячие точки или быстрые вертикальные движения
- Архейская мантия была гораздо горячее современной

ТТГ = тоналит-трондъемит-гранодиорит

ТТГ ~ Архейские серые гнейсы



Gneiss de Naavala (C)

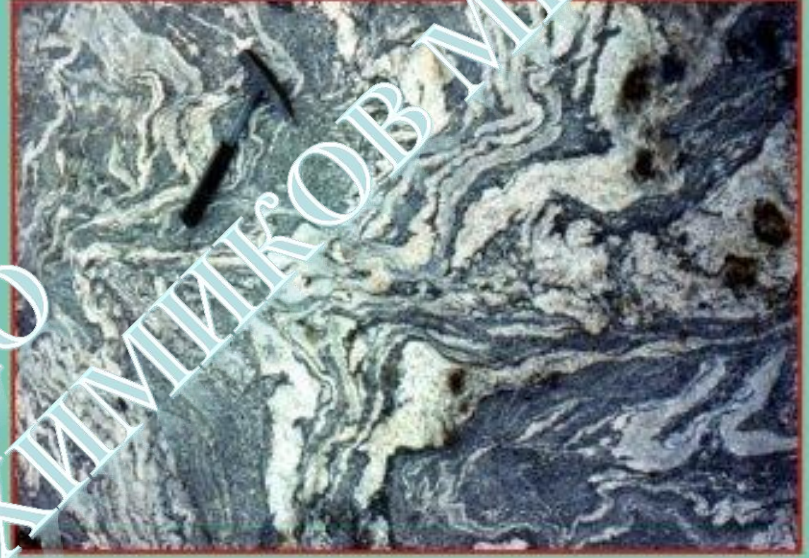


Stolzberg pluton (Barberton, 3.45 Ga)

Архейские серые гнейсы



Gneiss d'Amitsôq (Groenland) : 3.82 Ga



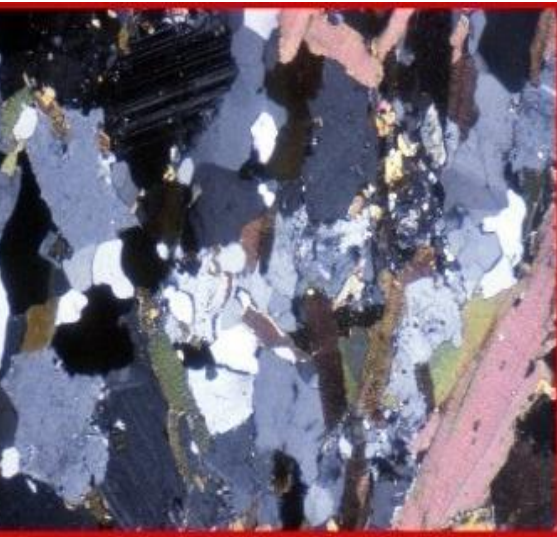
Gneiss de Kivijärvi (Finlande) : 2.86 Ga

Мигматизированные, сложно деформированные ортогнейсы.

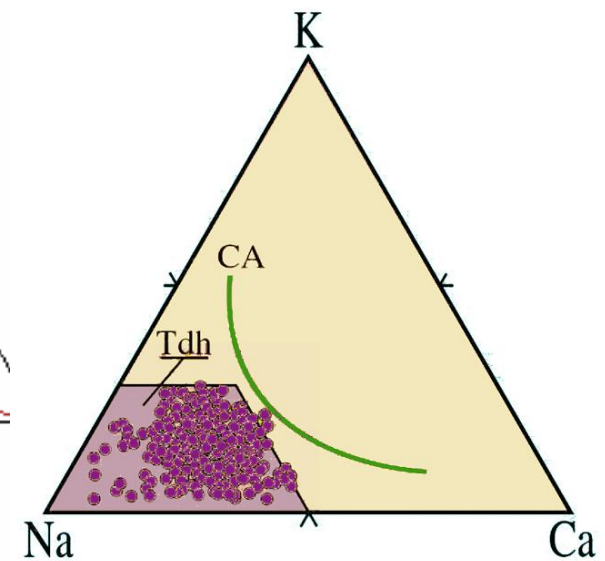
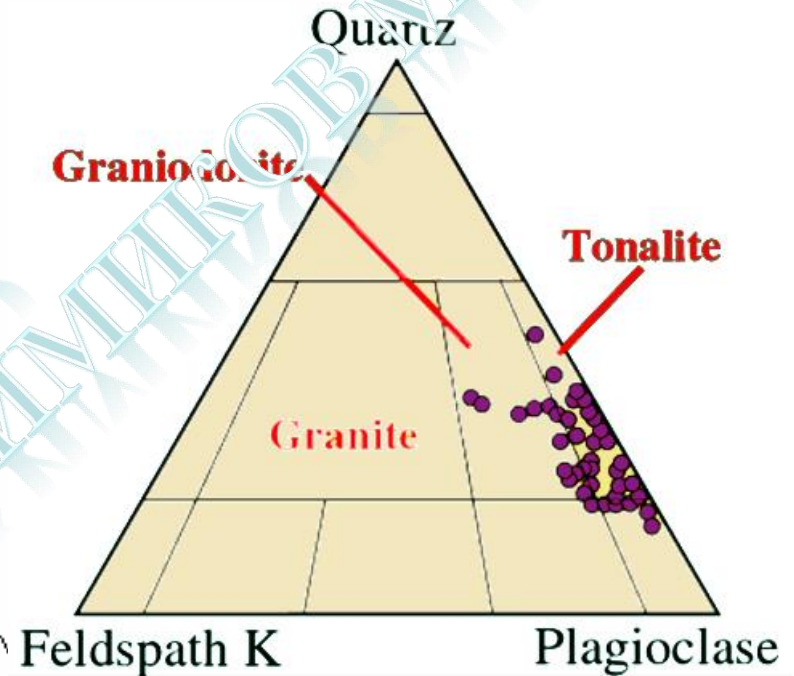
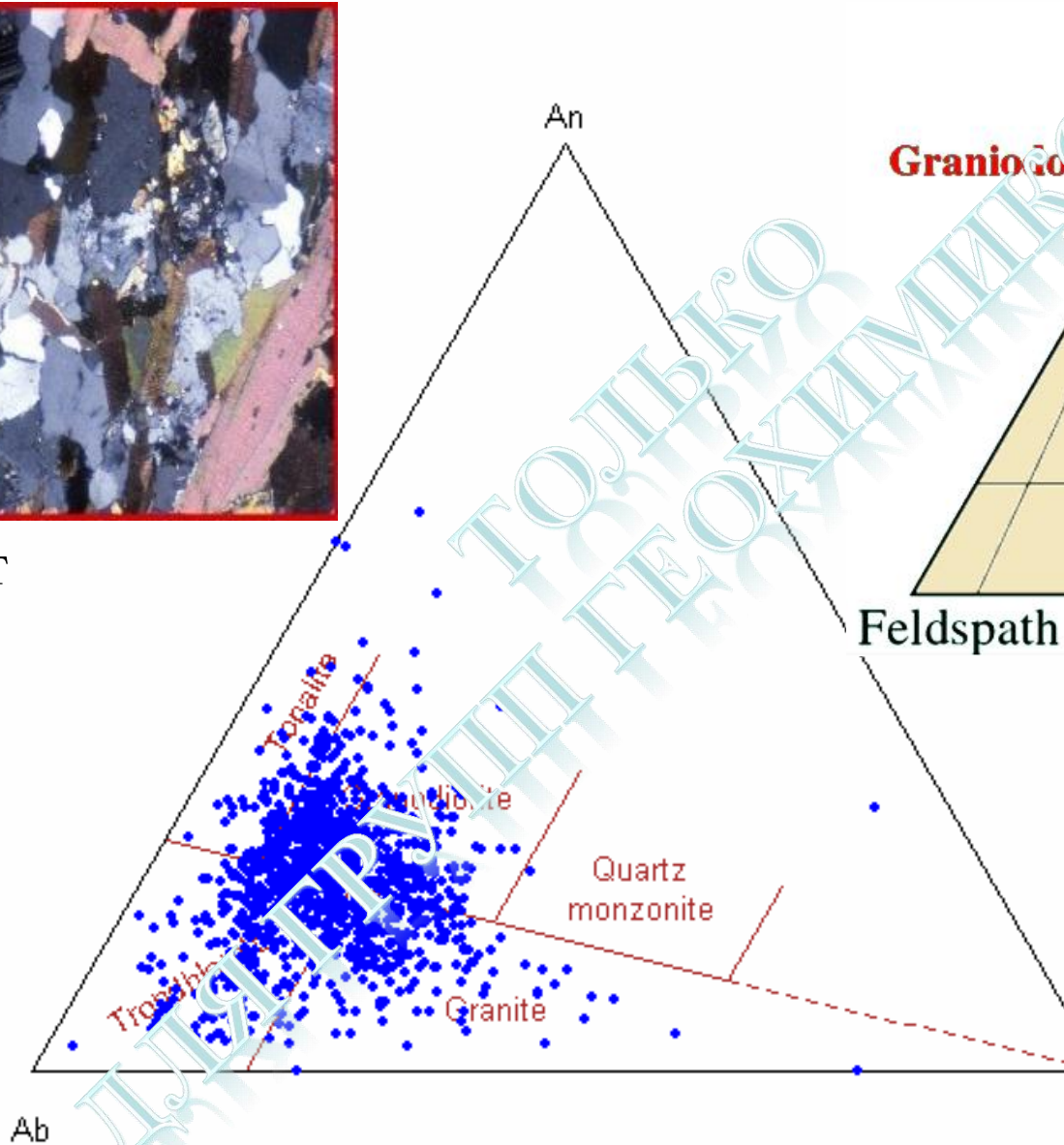


Gneiss Péninsulaire d'Inde : 3.20 Ga

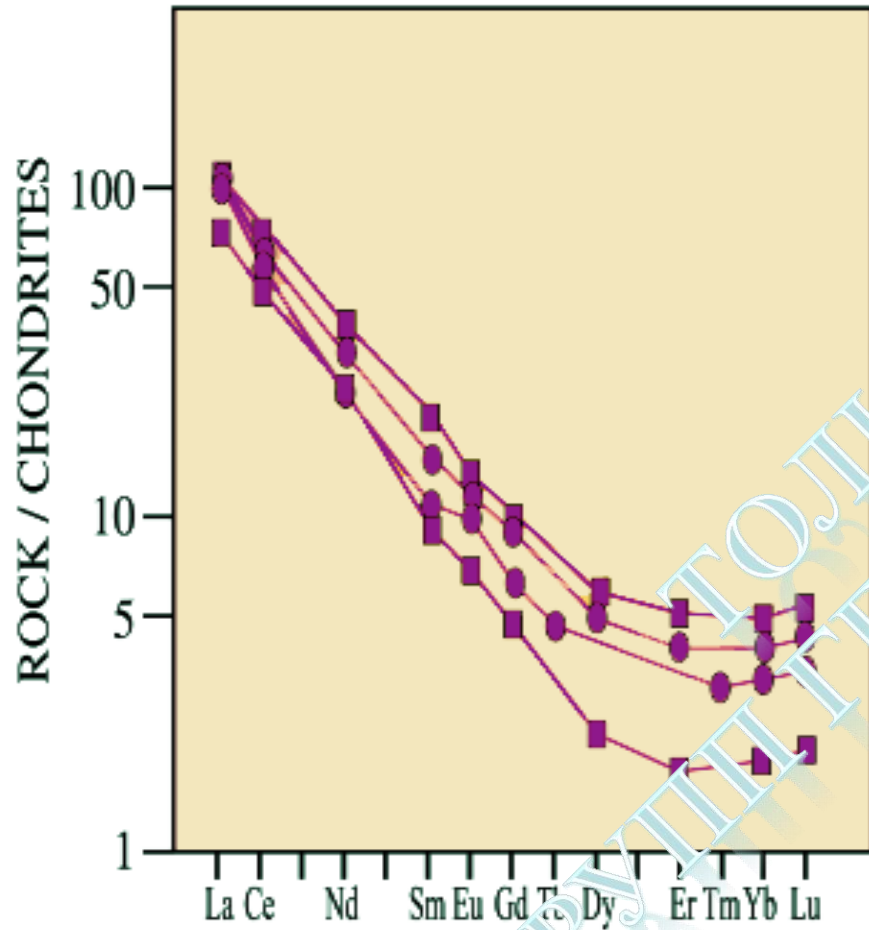
Архейские серые гнейсы



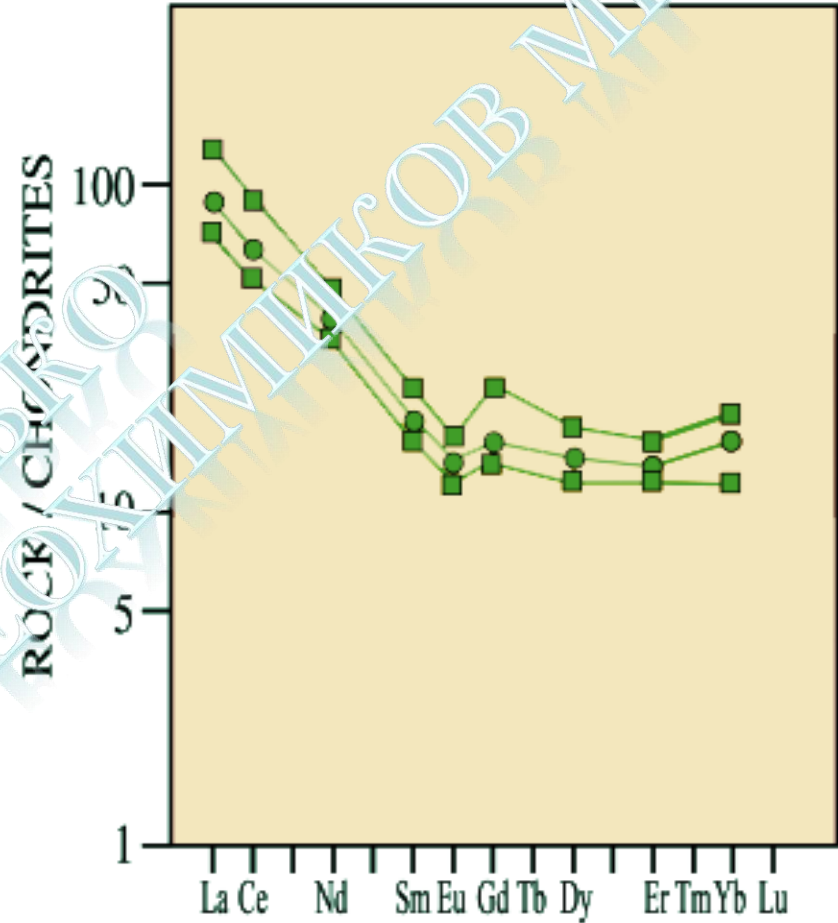
Тоналит



Архейские серые гнейсы и современные андезиты

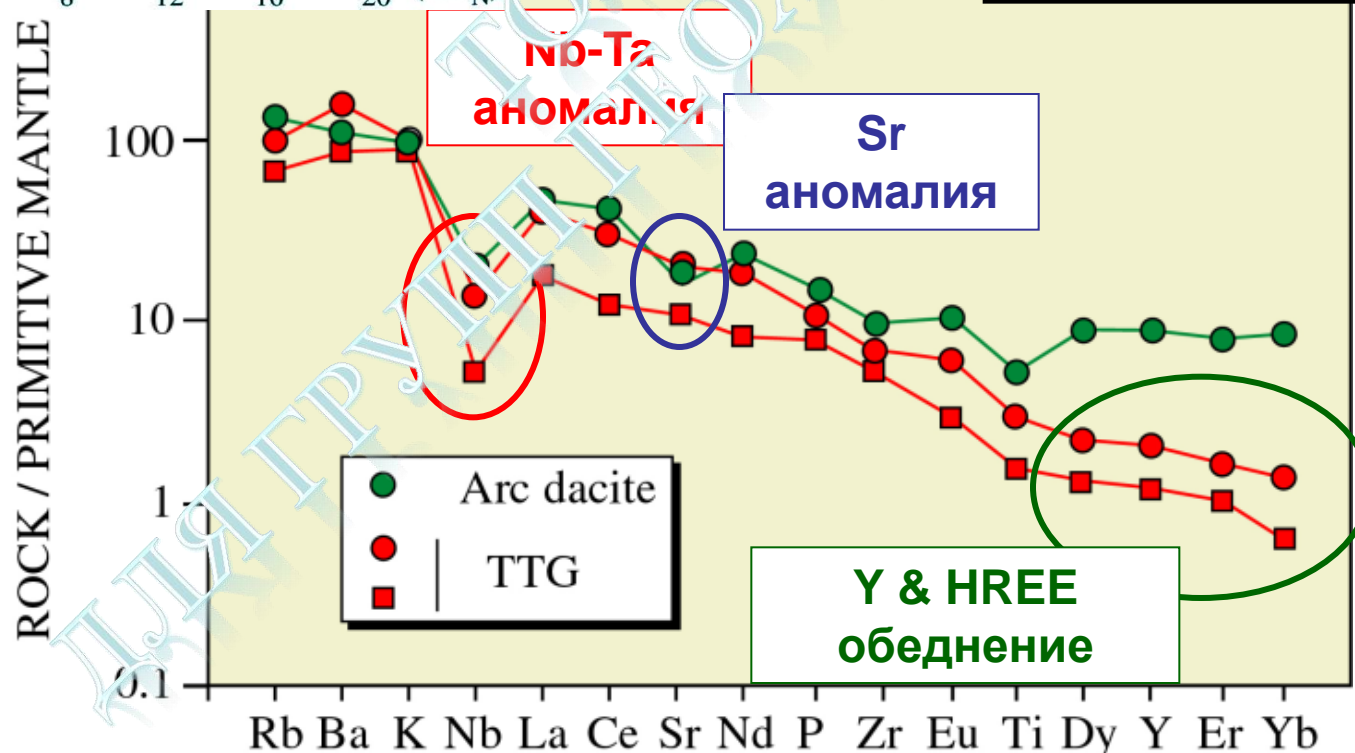
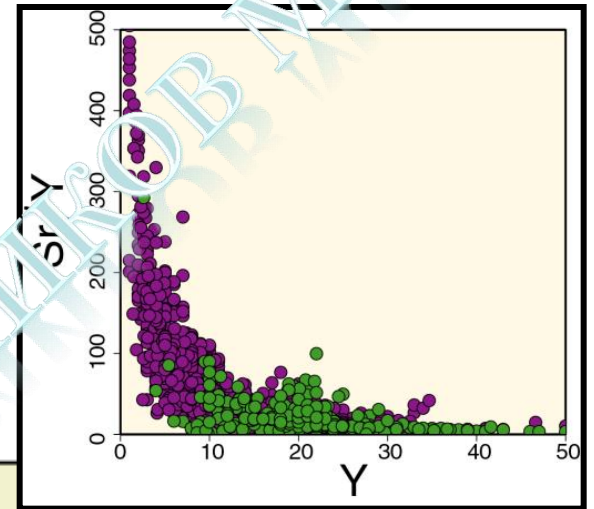
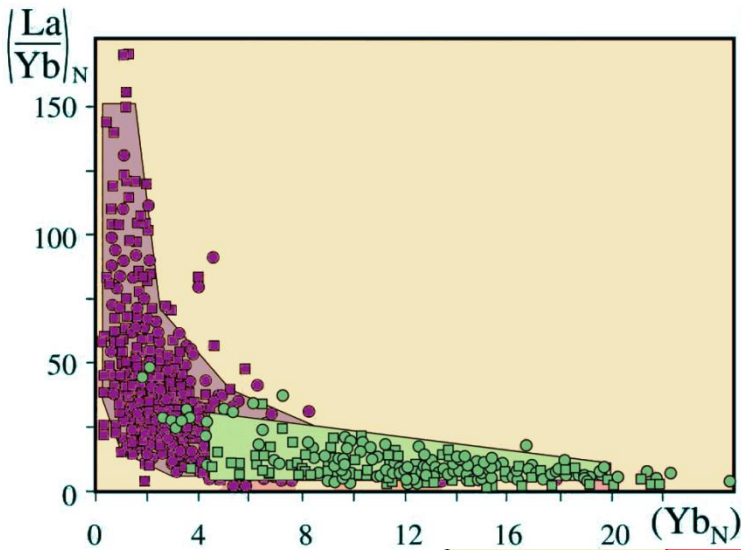


Серые гнейсы



Андезиты и дациты

Архейские серые гнейсы

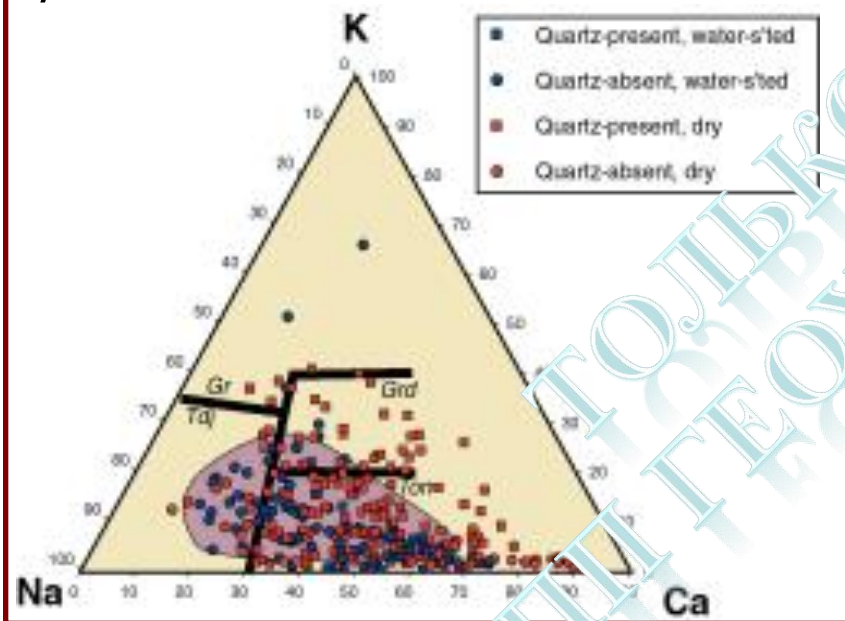


Формирование TTG

- Частичное плавление амфиболитов (=метабазальтов) способно давать похожие на TTG натровые расплавы
 - Реакции плавления
 - $\text{Amp} + \text{Plag} = \text{M} + \text{Orx} + \text{Ilm}$
 - $\text{Amp} + \text{Plag} = \text{M} + \text{Grt} + \text{Ilm}$
- (Плавление с дегидратацией амфибола)

Формирование TTG

Экспериментальные
расплавы



$$\frac{K}{D} \frac{Yb}{Gt/melt} = 10 - 20$$

(Другие минералы ≤ 1)

Плавление
метабазальтов

В поле стабильности
граната (гранат в
рестите)