

ПЕТРОЛОГИЯ, часть 2. Магматизм

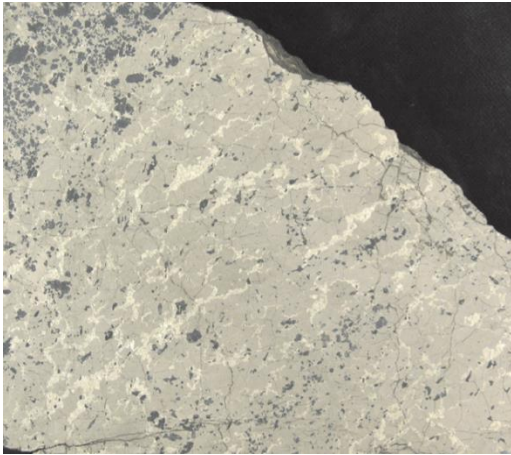
Лекция 6. Несиликатные и бедные
силикатами магматические горные породы

Семейства сульфидных, хромитовых, магнетитовых, апатитовых пород.
Жидкостная несмесимость. Семейства карбонатитов и кимберлитов.
Семейство лампроитов.

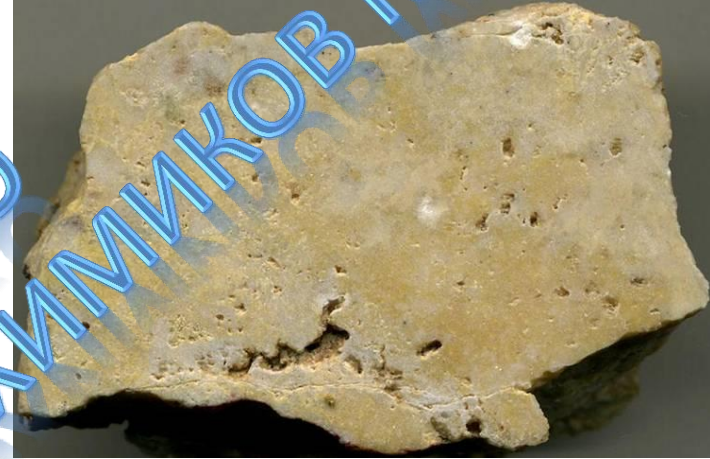
каф.петрологии
Геологический факультет МГУ
2015

Несиликатные магматические горные породы

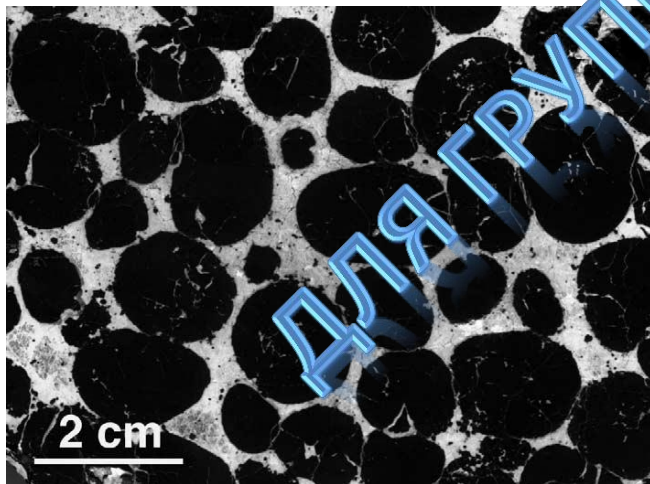
Сульфидные



Карбонатные



Хромитовые

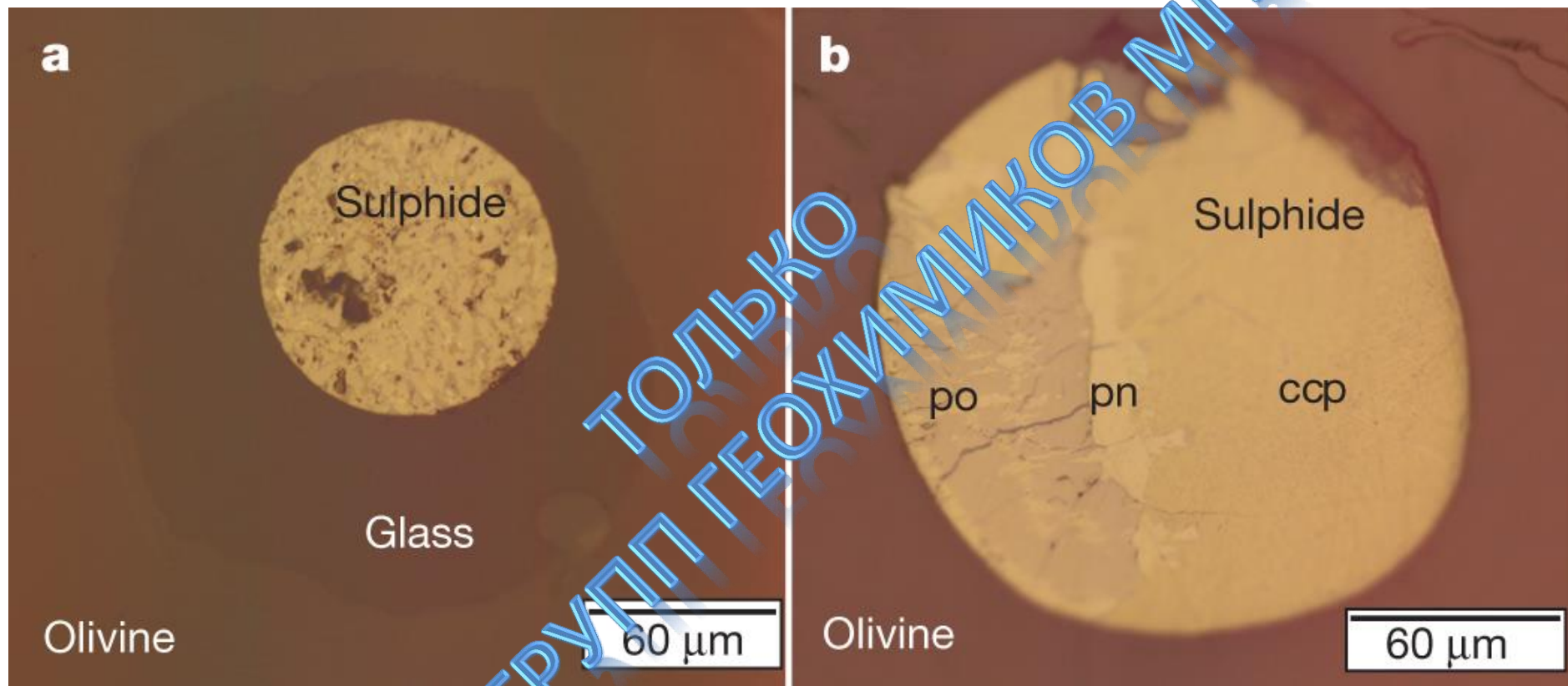


Апатитовые



ТОЛЬКО
ДЛЯ ГРУПП ГЕОХИМИКОВ МГУ

Несмесимость силикатных и сульфидных жидкостей



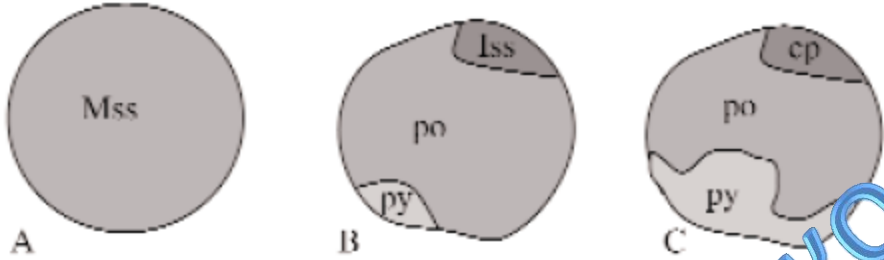
RA Cabral *et al.* *Nature* **496**, 490–493 (2013) doi:10.1038/nature12020

Po – пирротит
Pn – пентландит
Csp - халькопирит

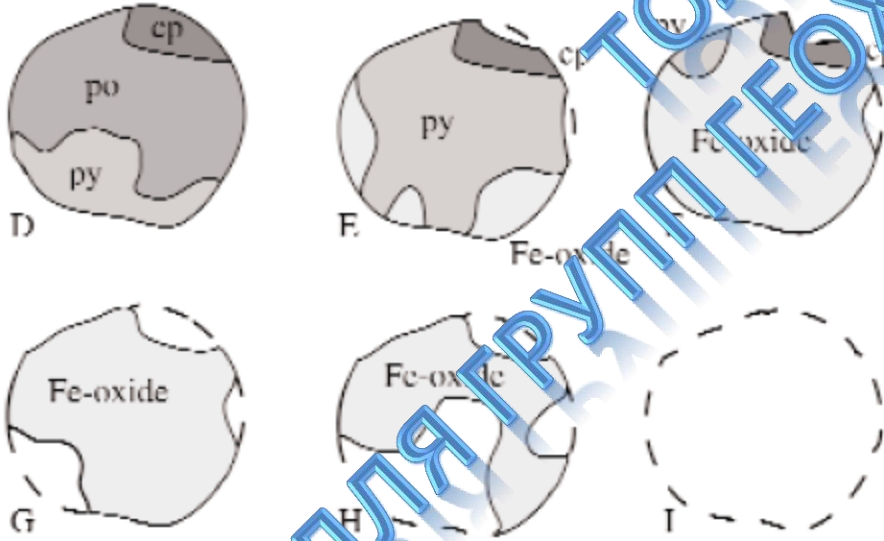
В базальтовых и коматиитовых магмах очень часто встречаются сульфидные глобулы – капли сульфидного расплава

Стадии кристаллизации и изменения сульфидных глобул

Кристаллизация



Окисление и растворение

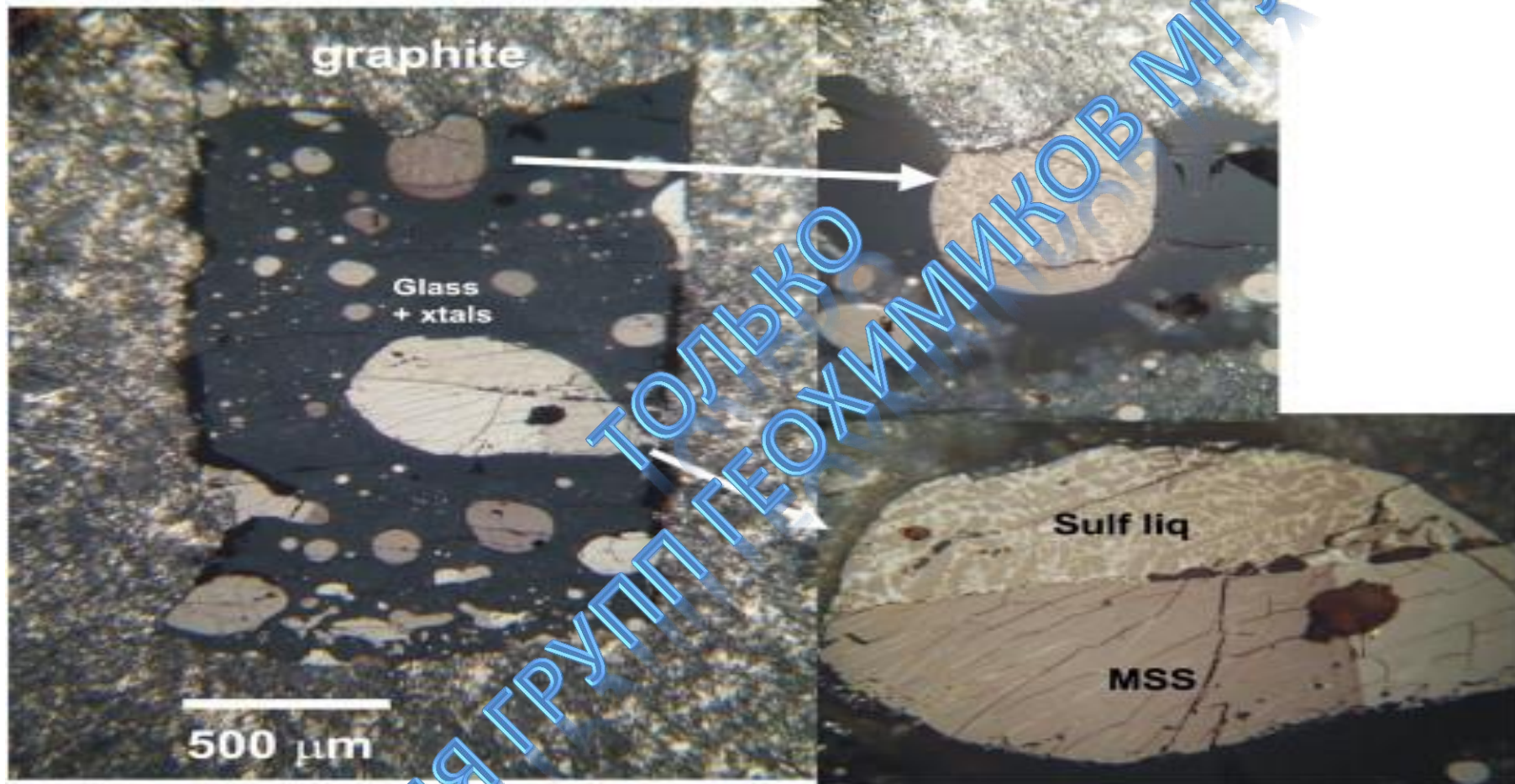


MSS – моносульфидный твердый раствор, состоящий из Cu, Ni, Fe, S. Он неустойчив при низких температурах и распадается на пирротин и пентландит

ISS – промежуточный твердый раствор, состоящий из Cu, Ni, Fe, S. Он неустойчив при низких температурах и распадается на халькопирит, пентландит, кубанит и т.д.

- Po – пирротин
- Pn – пентландит
- Csp – халькопирит
- Py - пирит

Несмесимость силикатных и сульфидных жидкостей



Эксперимент с силикатно-сульфидной несмесимостью при 1200°C и 1.5 ГПа

Brenan J.M., Chemical Geology Volume 248, Issues 3–4, 2008, 140-165

Несмесимость сульфидных и сульфидных жидкостей

Роговики

Слайд из лекции Э. М. Спиридонова

Реакционная оторочка магнетита

Mss1

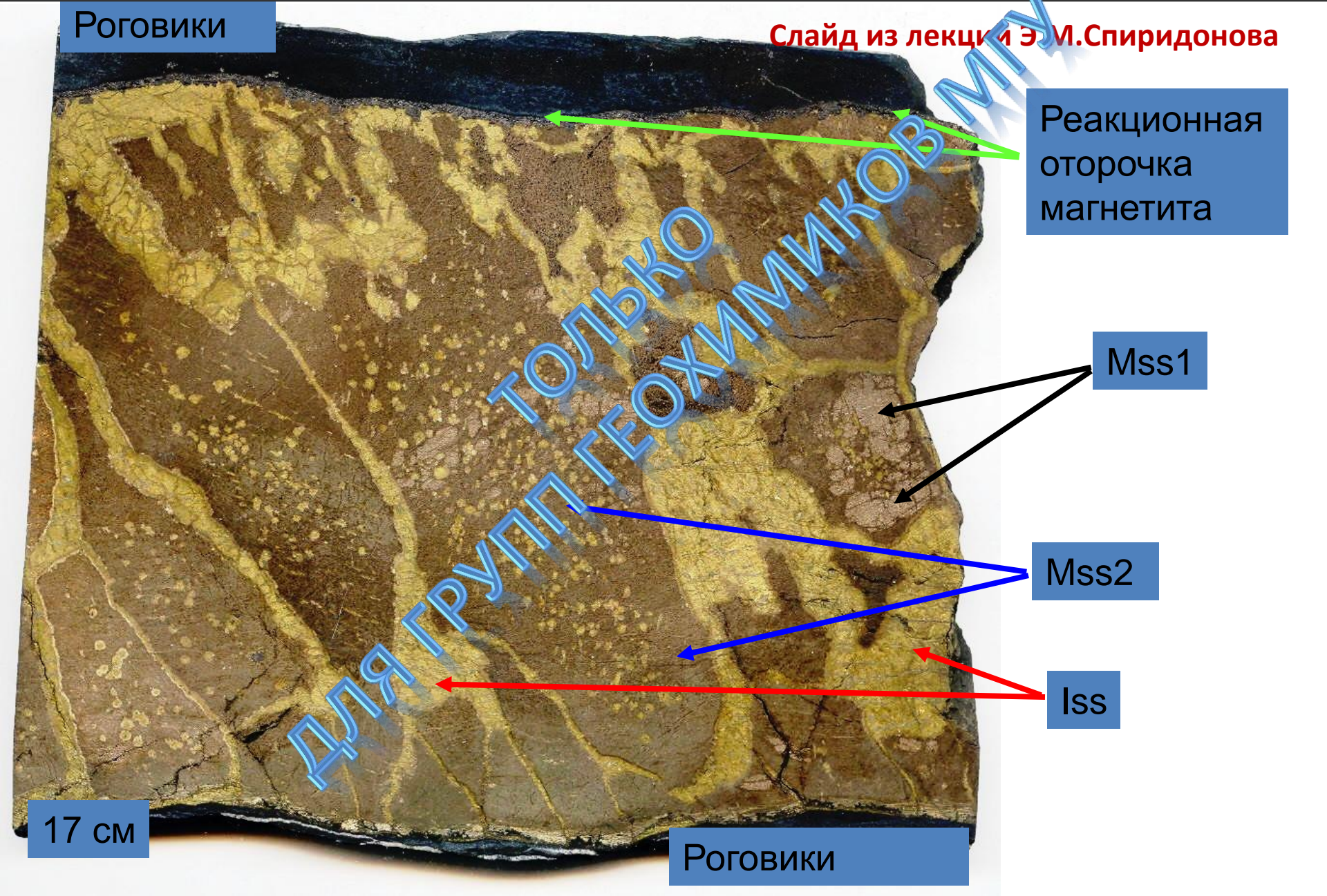
Mss2

Iss

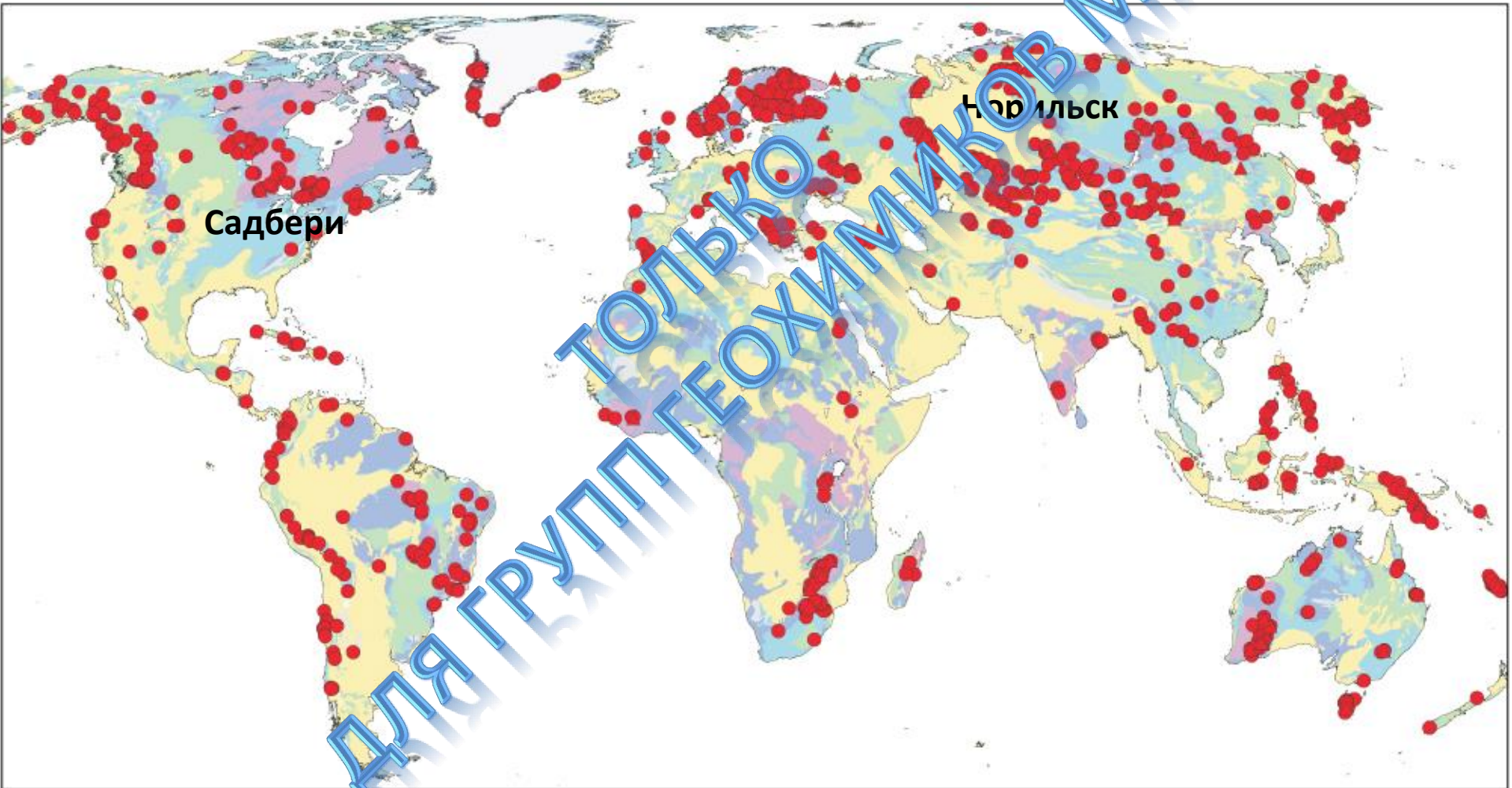
ТОЛЬКО
ДЛЯ ГРУПП
ГЕОХИМИКОВ
МГУ

17 см

Роговики



Крупные медно-никелевые месторождения и месторождения платины



Ликвация и жидкостная несмесимость

Термин ликвация (от лат. liquatio — разжижение, плавление) ввел Агрикола (Георг Пауэр) в книге De Re Metallica, 1556 при описании технологии разделения меди и серебра, применявшейся немецкими горняками с XV века. Термин распространен в металлургии.

Ликвация – процесс разделения расплава на две или более несмешивающихся жидкости.

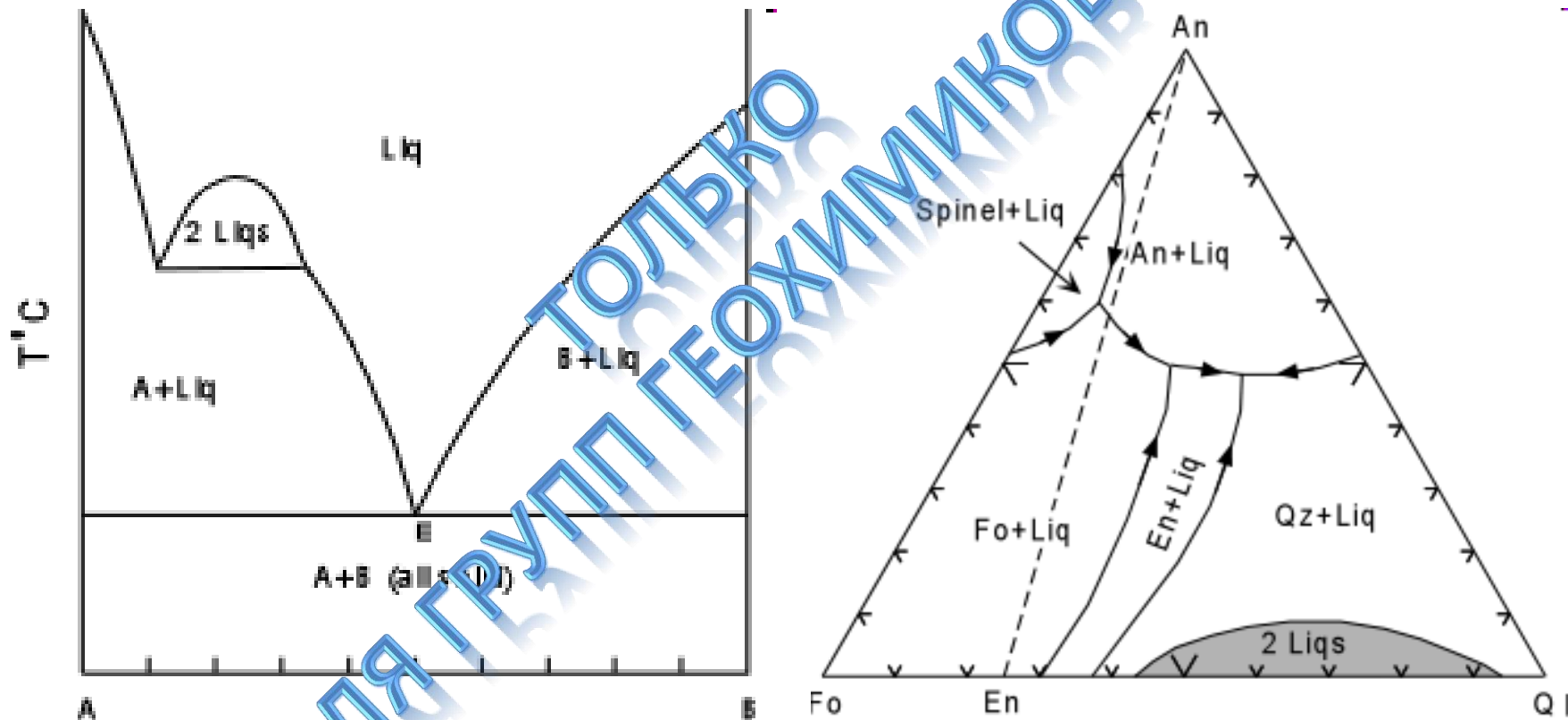
Жидкостная несмесимость – сосуществование двух несмешивающихся жидкостей.



В примере с водой и маслом есть жидкостная несмесимость, но нет ликвации

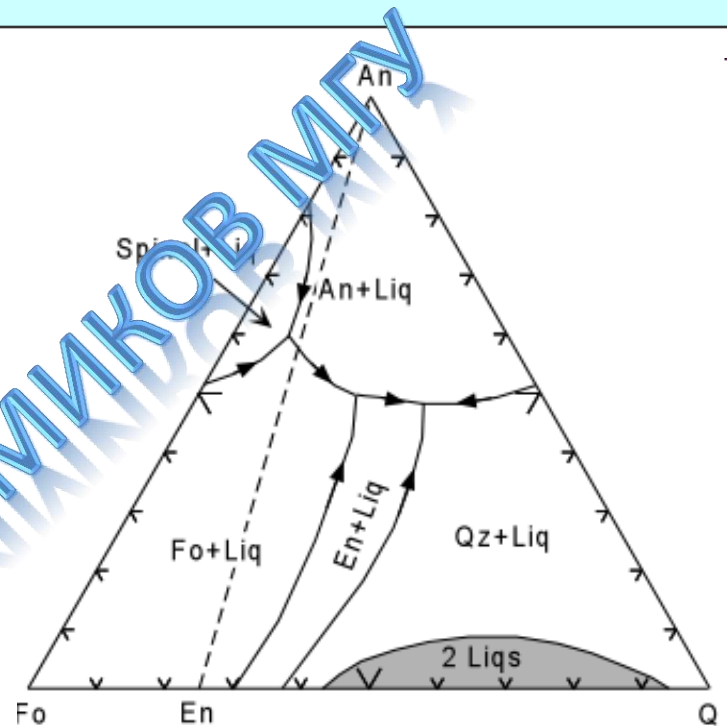
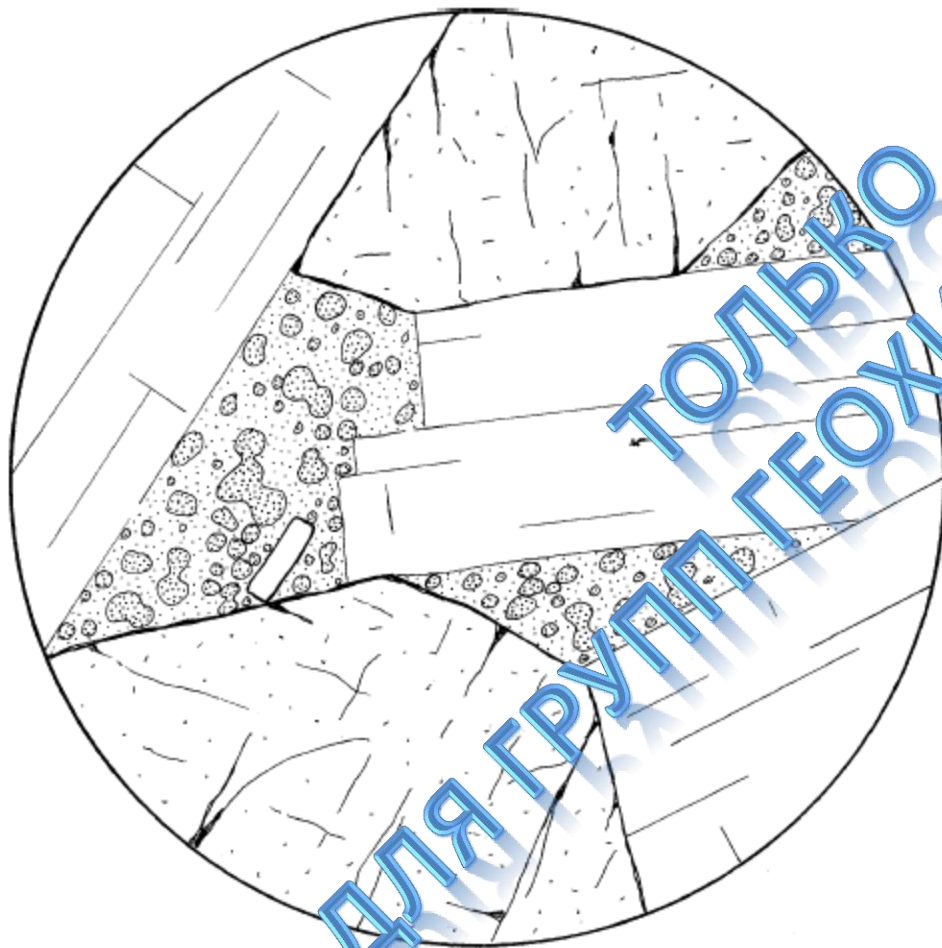
Ликвация на экспериментальных диаграммах

Купол расслоения зависит от температуры и состава системы. Чем ниже температура и экстремальней состав системы, тем выше вероятность появления ликвации. Типична ликвация контрастных по составу жидкостей, например силикатной и солевой.



Ликвация известна для силикатно-сульфидных, силикатно-карбонатных систем, высокожелезистых силикатных (исландиты, лунные породы), фтористых щелочных магм

Ликвация в силикатных системах

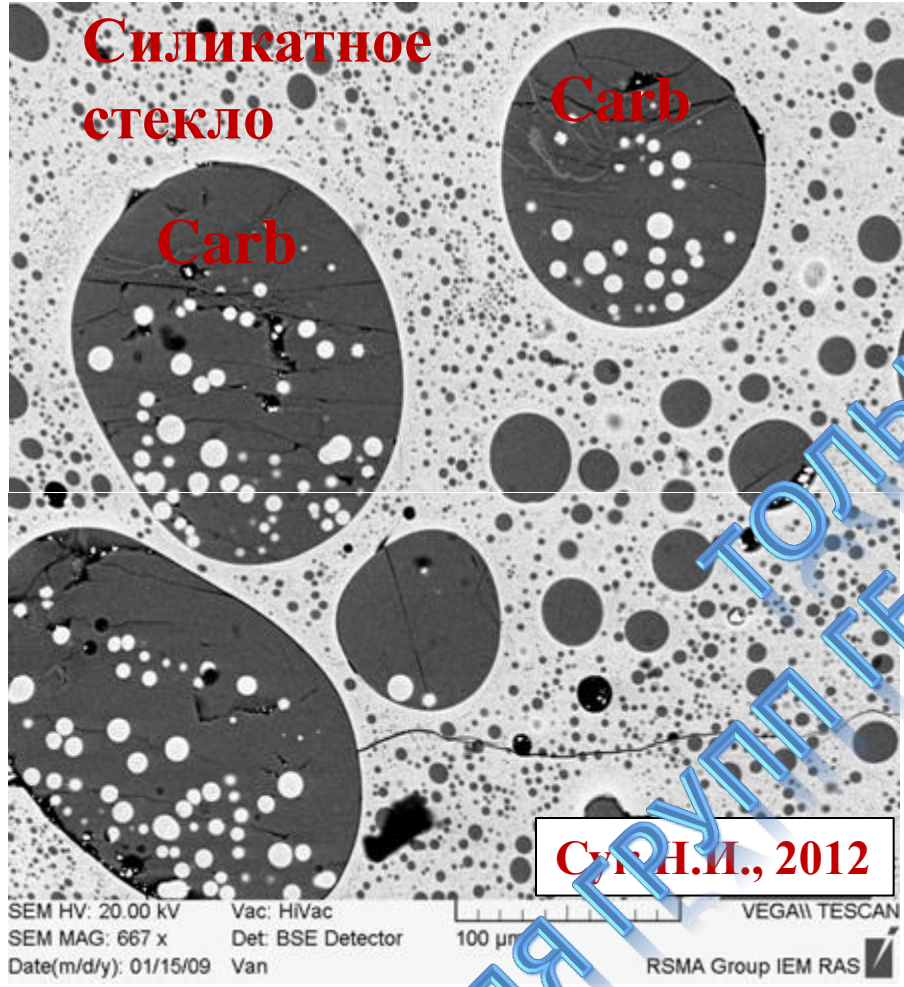


Явление ликвации в базальте. В интерстициях между крупными зернами плагиоклаза и пироксена располагаются мелкие глобулы богатого железом стекла в более кремнекислом стекле.

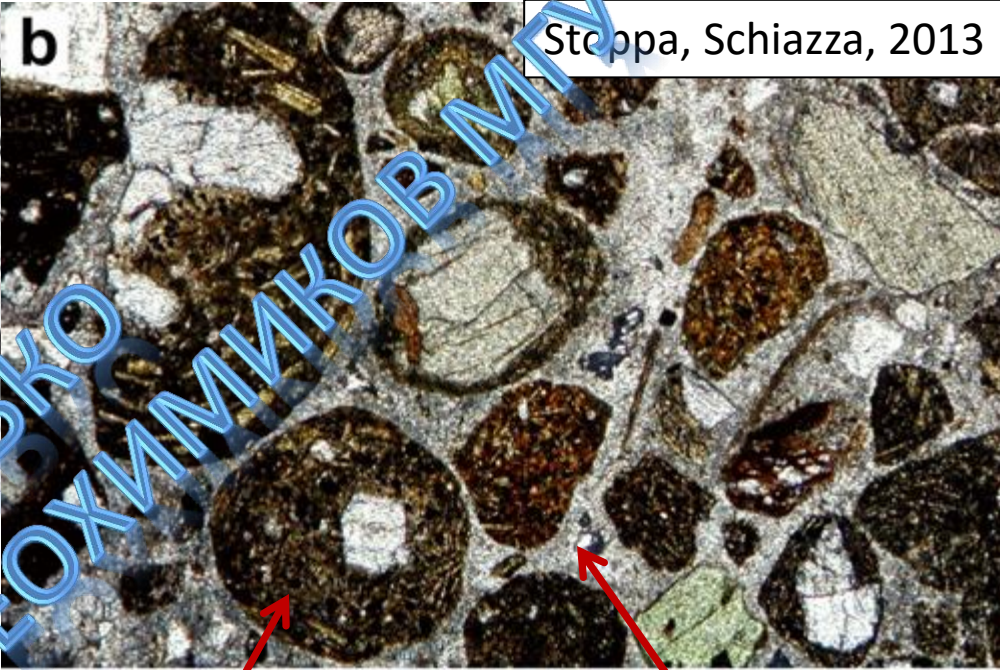
Philpotts, 1982

Подробнее рассмотрим позже, в лекциях 10 -11

Несмесимость в силикатно-карбонатных системах



Силикатно-карбонатная несмесимость, 1100 °С, 0.2 ГПа

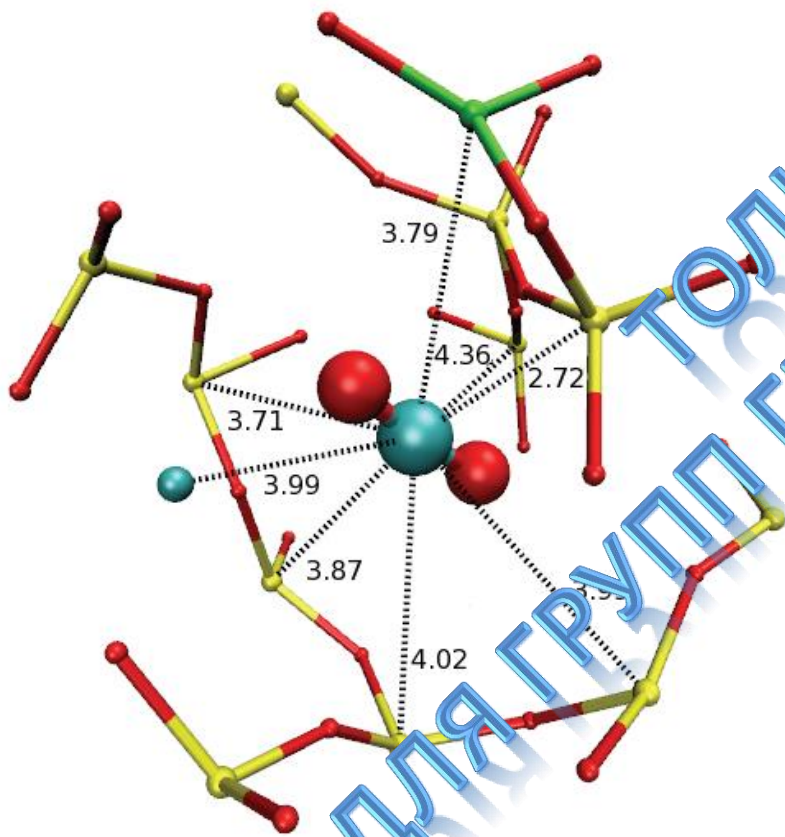


Карбонатитовая лава, Испания

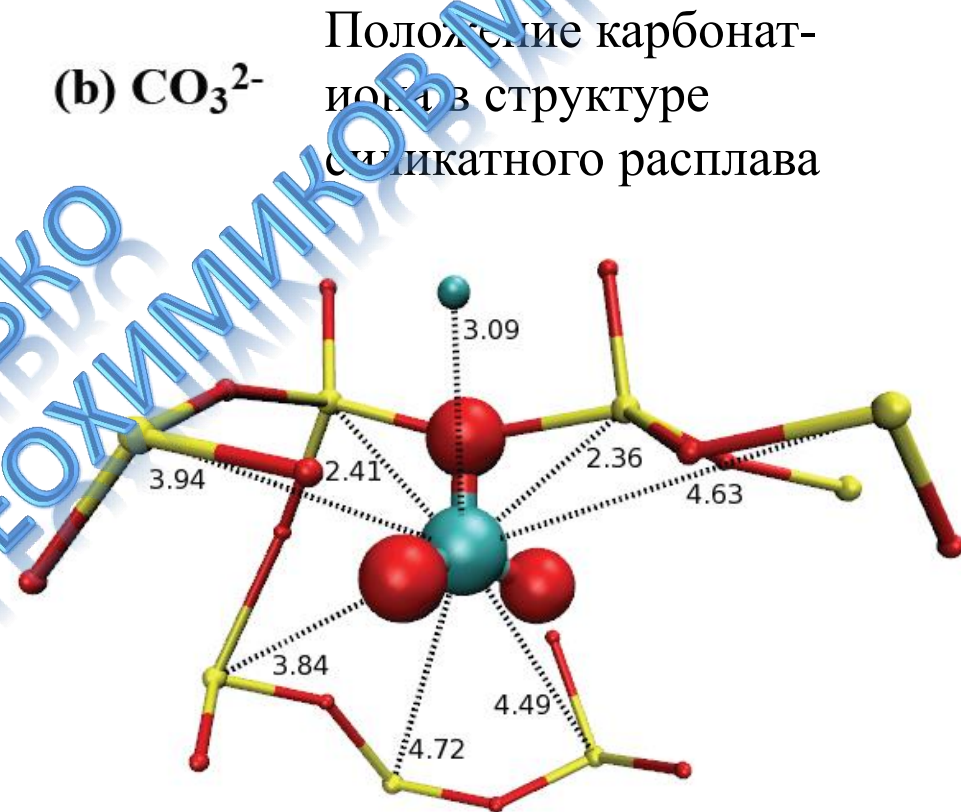
ДЛЯ ГРУПП ТОЛЬКО ГЕОХИМИКОВ МГУ

Причины жидкостной несмесимости силикатных и карбонатных расплавов

(a) CO_2



(b) CO_3^{2-}



Положение карбонат-иона в структуре силикатного расплава

Ni & Keppeler, 2013

Базальтовый расплав
2273 K, 2.0 GPa

Карбонат-ионы не могут участвовать в создании полимерной структуры. Они стремятся обособиться в расплавах с преобладающей ионной структурой

Семейство карбонатитов: классификация

(Le Maitre et al., 2002)

К карбонатитам относятся магматические породы, содержащие более 50% модального карбоната.

↑
распространенность

Кальцитовые карбонатиты

Доломитовые карбонатиты

Феррокарбонатиты

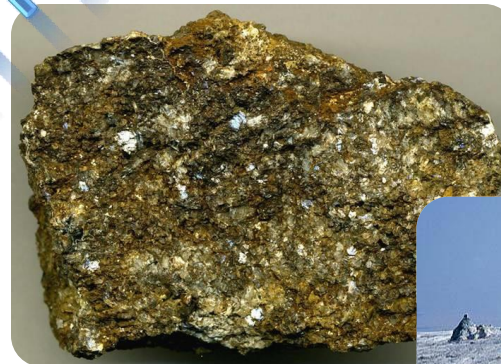
Натрокарбонатиты

→ мелкозернистые

Сёвиты

Альвикиты

Бефорситы



Феррокарбонатит



Олдонио-Ленгаи, Танзания

ТОЛЬКО ДЛЯ ГРУПП ГЕОХИМИКОВ ВМГУ

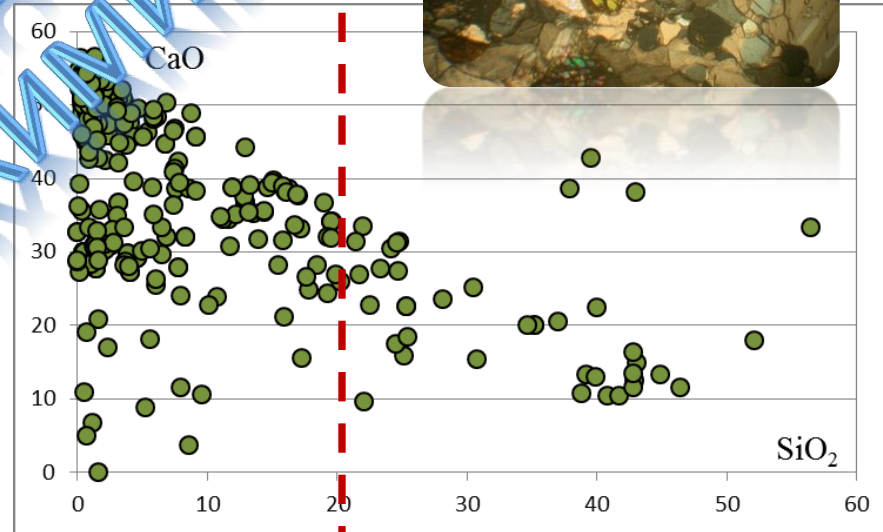
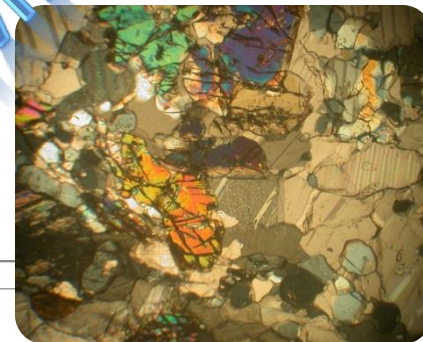
Семейство карбонатитов: классификация

(Le Maitre et al., 2002)



Мас.% оксидов, для пород с SiO₂ < 20 мас.%

Оливковый карбонатит,
Тулинский комплекс



Силикокарбонатиты
SiO₂ > 20% мас.

Натрокарбонатиты: жидкостная несмешиваемость

Карбонатит

Нефелинит

SiO ₂	3.17	43.97
TiO ₂	0.10	2.34
Al ₂ O ₃	1.05	7.96
FeO _t	1.33	11.03
MnO	0.33	0.37
MgO	0.3	4.68
CaO	15.52	7.77
Na ₂ O	30.05	1.91
K ₂ O	5.35	1.57
P ₂ O ₅	1.28	0.72

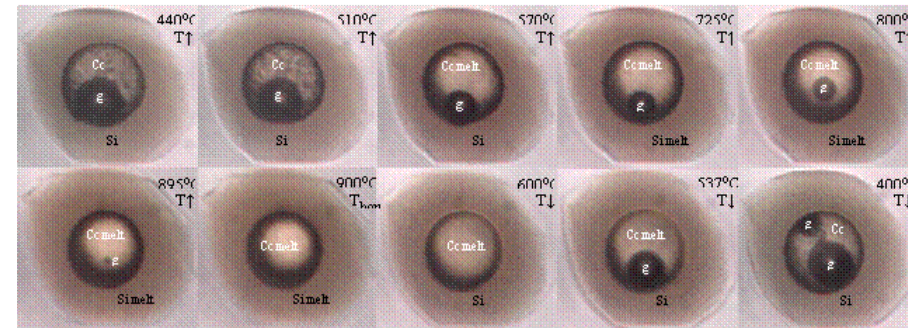
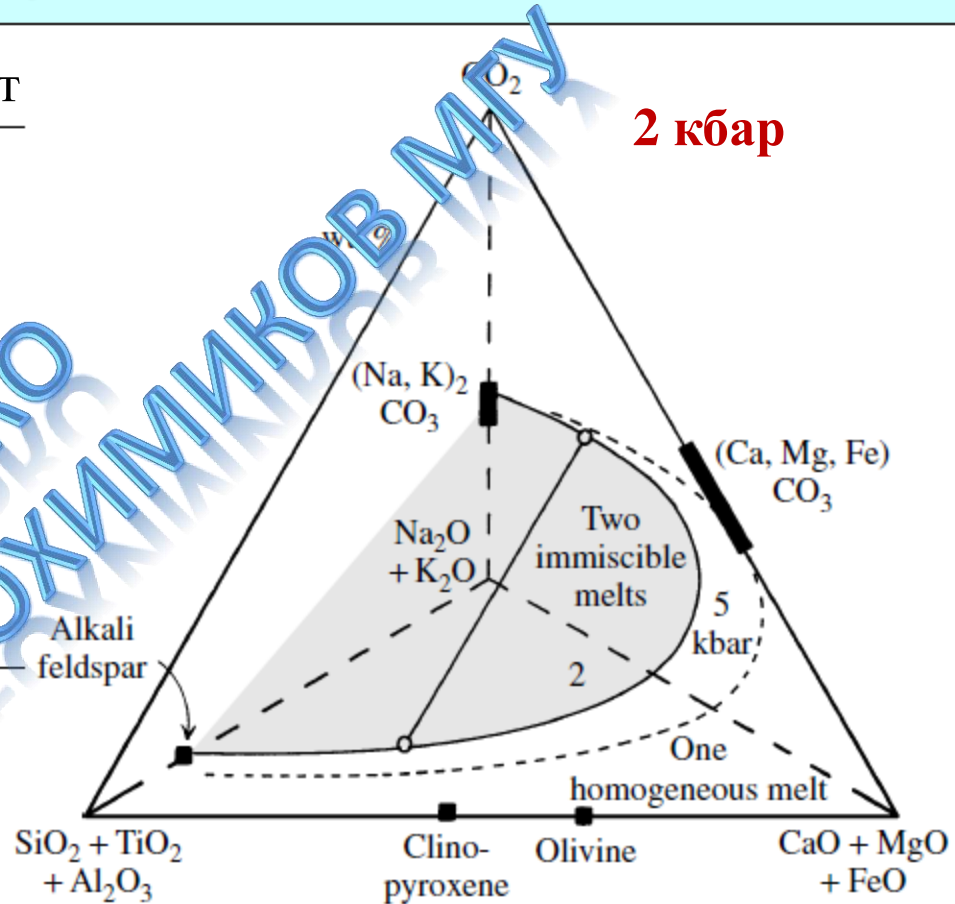
Data from Dawson et al. (1994).



Натрокарбонатит

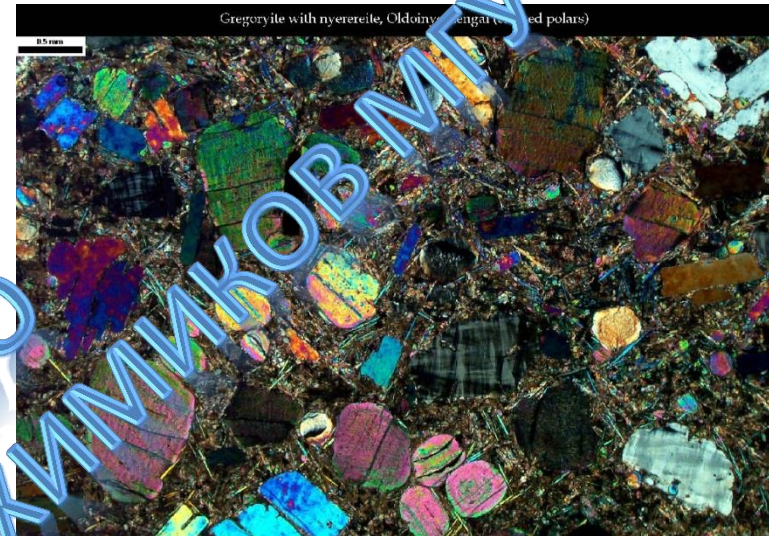


Нефелинит



Шарыгин и др., 2009

Натрокарбонатиты: преобразования



Натрокарбонатит, сложенный грегориитом (округлые) и ньеререитом (таблитчатые)

$(\text{Na}_2, \text{K}_2, \text{Ca})\text{CO}_3$ - грегориит

- через 72 часа поток уже покрывается белым налетом термонатрита и нахколита
- через 2.5 месяца в верхней части потока появляется пирссонит
- через 14 месяцев в породах появляется кальцит

Кальциокарбонаты: происхождение

1. Преобразование натрокарбонатов в кальциокарбонаты

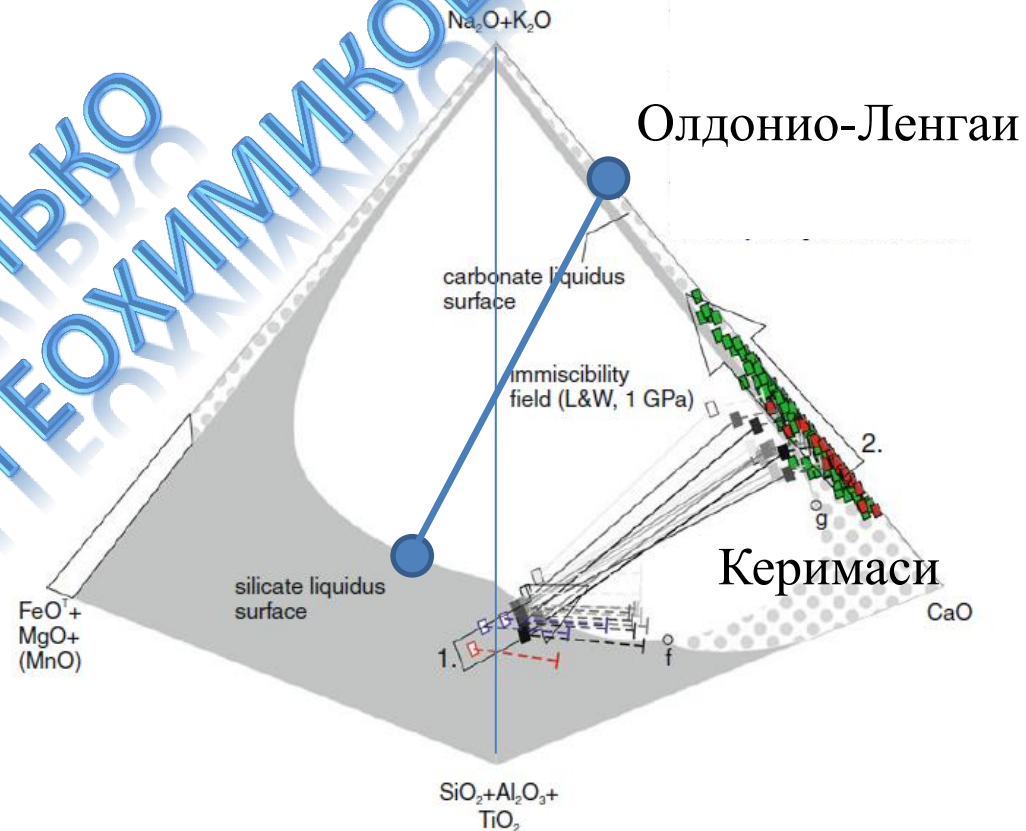
Натрокарбонатит

выщелачивание Na, K

Кальциокарбонатит

Hay, 1983; Deans, Roberts, 1984; Clarke, Roberts 1986; Dawson et al. 1987; Dawson 1993; Zaitsev, 2010

2. Ликвация кальциокарбонатов из более кальциевых расплавов



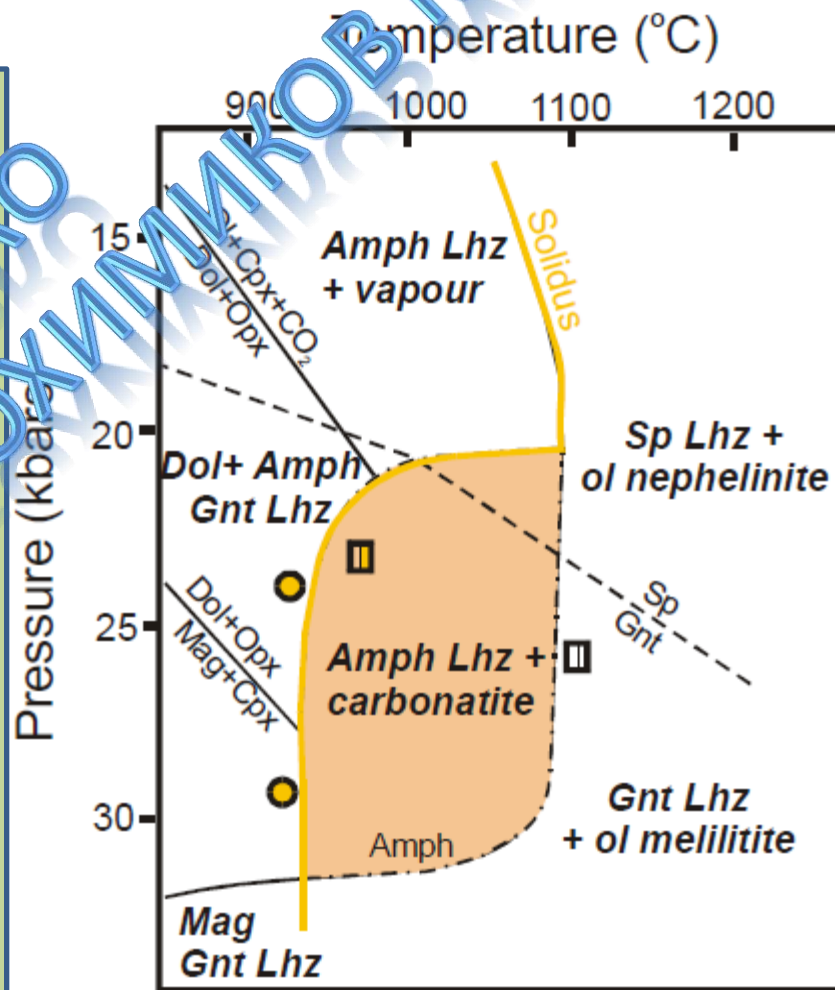
Ngwenya, Bailey, 1990; Gittins, Jago, 1991; Bailey, 1993; Church, 1995; Gittins, Harmer, 1997; Woolley, Church, 2005; Guzmics et al., 2012

Кальциокарбонаты: происхождение

3. Выплавление карбонатитовых расплавов непосредственно из мантийного вещества

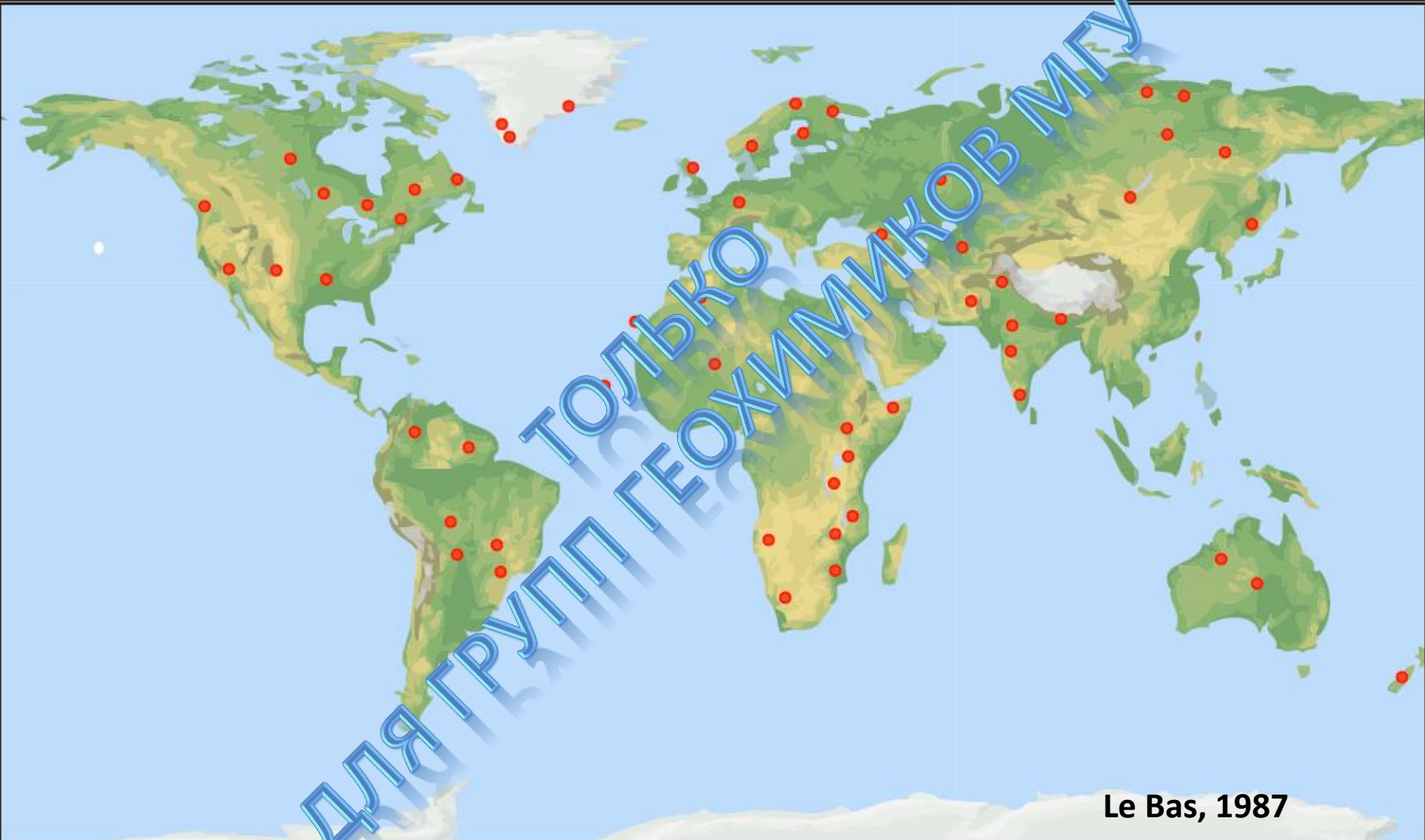
Аргументы:

1. В присутствии воды и углекислоты мантийное вещество может при небольших степенях плавления производить карбонатитовые расплавы (при давлениях > 2 ГПа)
2. Существует много примеров карбонатизированного мантийного вещества. Предполагается, что карбонатизация происходит за счет пропитки карбонатитовыми расплавами
3. Существуют единичные находки алмазов в карбонатитах



Мантия+ 0.3% H₂O+0.5-2.5 CO₂

Распространенность карбонатитов



Le Bas, 1987

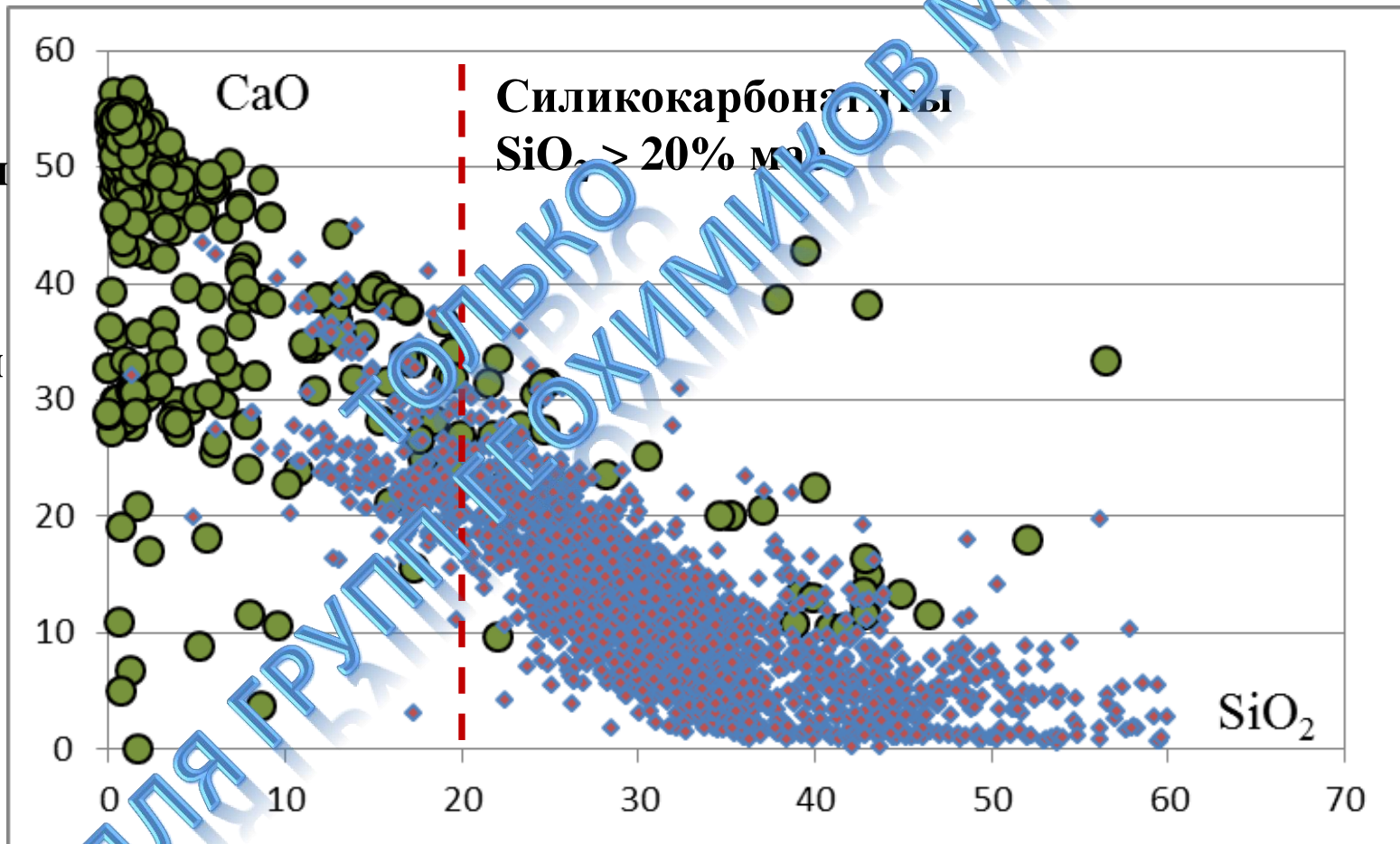
Сейчас известно >500 карбонатитовых массивов. Подавляющее большинство расположено в пределах древних кратонов и ассоциирует с щелочными породами

Соотношения карбонатитов и кимберлитов

Карбонатиты и кимберлиты никогда не содержат плагиоклаз

Кальцио-
карбонатиты

Магнезио-
карбонатиты



Что такое кимберлиты?

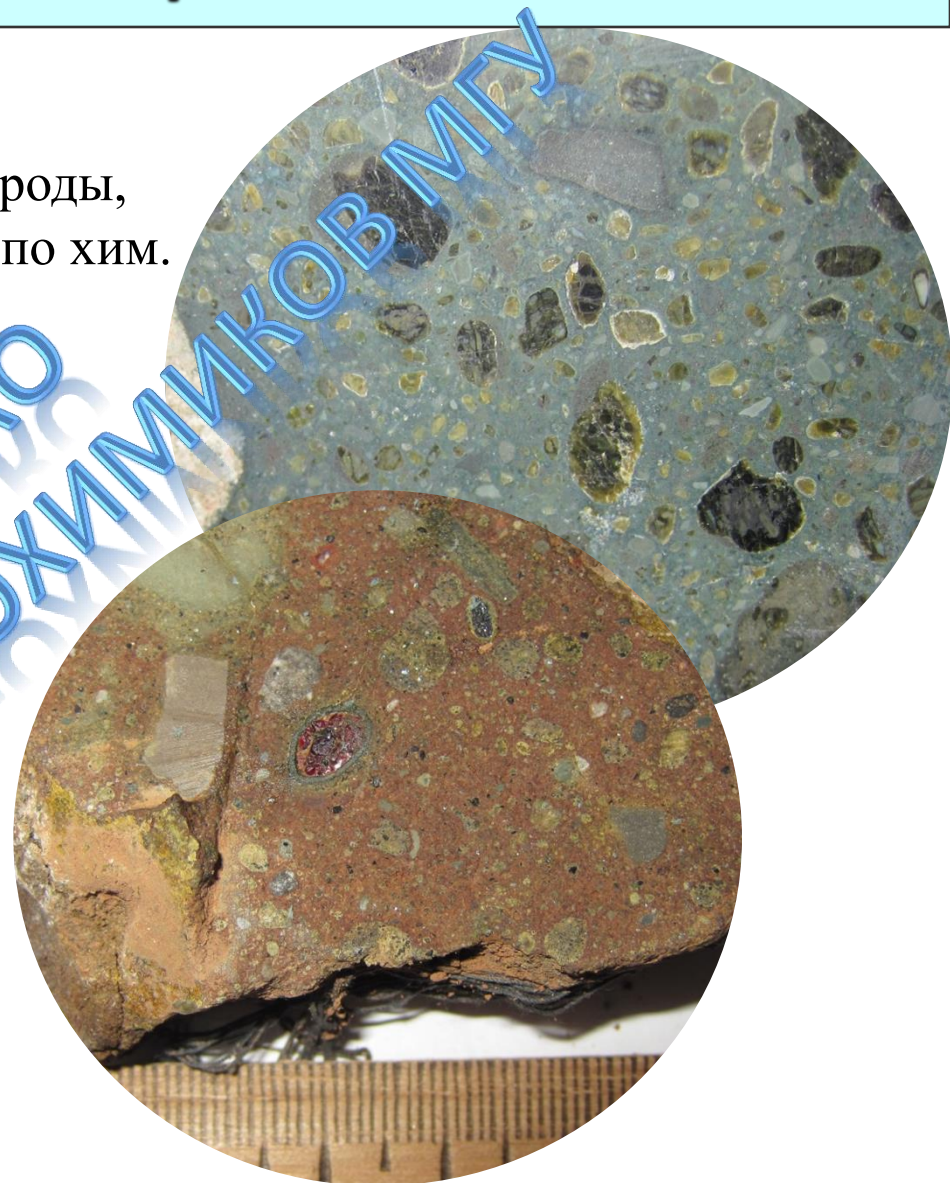
Le Maitre et al., 2002:

Кимберлиты это сложные гибридные породы, которые невозможно классифицировать по хим. составу из-за обилия ксенолитов.

Вкрапленники представлены преимущественно оливином.

Мелкозернистая основная масса содержит в разных отношениях серпентин, карбонат, флогопит, Prv, Ap, Cal, Di, Mnt

На основе петрографических и геохимических характеристик кимберлиты разделяют на Группу I и Группу II (Mitchell 1995, Becker & Le Roex 2006).

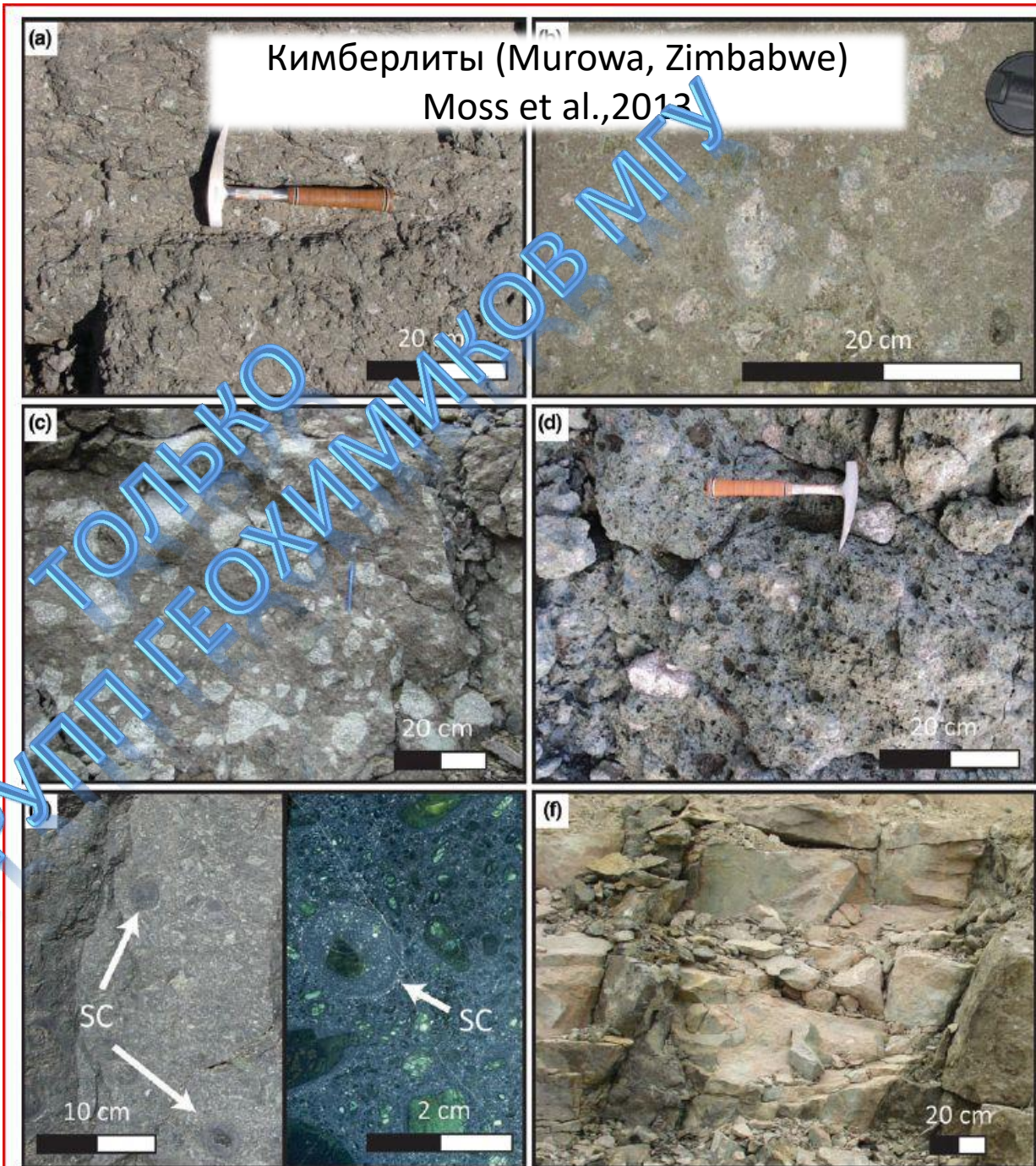


*Кимберлиты трубки Пионерская и
Архангельская ААП*

Кимберлиты

Представлены
различными
разнообразными

типами вулканических
(туфы, брекчии), реже
интрузивных породы
(дайки, силлы, очень
редко лавы).



Петрография кимберлитов



Выделяется три генерации минералов: мегакристы, вкрапленники и основная масса

Минеральный состав

Мегакристы

Оливин

Флогопит

Гранат

Пикроильменит

Вкрапленники

Оливин

Флогопит

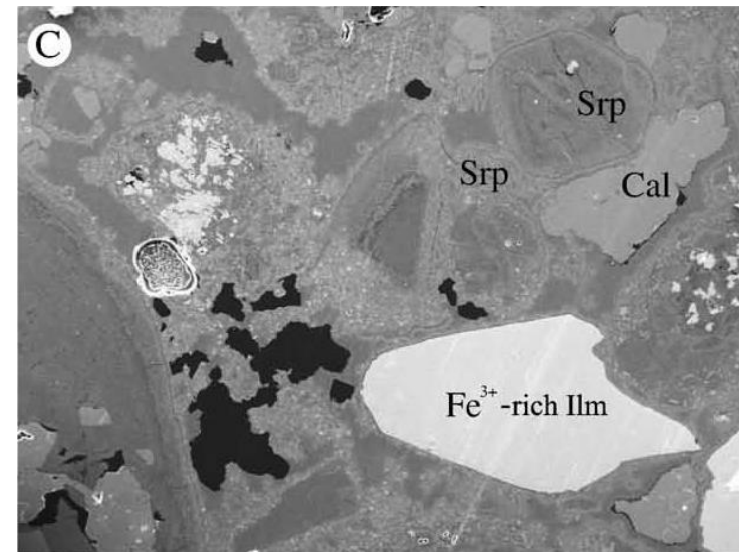
Осн. масса

Серпентин

Кальцит

Апатит

Перовскит



ТОЛЬКО ДЛЯ ГРУППЫ ГЕОХИМИКОВ МГУ

Мегакристы в кимберлитах трубки Интернациональная

Основная масса кимберлита

Кимберлиты групп I и II

Кимберлиты

Группа I

(Кимберлиты)



Много карбоната
Флюид - CO_2 , H_2O

Группа II

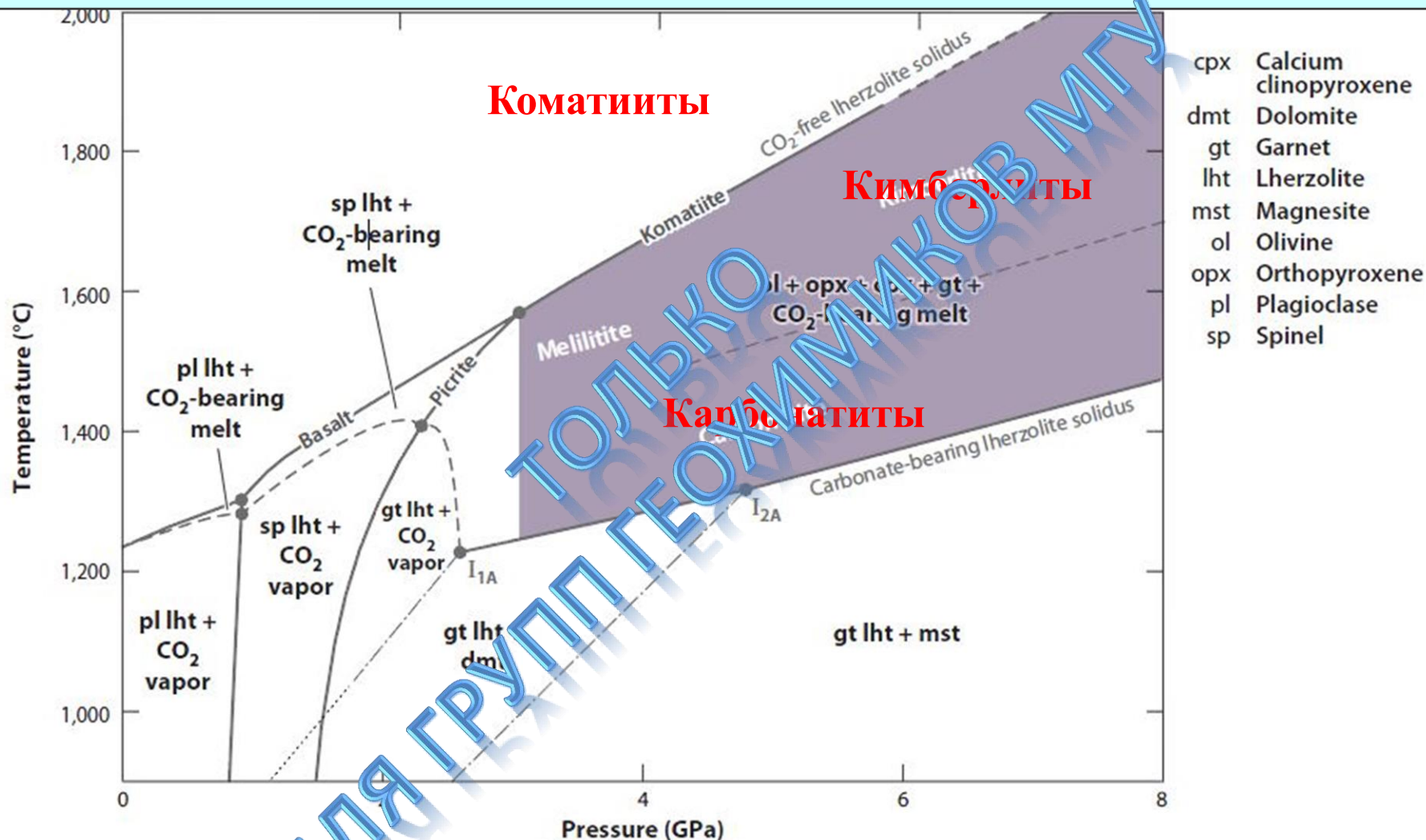
(Оранжеиты)



Много флогопита
Флюид - H_2O , CO_2

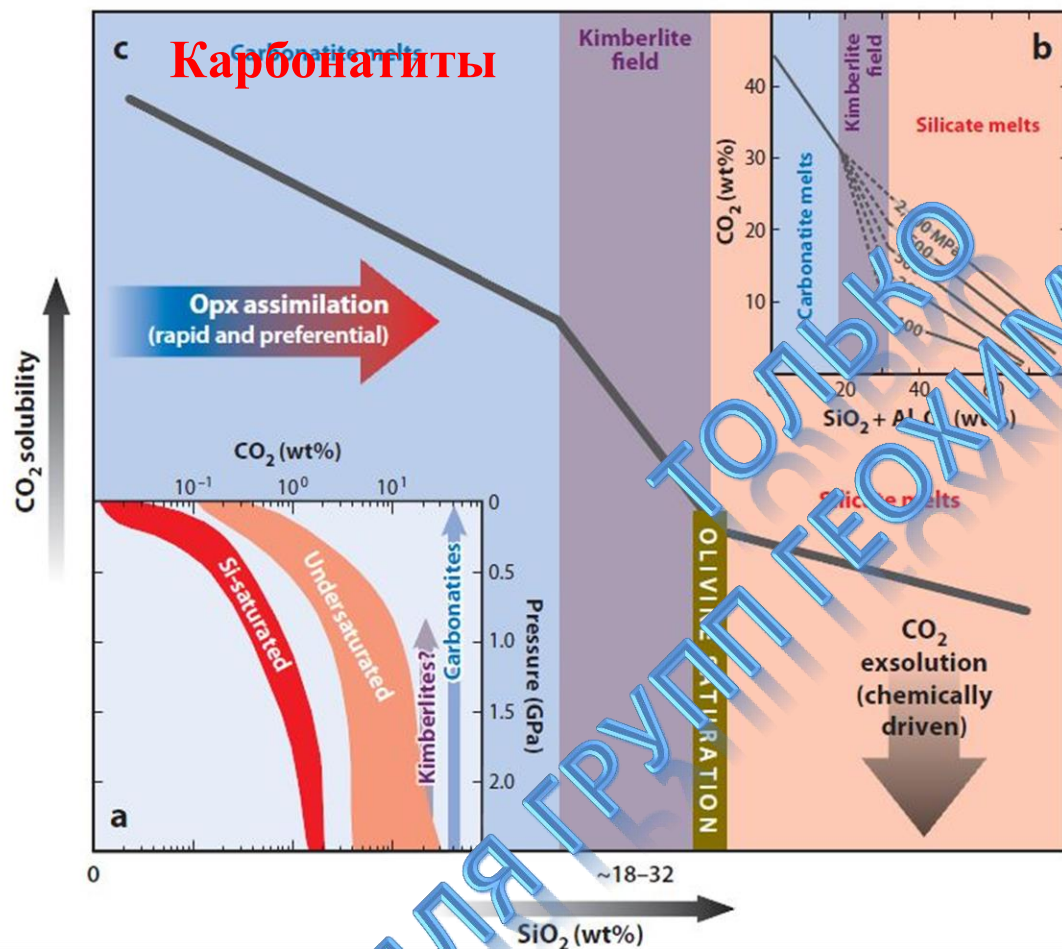
ТОЛЬКО ДЛЯ ГРУПП ГЕОХИМИКОВ МГУ

Образование кимберлитовых магм

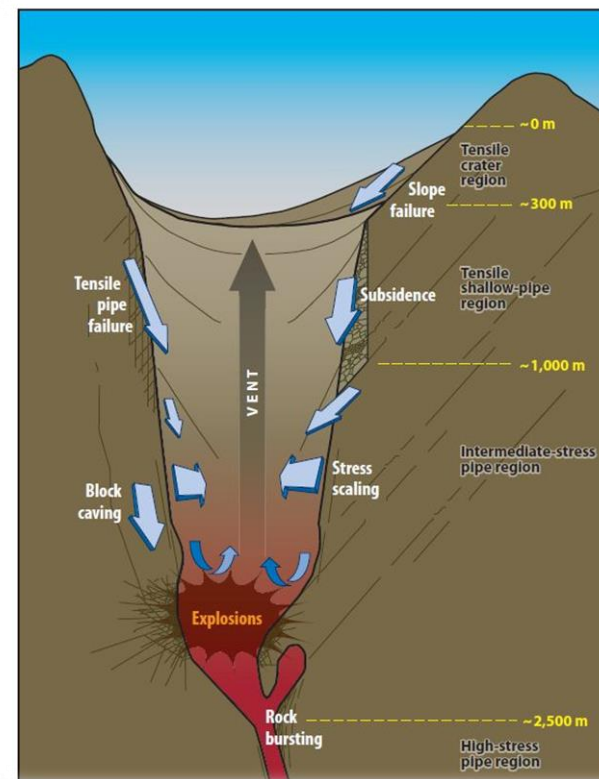


Частичное плавление метасоматизированной мантии
 (Dalton & Presnall 1998, Gudfinnsson & Presnall 2005, Dasgupta & Hirschmann 2006).

Образование кимберлитовых магм

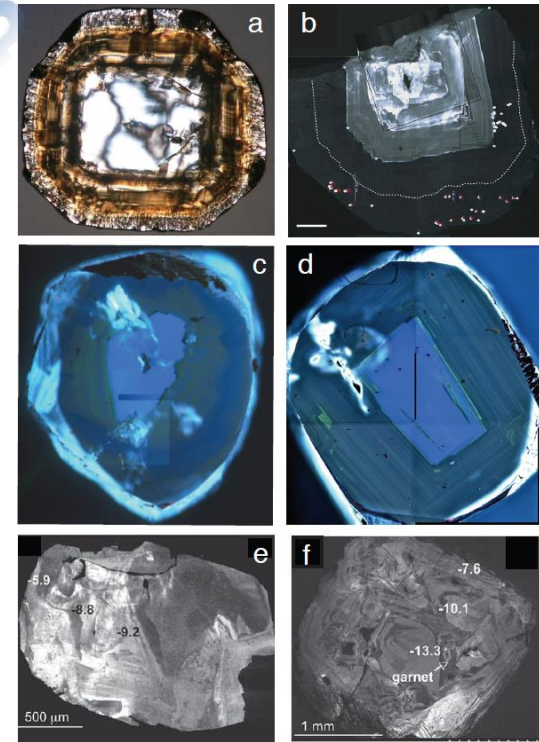


Насыщение карбонатитового расплава силикатным веществом приводит к выделению большого количества CO₂, что способствует быстрому подъему магмы и формированию трубок взрыва



(Russell et al. 2012)

Строение литосферы и мантии по включениям в алмазах

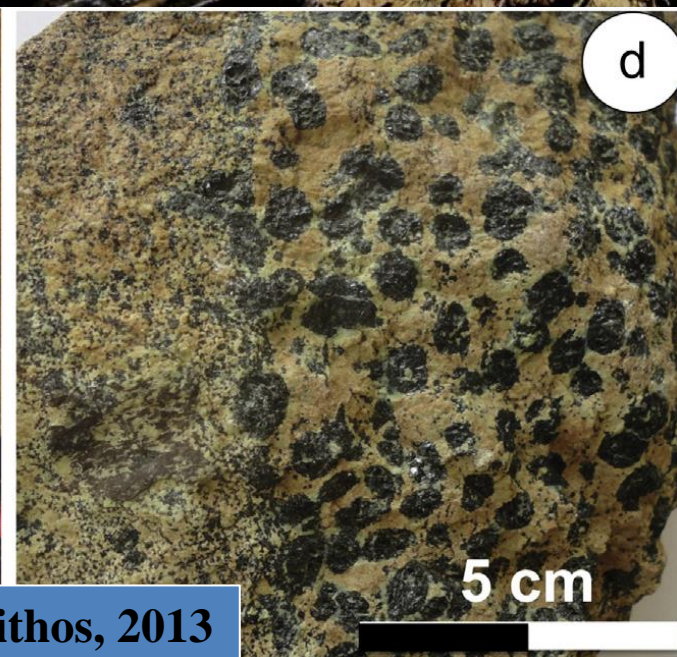
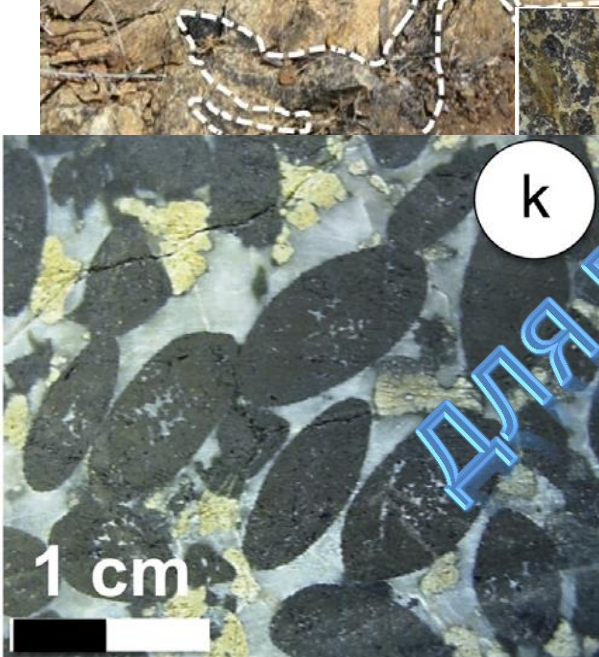
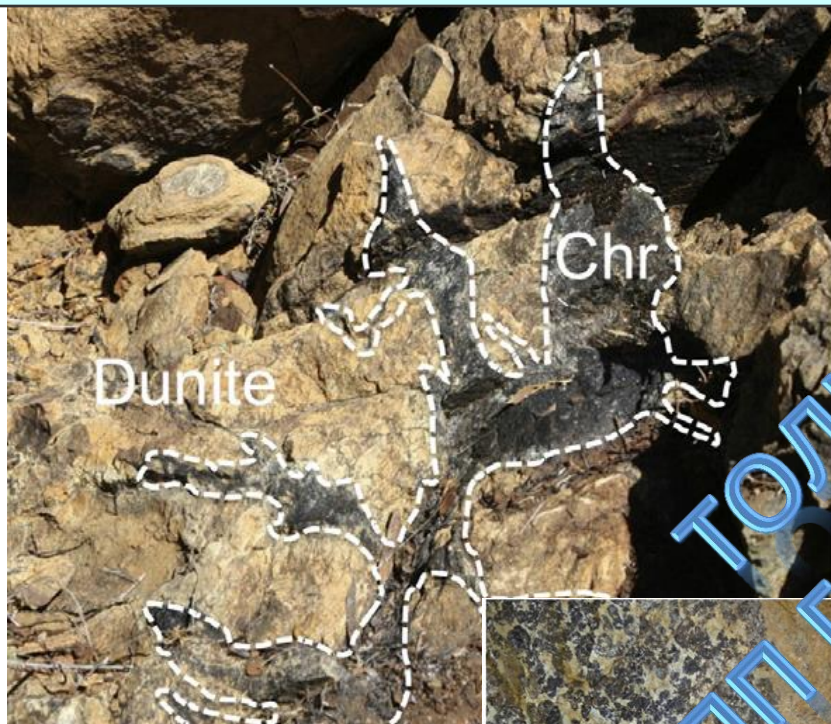


Алмазы различной глубинности

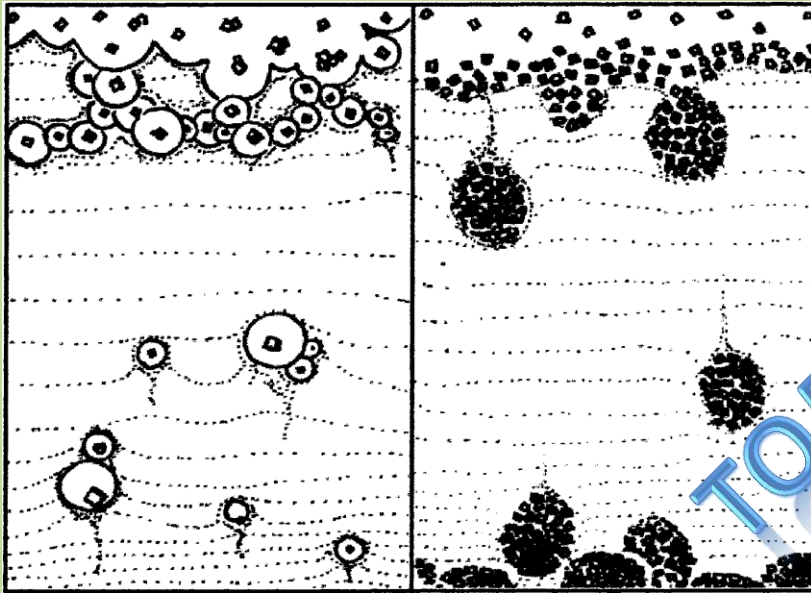
Shirey et al., 2013

ТОЛЬКО ДЛЯ ГРУПП ГЕОХИМИКОВ МГУ

Хромититы



Хромититы: модели формирования



При дегазации формируются флюидные пузыри, в которых происходит кристаллизация хромита. Когда хромита становится много, он начинает оседать, формируя хромитовые руды.

