

ПЕТРОЛОГИЯ, часть 2. Магматизм

Лекция 5. Пегматиты и их фациальные типы

Пегматиты, аплиты, лампрофиры, их классификация, геологическое положение, гипотезы происхождения.

каф.петрологии
Геологический факультет МГУ
2015

Пегматиты: определения

Rene Haüy (1801):

Пегматиты – породы с графической (пегматитовой) структурой, для которой характерны закономерные сростки кварца и полевого шпата.



Музей им. Ферсмана



Музей им. Ферсмана, фото А.Евсеева



Горный музей СПбГУ

Современная классификация:

Пегматиты – самостоятельные петрологические тела (жилы, дайки, шпиры и т.д.) имеющие в своем составе гигантокристаллические магматические породы.



Турмалин в пегматите



Берилл в пегматите



Щелочной пегматит



Турмалин с кварцем

Пегматиты: классификация

Гранитные пегматиты

Классификации Харкера (1909), Палласа (1923), Лакруа (1922) проводились по преобладающему минералу

Классификация Пятницкого (4 типа):

- 1) Из расплава 2) пневматолитовые 3) гидротермальные
- 2) полифазные

Классификация А.Е.Ферсмана (1951):
7 типов, 30 подтипов

Классификация Гинзбурга и Родичева (1960) – по глубинности

Классификация London (1995)

Классификация Гордиенко (1996)

Классификация Загорского и др. (2003)

Классификация Cerny et al. (2005)

Негранитные пегматиты

Н.М. Усвенский (1968)



Гранитные пегматиты: принятая классификация

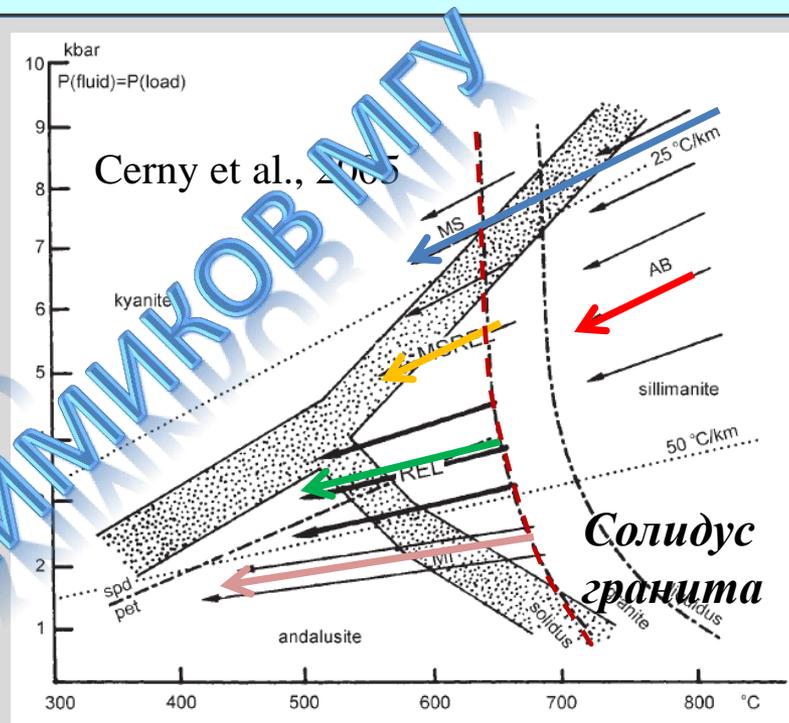
Абиссальные

Мусковитовые

Мусковитовые
-редкометалльные

Редкометалльные

Миароловые (кемерные)



Абиссальные пегматиты

Особенности:

1. Приурочены к метаморфическим породам гранулитовой или высокотемпературной амфиболитовой фаций метаморфизма.
2. Синкинематические
3. Нет контраста температур с вмещающими породами
4. Нечеткие контакты, осложненные порфиробластезом
5. Нет связи с материнскими гранитами
6. Не дифференцированы или слабодифференцированы



Абиссальные пегматоиды карьера Радостный

ТОЛЬКО ДЛЯ ГРУПП ГЕОХИМИКОВ МГУ

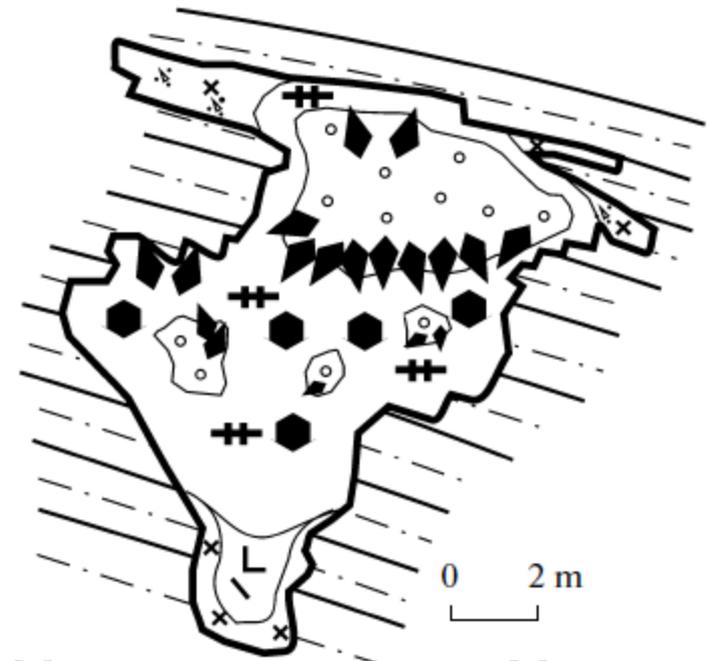
Мусковитовые пегматиты

Особенности:

1. Приурочены к метаморфическим породам амфиболитовой фаций метаморфизма.
2. Крупные тела, в целом конформные с вмещающими породами
3. Образуются непосредственно за счет частичного плавления вмещающих пород или слабой дифференциации автохтонных палингенных гранитов
4. Нечеткая зональность, иногда имеют блоковую и графическую зоны
5. Обилие крупных кристаллов мусковита (или биотита), представляющих экономический интерес



Мусковитовые пегматиты, Мэн (США)



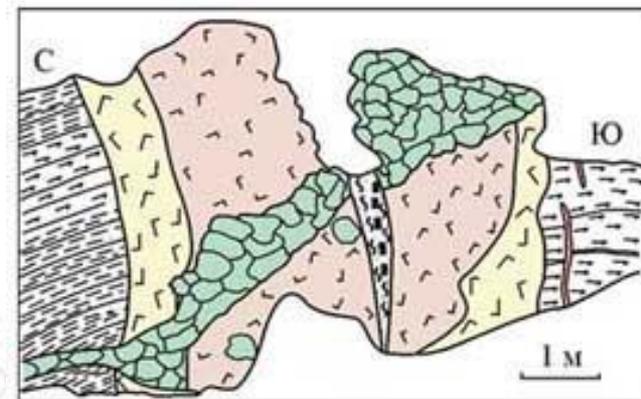
Мусковитовые пегматиты, Мама-Чуйская провинция. Раков и др., 2013

ТОЛЬКО ДЛЯ ГРУППЫ ГЕОХИМИКОВ МГУ

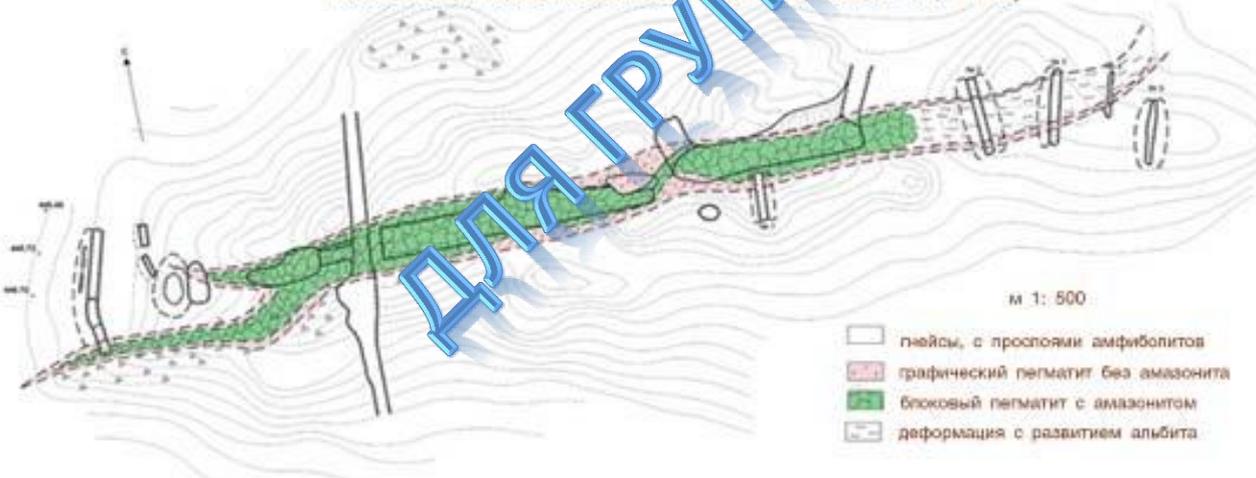
Мусковит-редкометалльные пегматиты

Особенности:

1. Имеют связь с материнскими гранитами
2. Проявлена региональная зональность по отношению к материнским гранитам
3. Как правило, несогласны с вмещающими метаморфическими породами
4. Кроме мусковита может содержать значительные количества берилла, литиевых силикатов, касситерита, колумбита и др.
5. Сложнозональны



Геологическая схема Блюмовской копы (Поляков В. О., 1975)



Копь №50
Ильменского
заповедника

Редкометалльные пегматиты

Особенности:

1. Материнские породы – глиноземистые граниты.
2. Малые давления
3. Резко несогласны с вмещающими метаморфическими породами
4. Метаморфические породы зеленосланцевой фации или низкотемпературной части амфиболитовой фации
5. Температурный контраст с вмещающими породами
6. Сложнозональны
7. Много различных типов с характерной геохимической спецификой, но все обеднены фосфором, бором и серой



Фото А.Евсеева

Сферолит лепидолита, Мозамбик



Миароловые (камерные) пегматиты

Особенности:

1. Материнские породы – анорогенные граниты (А-тип)
2. Малые давления
3. Обычно находятся внутри материнских тел
4. Отсутствует температурный контраст с вмещающими породами
5. Содержат много полостей, в заполненных друзами полевого шпата и кварца с бериллом, топазом.

Фото А.Евсеева



Аметист с альбитом, Ватиха

Гелиодор, Вольня



Образец и фото: О. Лопаткин

Фото В.Слётова



Топаз, Вольня

Типы пегматитов в зависимости от глубины и контраста температур с вмещающими породами

Контраст температуры с вмещающими породами ΔT

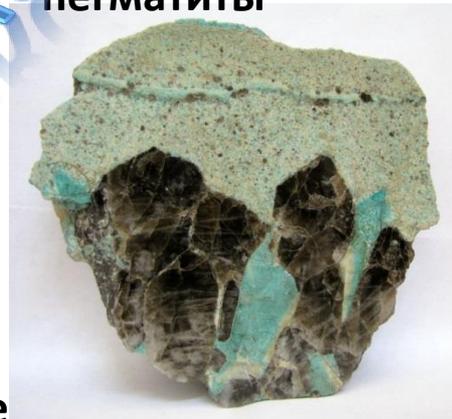
Глубина образования

P



Миароловые пегматиты

Редкометалльные пегматиты



Мусковит-редкометалльные пегматиты



Абиссальные пегматиты

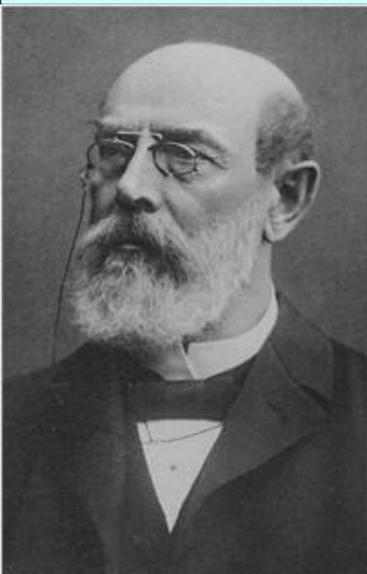
Мусковитовые пегматиты



Большая часть пегматитов формируется в более холодных вмещающих породах!!

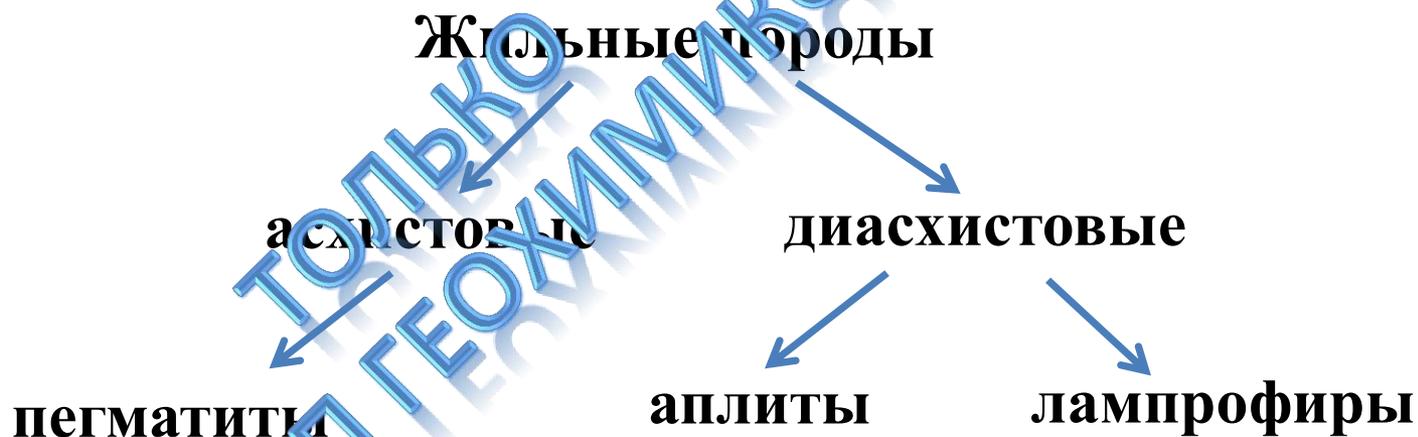
ТОЛЬКО ДЛЯ ГРУПП ГЕОХИМИКОВ В МГУ

Гипотеза Г.Розенбуша



Карл Генрих Фердинанд
Розенбуш
1836-1914

Выделил класс жильных пород, к которым отнес все пегматиты, аплиты и породы даек. Сами жильные породы формируются из остаточных расплавов.



АПЛИТ (от греч. haploos — простой) — лейкократовая жильная магматическая порода, бедная слюдой и другими цветными минералами.

Гипотеза не подтвердилась, а классификация осталась на многие десятилетия



Гипотеза К.Мерритта

Clifton Addison Merritt
1899-?

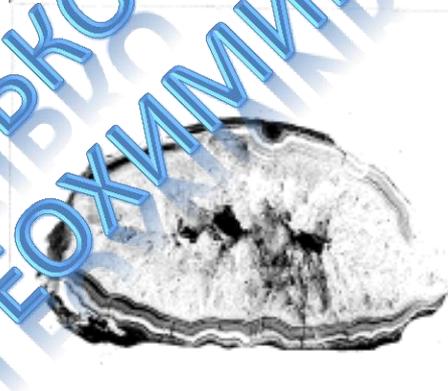
The Function of Gels in the Formation of
Pegmatites, and of Quartz and Carbonate Veins.

by
Clifford A. Merritt B.Sc.

Presented in partial fulfillment of the requirements for
the Master of Science degree in the University of Manitoba.
1924

UNIVERSITY OF MANITOBA
LIBRARY

Пегматиты образуются подобно агатам, из коллоидных сред, которые заполняют пустоты в магматических породах, а потом медленно кристаллизуются.



Merino, 1999

Taylor et al., 2002

Гипотеза А.Е.Ферсмана

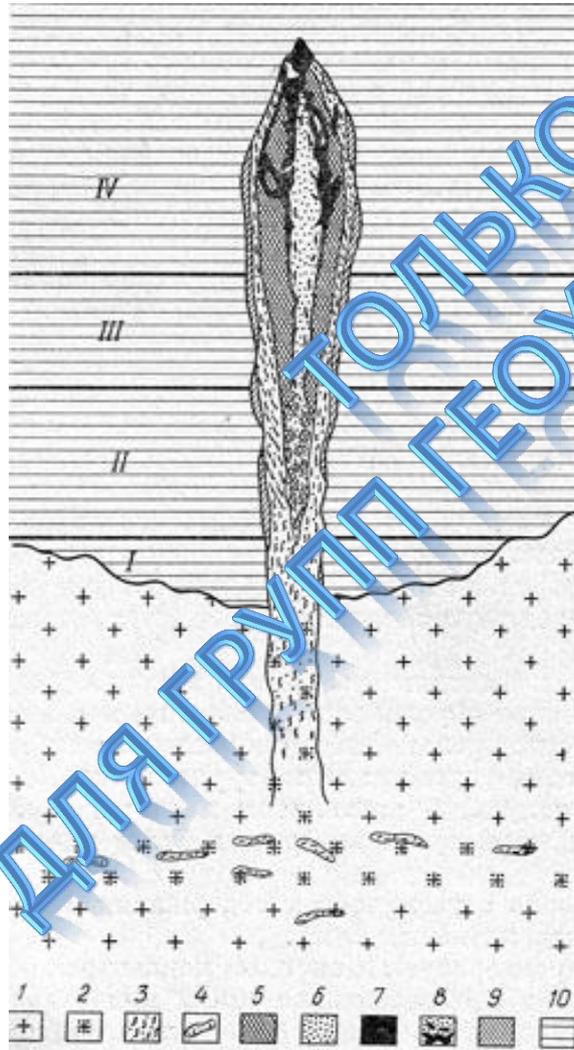


Александр Евгеньевич
Ферсман
1883-1945



Кузьма Алексеевич
Власов
1905-1964

пегматиты считаются продуктом кристаллизации остаточной магмы в закрытой системе.



пять этапов ("геофаз"):
магматический (900-800 °С)
пегматический (800-700 °С)
пневматолитовый (700-400 °С)
гидротермальный (400-50 °С)
гипергенный (ниже 50 °С)

- 1- мелкозернистый гранит;
- 2- крупнозернистый гранит;
- 3,4 - "письменный гранит";
- 5- зона микроклина;
- 6- зона кварца;
- 7- зона альбита;
- 8- минералы Li и Be;
- 9- Mus-Q-Ab зона;
- 10- вмещающие породы

Гипотеза А.Н.Заварицкого

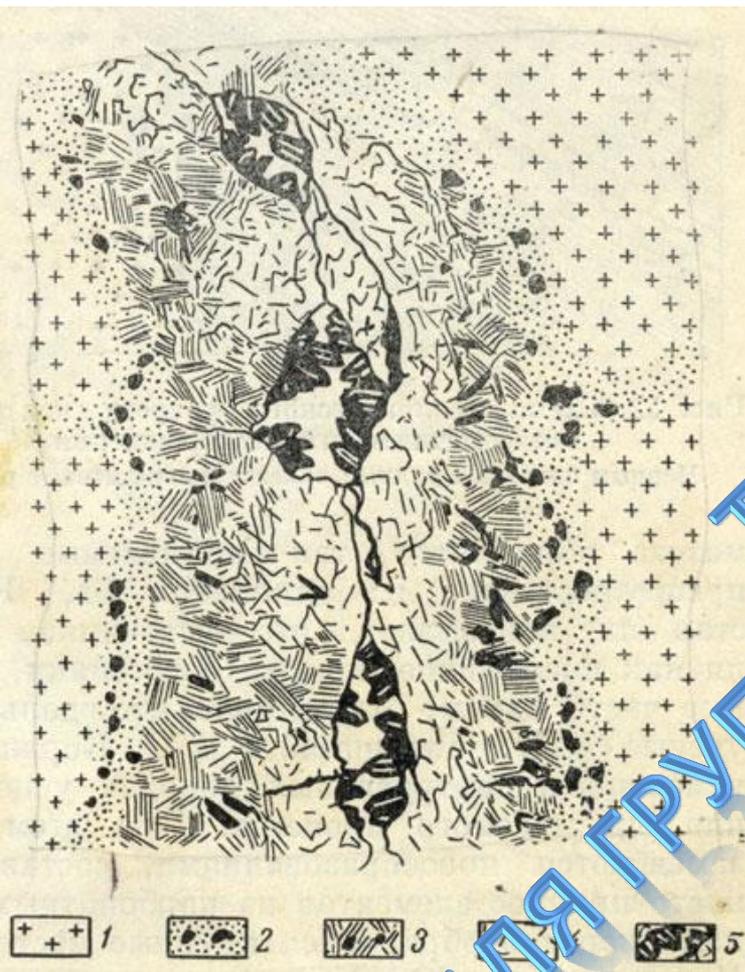


Схема строения пегматитовой жилы Мурзинки (Урал)

Метасоматическая двухэтапная гипотеза А. Н. Заварицкого предполагает метасоматическое преобразование исходной породы, близкой по составу к граниту. В первый этап остаточный флюид (газоводный раствор) ответствен за укрупнение зернистости без изменения состава (система закрыта). Во второй этап (в обстановке открытой системы) происходило растворение простых пегматитов и замещение их новыми минеральными ассоциациями.



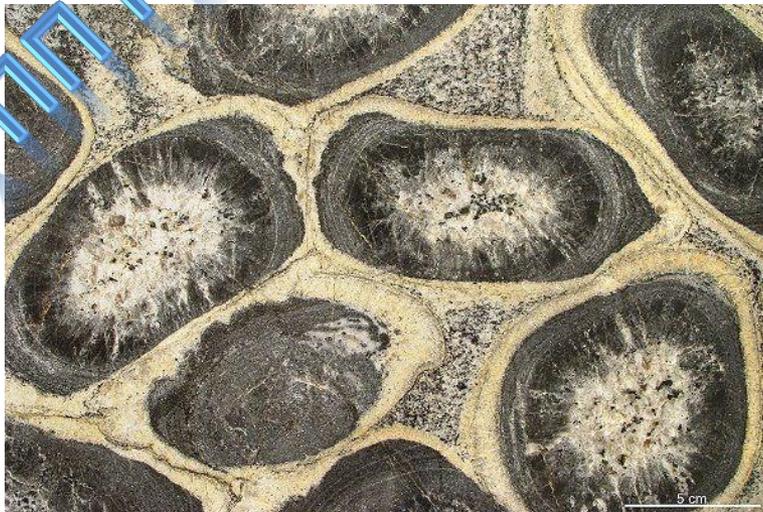
Александр Николаевич
Заварицкий
1884-1952

Гипотеза А.А.Маракушева и Е.Н.Граменицкого



Пегматитовое обособление в граните.
А- гранит, В – мелкозернистая зона, С – графическая зона, D – кварцевое ядро, Е - занорыш

Пегматитообразование представляет собой самостоятельный петрогенетический процесс, заключающийся в отщеплении от остаточной магмы особого флюидного расплава по механизму жидкостной несмешиваемости.



Орбикулярные граниты, Pongonrohja, Kuru



Алексей Александрович
Маракушев
1925-2014



Евгений Николаевич
Граменицкий
1936-...

Магматогенно-пневматолито-гидротермальная гипотеза



Натан (Анатолий) Ильич
Гинзбург
1917-1984

Серия гипотез, объединяющих формирование пегматитового расплава, который кристаллизовался в условиях открытой системы под воздействием флюидов. Пегматиты являются магматическими и метасоматическими образованиями одновременно.



Eugene N.
Cameron
(1910–1999)

Jahns, 1978:

All I ever learned about
pegmatites from experiments
was from experiments that
failed



Richard H.
Jahns
(1915 – 1983)

Экспериментальная техника того периода позволяла ставить опыты только в закрытых системах, а для моделирования пегматитового процесса требуется система с проточным флюидом



George Burnham
(1914-2008)

Загадки пегматитов



The Pegmatite Puzzle

David London* and George B. Morgan VI*

Почему растут гигантские кристаллы?

Пегматиты – это дайки или жилы?

Что такое пегматитовая магма?

Как образуется пегматитовая магма?

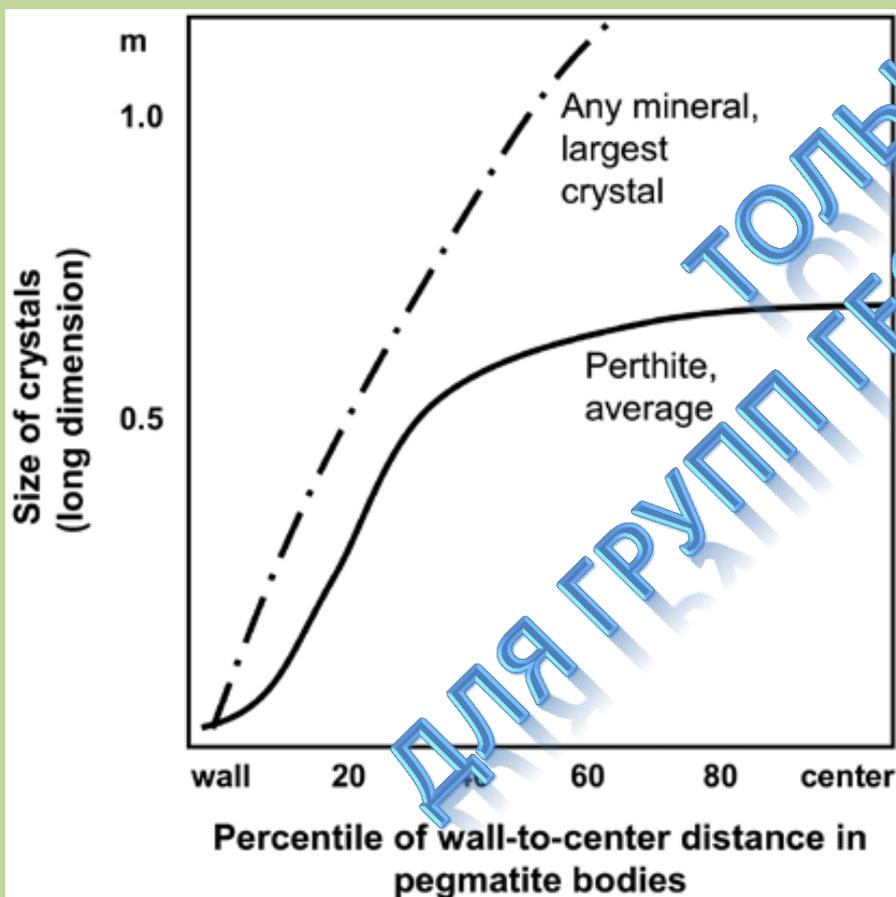
Как образуется графическая структура?

Как образуются пегматитовые тела?

Как долго формируется пегматит?

Пегматиты – дайки или жилы?

Фракционная кристаллизация гранитного расплава



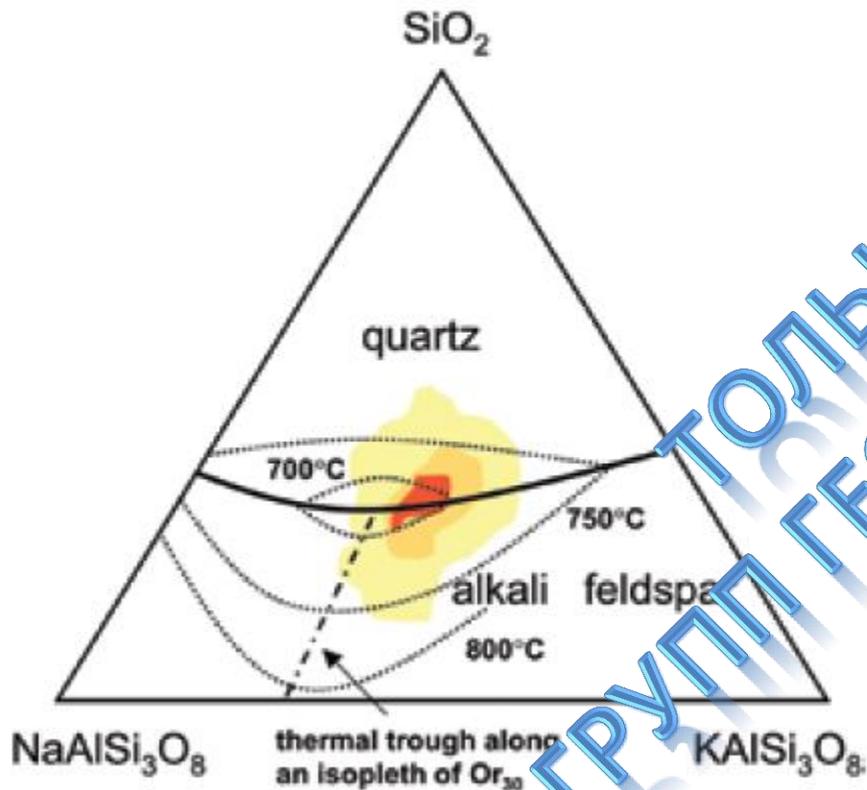
Взаимодействие водного флюида с расплавом

Пегматиты – дайки или жилы:

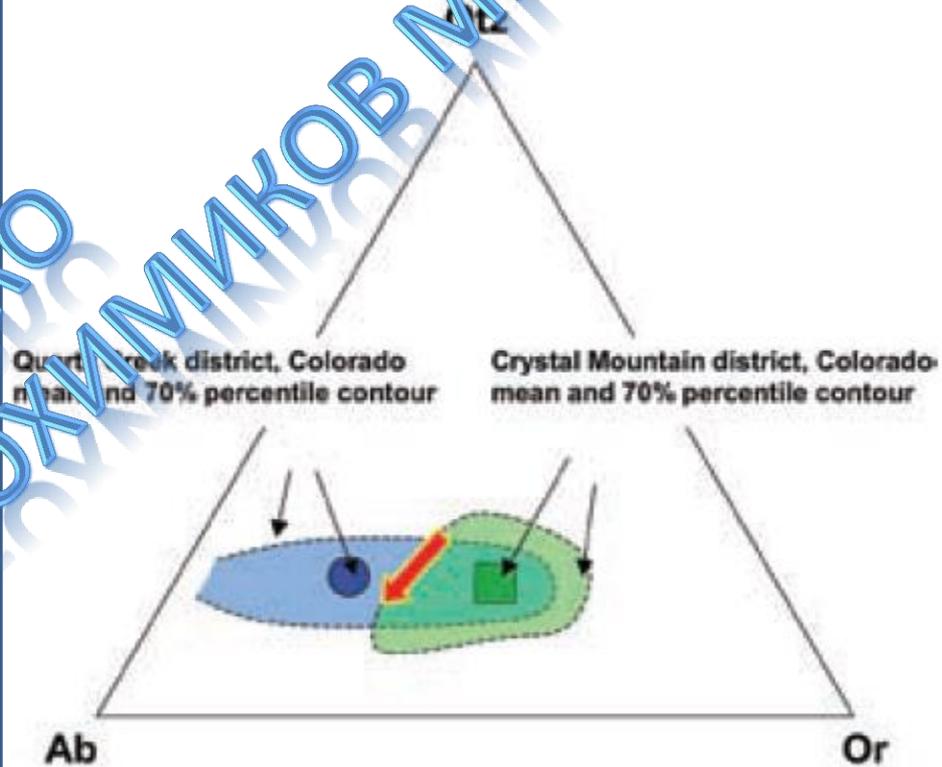
1. крупным размером зерен
2. Увеличивающимся размером зерен к центру
3. Ориентировкой крупных кристаллов перпендикулярно контакту
4. Закономерно сменяющимися зонами
5. Наличием мономинеральных зон в центре
6. Наличием минеральных скоплений, ориентированных по удлинению тела

В жилах не бывает
графических структур ?!

Пегматиты (не) являются остаточными расплавами

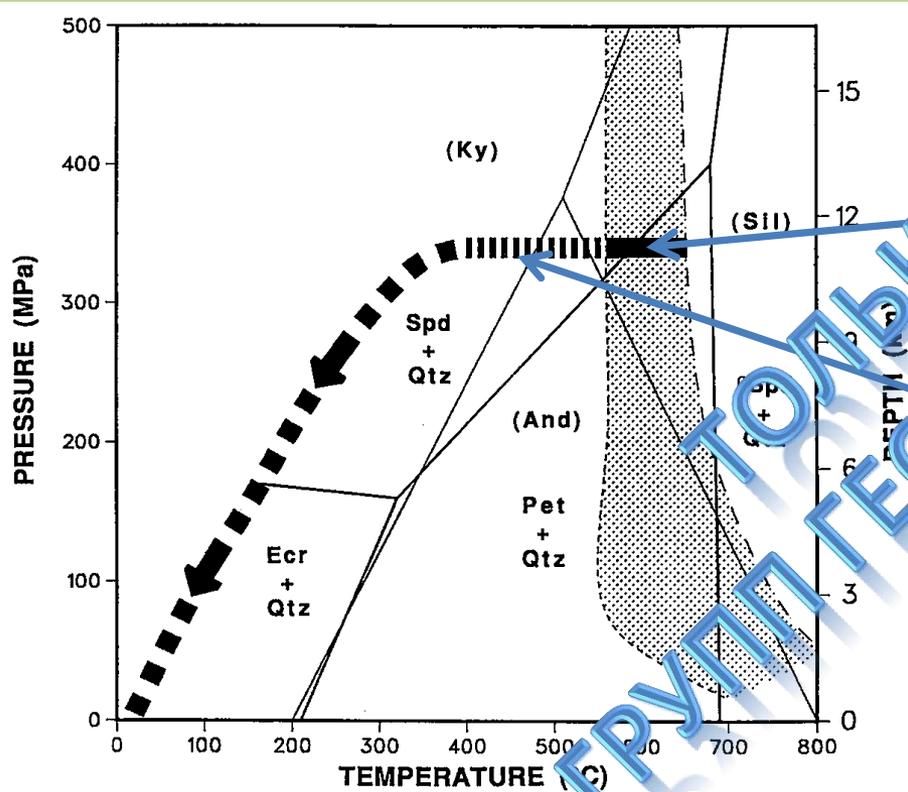


Составы гранитов по Tuttle & Bowen, 1958
571 анализ интрузивных пород, в которых
сумма нормативных $Q + Ab + Or > 80\%$



Составы пегматитов из пегматитовых
полей Колорадо (США)
1801 анализ пегматитов, красная стрелка
– положение гранитного минимума

Параметры кристаллизации пегматитов



Параметры кристаллизации пегматитового расплава (Li редкоземельный пегматит)

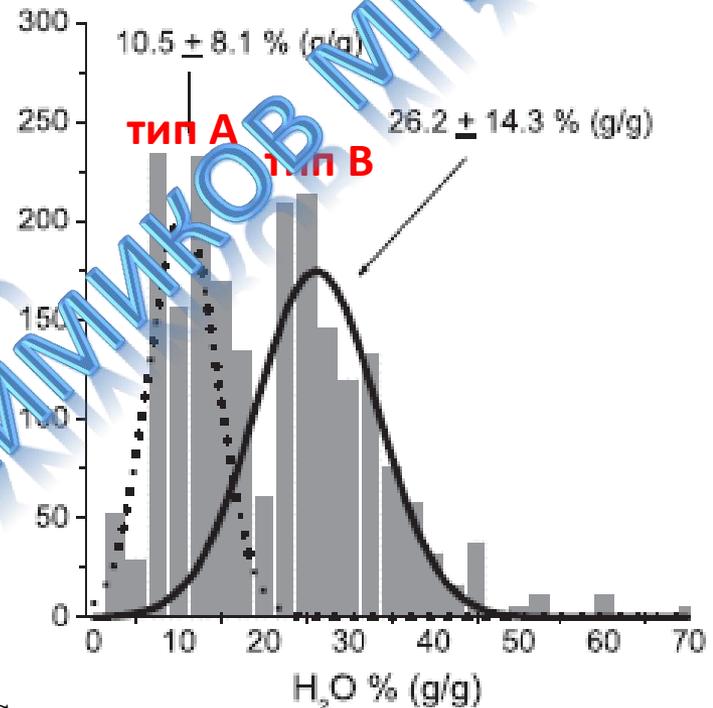
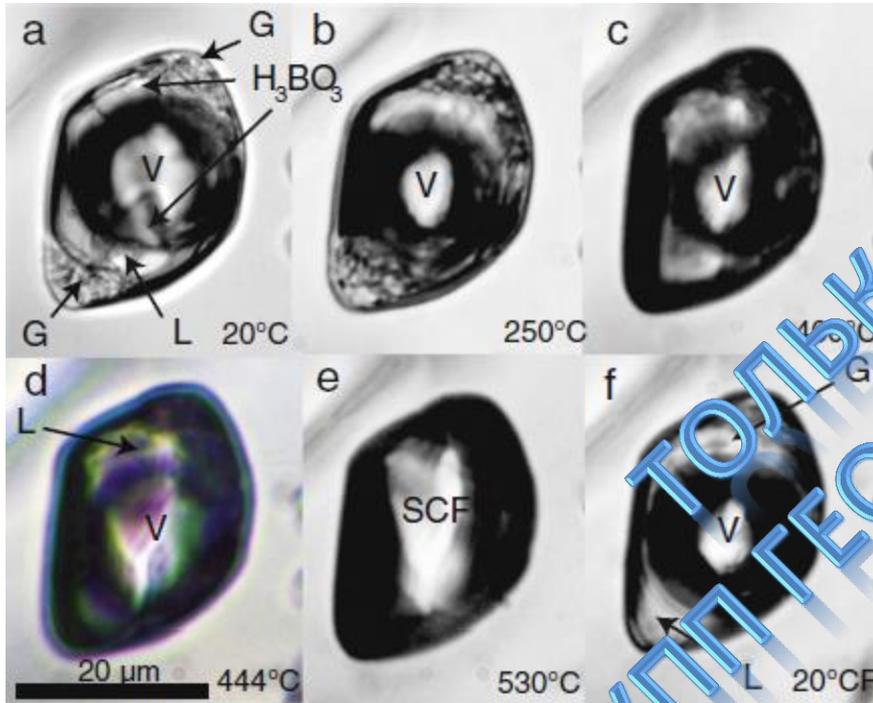


Пегматитовое тело должно кристаллизоваться очень быстро, дни или недели

Chakoumakos and Lumpkin (1990)

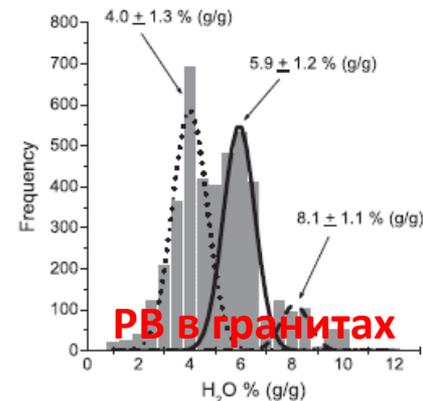
ДЛЯ ГРУПП ГЕОХИМИКОВ МГУ

Прямые измерения пегматитового расплава



Содержание воды в пегматитовом расплаве по 2128 расплавленным включениям в кварце

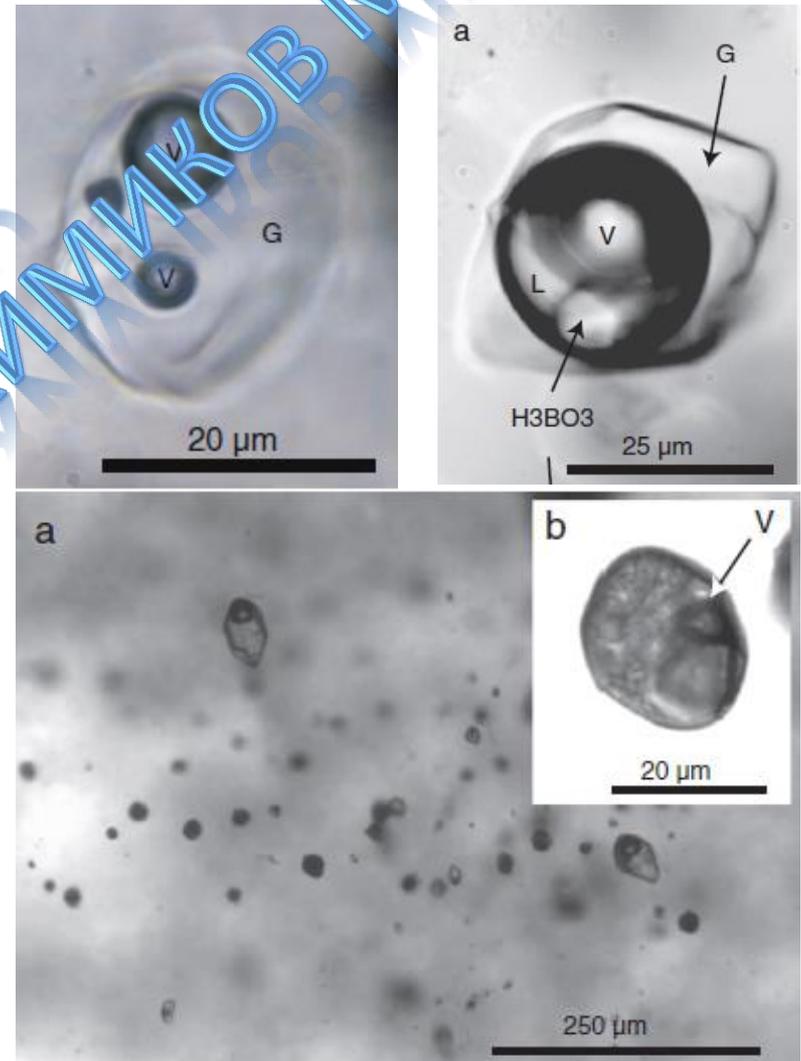
В расплавленных включениях (в кварце) часто наблюдается гелеподобная фаза, которая переходит при нагревании в «истинный раствор» при температуре около 450 С.



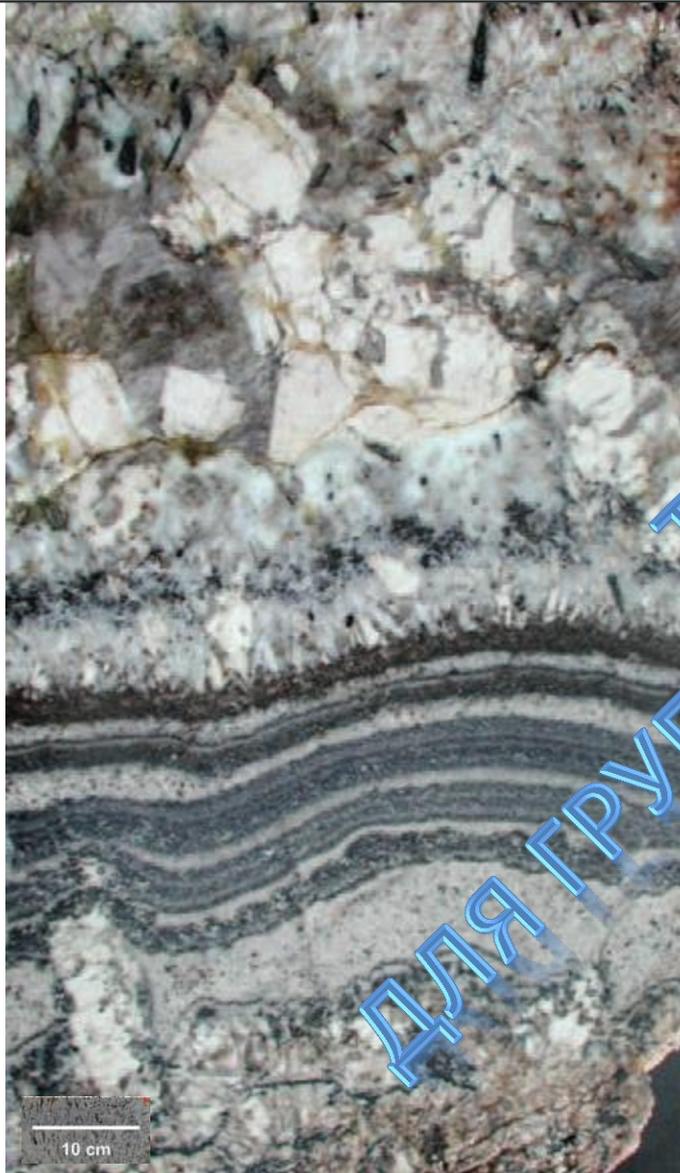
Прямые измерения пегматитового расплава

	Granites	Type-A MI	Type-B MI
Nb ₂ O ₅	<0.32	n.d.	0.56 ± 0.15
Ta ₂ O ₅	<0.01	n.d.	0.09 ± 0.04
SiO ₂	73.10 ± 1.2	68.53 ± 1.18	63.88 ± 1.0
TiO ₂	0.25 ± 0.10	0.47 ± 0.16	0.61 ± 0.14
ZrO ₂	0.15 ± 0.10	0.49 ± 0.28	1.05 ± 0.07
SnO ₂	n.d.	0.04	0.08 ± 0.02
Al ₂ O ₃	10.10 ± 0.7	12.72 ± 0.98	8.73 ± 0.12
B ₂ O ₃	n.d.	0.22 ± 0.04	0.71 ± 0.03
Y ₂ O ₃	0.10	0.15 ± 0.08	0.21 ± 0.08
Ce ₂ O ₃	0.02	0.09 ± 0.03	0.14 ± 0.05
FeO	4.89 ± 1.00	2.72 ± 0.66	3.49 ± 0.33
MnO	0.07 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.15 ± 0.03
MgO	0.03	0.02	<0.05
CaO	0.09	0.24 ± 0.10	0.05
Na ₂ O	5.17 ± 0.85	4.31 ± 1.14	5.01 ± 0.22
K ₂ O	4.51 ± 0.43	5.84 ± 0.78	5.05 ± 0.27
Rb ₂ O	0.08 ± 0.04	0.35 ± 0.07	0.35 ± 0.03
Cs ₂ O	0.001	n.d.	0.05 ± 0.02
F	0.50 ± 0.05	2.31 ± 0.30	4.39 ± 0.48
Cl	n.d.	0.13 ± 0.03	0.16 ± 0.08
P ₂ O ₅	0.10 ± 0.01	0.35	0.05
CO ₃ ²⁻	n.d.	0.38 ± 0.18‡	1.77 ± 0.19‡
SO ₄ ²⁻	n.d.	0.79 ± 0.04	3.29
Sum (dry)	99.49	100.00	99.98
H ₂ O	n.d.	15.5 ± 0.8	34.7 ± 2.7
ASI	0.74 ± 0.09	0.91 ± 0.15	0.62 ± 0.02
n	8	15	30

Включения в кварце из пегматитов



Прямые измерения пегматитового расплава

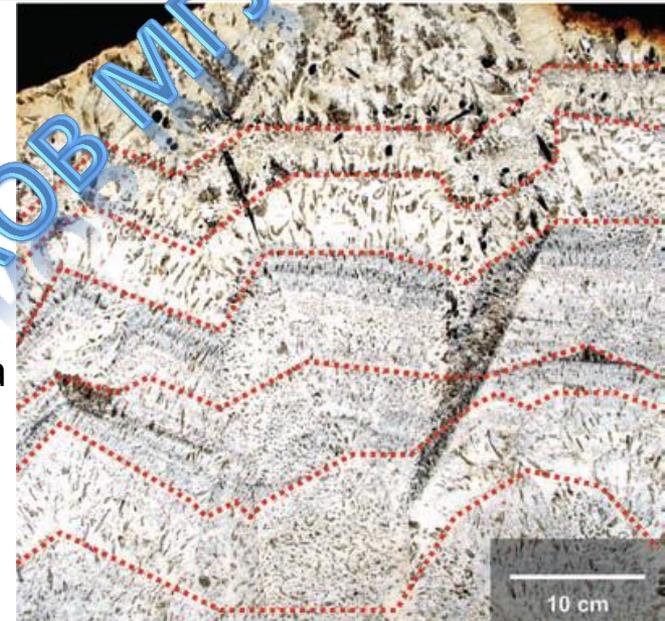


Гигантозернистая зона

Мелкозернистая зона

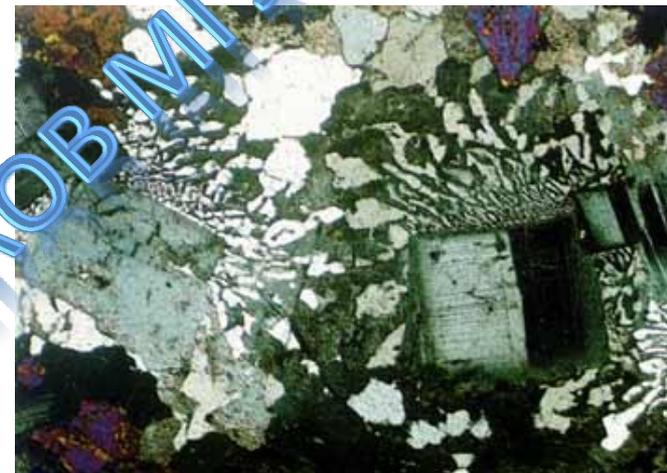
Графическая зона

Гигантозернистая зона



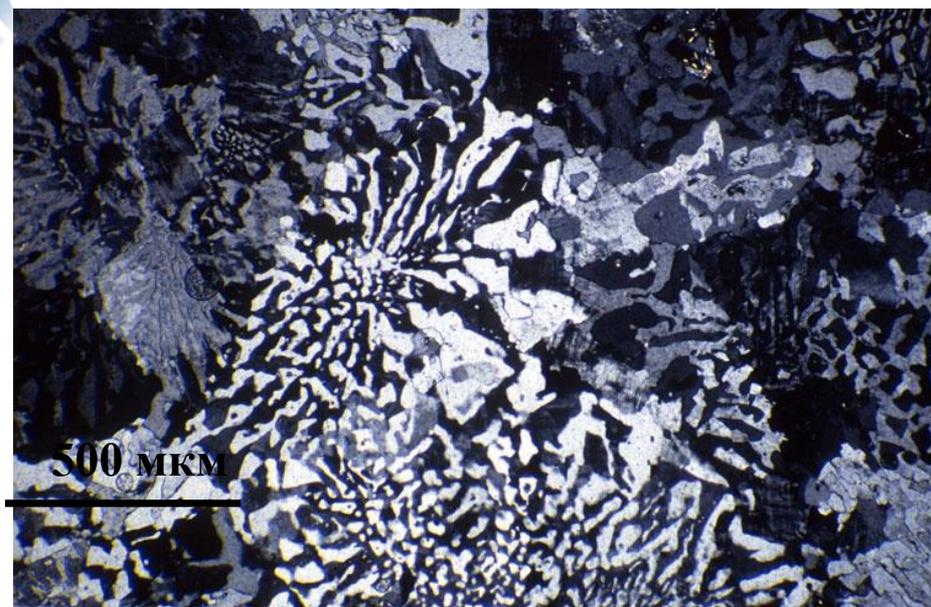
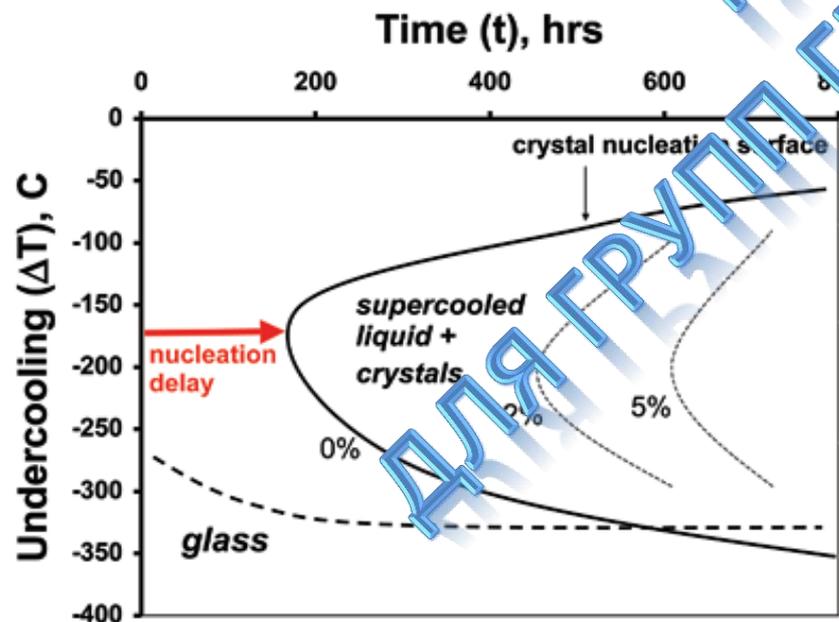
В пегматитах могут чередоваться и повторяться различные текстурные зоны

Графическая структура – свидетельство переохлаждения или метастабильной кристаллизации



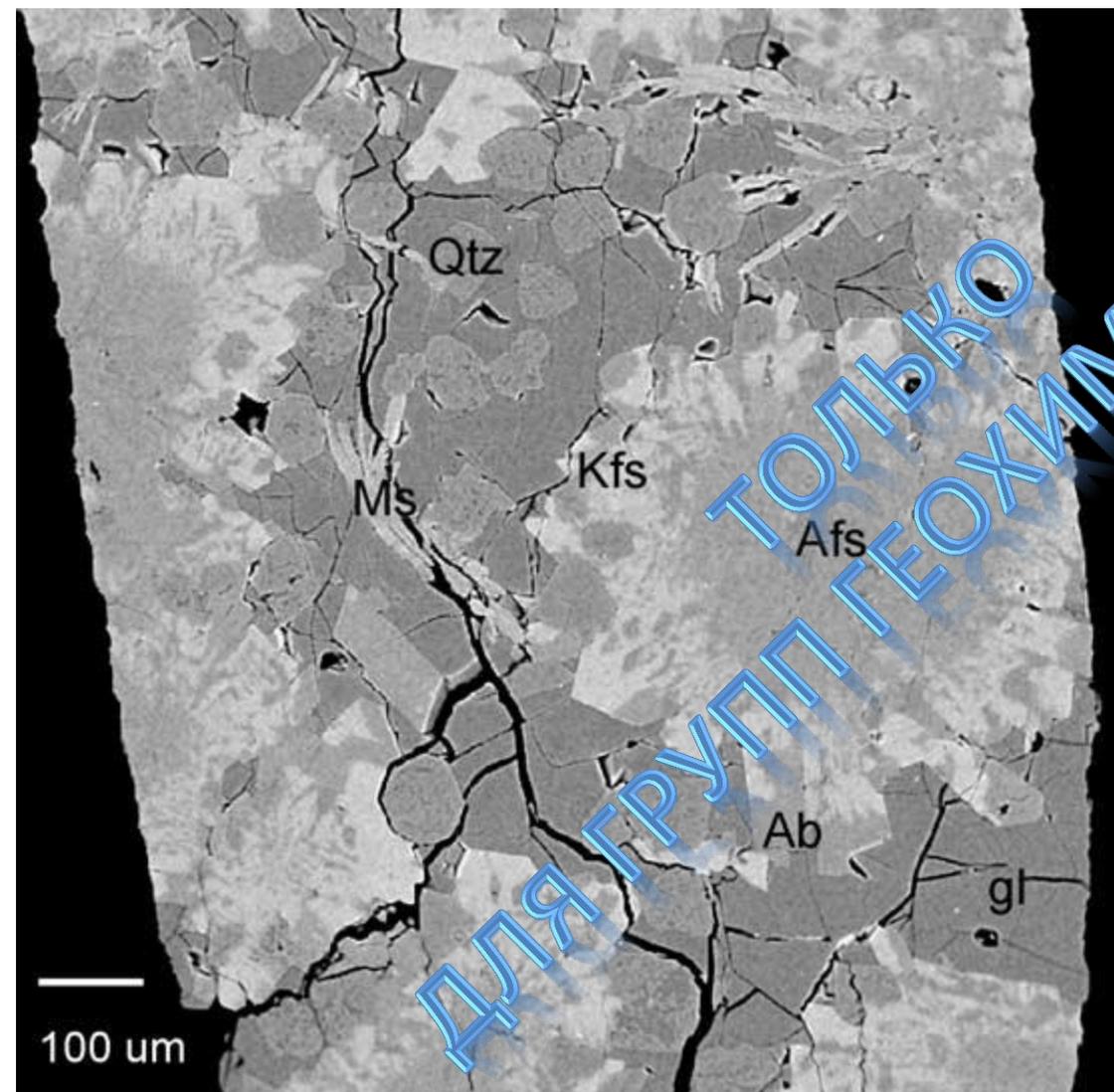
Музей им. Ферсмана, фото А.Евсеева Горный музей СПбГУ

Микропегматитовая (гранофировая) структура в диабазе



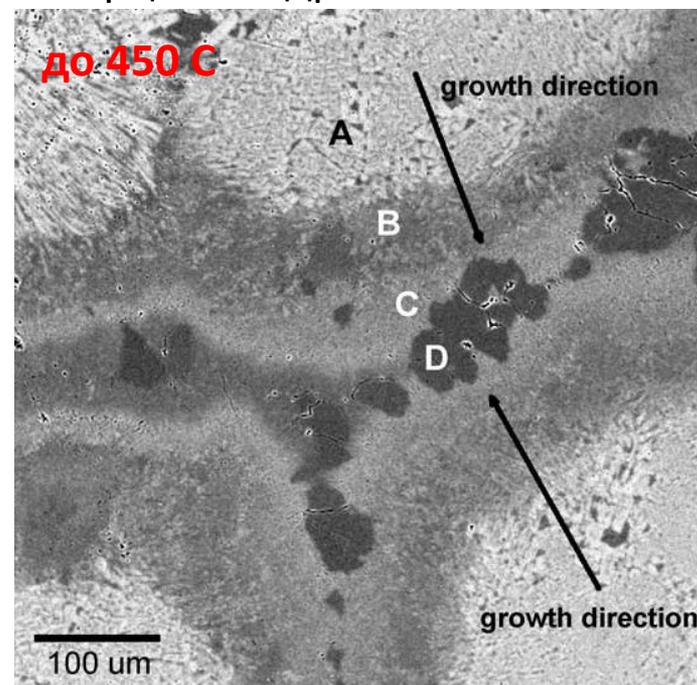
Микропегматитовая структура в фельзитовой массе

Пегматитовые структуры могут образовываться при переохлаждении



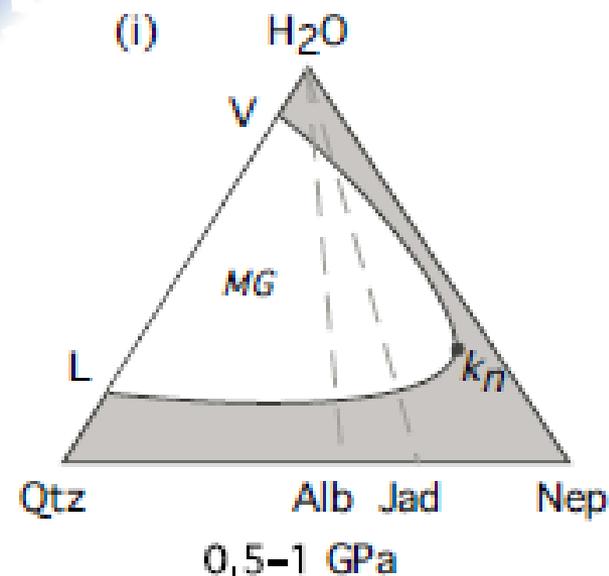
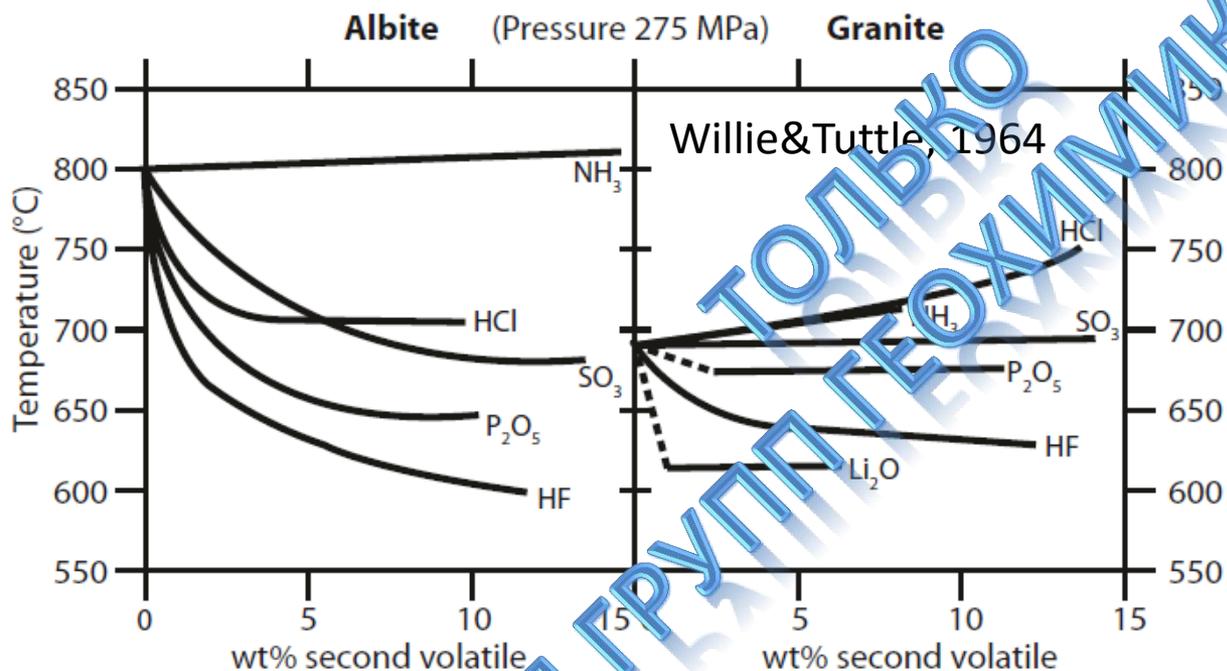
Кристаллизация гранитного расплава (+3% H₂O) при резком охлаждении от 750 C до 575 C

Перегретый относительно температуры кристаллизации расплав резко охладили до температур существенно ниже температуры начала кристаллизации. Образовались зональные структуры и начало формироваться «кварцевое ядро».



Критические явления в силикатно-флюидных системах

При добавлении летучих компонентов вероятность критических явлений увеличивается



Экспериментальные системы с участием силикатного вещества и нескольких летучих компонентов очень сложны и на сегодняшний день изучены недостаточно детально

Гипотеза Д.Лондона



Дэвид Лондон



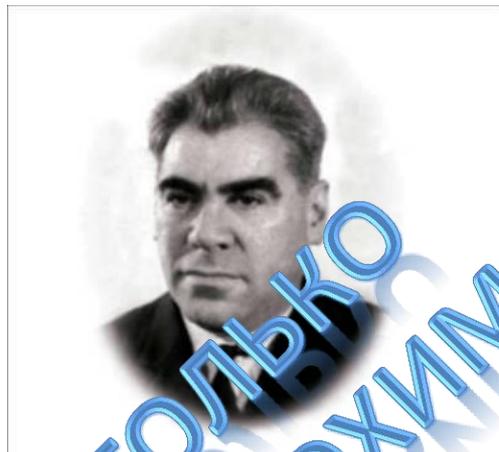
Лондонит,
Мадагаскар

1. Гранитные пегматиты формируются за счет магматических расплавов, обогащенных летучими компонентами. По содержанию петрогенных и рассеянных компонентов эти расплавы мало отличаются от обычных интрузивных пород.
2. Рост крупных кристаллов и графических зон обусловлен термическим шоком (резким сбросом температуры за счет внедрения пегматитов в относительно холодные породы)
3. Летучие компоненты формируют сложные растворы-расплавы и гели, которые концентрируют рассеянные компоненты. При кристаллизации этих растворов-расплавов могут образовываться редкие и драгоценные минералы.
4. Ключевую роль в формировании пегматитов играет сложный состав флюидных компонентов, включающий H, F, Cl, P, S, B.

Гипотеза Д.Лондона – все правы?



Дэвид Лондон



Наташа (Данатоли) Ильич
Гинзбург (1917-1984)



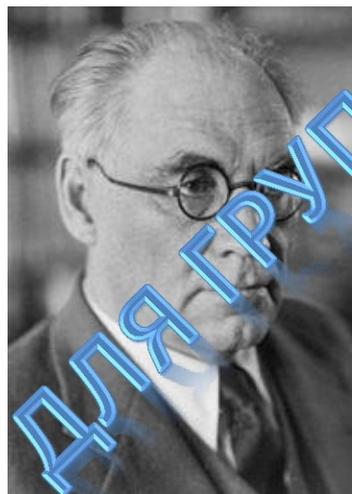
Eugene N.
Cameron
(1910–1999)



Алексей Александрович
Маракушев
1925-...



Александр Евгеньевич
Ферсман
1883-1945



Александр Николаевич
Заварицкий
1884-1952



Richard H.
Jahns
(1915 – 1983)



George Burnham
(1914-2008)



Евгений Николаевич
Граменицкий
1936-...

Готовимся к тесту?

ДЛЯ ГРУПП ТОЛЬКО
ГЕОХИМИКОВ МГУ

Малхан, жила Моховая, 2015