

Пегматитовые месторождения

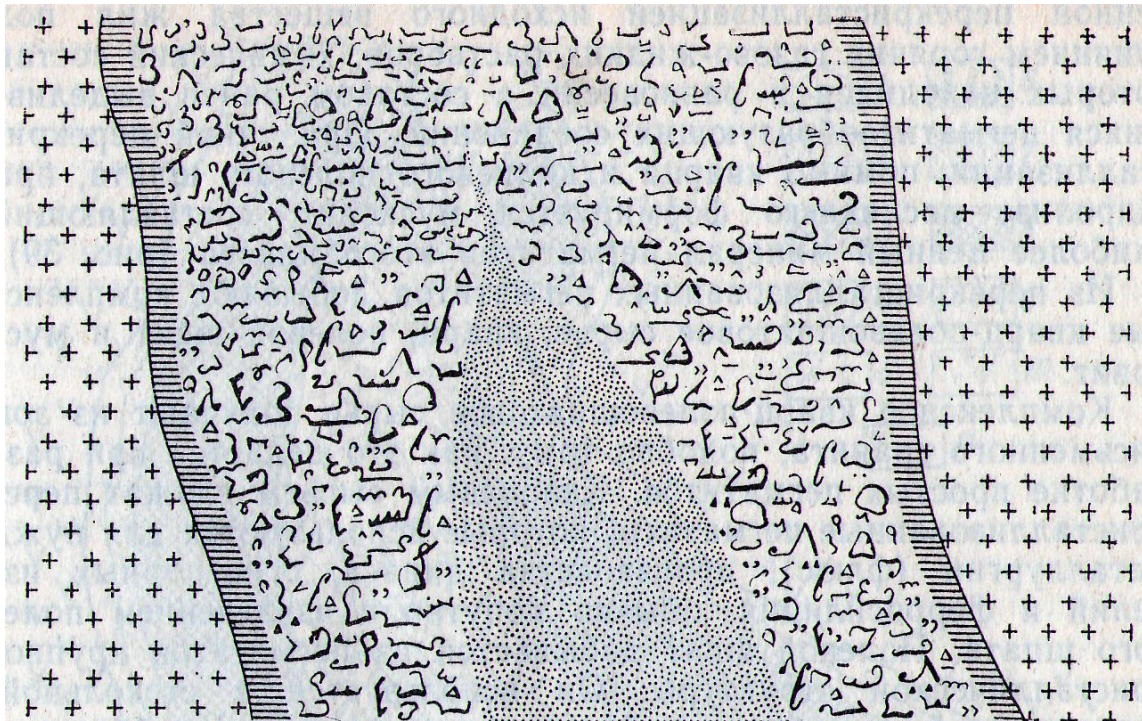


ПЕГМАТИТ (от греч. *pegma*, род. пад. *pegmatos* — **скрепление, связь**; англ. -pegmatite; нем. Pegmatit; фр. pegmatite; исп. pegmatite) — **изверженная, преимущественно жильная горная порода, имеющая обычно анхиэвтектический состав, близкий к составу поздних дифференциатов магматических комплексов или анатектических выплавок.**

- Пегматиты – это уникальный источник мусковита, керамического сырья, пьезосырья (флюорит, кварц), редких металлов (Ta, Nb, Be, Li, Rb, Cs, Zr, Hf и др.).

Под пегматитом понимают породу, которая характеризуется следующими признаками:

1. Наличие текстуры типа «письменный гранит» («еврейский камень»). Именно такая порода была названа Р.Ж.Аюи (Гаюи (Наёу) Рене Жюст) в 1801 г. пегматитом.





2. Крупно- и гигантозернистое строение.

Размеры зерен от первых сантиметров до десятков см и даже метров.

Известны: пластины слюды в несколько м², кристаллы кварца в 1-40 т, кристаллы берилла до 16 т.





Топаз. Кристалл ~30 см. Володарск-Волынское пегм. поле, Украина.
Образец: ФМ. Фото: А.Евсеев.



Аквамарин. Нагар, район Гилгит \ Nagar, Gilgit District, Пакистан.
Мюнхен-шоу-2007. Фото: © В. Левицкий.



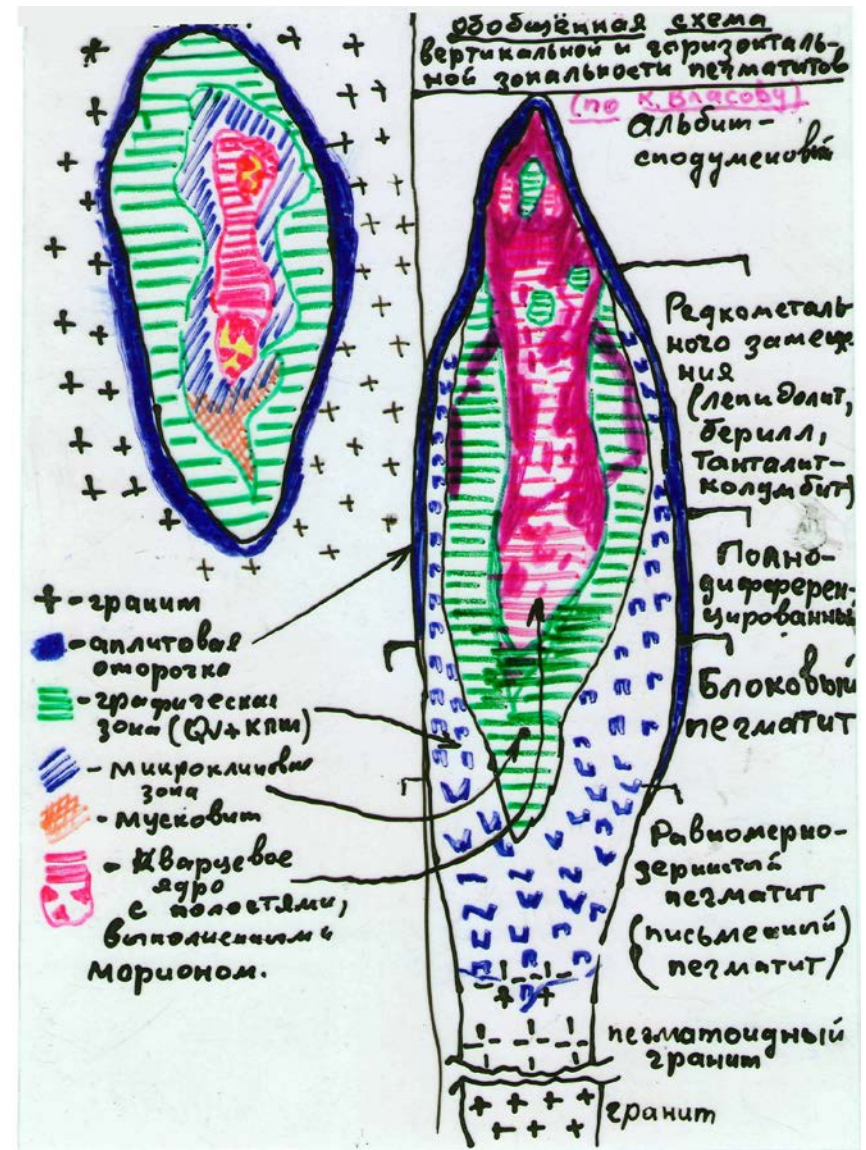
Апатит, аквамарин. Чумар-Бакхур, р-н Гилгит, Пакистан \ Chumar Bakhoor, Gilgit, Pakistan.



Берилл (розовый), альбит. Афганистан.

3. Имеют простой минеральный состав главных породообразующих минералов, отвечающих по составу граниту: кварц, полевой шпат, мусковит.

4. Образуют зональные тела, иногда с полостями (занорышами) в центральной части



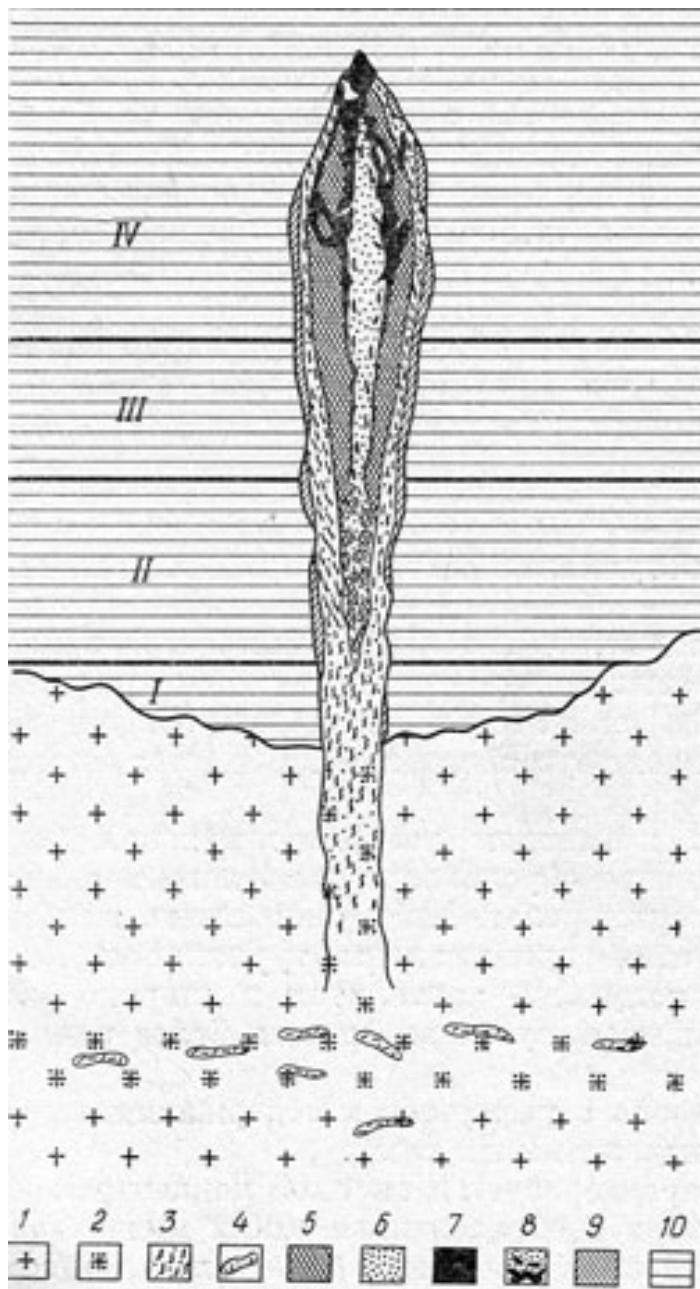
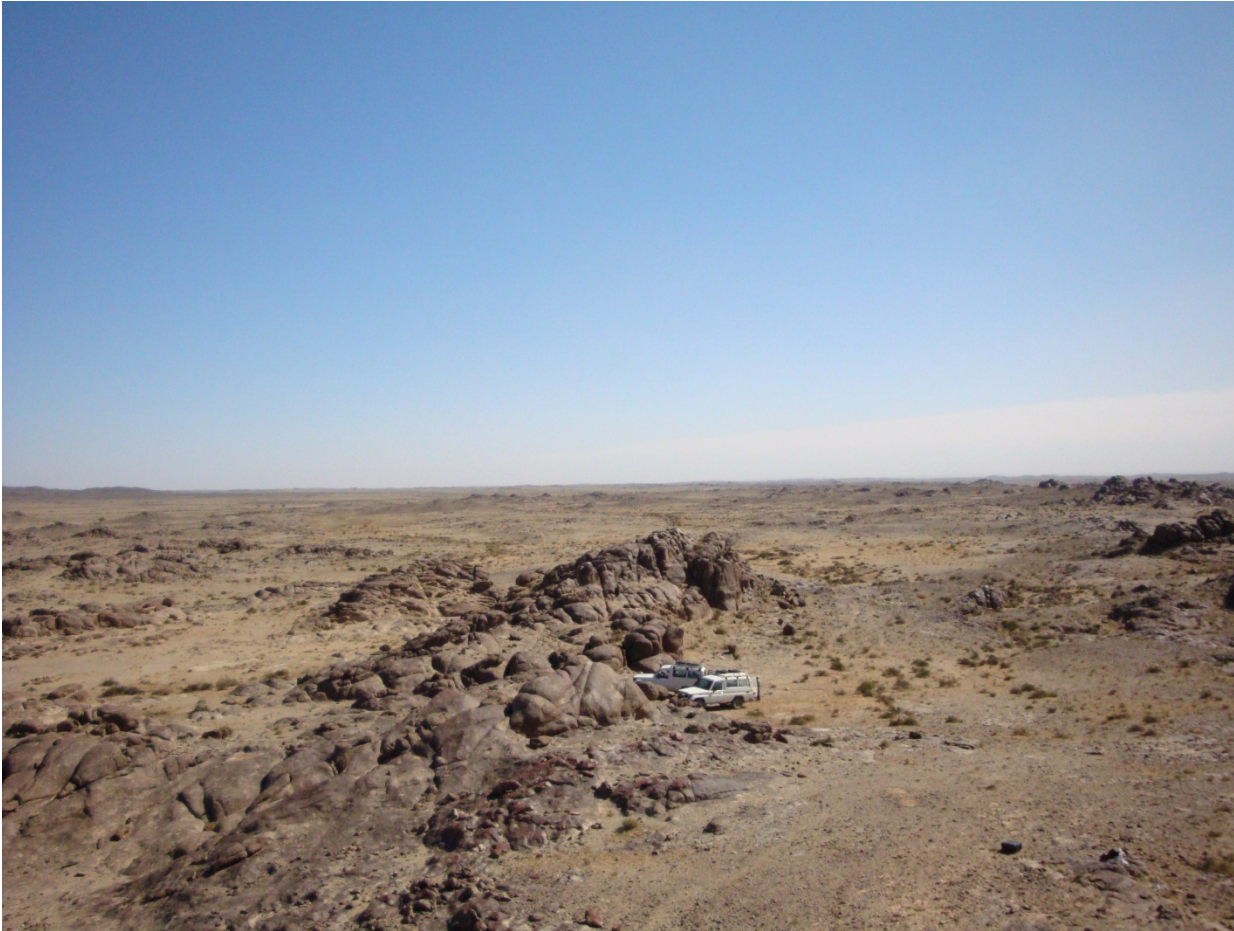


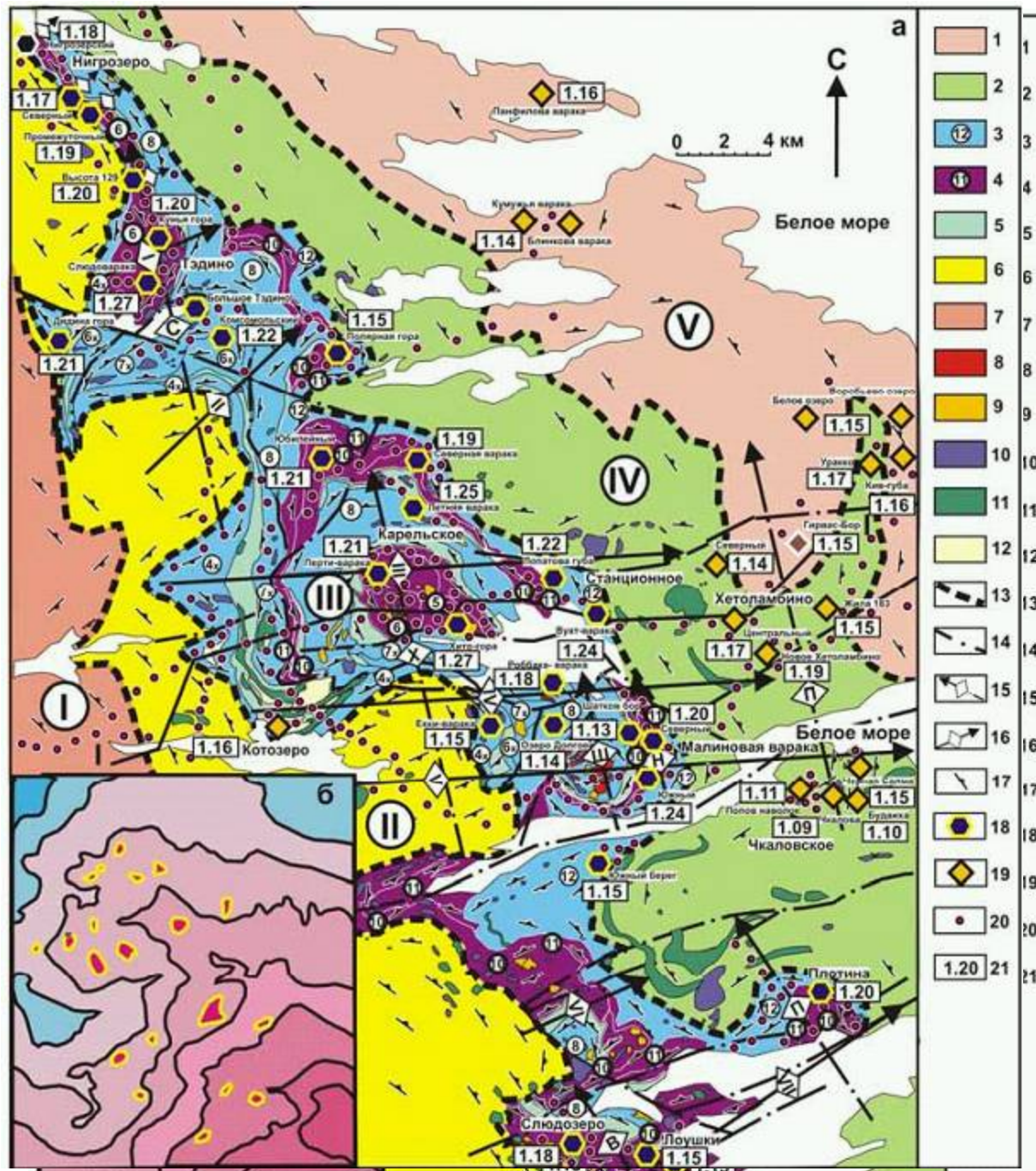
Схема развития пегматитового процесса и взаимоотношения пегматитовых типов (по К.А.Власову)

- 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- мусковит-кварц-альбитовая зона; 10- вмещающие породы

5. Они резко обогащены по сравнению с гранитами **U, TR, Be, Li, Rb, Cs, B, F, P, CO₂**. Содержание этих элементов в 10-100 раз выше чем в гранитоидах.
6. Развиваются преимущественно в крупных гранитоидных массивах (в прикровельной части), а также в глубоко метаморфизованных породах.



7. Имеют жиллообразную форму тел длиной до сотен метров, (очень редко километры) и мощностью в десятки метров.
8. Пегматиты, как правило, образуют обширные поля, которые объединяются в пегматитовые пояса протяжённостью до 4000 км (Аппалачский пояс), 4500 км вдоль Сибирской платформы.



а
 б
 Схема геологического строения (а), гравитационного поля (б) Чупино-Лоухского слюдоносного района [Лобанов и др., 1982].

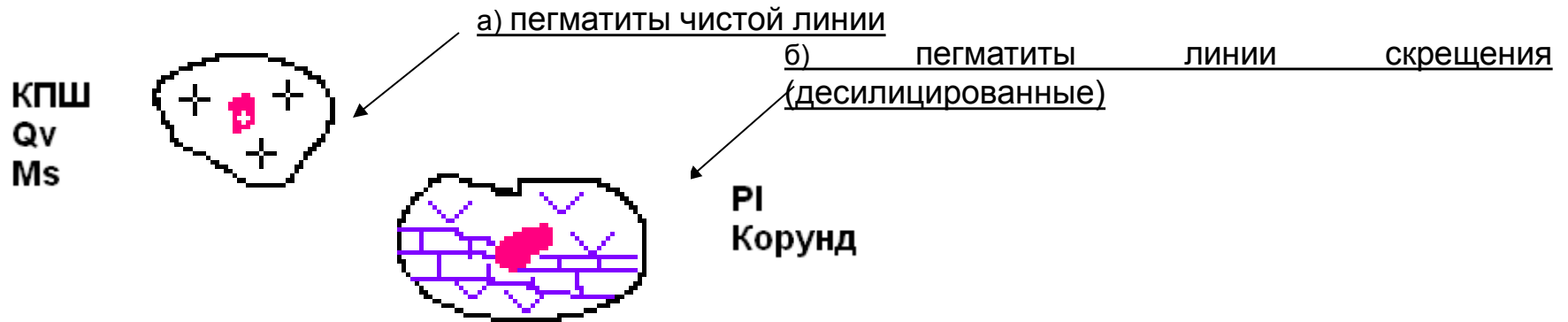
Беломорский комплекс (архей): 1 - керетская свита - биотитовые гнейсы, 2 - хетоламбинская свита - амфибол- биотитовые гнейсы и амфиболиты; 3-5 - чупинская свита (гнейсы и номера горизонтов в кружках): 3 - гранат- биотитовые и биотитовые (12, 8, 7х, 6х, 4х - перспективные), 4 - кианит-гранатовые-биотитовые и гранат-биотитовые (11, 10, 6, 5 - продуктивные), 5 - биотитовые и амфибол-биотитовые (9, 7, 5х, 3х); 6 - биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы котозерской свиты; 7 - гранитогнейсы западной свиты; 8 -граниты; 9 - аплиты; 10 - основные-ультраосновные интрузии; 11- амфиболиты; 12 - анортозиты; 13 - границы свит; 14 - разломы; 15-16 - оси антиклиналей: 15 - северо-западных; 16 - северо-восточных; 17 - залегание сланцеватости; **18-19 - месторождения и кусты жил пегматитов: 18 - мусковитовых; 19 - керамических;** 20 - места отбора ориентированные образцы, 21 - средние значения $KAVr$ для глиноземистых гнейсов продуктивных горизонтов на пегматитовых участках..

Принято выделять две генетические разновидности пегматитов: *магматогенные и метаморфогенные*.

Магматогенные пегматиты принадлежат к группе позднемагматических образований, формировавшихся на самых завершающих стадиях кристаллизации интрузивных массивов и располагающихся близ их кровли. Они связаны с родоначальными интрузивами тождественностью состава, но отличаются от них меньшими размерами, жило- и гнездообразной формой, зональным внутренним строением, неравномерностью в размерах зерен, крупными кристаллами части слагающих их минералов и наличием продуктов метасоматической переработки первичных минеральных ассоциаций магматического происхождения.

I. Магматогенные пегматиты

1.1. Гранитные пегматиты



1.2. Щелочные пегматиты

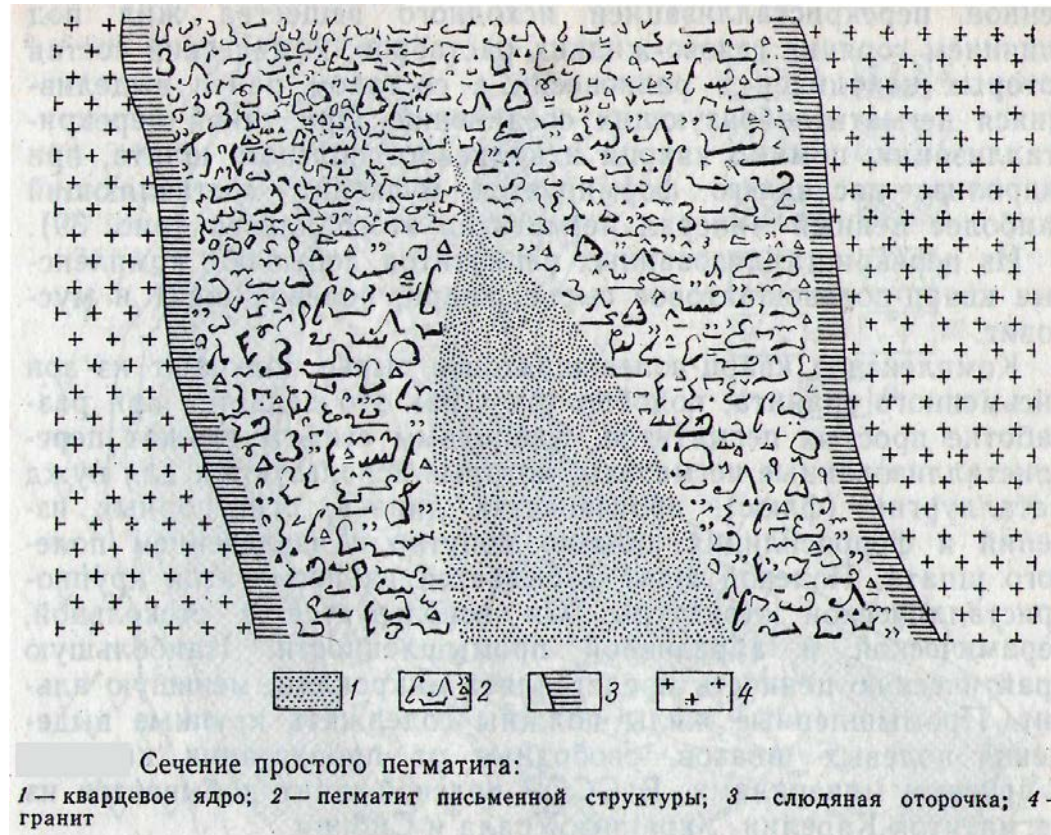
состоят из микроклина или ортоклаза, нефелина или содалита, эгирина, гакманита, натролита, арфведсонита с примесью апатита, анальцима, а также минералов циркония, титана, ниобия и редких земель.

- 1.3. Пегматиты, связанные с магматическими телами *ультраосновного* или *основного состава* (габбро-пегматиты, бронзититы и др.), сложены основным плагиоклазом (анортит-битовнит), средним плагиоклазом (лабрадор-андезин), ромбическим пироксеном (бронзит), в меньшей степени оливином, амфиболом, биотитом с примесью апатита, граната, сфена, циркона, титаномагнетита, магнетита, иногда сульфидов (пирротин, пентландит, халькопирит).

Подавляющее количество пегматитов связано с гранитными породами. Во всех случаях родственные пегматитам гранитоиды отличаются повышенной кислотностью или щелочностью, полной дифференциацией и многофазностью внедрения.

В зависимости от состава и строения пегматиты делят на **простые и сложные** (Смирнов, 1982).

Простые гранитные пегматиты состоят в основном из калиевого полевого шпата, кварца и мусковита, а также редких металлов, тяготеющих преимущественно к границе кварцевого ядра и микроклиновой зоны, но распространяющихся и в стороны от нее, особенно в область микроклиновой зоны.



Сложные гранитные пегматиты имеют более разнообразный минеральный состав и, как правило, зональное строение. В структуре зональных гранитных пегматитов выделяются оболочка, внутренняя часть и неправильные метасоматические скопления.

Все они составляют пять главных элементов зональной структуры:

Первой, самой внешней зоной, является тонкозернистая оторочка мусковит-кварц-полевошпатового состава, по ширине редко превышающая несколько сантиметров.

Вторая зона сложена кварц-полевошпатовой массой письменной и гранитной структуры.

Третья зона состоит из мономинеральной массы или блоков микроклина.

Четвертую зону образует кварцевое ядро.

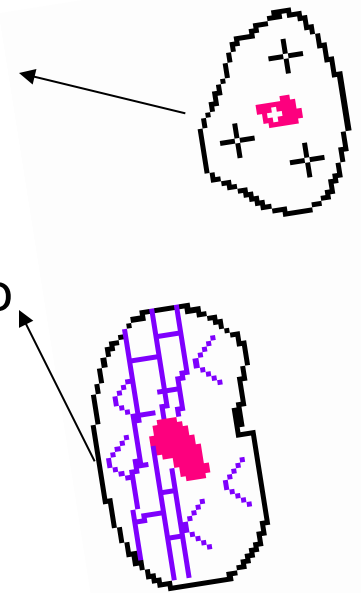
Пятая зона не всегда проявлена и менее отчетлива. Она представлена неправильными скоплениями кварца, альбита, мусковита, сподумена и минералов



Гранитные пегматиты, по А.Е. Ферсману, можно разделить на **пегматиты чистой линии** и **пегматиты линии скрещения** (гибридные пегматиты).

Пегматиты чистой линии, не испытавшие усложнения состава в процессе формирования, залегают в гранитах или тождественных им по минеральному и химическому составу породах.

Пегматиты линии скрещения образуются среди иных формаций, что отражается на их составе. В этих условиях возникают гибридные пегматиты, ассимилировавшие вещество боковых пород, и десилицированные пегматиты, отдавшие часть своего кремнезема вмещающим породам, недосыщенным этим соединением.



- **Гранитные пегматиты чистой линии** сложены **калиевым полевым шпатом** (ортоклаз, микроклин), **кварцем**, **плагиоклазом** (альбит, олигоклаз) и **биотитом**; кроме главных пегматитообразующих минералов в них концентрируются в разной степени сподумен, мусковит, турмалин, гранат, топаз, берилл, лепидолит, флюорит, апатит, минералы редких и радиоактивных элементов, а также редких земель.
- **Гибридные пегматиты**, образованные при ассимиляции глиноземистых пород (например, глинистых сланцев или основных пород), обогащаются такими минералами, как **андалузит**, **кианит**, **силлиманит**. Подобного рода пегматиты, ассимилировавшие карбонаты кальция, магния и железа, содержат **роговую обманку**, **пироксены**, **титанит**, **скаполит** и другие минералы. Десилицированные пегматиты в ультраосновных и карбонатных породах представлены обычно **плагиоклазитами** состава от альбититов до анортититов. При пересыщении глиноземом возникают **корундовые плагиоклазиты**.

В зависимости от места положения пегматиты делятся на:
сингенетичные (шлировые, камерные) и **эпигенетические** (выжатые).

Для сингенетичных пегматитов характерно:

1. залегание в гранитоидных породах;
2. постепенные переходы от гранитов к пегматитам;
3. изометричная форма;
4. отсутствие аплитовой оторочки;
5. наличие миароловых пустот.

Для эпигенетических пегматитов характерно:

1. размещение как в гранитоидах, так и вне интрузий в области экзоконтакта;
2. размещение пегматитов контролируется дизъюнктивной тектоникой;
3. жильная форма тел;
4. резкие контакты с вмещающими породами;
5. наличие аплитовых оторочек;
6. слабое развитие миароловых пустот.

Классификация пегматитов (по В.И. Смирнову):

1. Простые пегматиты (карц+полево́й шпат)
2. Перекристаллизованные пегматиты (карц+полево́й шпат+мусковит)
3. Метасоматически замещенные пегматиты (карц+полево́й шпат+мусковит+редкие металлы+драгоценные и поделочные камни)
4. Десилицированные (гибридные) пегматиты (плагиоклаз+корунд)

На сегодняшний день существуют противоречивые сведения не только об общей теоретической трактовке их происхождения, но и о последовательности хода процессов формирования этих месторождений.

Несмотря на расхождения во мнениях по поводу генезиса пегматитов, все исследователи единодушны в том, что **процесс формирования их является очень сложным, длительным, протекавшим в изменившихся физико-химических условиях.**

Существует 3 (три!!!) основных группы гипотез.

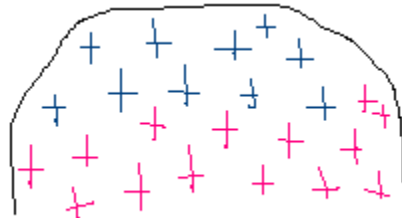
1. Формирование пегматитов происходит **из остаточных гранитных расплавов**. Наиболее чётко она изложена *Д.Е. Ферсманом* в книге «Пегматиты».
2. Пегматиты возникли из обычных магматических пород (гранитов, гранитаплитов) **путём перекристаллизации** этих пород и их метасоматического преобразования. Остаточный пегматитовый расплав не существовал!!! Наиболее полно эта гипотеза сформулирована *А.Н.Заварицким* (1947) и развита *В.Д.Никитиным*.
3. Пегматиты формируются в два этапа. На *первом* формировались **из остаточного магматического расплава** простые зональные пегматиты. На *втором этапе* под воздействием гидротермальных растворов происходит **перекристаллизация и метасоматическая переработка** ранее сформированных пегматитов. Наиболее обстоятельно её рассматривают *Е.Камерон, К.Ландес (США), В.А.Николаев, В.С. Соболев*.

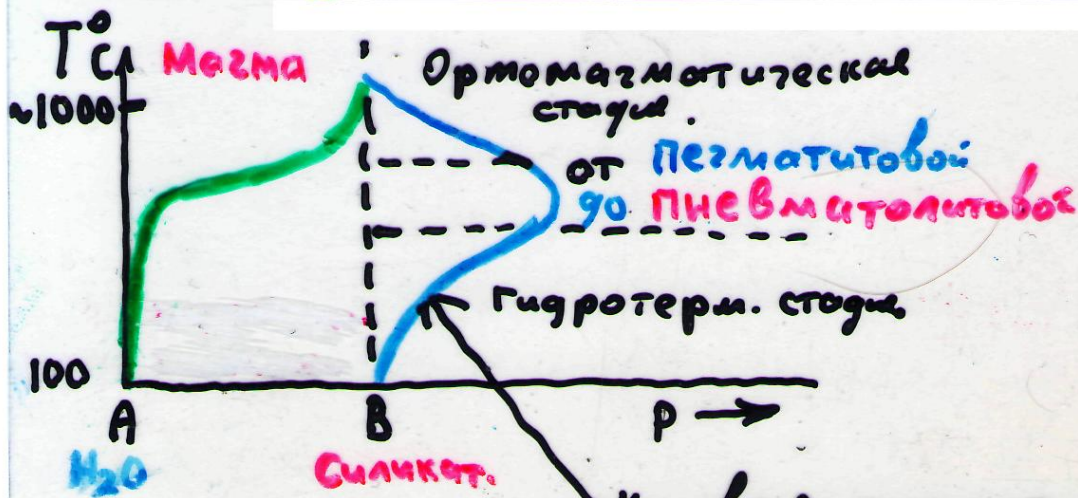
Существует также точка зрения, что пегматиты в метаморфических толщах образуются **в результате регрессивного метаморфизма** (выборочная мобилизация и собирательная перекристаллизация, иногда с плавлением).

Гипотеза А.Е. Ферсмана

Кристаллизация магмы, содержащей жидкие и летучие компоненты (H_2O , CO_2 , F, B, Cl, и др.), сопровождается накоплением этих веществ в остаточной части магмы, которая имеет высокую подвижность и пониженную температуру кристаллизации.

Этот расплав накапливается в апикальных частях интрузий и медленно кристаллизуется.





Кривая упругости пара.
 Диаграмма t° и состава, t° и P для системы H_2O (фаза А) и **Силиката** (фаза В).
 (по П. Ниггли)

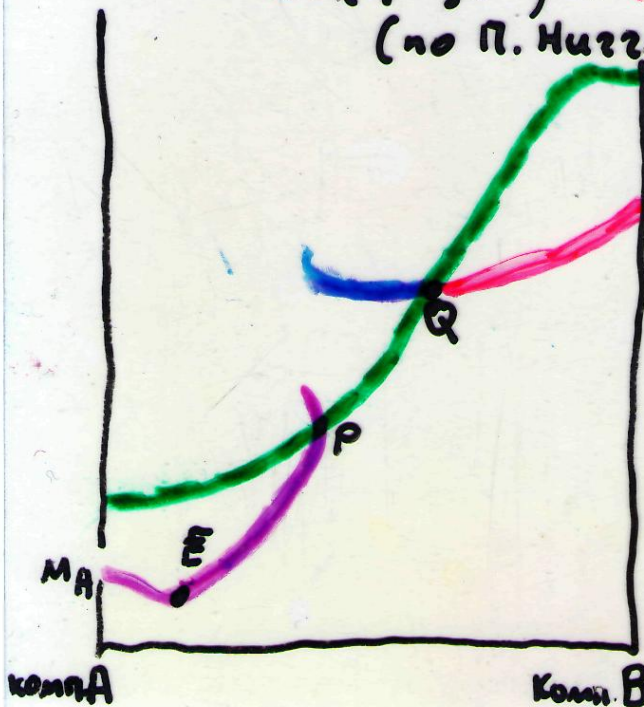


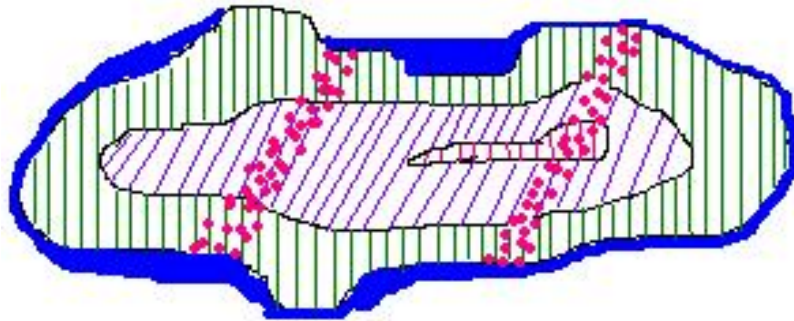
Диаграмма системы
 Силикат - летучий
 компонент (по Фогту)
 — критическая кривая
 жидкость - пар.
 MB Q - кристаллизация
 магмы и конденсация
 её летучих.
 В точке Q магма насы-
 щается летучими и получает
пегматитовый состав
 идёт кристаллизация этой рас-
 плава. С точки R - гидротерм

В соответствии с этим А.Е. Ферсман выделял 5 этапов и 11 фаз пегматитообразования.

Магматический этап	Фаза А -завершение отвердевания магмы, 800-900⁰ Фаза В -эпимагматическая. Образуется аплитовая оторочка 800-700⁰
Пегматитовые этапы	Фазы С, Д, Е – КПШ+Кв, граф. структура 700-600⁰ . Ms, турмалин, топаз 600-500⁰ .
Пневматолитовый этап	Фазы F и Q твердая фаза + газовый флюид. Замещение ранее образованных минералов Alb, Li слюд 500-400⁰ .
Гидротермальный этап	Фазы H-I-K сульфиды, слюды, флюорит, карбонат 400-50⁰ .
Гипергенный этап	Фаза L – преобразование в зоне выветривания

Слабые стороны гипотезы:

1. Трудности объяснения зональности
2. Трудно объяснить (если система была закрытой) пересечение пегматитов жильными минералами поздних стадий



3. Не учитывался тектонический фактор, который раскрывал системы
4. Не учитывался факт ограниченной растворимости H_2O в магме (10%)

2. Гипотеза А.Н.Заварицкого-В.Д.Никитина.

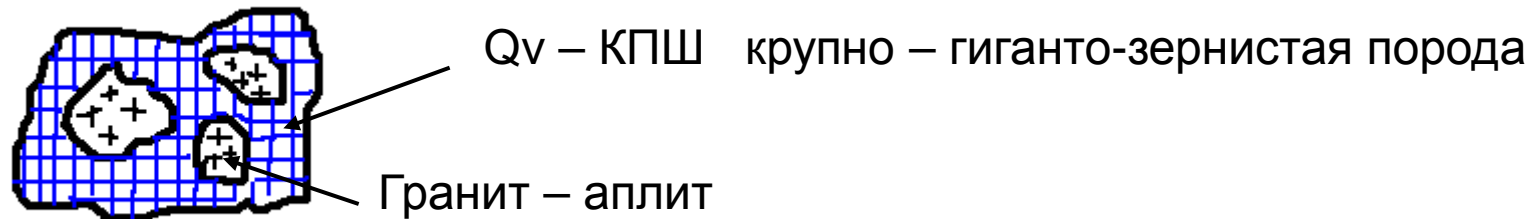
Согласно этой гипотезе, ПЕГМАТИТЫ образуются по следующей схеме:

1. Происходит внедрение даек м/з гранитов, аплитов, граносиенитов. Магма, из которой формируются дайки насыщена газово-водными растворами. При застывании магмы в форме даек газово-водный раствор находится в состоянии равновесия с кристаллизующейся породой. А.Заварицкий исходил из того, что растворимость летучих компонентов в магме, **ОГРАНИЧЕНА**, а следовательно – не возникают критические точки, которые есть на диаграмме П.Ниггли.
2. Находящиеся в равновесии газово-водные растворы создают условия для перекристаллизации данных пород. Возникают крупно-гигантозернистые породы (письменные граниты) по составу отвечающие составу исходных пород. Такая собирательная кристаллизация требует длительного времени и условий термостатирования. Система была замкнутой.

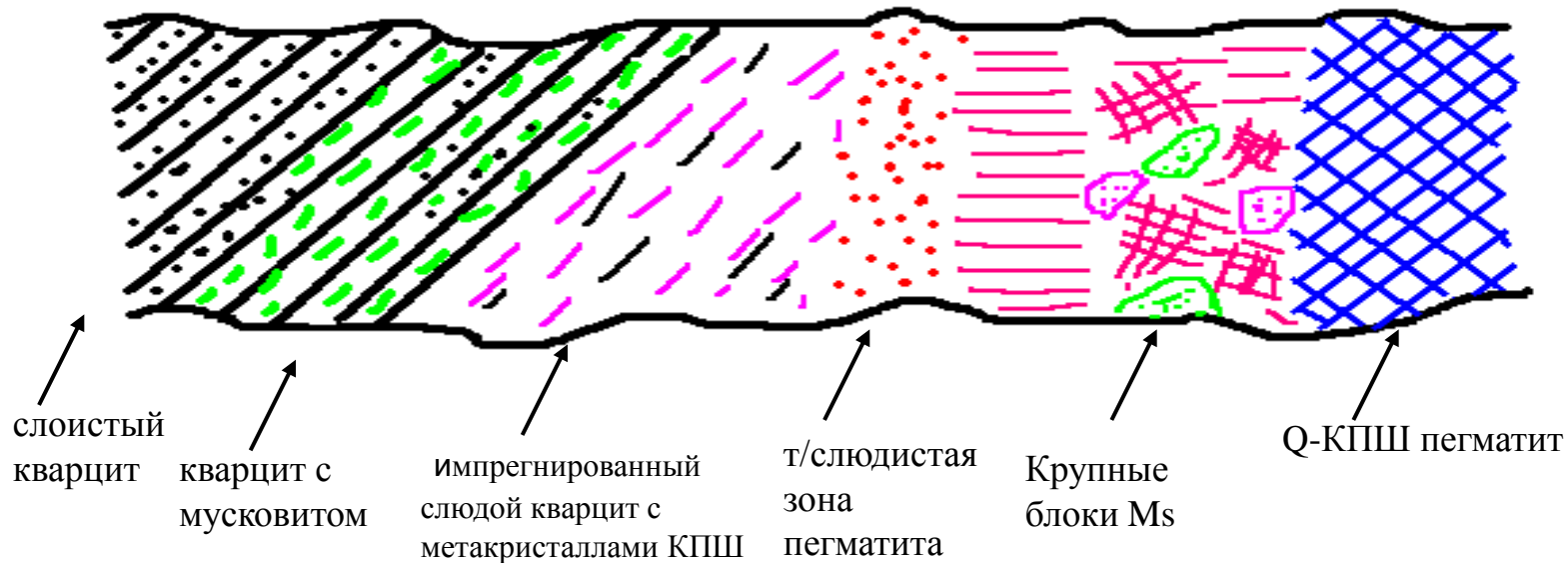
3. Вследствие фракционной дистилляции при диффузии газовой-водного раствора происходит нарушение химического равновесия. Начинается растворение ранних минералов. Система становится открытой.
4. Из глубинных источников поступают новые порции растворов с теми или иными химическими элементами. Данная стадия отчетливо фиксируется по появлению альбита.

Гипотеза имеет много фактических доказательств:

1. Находки реликтов исходных пород в пегматитах



2. Постепенные переходы между пегматитами и вмещающими породами



3. Постепенные переходы между аплитом и пегматитом в пределах одной жилы
 4. Зависимость минерального состава от состава вмещающих пород
- А. Н. Заварицкий определял пегматиты как переходные (промежуточные) образования от интрузивных пород к гидротермальным рудным жилам.

Однако и она имеет ряд трудно объяснимых моментов:

1. Не все пегматиты сопровождаются изменениями вокруг них.
2. Сложно объяснить образование однотипных пегматитов в разнообразных по составу породах кровли интрузива и почему именно в кровле?

3. Гипотеза Е. Камерона, К. Ландесса.

Эти исследователи по структурно-текстурным составляющим отчётливо делят пегматиты на 2 группы:

- а) Зональное заполнение пегматитовой полости.
- б) Метасоматическое преобразование раннее образованных пегматитов.

На первом этапе система закрыта для привноса, но открыта для выноса.

На втором этапе система открывается полностью.

Происходит полное метасоматическое преобразование пород.

По данной гипотезе физико-химическая система становится открыта с пневматолитового этапа А. Е. Ферсмана.

Сопоставление гипотез образования пегматитов

Гипотеза	Роль остаточного магматического расплава	Роль метасоматических процессов Источник растворов	Степень замкнутости системы	Степень растворимости легколетучих в магме
Остаточного расплава А.Е. Ферсман и Ко	Определяющая	Вспомогательная внутри пегматитов	Замкнутая	Неограниченная
Метасоматического преобразования А.Н. Заварицкий	Отрицается	Определяющая внутри пегматитов, глубинный	В начале открытая, затем открытая для выноса и привноса	Ограниченная
Остаточного расплава и метасоматического преобразования (геологи США)	Учитывается	Важная глубинный	В начале открытая для выноса, затем полностью открытая	Не рассматривается

Полезные ископаемые

- **Керамическое сырьё** локализуется в простых пегматитах.
 - **Слюда мусковит** добывается из перекристаллизованных пегматитов.
 - **Редкие металлы** (*Li, Be, Cs, Rb, Ta, Nb* и др.), а также **горный хрусталь, флюорит, криолит** ($Na_3 AlF_6$) добывают из метасоматически замещённых пегматитов.
 - **Корунд (сапфир, рубин)** добываются из десицированных пегматитов (существует точка зрения, что последние представляют собой грейзены, развитые по ультраосновным породам).
- В ассоциации с пегматитами весьма часто связаны **грейзеновые месторождения с W, Sn, Ta-Nb.**