

ПЕТРОГРАФИЯ

Лекция 2

Магматическая дифференциация или эволюция магмы.

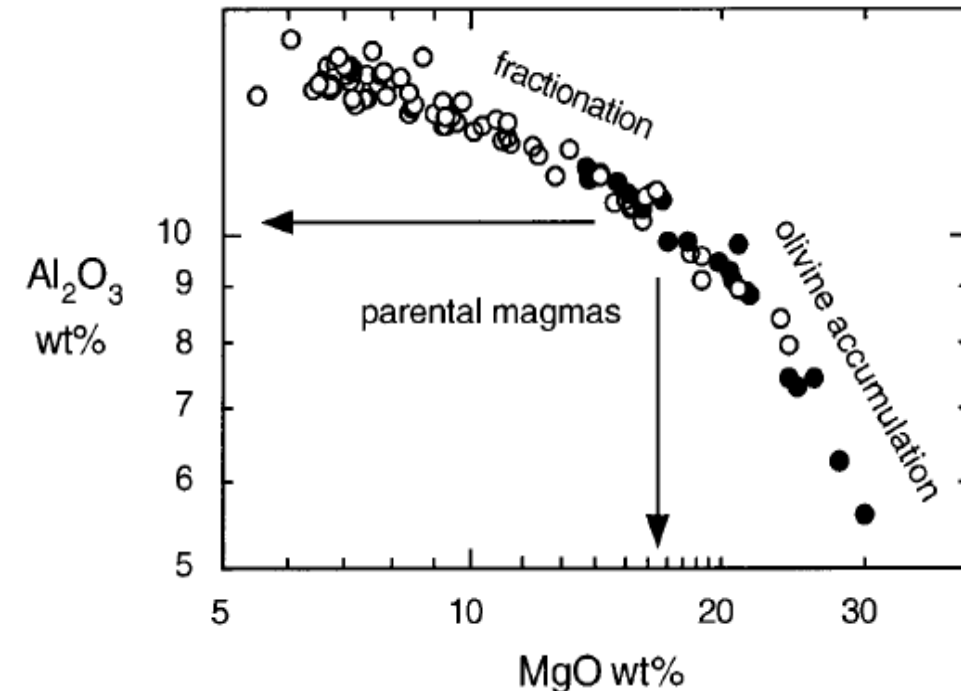
Нельзя говорить, что каждая горная порода образовалась из своей магмы.

Попадая в новые термодинамические условия верхних частей Земли, так называемая, *материнская магма* изменяет свой состав.

Этот процесс носит название *магматический дифференциации* или *эволюции магмы* или *магматического фракционирования*.

При этом исходная гомогенная масса дает фракции различного состава — жидкие или кристаллические.

Возникает ряд или *серия магматических пород*, характеризующихся систематическим химическим изменением, генетически связанных процессами дифференциации.





Процессы, обуславливающие разнообразие пород.

Эволюционные процессы (изменение состава расплава) осуществляются по 5 главным механизмам:

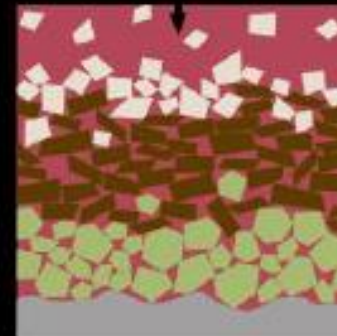
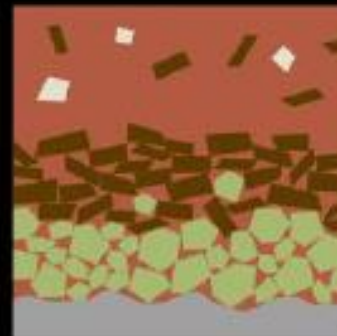
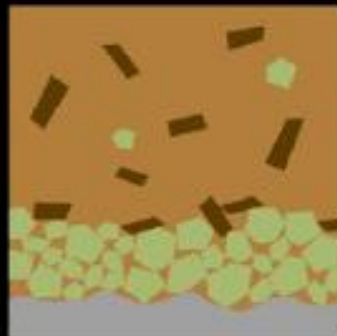
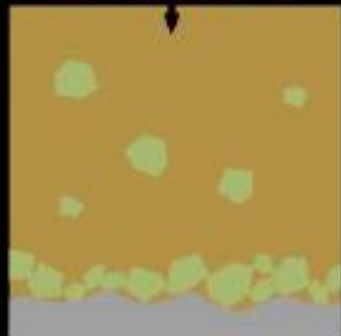
- при кристаллизации магмы (кристаллизационная дифференциация),
- при взаимодействии магмы с флюидами (флюидно-магматическая дифференциация),
- в результате ликвации,
- в результате частичной или полной ассимиляции твердых горных пород жидкой магмой,
- в результате смешения самостоятельных магм.

1. Кристаллизационная дифференциация

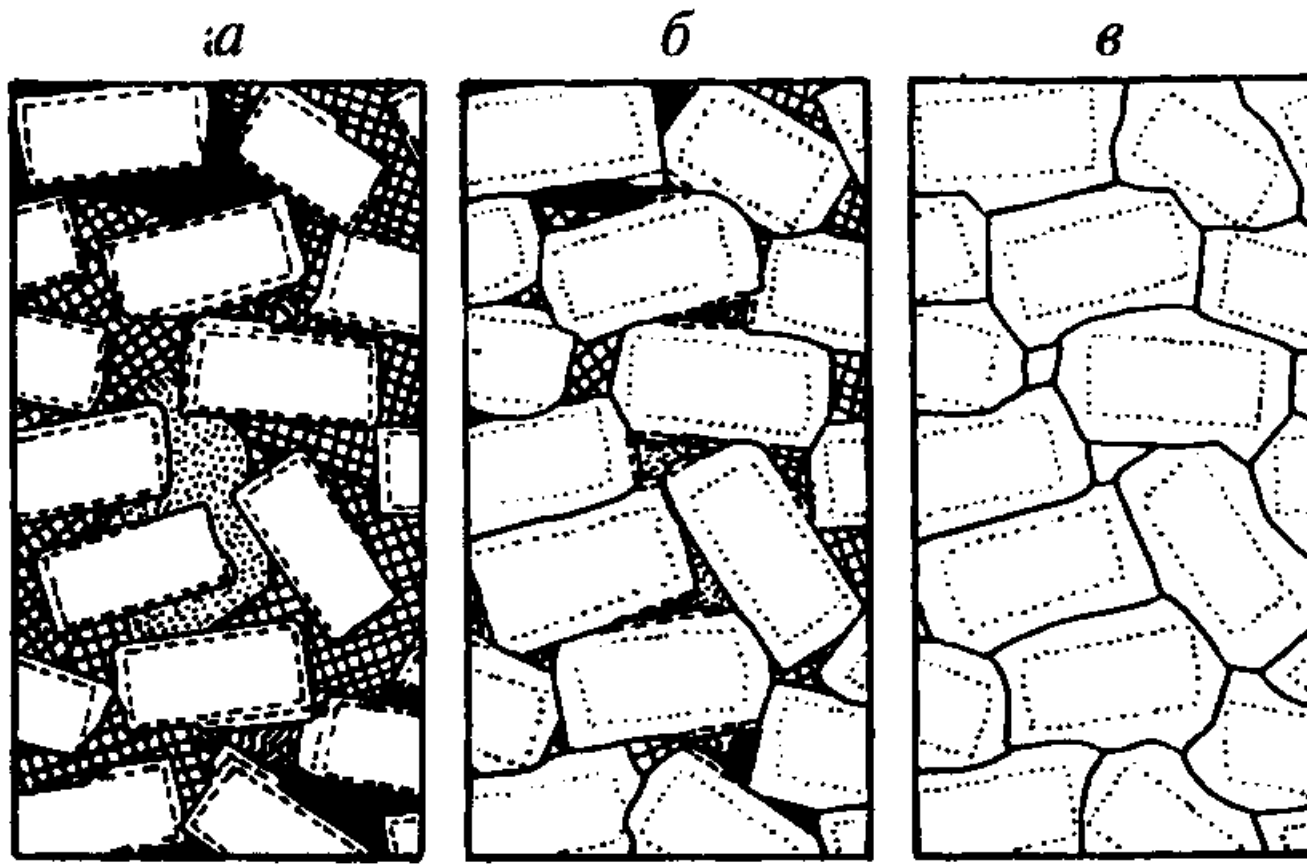
Сущность этого процесса заключается в том, что кристаллы, выделяющиеся из магмы, закономерно отличаются от нее по составу (являются **более основными и магнезиальными**).

Обычно они отличаются от магматического расплава по плотности и поэтому естественен процесс их отделения от магмы (например, погружение более плотных кристаллов) с изменением состава остаточного расплава.

Кристаллизация
И оседание

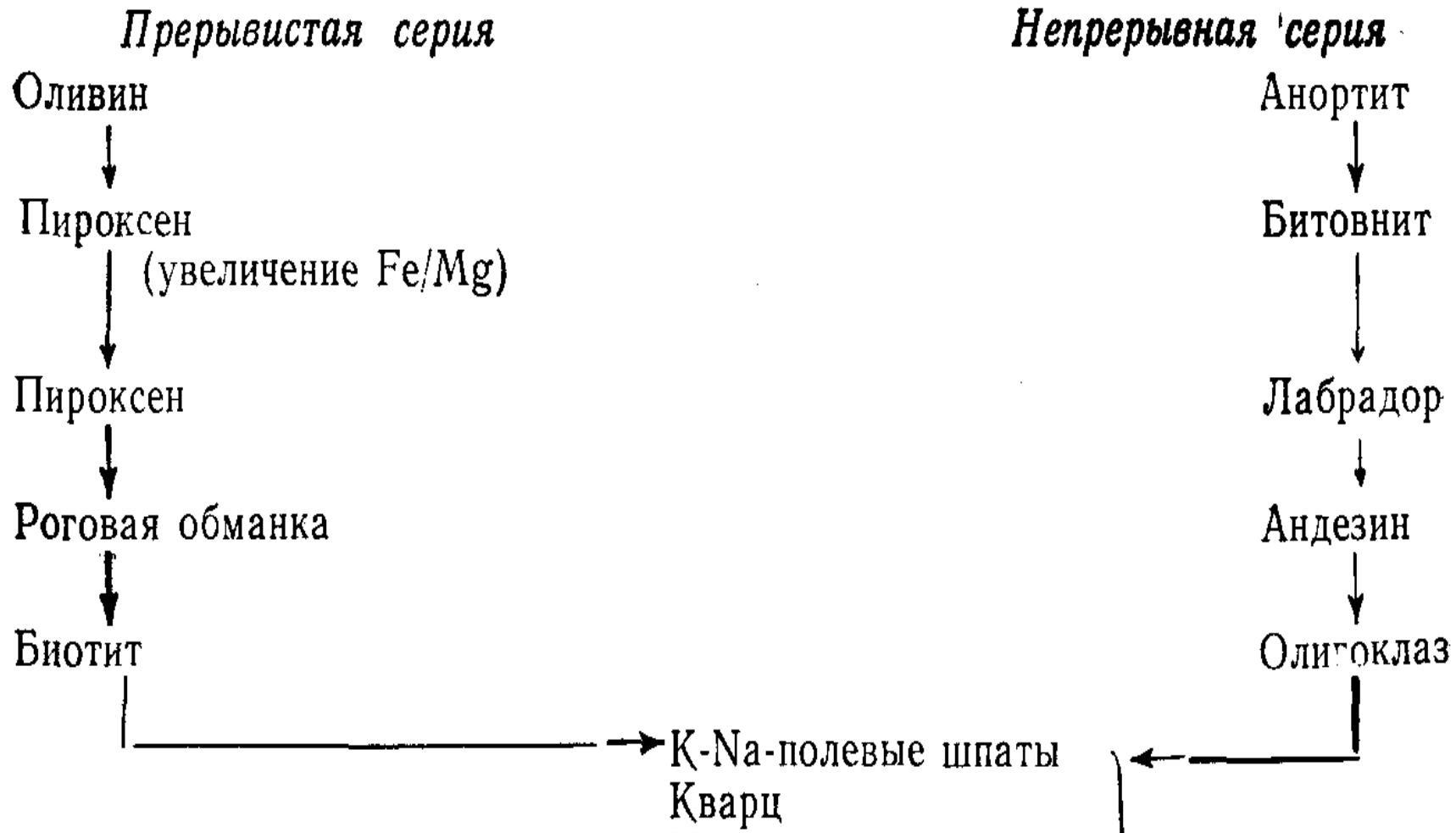


Cooling

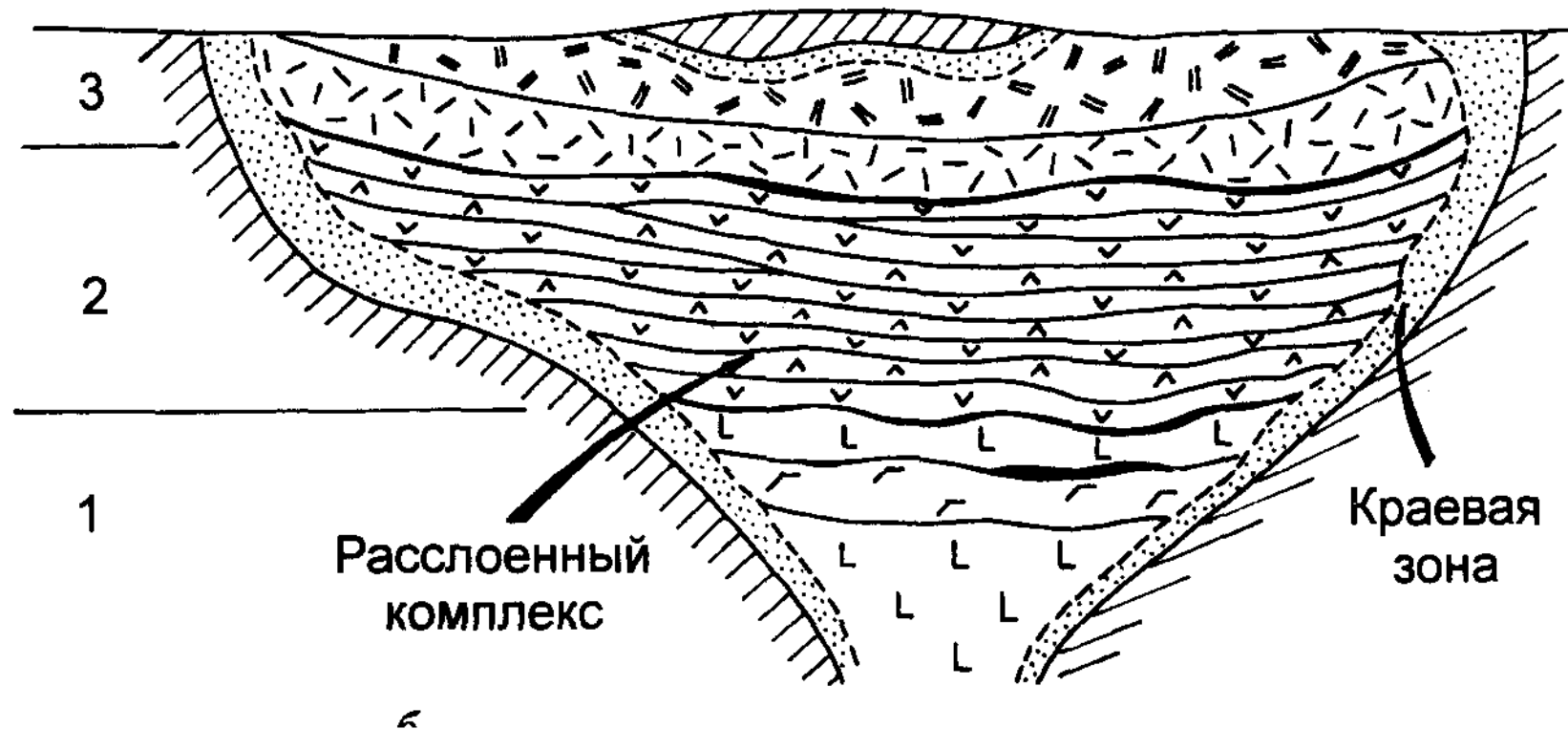


Типы
кумулятивных
структур: а —
ортокумулятивная,
б —
мезокумулятивная,
в —
адкумулятивная.

В процессе кристаллизационной дифференциации первичные магмы разделяются на **дифференциаты** — остаточные расплавы и **кумуляаты** — скопления кристаллических фаз. Самым распространенным механизмом формирования кумулатов является гравитационное осаждение ранних кристаллических фаз (оливин, пироксен, хромовая шпинель) вблизи подошвы магматических камер.



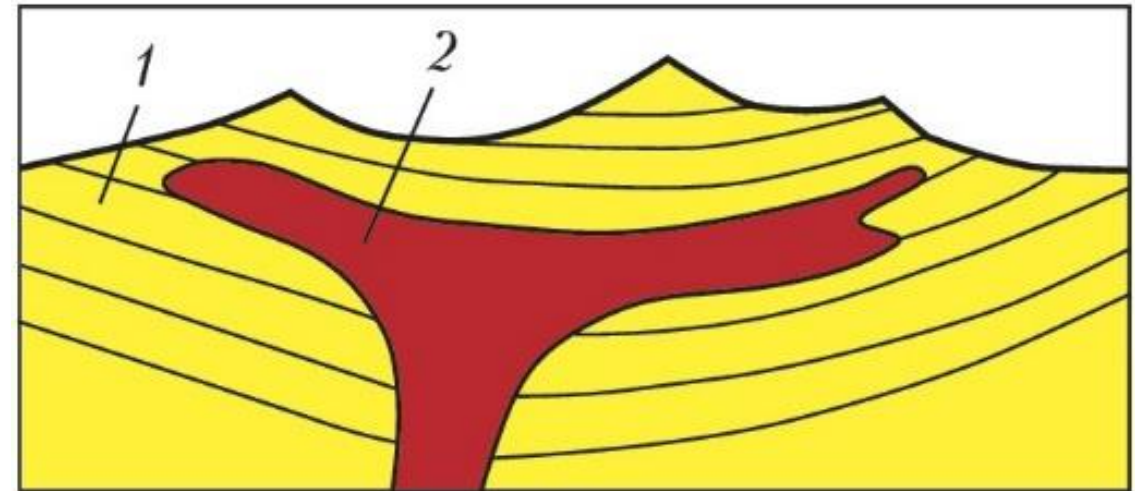
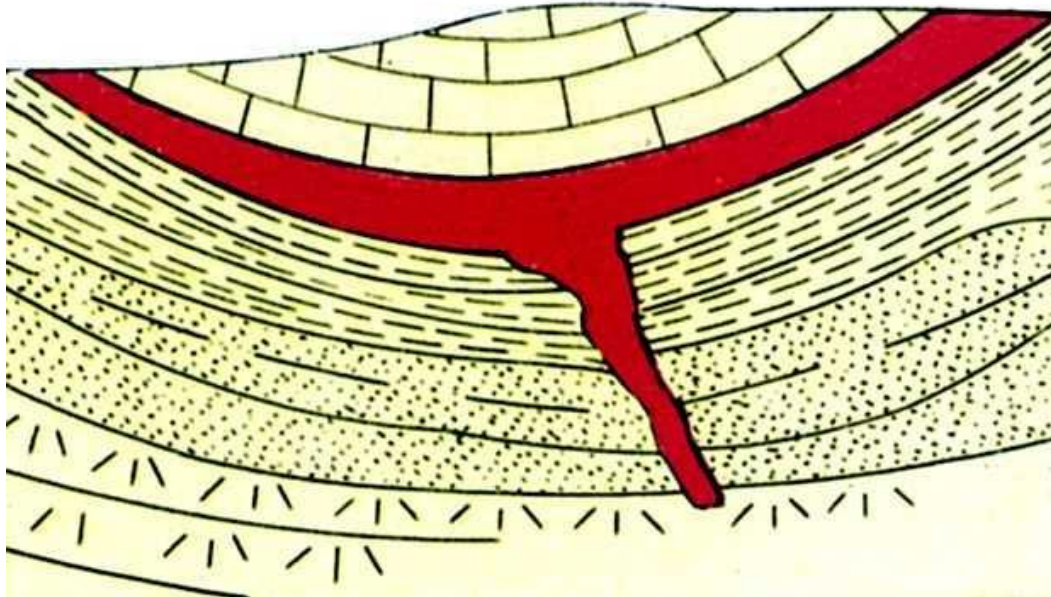
Боуэном была установлена последовательность выделения кристаллов из магм основного состава — **ряд Боуэна**.



Расслоенные плутоны — принципиальная схема строения (разрез): 1 — ультрамафиты, 2 — габбро и нориты, 3 — феррогаббро и ферродиориты;

Некоторые докембрийские плутоны имеют очень крупные размеры.

- Например, **Бушвельдский лополит** в Южной Африке (возраст 2 млрд лет) достигает 400 км в поперечнике, а его объем составляет около 10^5 км^3 ;



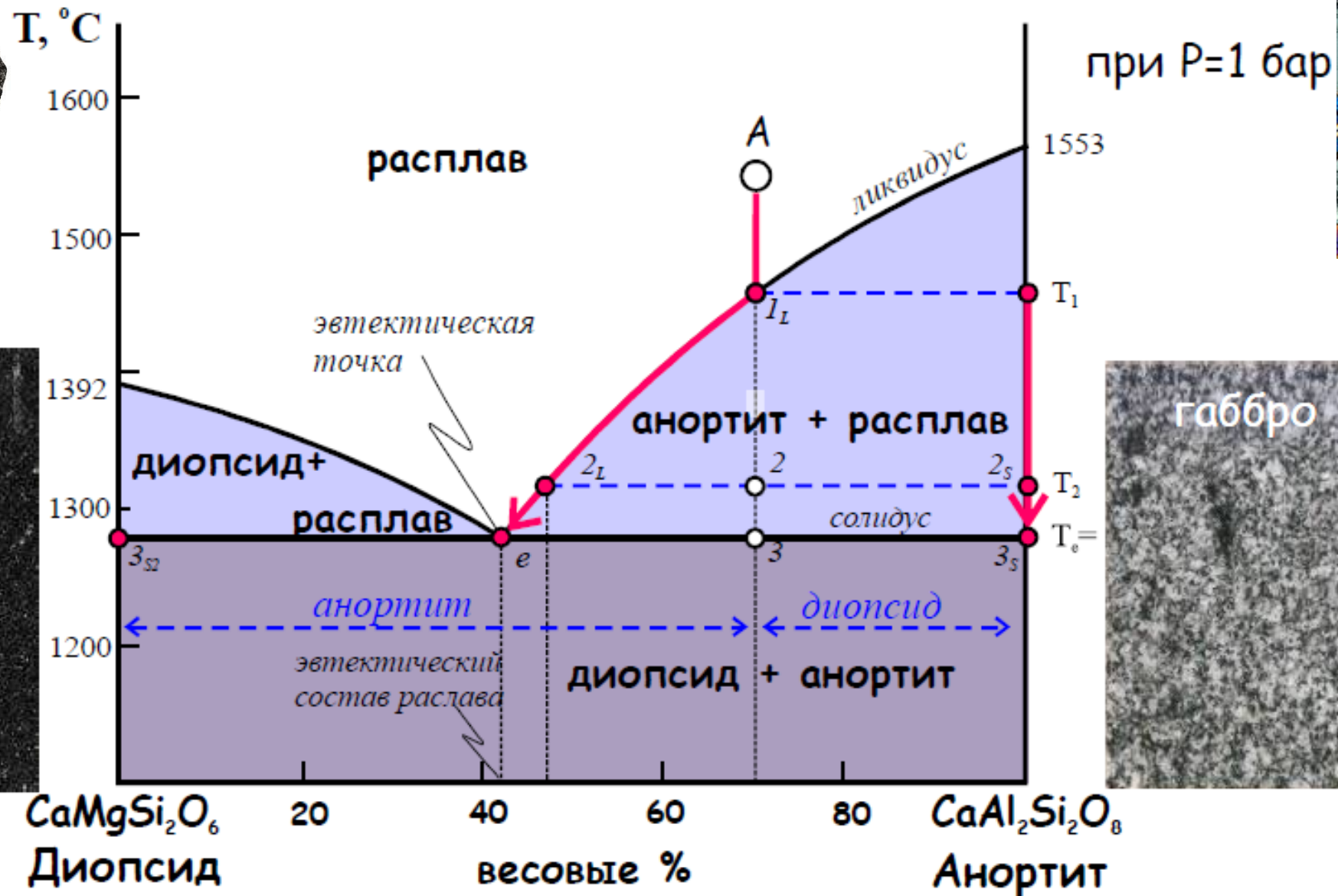
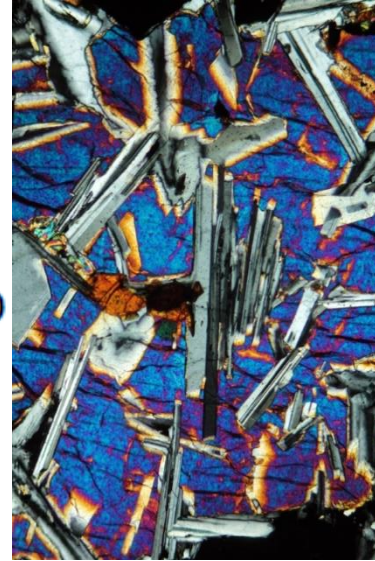
- **массив Стиллаутер в Скалистых горах** на западе США (возраст 3.2 млрд лет) прослежен на расстоянии более 50 км, его объем оценивается в 10^4 км^3 ; верхняя треть массива размыта.

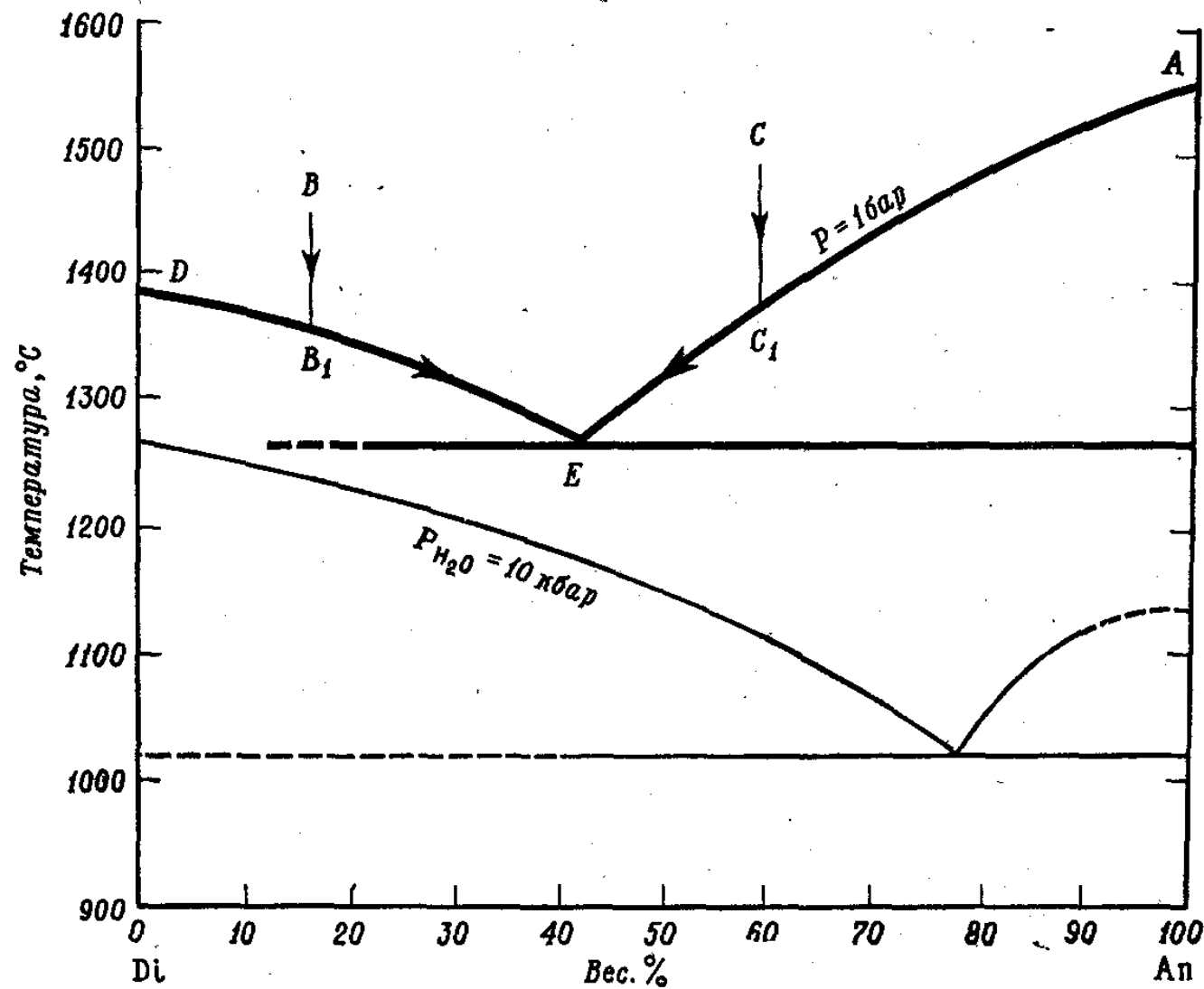
Довольно показательна кристаллизация расплава, состоящего из двух компонентов.

В этом случае возможны два варианта кристаллизации:

- 1) когда компоненты не способны образовывать твердые растворы (т. е. при их **несмесиности в твердом состоянии**) и
- 2) когда компоненты могут образовывать **непрерывную серию твердых растворов.**

Диаграммы плавкости с эвтектикой (без твердых растворов) «с птичкой»

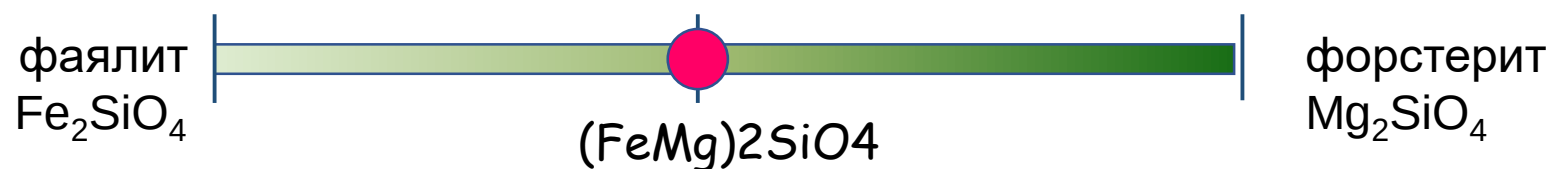




Фазовые взаимоотношения в системе диопсид-анортит. Показано понижение температуры эвтектики и изменение ее состава в результате увеличения давления паров воды (по Йодеру, 1969).

Твердые растворы

Твёрдые растворы — это однородные твердые вещества, в которых концентрации компонентов могут быть изменены без нарушения однородности этого вещества.

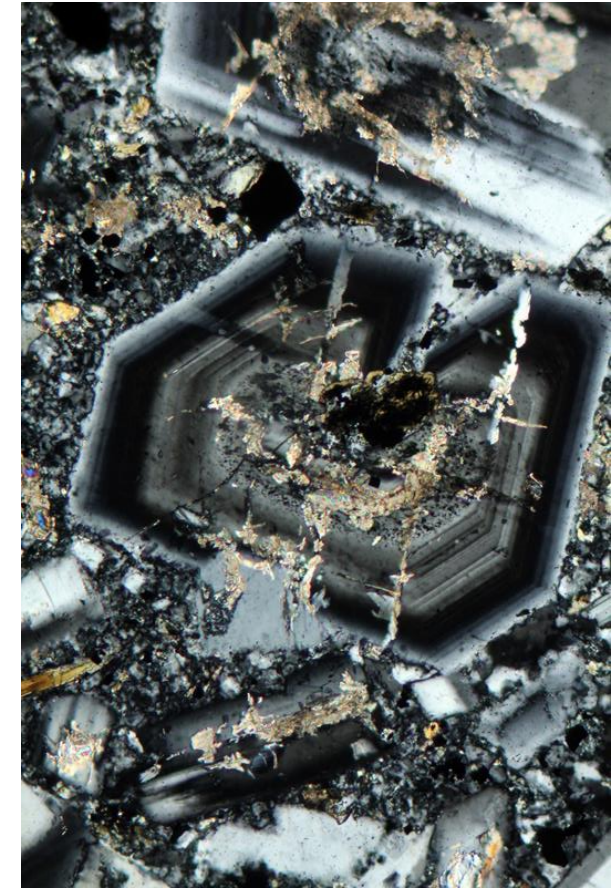
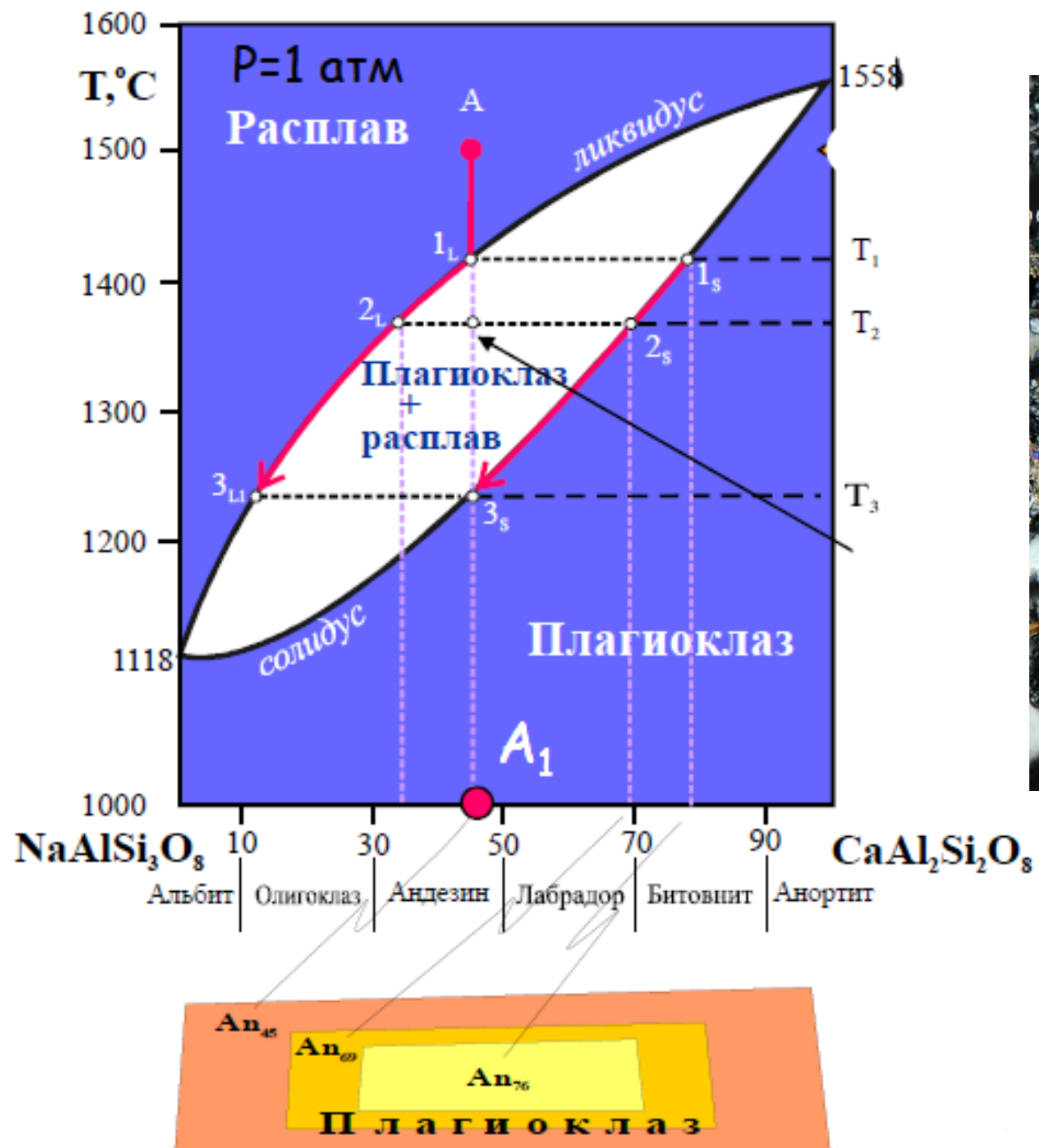


Например, оливин, $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$, - твердый раствор железистого (Fe_2SiO_4 , фаялит, Fa) и магнезиального (Mg_2SiO_4 , форстерит, Fo) оливинов. Фаялит и форстерит - конечные члены твердого раствора оливина.

Свойствами твердых растворов обладают почти **все породообразующие минералы**, дающие изоморфные ряды (плагноклазы, пироксены, оливины, амфиболы и т. д.).

В процессе кристаллизации происходит непрерывная реакция между выделившимися кристаллами и расплавом, вследствие чего изменяются составы расплава и кристаллов в направлении обогащения менее тугоплавким компонентом.

Диаграммы плавкости с образованием твердых растворов «с рыбкой»



Рассмотрим кристаллизацию двух минералов, образующих непрерывную серию твердых растворов на примере плагиоклазов.

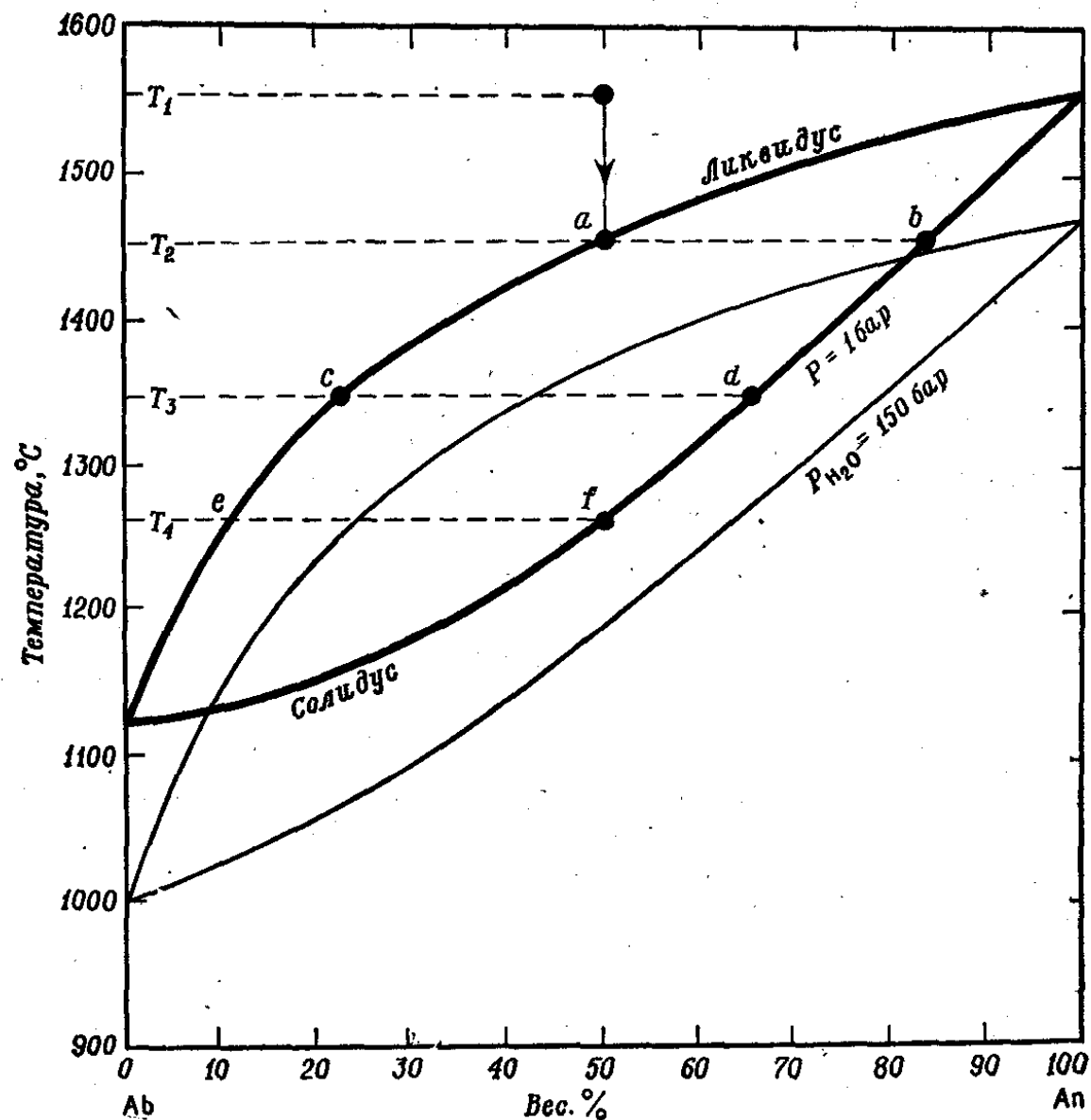
Кривая **солидуса** показывает изменение состава **твердой фазы** по мере падения температуры, а соответствующие изменения состава **жидкости** фиксируются кривой **ликвидуса**.

Если исходный расплав имеет 45 % анортита (An) и 55 % альбита (Ab) (т.А), из расплава выделится небольшое количество кристаллов с составом 1s (чуть менее 80 %An). Выделение этих кристаллов приведет к изменению состава расплава, который по сравнению с исходным становится богаче альбитовым компонентом.

При понижении температуры этот расплав взаимодействует с выделившейся твердой фазой, постепенно изменяя ее состав по кривой солидуса.

Если охлаждение происходит быстро, полное равновесие между твердой фазой и жидкостью не наступает, образуются кристаллы плагиоклаза с зональным строением. У плагиоклазов с общим составом, отвечающим лабрадору, центральные части кристаллов могут быть представлены плагиоклазом с 80 % An, а внешние зоны – с 5 %An.

Зональные плагиоклазы характерны для пород, кристаллизовавшихся в гипабиссальных или поверхностных условиях.



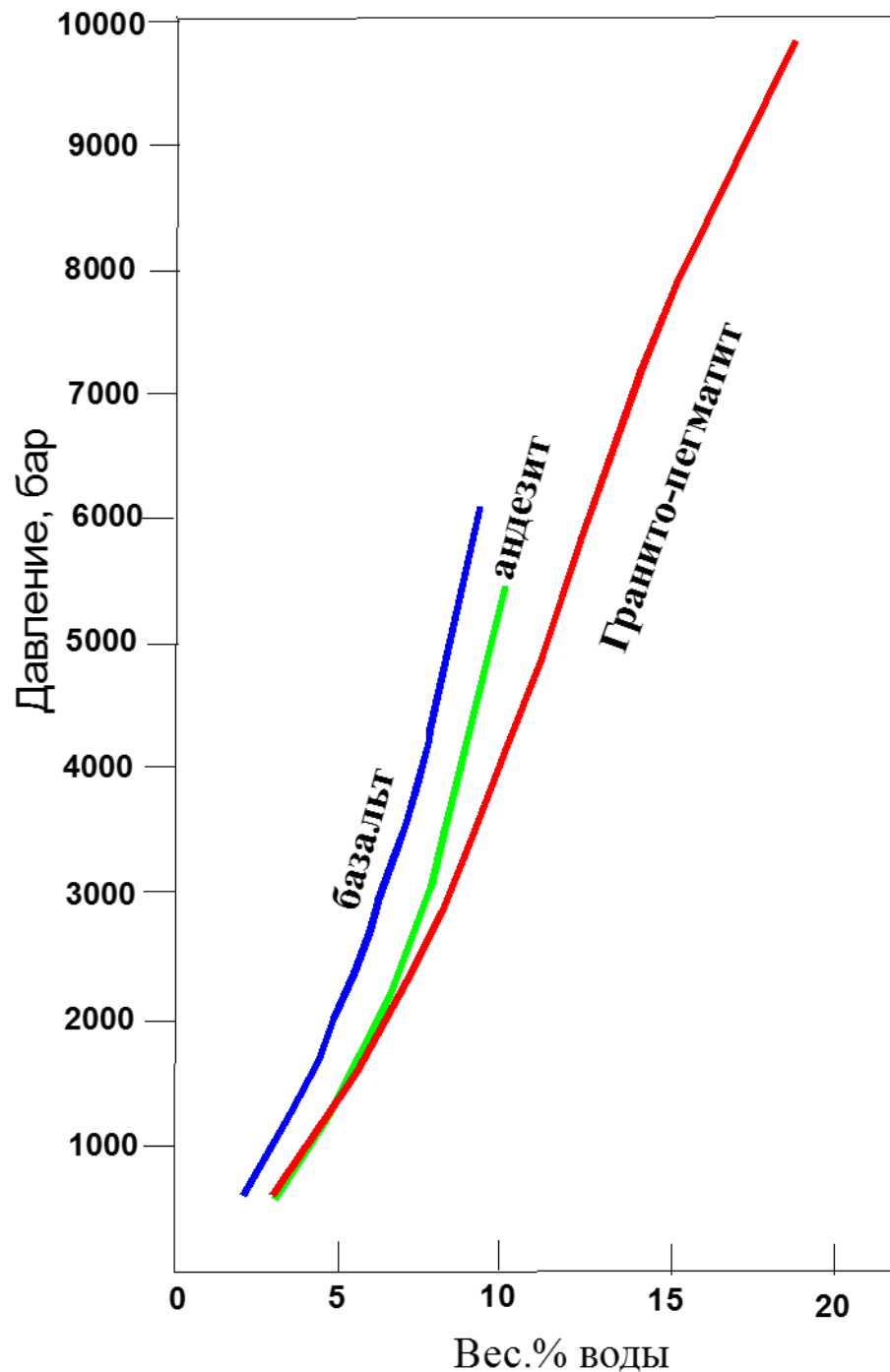
Присутствие воды в расплаве понижает температуры солидуса и ликвидуса.

Фазовая диаграмма кристаллизации плагиоклазов в отсутствие воды (жирные линии) и при давлении паров воды 150 бар (тонкие линии) (по Боуэну и Йодеру).

2. Флюидно-магматическая дифференциация

- В магматической камере могут происходить крупномасштабные диффузионные явления под влиянием воды и других летучих компонентов.
- За геологически продолжительные периоды времени существования магматического расплава происходит концентрация H_2O в тех его частях, где устанавливаются более низкие температуры и давления (т. е. в верхних горизонтах).
- При этом щелочи и некоторые металлы будут реагировать с водой и вместе с ней концентрироваться в участках наименьших давлений и температур.

•



Сопоставление растворимости воды в силикатных расплавах различного состава:
1 - базальт (1100°C); 2 - андезит (1100°C);
3 - гранито-пегматит (695°C).

Во флюиды, равновесные с магмами, переходят компоненты, избыточные по отношению к эвтектическим составам, таким образом, трансмагматические флюидные потоки способствуют направленной эволюции магматических расплавов. По мере этой эволюции в ряду щелочноземельных пород возникают все более кремнекислые расплавы, бедные магнием, кальцием, железом: базальты — андезиты — дациты — риолиты. При этом усиливается сродство силикатных расплавов по отношению к флюидным компонентам. Об этом можно судить по растворимости в них H_2O , которая существенно возрастает в указанном ряду пород.

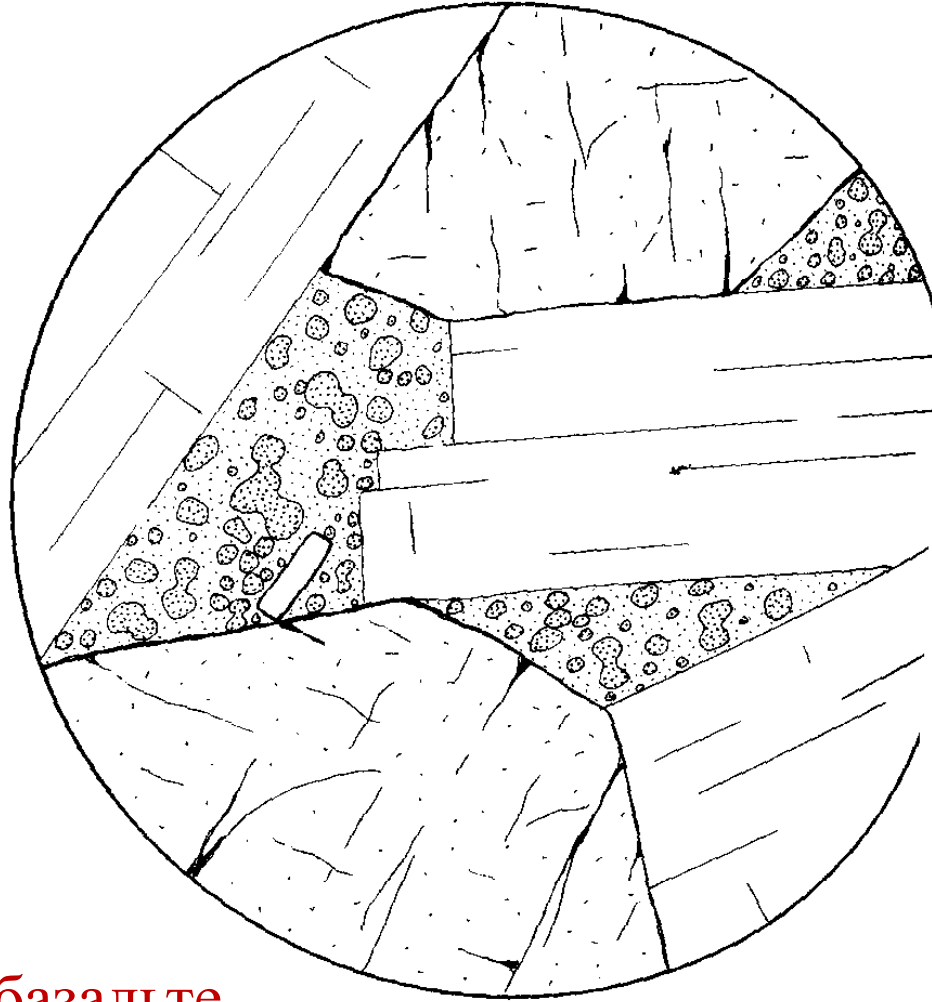
3. Ликвация – расщепление на две несмешивающиеся жидкости.

Если магма расщепляется на две несмешивающиеся жидкости неоднородного состава, то продукты кристаллизации каждой из них будут различны, следовательно, ликвация (несмесимость жидкостей) является причиной дифференциации магматических пород.

Такие примеры, как включения сульфидов в основных породах, изученные лунные базальты и др., отчетливо продемонстрировали явление ликвации в магмах.

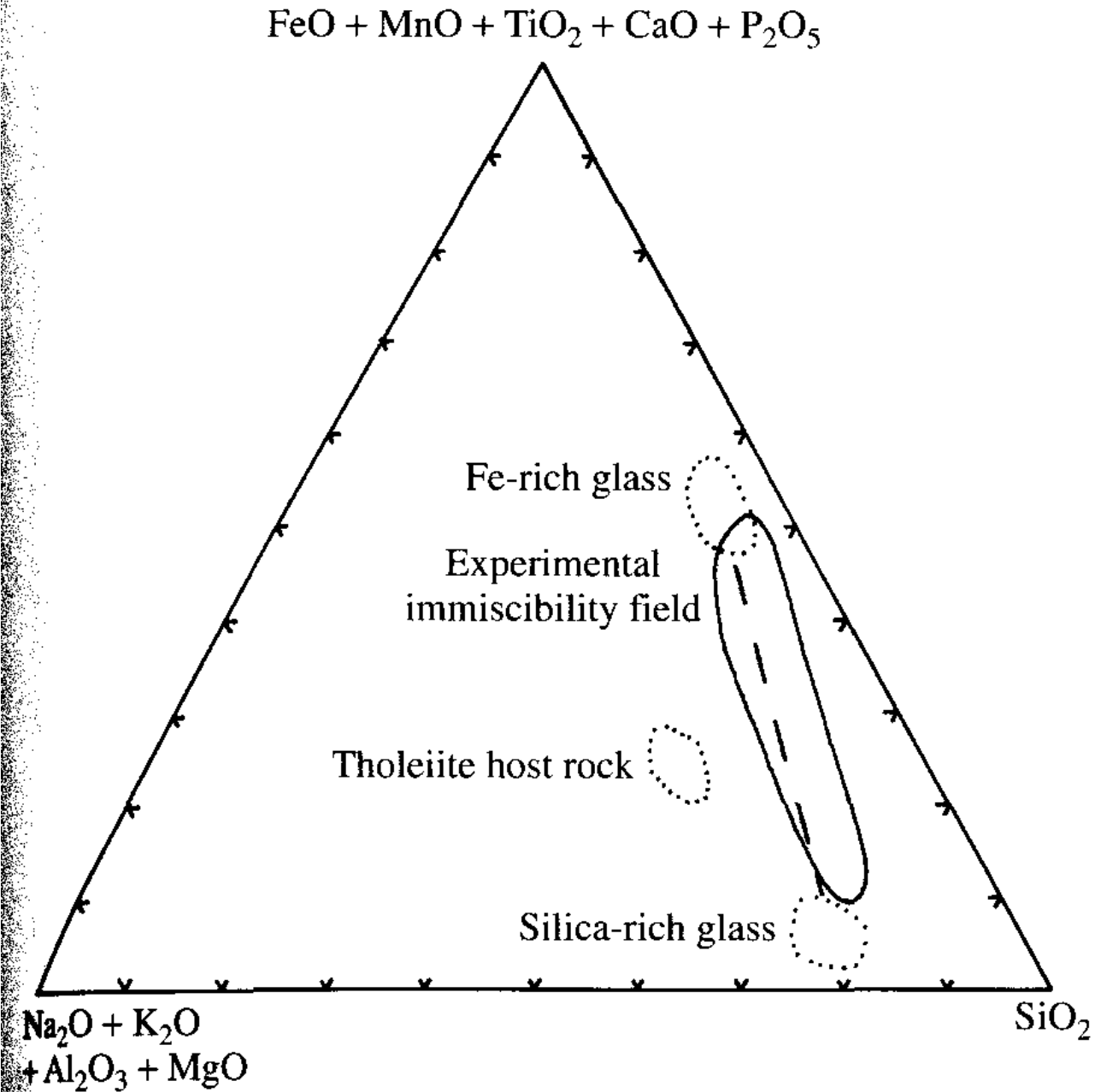
Возможности ликвации усиливаются в следующих случаях:

- при кристаллизации магм, обогащенных летучими компонентами, особенно щелочами; фтором
- при фракционировании обогащенных железом жидкостей толеитового типа.



Явление ликвации в базальте.

В *интерстициях* между крупными зернами плагиоклаза и пироксена располагаются мелкие *глобули* богатого железом стекла в более кремнекислом стекле. Вулканические породы, состоящие из подобных обособлений называются *вариолитами*.

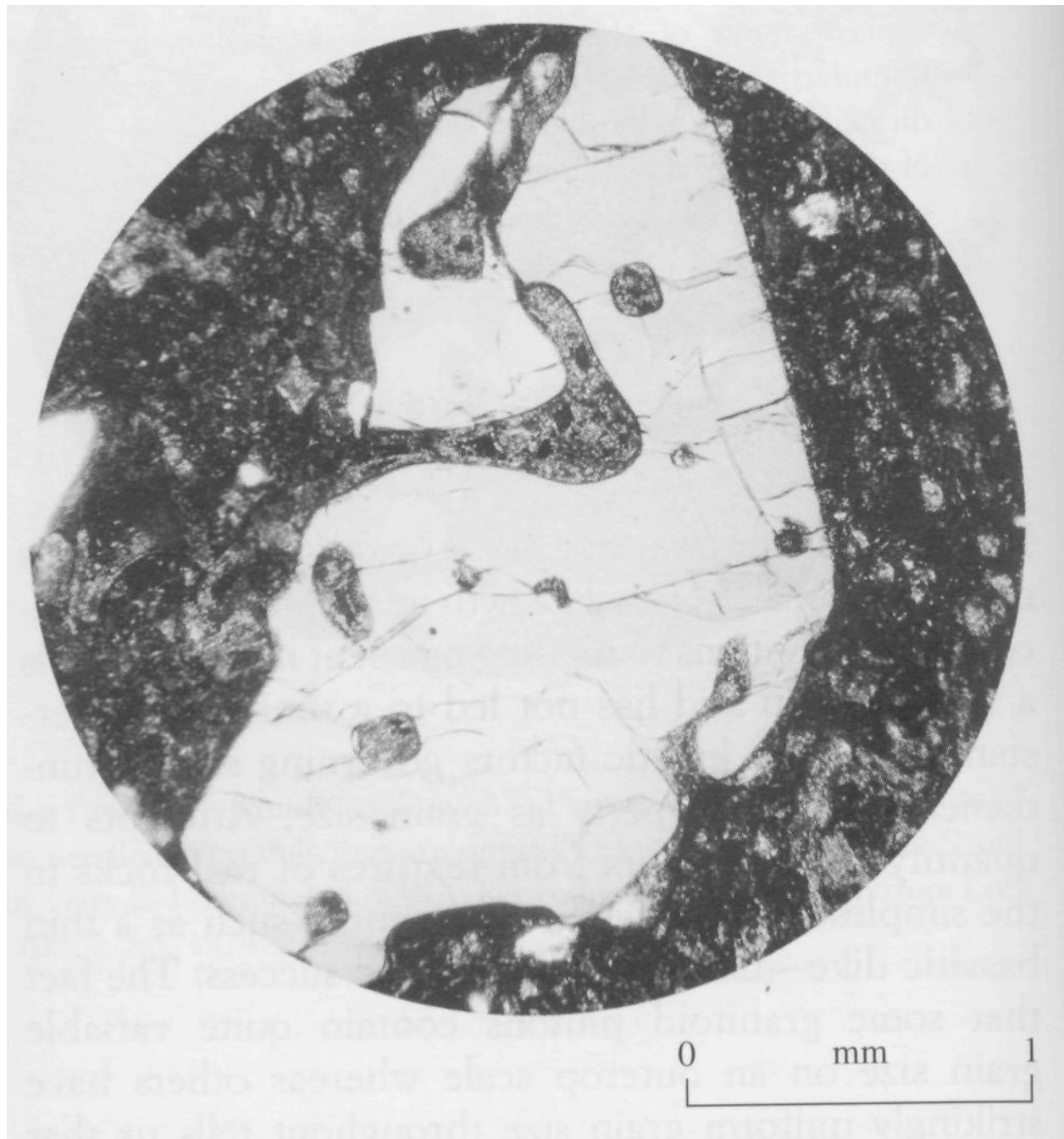


Состав
несмешивающихся
жидкостей в
толеитовом базальте.

4. Ассимиляция.

Ассимиляция [assimilatio — уподобление] — процесс полного усвоения и плавления постороннего материала (боковых п. и пр.) в интродуцировавшей магме, с образованием гибридной магмы .

- Термин ассимиляция означает поглощение вмещающих пород магмой, и если вмещающие породы имеют состав, отличный от магмы, это приводит к изменению состава расплава и к эволюции расплава.
- Термин контаминация также используется при описании этого явления, но с другим оттенком (например, можно сказать, что гранитный расплав ассимилировал глинистые осадки или, наоборот, что он был контаминирован ими).



Частично резорбированное зерно кварца в основной массе. Неровные границы зерна указывают на его частичное плавление.

5. Смешение магм

Процесс образования гибридных магматических пород за счет смешения двух или нескольких магм различного состава .

Гибридные породы, особенно вулканические или малоглубинные интрузивные, могут формироваться в результате смешения магм различного состава.

Иногда наблюдается локальное механическое перемешивание изверженных продуктов, которое называется минглингом.

К собственно смешению следует относить перемешивание магм различного состава в результате диффузии на атомном уровне.

Смешение между основной и кислой магмами имеет небольшое значение, из-за существенных различий в вязкости и температурах магм.

Более широкое распространение имеет смешение среди расплавов среднего и кислого составов.

Результат механического смешения (*минглинга*) риолитовой (белое) и базальтовой магм.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



Исландия. Покровы базальтов площадью в десятки квадратных километров.