

# ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МАГМЫ



КУРС «ПЕТРОГРАФИЯ»

Образование магматических пород происходит в результате сложного процесса затвердевания магмы. Этот процесс сопровождается изменением состава магмы с момента ее зарождения до полной и окончательной кристаллизации. При этом образуются разнообразные магматические породы, в то время как первичных магм всего четыре (гранитная, базальтовая, гиперстеновая, перидотитовая). Большинство горных пород состоят из нескольких минеральных видов – полиминеральные, реже из двух - биминеральные, или одного – мономинеральные.

Совокупность процессов, обуславливающих образование из магмы разных по минеральному составу горных пород или пород с различным количественным соотношением одних и тех же минералов, называется **дифференциацией магмы.**

Различают дифференциацию:

- 1) Докристаллизационную (магматическую);
- 2) Кристаллизационную.

# Докристаллизационная (магматическая) дифференциация



- Происходит в результате **ликвации магмы** – распад магмы на два и более расплава, при кристаллизации которых образуются различные по составу породы.
- Причинами ликвации могут быть: диффузия разных по составу компонентов в результате неравномерного охлаждения; неодинаковая гравитация легких и тяжелых молекул и др. в результате насыщения силикатной магмы тяжелыми сернистыми соединениями.
- Протекает при высоких температурах и на большой глубине
- Имеет локальное значение (образование сульфидолитов).

# Кристаллизационная дифференциация

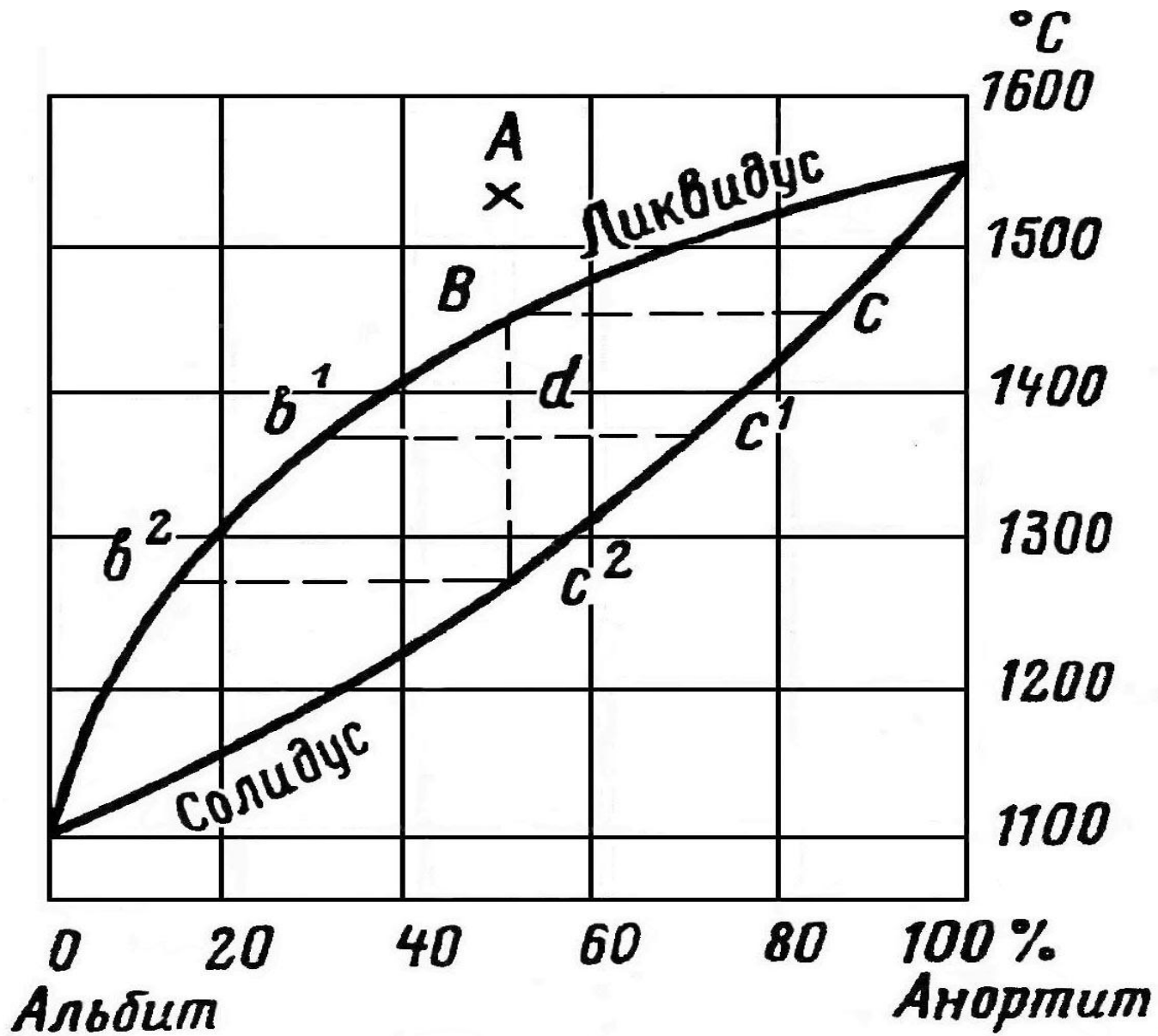


- Заключается в перемещении и пространственном обособлении образующихся минералов в процессе охлаждения магмы.
- Причины отделения минералов от расплава: гравитационное осаждение выделившихся кристаллов; перенос конвекционными потоками и др.
- Кристаллизационная дифференциация протекает по трем физико-химическим законам:
  1. Закон образования изоморфных минералов (твердых растворов);
  2. Закон образования инконгруэнтных соединений (со скрытой точкой плавления);
  3. Закон эвтектики.

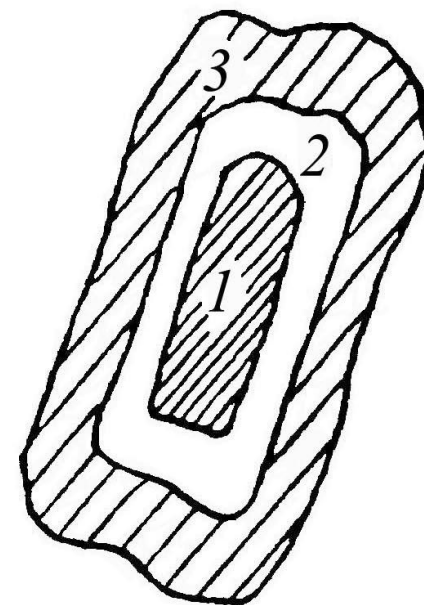
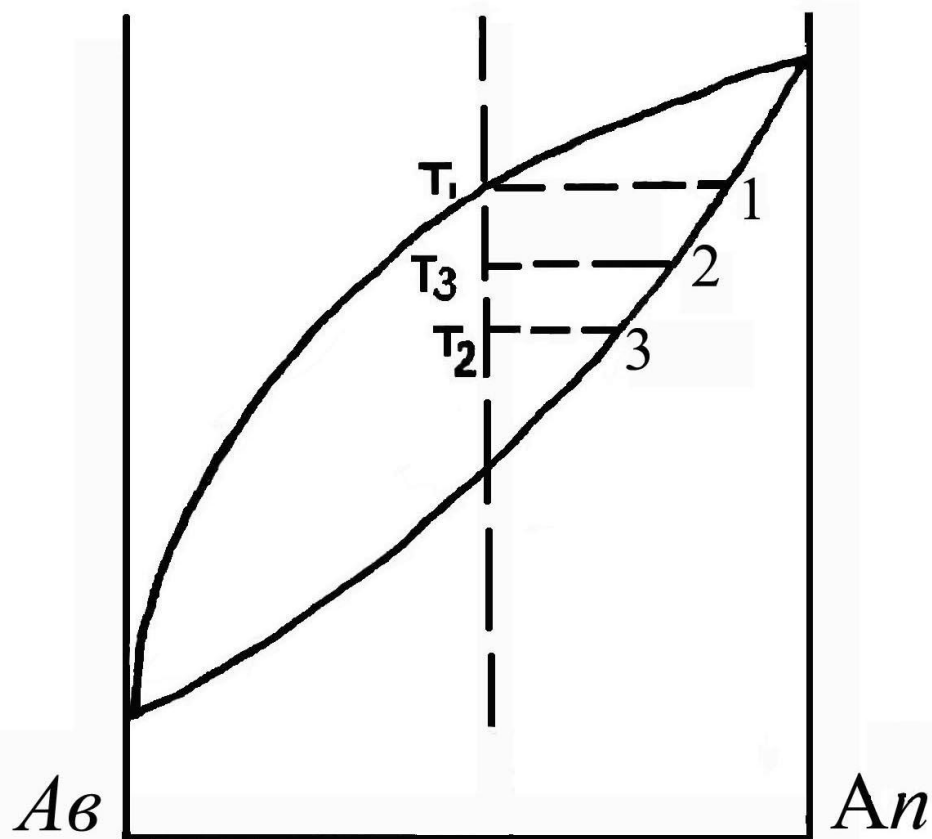
# Закон образования изоморфных минералов



- Кристаллизация расплава осуществляется при непрерывном реакционном взаимодействии ранее выделившихся минералов с расплавом, в результате которого изменяется состав расплава и твердой фазы.
- Чем больше в расплаве тугоплавкого компонента, тем выше температура кристаллизации расплава. Прибавление легкоплавкого компонента снижает температуру кристаллизации расплава.
- Температура начала и конца кристаллизации, а также состав первых и последних кристаллов зависит от состава расплава.
- Если температура снижается плавно, то состав образующихся кристаллов в конечном итоге будет соответствовать исходному составу расплава.
- По этому закону образуются изоморфные ряды плагиоклазов, пироксенов, оливинов и др.



При скачкообразном снижении температуры образуются зональные плагиоклазы, центральные зоны которых будут иметь более основной (Ca) состав, а внешние зоны – более кислый (Na) состав.



# Закон образования инконгруэнтных соединений



- Образуются минералы со скрытой точкой плавления – данное соединение при нагревании не сразу переходит в расплавленное состояние, а образует сначала расплав иного состава и другую твердую фазу.
- Ранее выделившийся минерал при определенных температурах вступает в реакцию с расплавом и образуется новый минерал. Так как такое взаимодействие возможно только в определенные периоды кристаллизации, процесс является прерывистым.
- Объясняет кристаллизацию феррических минералов и их последовательность:  $Ol \rightarrow Rpx \rightarrow Mpx \rightarrow Amf \rightarrow Vt$ . Каждый последующий минерал образуется как продукт взаимодействия расплава с ранее выделившимся минералом.
- По этому закону кристаллизуются также щелочные лейкократовые минералы





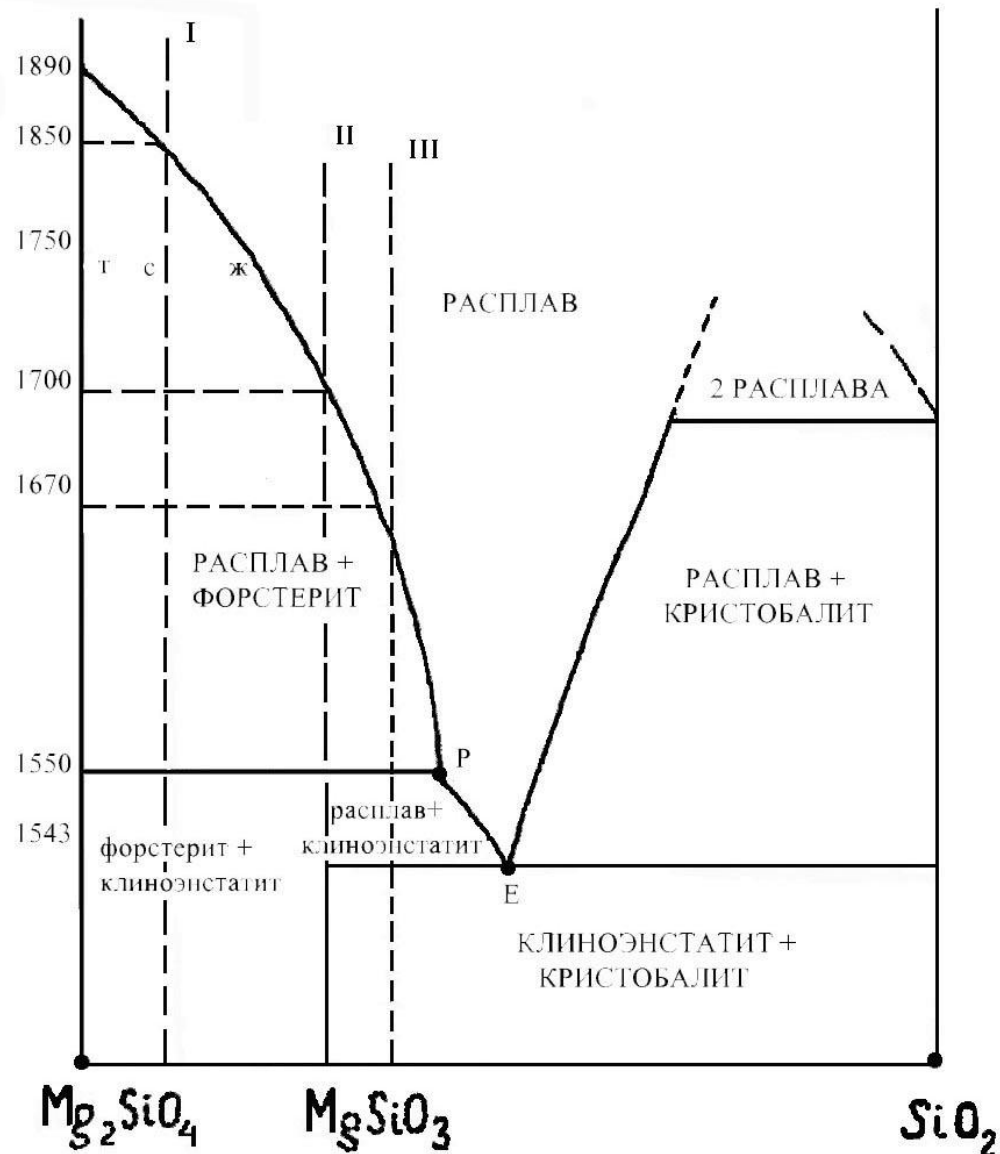
Три варианта кристаллизации расплава:

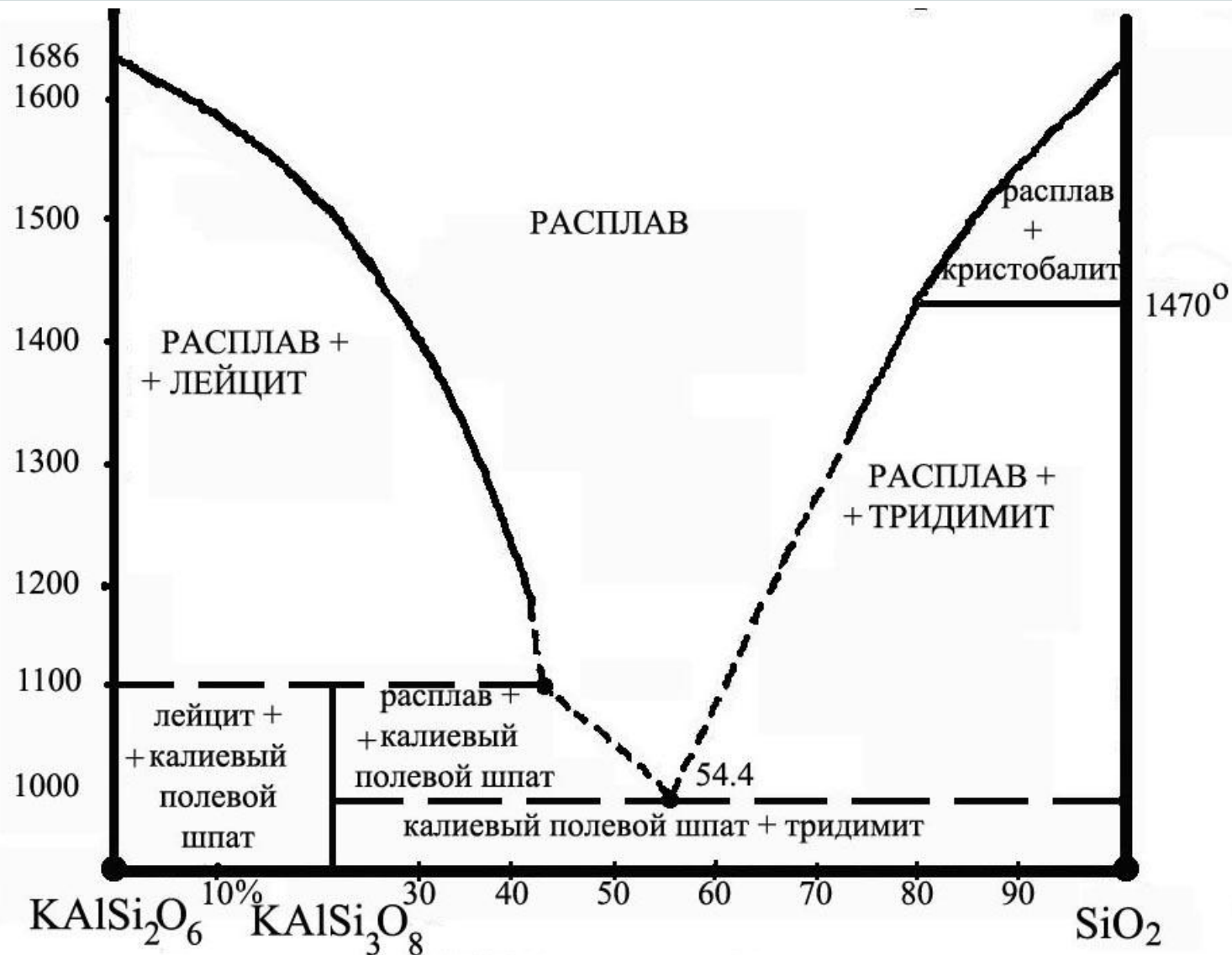
**I. Исходный расплав обогащен форстеритом ( $Ol - 80\%$ ,  $SiO_2 - 20\%$ ).**

При охлаждении расплава до  $t=1550^\circ C$  будет образовываться оливин. За это время в расплаве содержание  $Ol$  уменьшится до  $68\%$ , а  $SiO_2$  увеличится до  $32\%$ . Такой расплав начнет реагировать с кристаллами  $Ol$  с образованием ромбического пироксена до тех пор пока весь расплав не израсходуется. В итоге – агрегат  $Ol+RPx$ .

**II. Если исходный расплав имеет состав пироксена**, то при охлаждении, так же как и выше, сначала образуется  $Ol$ . При  $t=1550^\circ C$  расплав начнет расплавлять  $Ol$  с преобразованием его в пироксен. В итоге – мономинеральный агрегат  $RPx$ .

**III. Если исходный расплав богаче  $SiO_2$ , чем  $RPx$** , то после преобразования всего  $Ol$  в  $RPx$ , остается расплав, обогащенный  $SiO_2$ , из которого при  $t=1540^\circ C$  будут образовываться одновременно  $RPx$  и кварц – кварцевое габбро.





По этому же закону кристаллизуются щелочные лейкократовые минералы: из щелочных магм образуются сначала фельдшпатоиды, далее в результате взаимодействия с расплавом – КПШ ( $\text{SiO}_2$  уходит на образование не кварца, а КПШ).

# Закон эвтектики



- Объясняет одновременное образование фемических и силикатных минералов из одного расплава; широкое распространение гипидиоморфнозернистых структур.
- Небольшая прибавка одного компонента к другому снижает температуру кристаллизации расплава (температуры кристаллизации силикатных расплавов гораздо ниже температуры кристаллизации отдельных минералов).
- Кристаллизация начинается с образования минерала, находящегося в расплаве в избытке.
- Расплав постепенно меняет свой состав (содержание в расплаве ранее выделившегося минерала уменьшается). Причем раз выпав в твердую фазу, минерал уже не реагирует с расплавом (либо всплывет, либо опустится). Одновременно в расплаве увеличивается содержание других компонентов и по достижении определенной их концентрации из расплава будут кристаллизоваться сразу несколько компонентов. Причем температура, при которой это будет происходить, будет ниже, чем температура кристаллизации каждого минерала в отдельности – ***эвтектическая температура.***

# Правило Гибса:

$$F = (K + 2) - P,$$

F — число  
возможных  
изменений условий;

K — число  
компонентов;  
P — число фаз  
(тв.+жид.).

В сухих условиях:

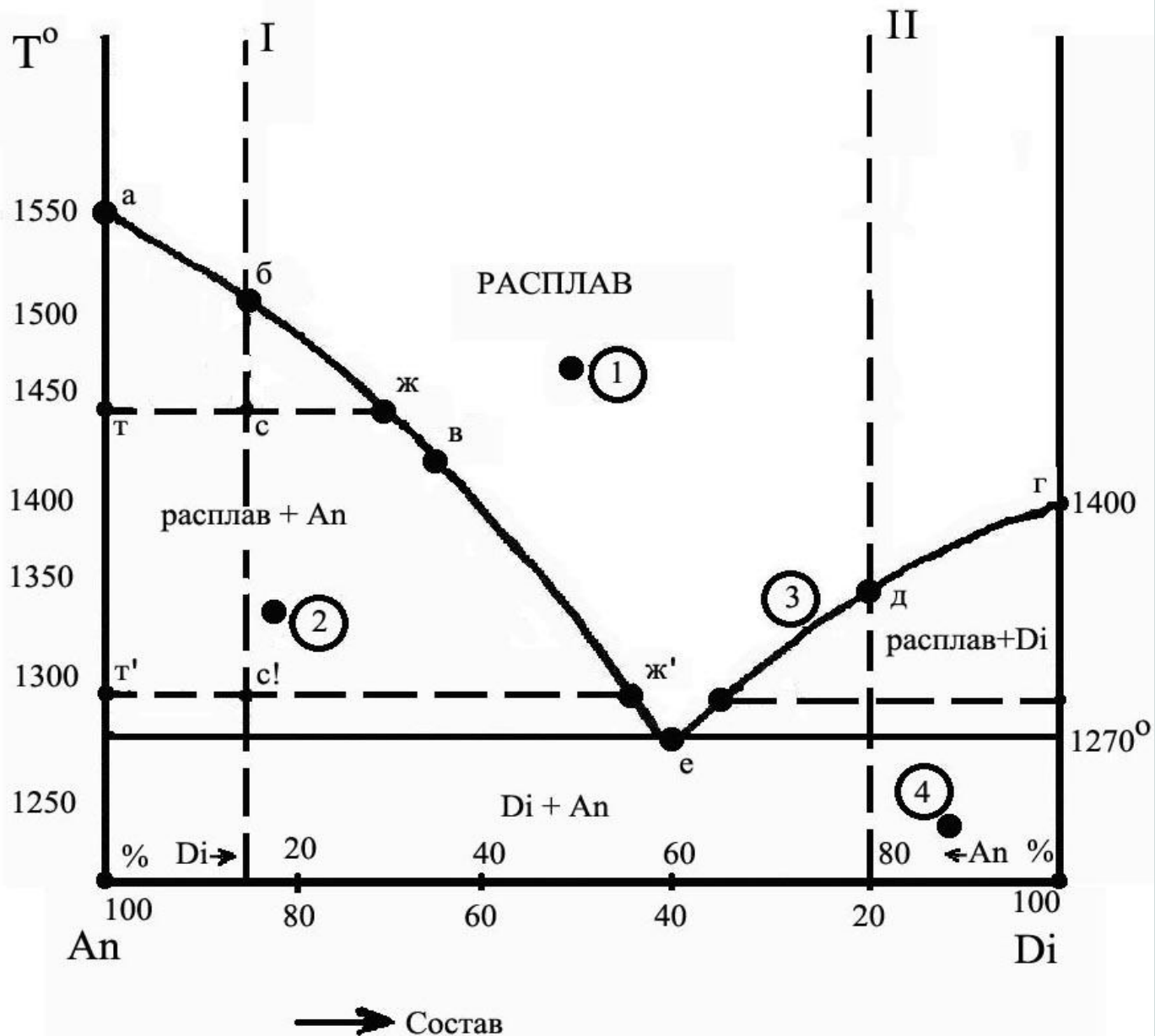
$$F = (K + 1) - P.$$

В «а»:  $F = (1 + 1) - 2,$   
 $F = 0;$

В «б»:  $F = (2 + 1) - 2,$   
 $F = 1;$

В «е»:  $F = (2 + 1) - 3,$   
 $F = 0$  —

эвтектический  
расплав (An —  
40%, Di — 60%).



# Реакционные ряды Боуэна и парагенезис минералов



Ol

РРх

Pl<sub>осн.</sub>

MPx

Pl<sub>осн.</sub>

Amf

Pl<sub>сред.</sub>

Bt

Pl<sub>кисл.</sub>

Mus, Q, КПШ

# Ассимиляция (контаминация) магмы - процесс полного поглощения магмой вмещающих пород



Ассимиляция может происходить на контакте интрузии с вмещающими породами или на глубине вследствие обрушения кровли и падения ксенолитов. Обладая некоторым запасом тепловой энергии, магма способна:

1. расплавлять и растворять минералы вмещающих пород;
2. вступать с ними в химические взаимодействия;
3. поглощать в себя вещества вмещающих пород.

Результат – изменение химического состава магмы.

**Реакционная растворимость** – способность магмы растворять минералы, кристаллизующиеся из самой магмы. Минералы, стоящие в реакционном ряду выше кристаллизующихся минералов, не будут растворяться магмой.

**Процесс неполного растворения магмой вмещающих пород – гибридизация.**