

Базовые определения

Магма - смесь магматического расплава, кристаллов и/или их сростков и флюидной фазы, способная к перемещению.

- ❑ Магматический расплав – жидкая часть магмы. Магматических расплавов в магме может быть несколько. Они необязательно должны быть алюмосиликатными. Для земных условий доказано существование алюмосиликатных, карбонатных, фосфатных, сульфидных магматических расплавов.
- ❑ Магма – многофазная среда, кроме расплава (или нескольких расплавов) в ней могут находиться кристаллы и их сростки, ксенолиты вмещающих пород, пузырьки газа.
- ❑ Соотношения расплава и кристаллов определяет способность к перемещению всей массы целиком. 99% расплава + 1% кристаллов – магма, 1% расплава+99% кристаллов – не магма.

Фаза - устойчивая по химическому составу область системы, имеющая границу раздела (фазовую границу).

Главные типы магм в условиях земной коры

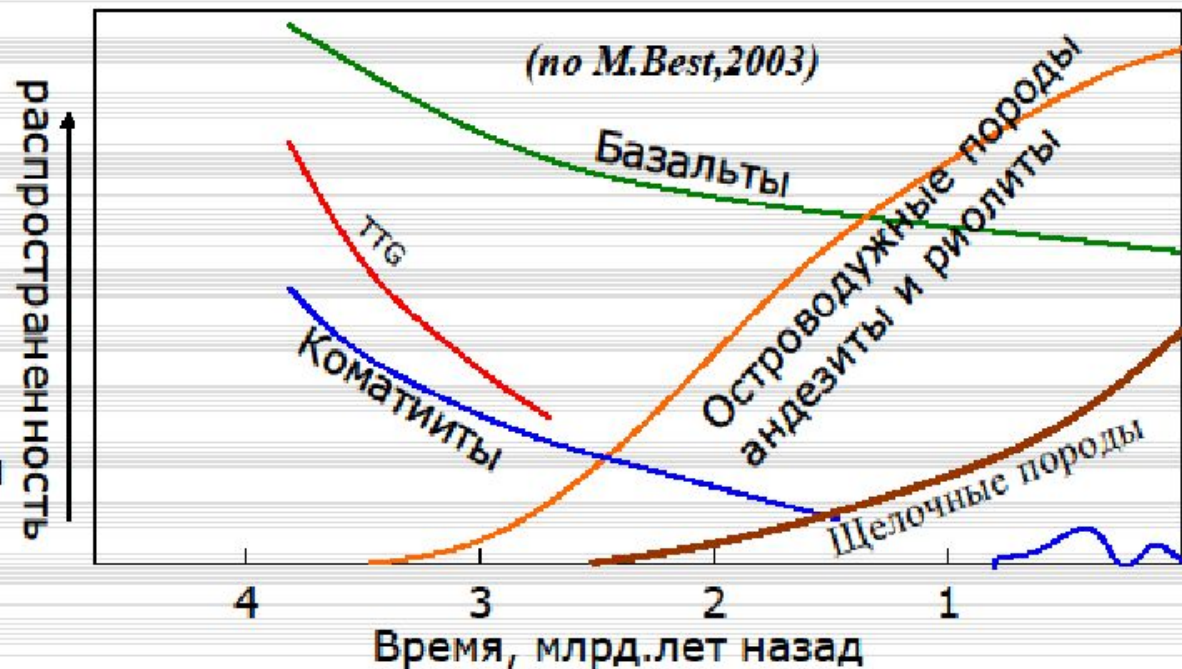
Подавляющее большинство магм в земной коре имеет силикатный состав ($30 \text{ мас.}\% < \text{SiO}_2 < 85 \text{ мас.}\%$).

Силикатные:

- Коматиитовая
- Базальтовая
- Андезитовая
- Риолитовая
- Щелочные

Несиликатные:

- Карбонатитовая
- Фоскоритовая
- Сульфидная
- и другие



Внешнее ядро Земли по современным представлениям жидкое, т.е. состоит из магмы. Его состав преимущественно металлический (Fe, Ni). В пределах земной коры металлические магмы не зафиксированы.

Зарождение магмы – плавление субстрата

Сегрегация магмы – отделение от субстрата

Подъем магмы и кристаллизация

Кристаллизация магмы в магматическом очаге

Полная кристаллизация или излияние на поверхность и закалка

Причины разнообразия магматических пород, предложенные >100 лет назад

Смещение двух первичных магм

Ассимиляция вмещающих пород и смешение магм

Ликвация

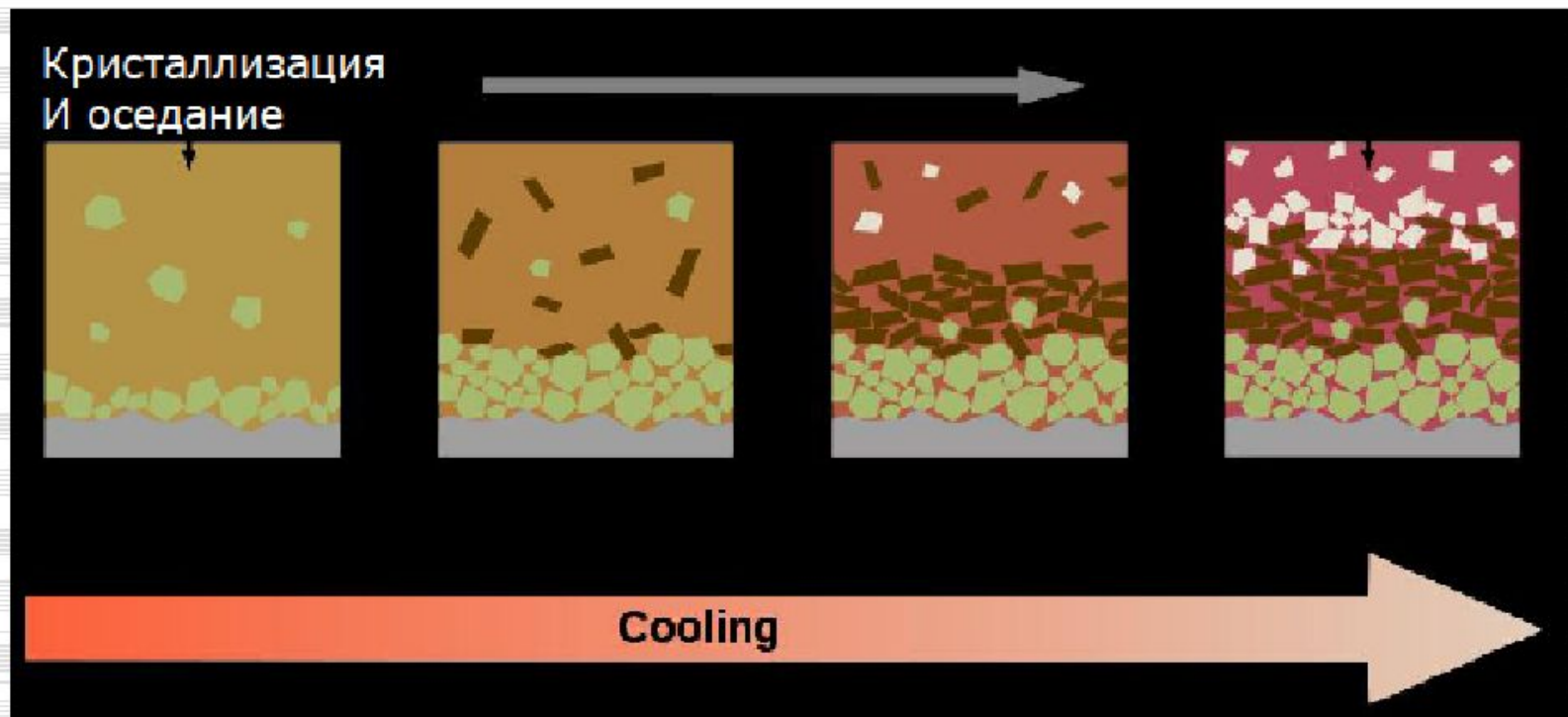
Фракционная кристаллизация

Причины разнообразия магм, предложенные после 1917 года

- ❑ Флюидо-магматическое взаимодействие и флюидный транспорт
- ❑ Зонная плавка
- ❑ Фильтрация расплавов и переуравновешивание
- ❑ Кристаллизация граничного слоя интрузивов
- ❑ Фракционное и неравновесное плавление и кристаллизация

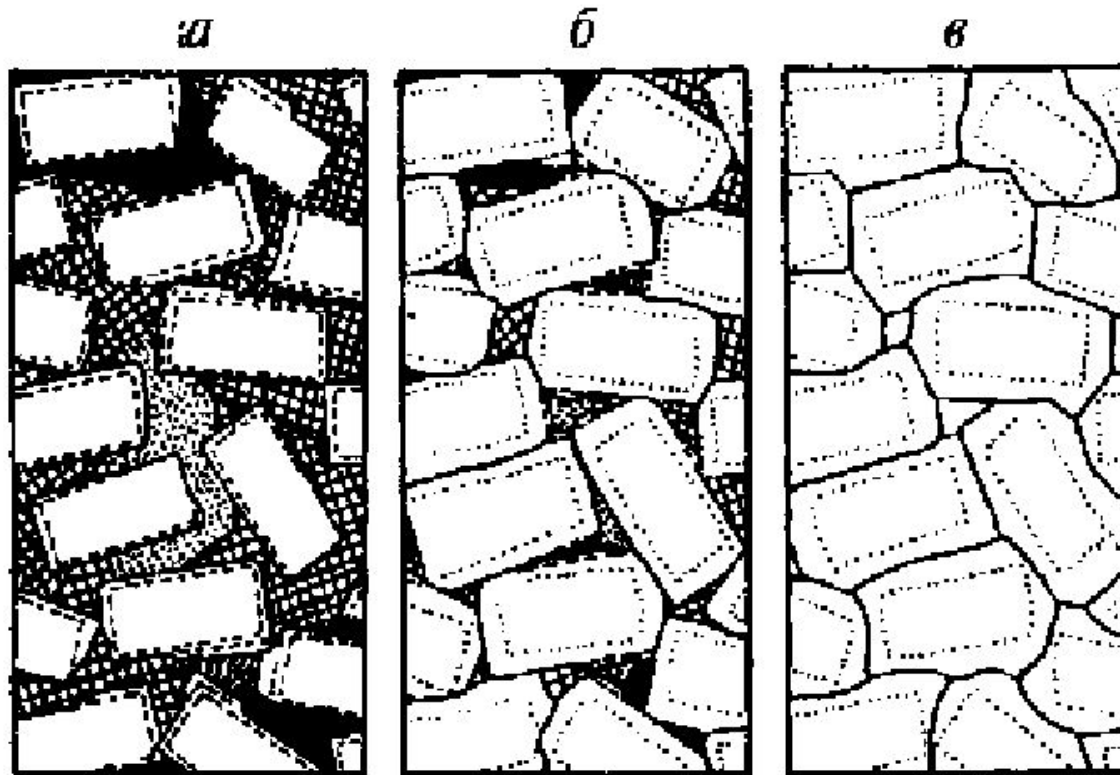
Кристаллизационная дифференциация (кристаллизационное фракционирование)

Предложена Н.Боуэном (1913) как основной механизм эволюции магм



При кристаллизационной дифференциации могут формироваться расслоенные комплексы

Возможно не только оседание кристаллов, но и их всплывание. Всплывание кристаллов лейцита в магме Везувия было впервые предложено Ф.Ю.Левинсон-Лессингом (1899) для объяснения происхождения лейцититов



Типы
кумулятивных
структур:

- а – ортокумулятивная,
- б – мезокумулятивная,
- в – адкумулятивная.

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

Слайд из лекций Л.В.Сазоновой



WD Maier Apatity shortcourse 2012



Potholes

WD Maier Apatity shortcourse 2012



WD Maier Apatity shortcourse 2012

Ликвация и жидкостная несмесимость

Термин ликвация (от лат. liquatio — разжижение, плавление) ввел Агриколла (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.

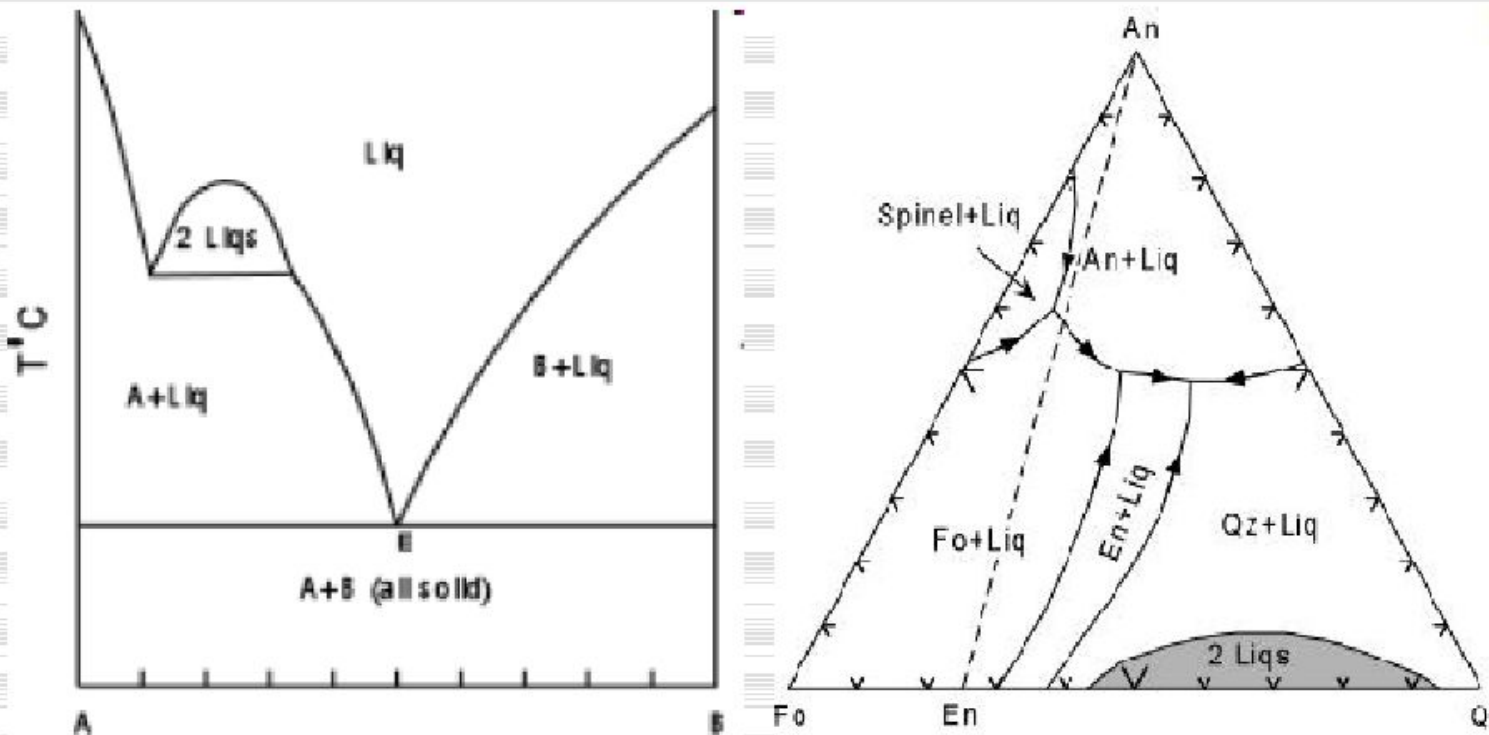
Жидкостная несмесимость – сосуществование двух несмешивающихся жидкостей.



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

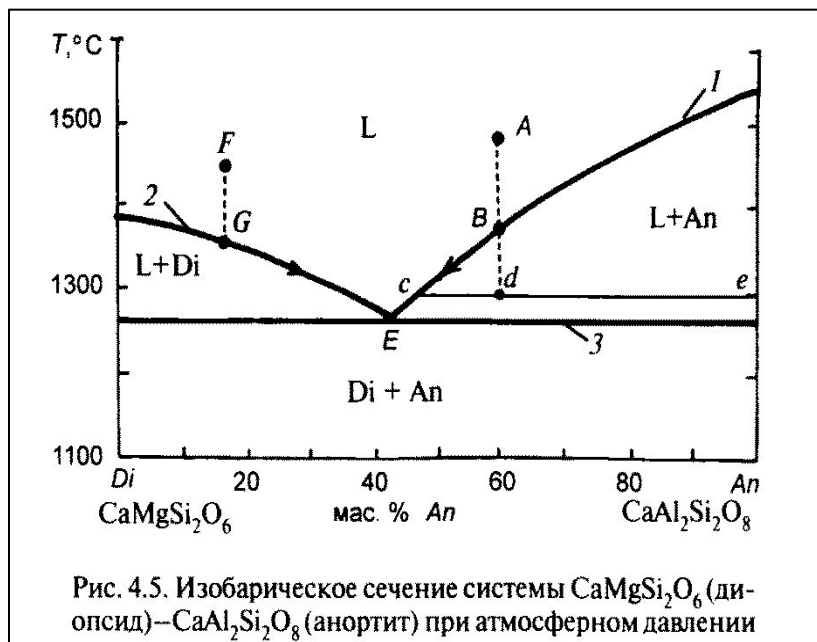
Ликвация на экспериментальных диаграммах

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

Системы с эвтектической схемой кристаллизации

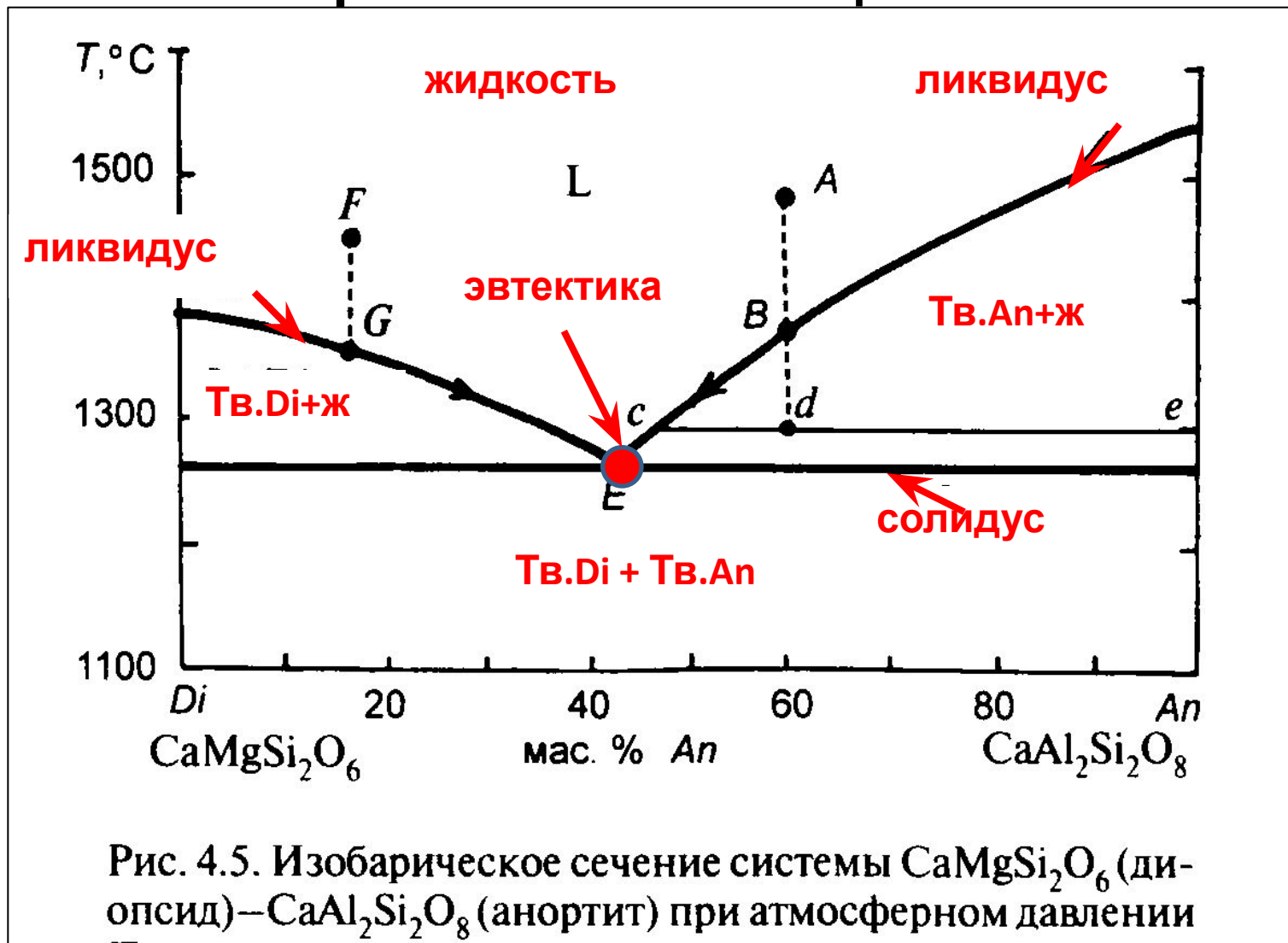


Компоненты системы образуют друг с другом механические смеси. Температура плавления любого из компонентов понижается при добавлении другого. Это закономерность была эмпирически установлена Раулем и затем обоснована Вант-Гоффом.

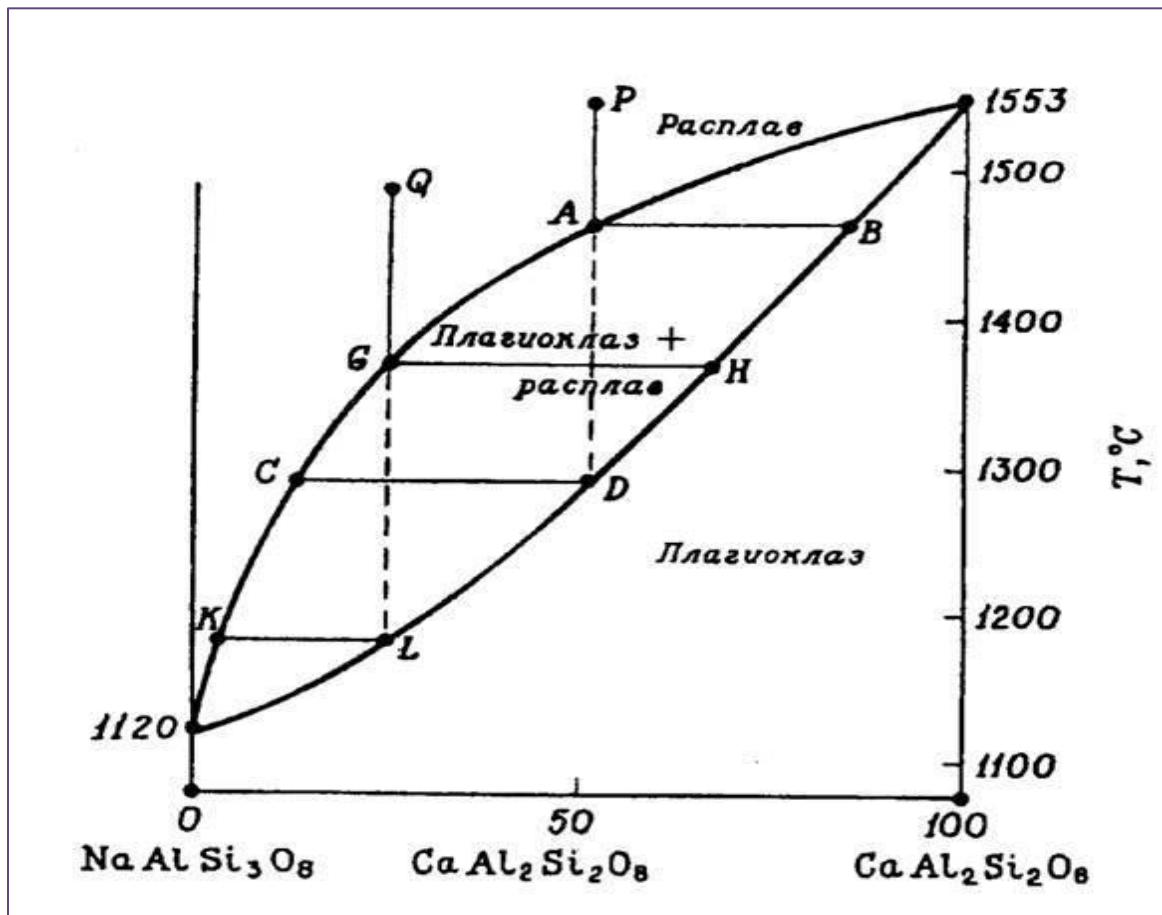
Снижение температуры плавления компонентов происходит до определенной минимальной температуры, которая называется эвтектической.

Правило Рауля-Вант-Гоффа применимо только для тех систем, в которых компоненты **не** образуют смешанных кристаллов (твердых растворов).

Системы с эвтектической схемой кристаллизации



Двойная система с непрерывным твердым раствором



Тройная система с котектикой

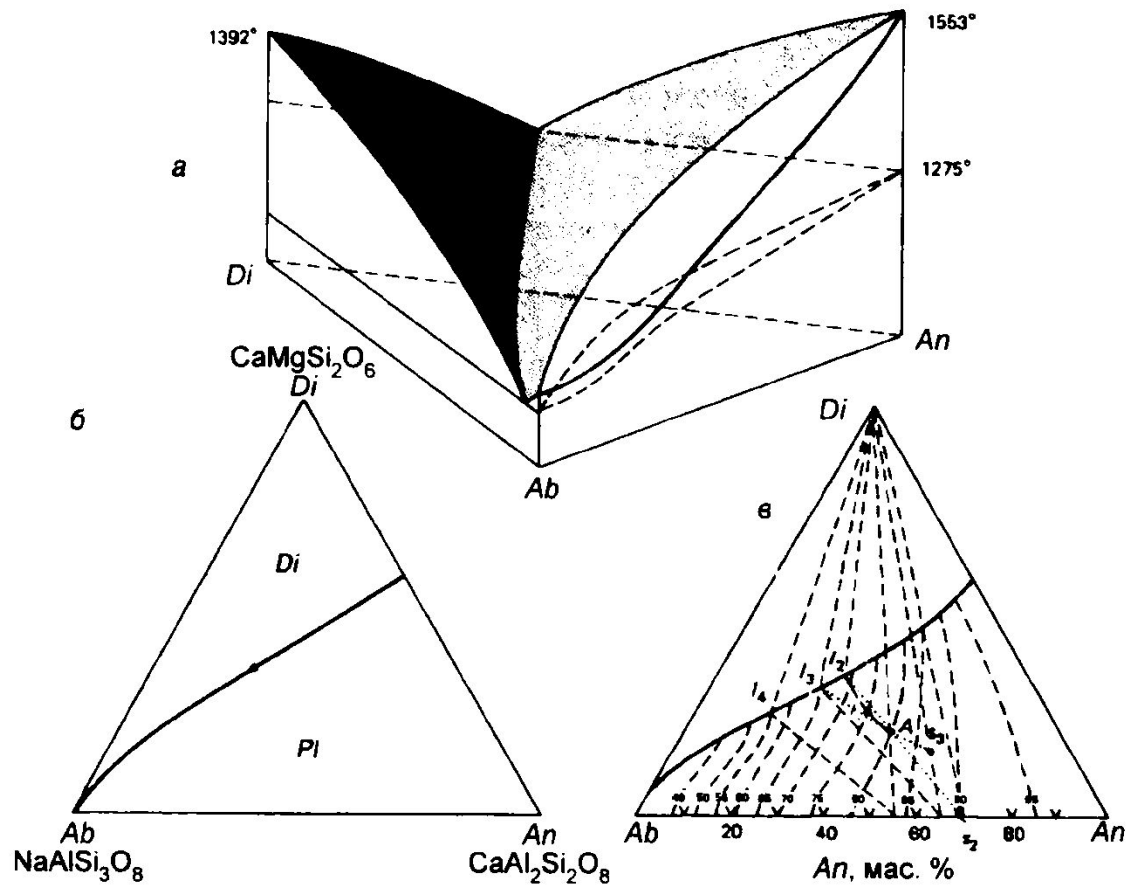


Рис. 4.9. Изобарическое сечение системы $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (диопсид)– $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (альбит)– $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (анортит) при атмосферном давлении
a — общий вид проекции поверхности ликвидуса; *б, в* — та же проекция с данными, иллюстрирующими последовательность кристаллизации, по А.Филпотсу, 1990

Двойная система с ПЕРИТАКТИКОЙ

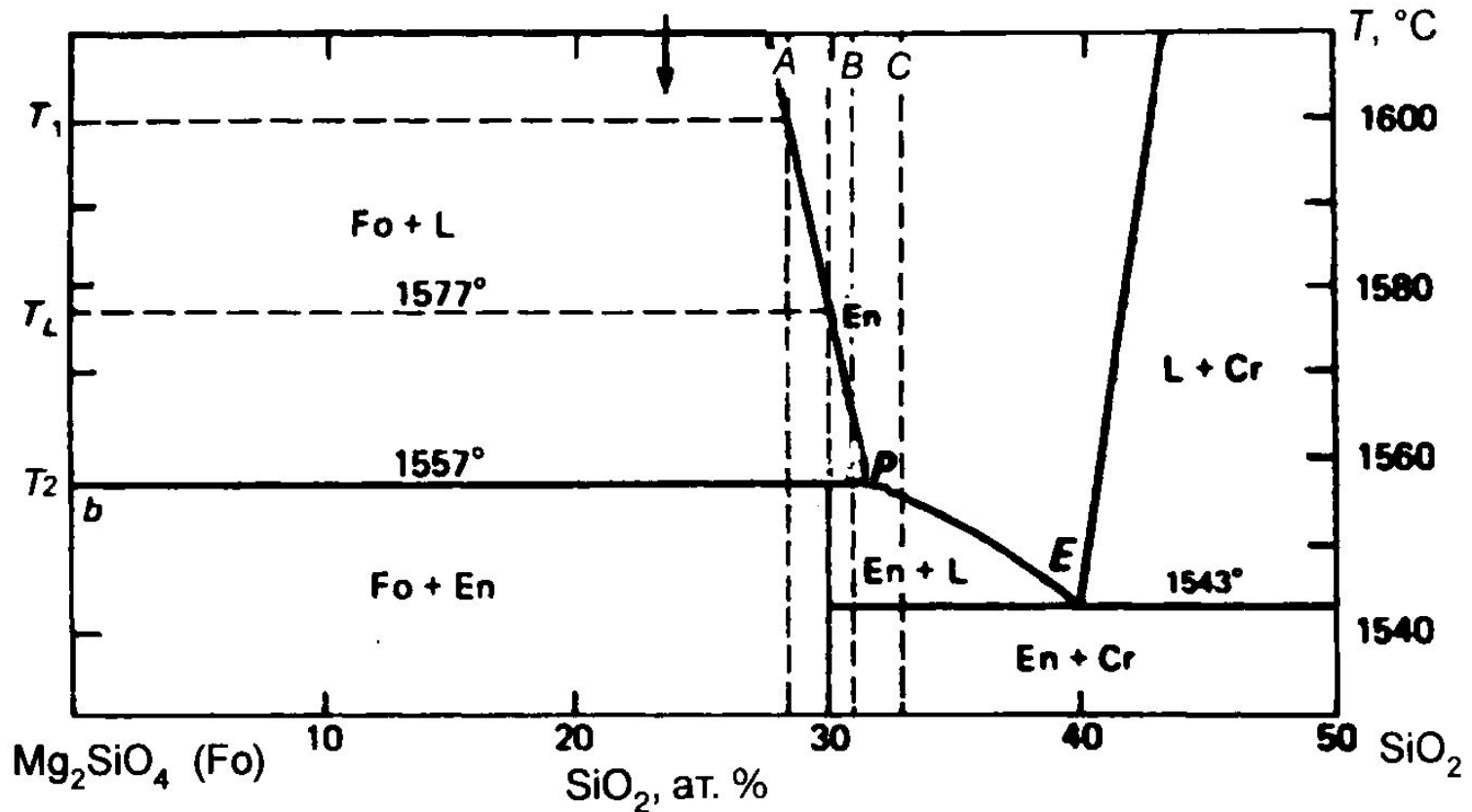


Рис. 4.11. Изобарическое сечение магниальной части системы Mg₂SiO₄ (форстерит)–SiO₂ (минералы кремнезема) при атмосферном давлении

- В некоторых случаях твердые фазы после своего образования могут вступать в химическое взаимодействие с остаточным расплавом с образованием иных минералов, а при плавлении испытывать химическое разложение.
- Если расплав А охлаждается, то при температуре T_1 начинается кристаллизация форстерита. По мере увеличения количества кристаллов форстерита в жидкой фазе растет концентрация

кремнезема и при $T_2 = 1557^\circ\text{C}$ расплав вступает в химическую реакцию с форстеритом, продуктом реакции является энстатит

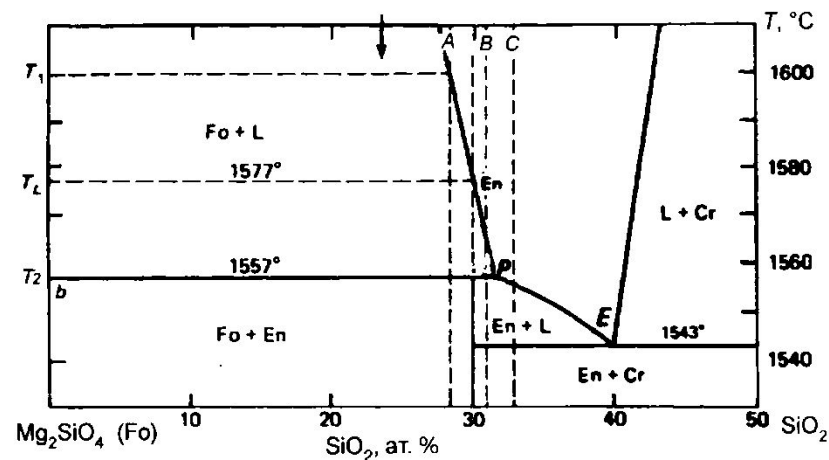


Рис. 4.11. Изобарическое сечение магнезиальной части системы Mg_2SiO_4 (форстерит)– SiO_2 (минералы кремнезема) при атмосферном давлении



Равновесие, возникающее при химическом взаимодействии кристалл – расплав называется **перитектикой**, а точка P, которая отвечает составу расплава, реагирующему с ранее образованными кристаллами, **перитектической точкой**.

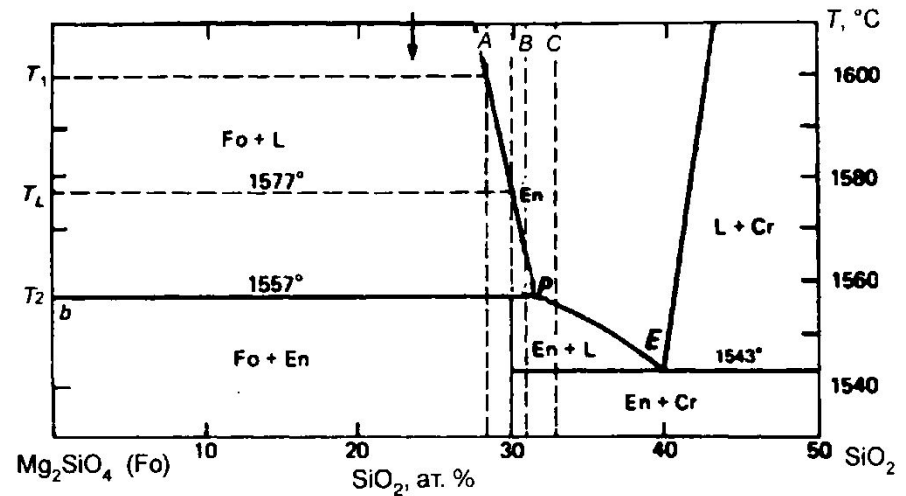


Рис. 4.11. Изобарическое сечение магниальной части системы Mg₂SiO₄ (форстерит)–SiO₂ (минералы кремнезема) при атмосферном давлении

Если исходный состав точно отвечает составу энстатита, то оливин и расплав прореагируют при $T = 1557^\circ$ полностью и система затвердеет в виде кристаллов энстатита.



Если состав А находится между энстатитом и форстеритом, то первым будет израсходован расплав Р и возникнет смесь кристаллов энстатита и форстерита



Если исходный расплав В находится между энстатитом и расплавом Р, то первым будет израсходован форстерит, а из оставшегося расплава начнет выделяться энстатит, при $T = 1543$ образуется эвтектическая смесь энстатит+кристобалит



Состав С, содержащий еще больше кремнезема, будет с самого начала кристаллизоваться по эвтектической схеме

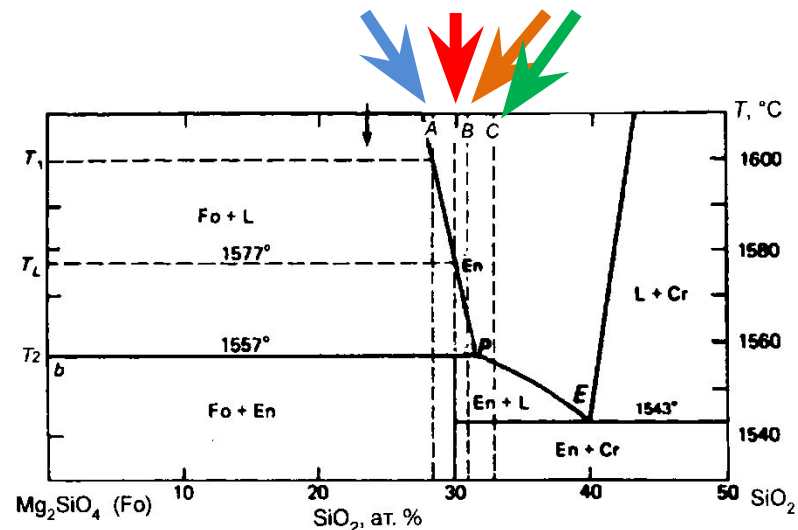


Рис. 4.11. Изобарическое сечение магниевой части системы Mg_2SiO_4 (форстерит)– SiO_2 (минералы кремнезема) при атмосферном давлении

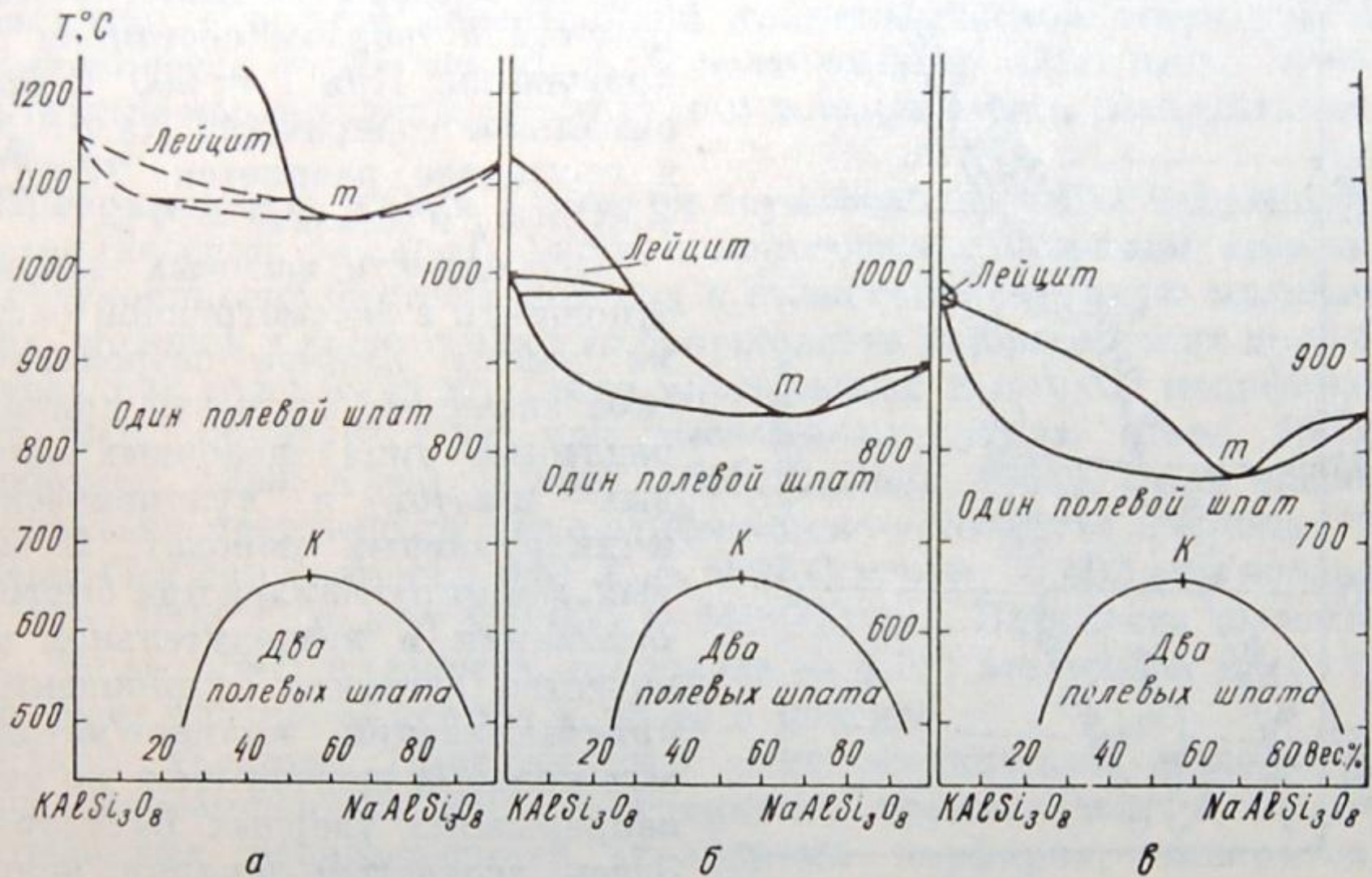


Рис. 22. Диаграмма фазовых равновесий в системе ортоклаз (KAlSi_3O_8) — альбит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$).
а — для «сухих» расплавов; *б* — при $p_{\text{H}_2\text{O}} = 1000$ ат; *в* — при $p_{\text{H}_2\text{O}} = 2000$ ат [Боуэн, 1950].

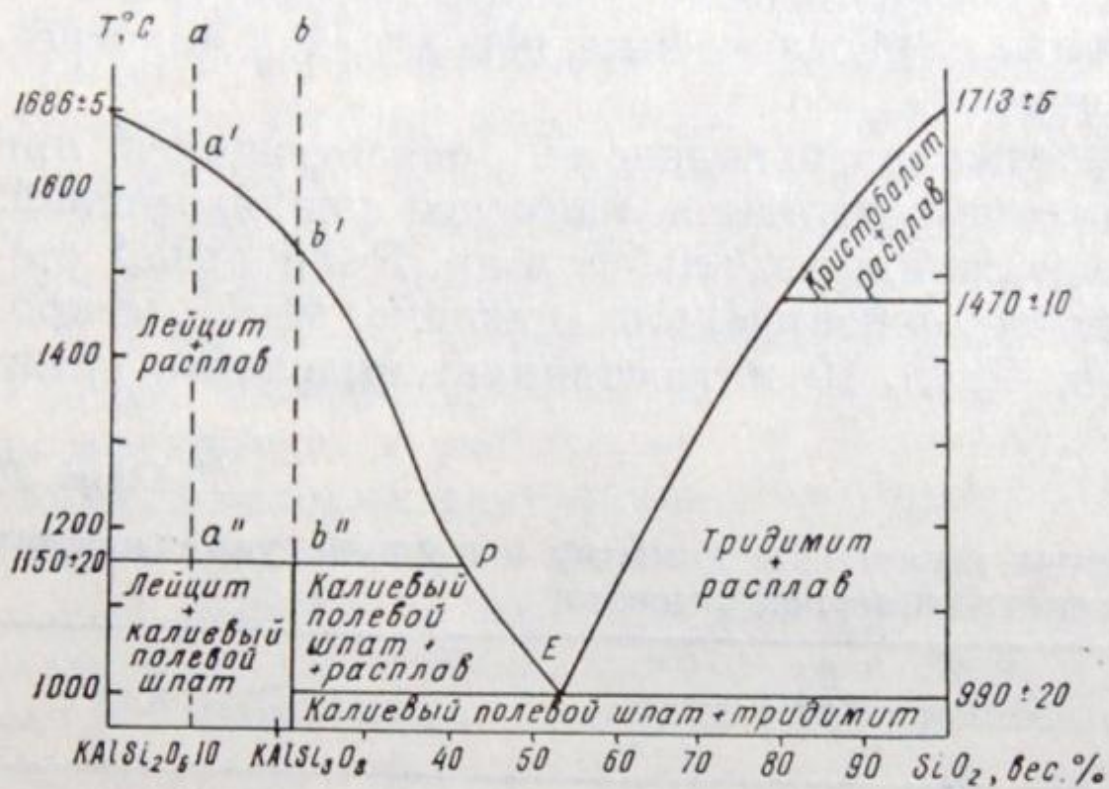


Рис. 21. Диаграмма фазового равновесия в системе лейцит (KAlSi₂O₆) — ортоклаз (KAlSi₃O₈) — SiO₂ (Schairer, Bowen, 1947).

