

# Характер агрегатов, возникающих при совместном росте фаз



Глава 7.5. монографии «Генезис минеральных индивидов и агрегатов» Н.И. Красновой и Т.Г.Петрова,  
иллюстрирована студентом III курса Петриком И. А.

Санкт-Петербург  
2008 г.

## 7.5.1. Эвтектические срастания

Совместная кристаллизация двух (реже трех) минералов может происходить при достижении эвтектических условий в системах, не содержащих или же содержащих незначительную примесь летучих компонентов. Такие **системы принято называть конденсированными. Главные компоненты** таких систем **имеют** даже при температуре, близкой к температуре плавления, **очень малую упругость пара**, в связи с чем присутствие газовой фазы практически не оказывает влияния на основной ход кристаллизации таких труднолетучих веществ. Подобными веществами являются многие порообразующие силикаты, чистые металлы, их оксиды, безводные галоиды и многие другие соединения, не подвергающиеся диссоциации с образованием газовой фазы при температурах, близких к точке плавления.

Еще одной особенностью эвтектических систем является то, что кристаллизующиеся в них твердые фазы не образуют между собой твердых растворов и представлены чистыми или почти чистыми компонентами. При переходе же системы в жидкое состояние оба компонента должны неограниченно взаимно растворяться друг в друге. “Эвтектическая кристаллизация — это по сути своей диффузионное разделение бинарного расплава-раствора на две одновременно образующиеся кристаллические фазы” [Таран, Мазур, 1978]. Условия эвтектической кристаллизации конденсированных фаз двух типов были сформулированы этими авторами следующим образом.

1. **Размеры атомов** двух металлов (или веществ) **должны, как правило, отличаться друг от друга более чем на 14-15%**, тогда в кристаллическом состоянии наблюдается их ограниченная растворимость, т. е. **они не образуют твердых растворов.**

2. Обе твердые кристаллические **фазы должны иметь определенное подобие кристаллических структур.**

Кристаллизация в эвтектических системах в условиях, близких к равновесию, всегда начинается с компонента, находящегося в избытке относительно состава эвтектической смеси (например, точка *б* на рис. 7.21). При дальнейшем снижении температуры жидкая фаза все время обогащается другим компонентом, что приводит при достижении температуры эвтектики к совместной кристаллизации обоих компонентов (точка *Е* отвечает составу *а*).

В сплавах любой концентрации начало эвтектической кристаллизации определяется фазой, находящейся в данной жидкости в большем количестве. Совместная кристаллизация нескольких компонентов возможна и **в системах, содержащих большое количество летучих веществ**, например, из водных растворов. **Точка** на физико-химической диаграмме, соответствующая **одновременной кристаллизации двух или нескольких компонентов, называется точкой эвтоники**.

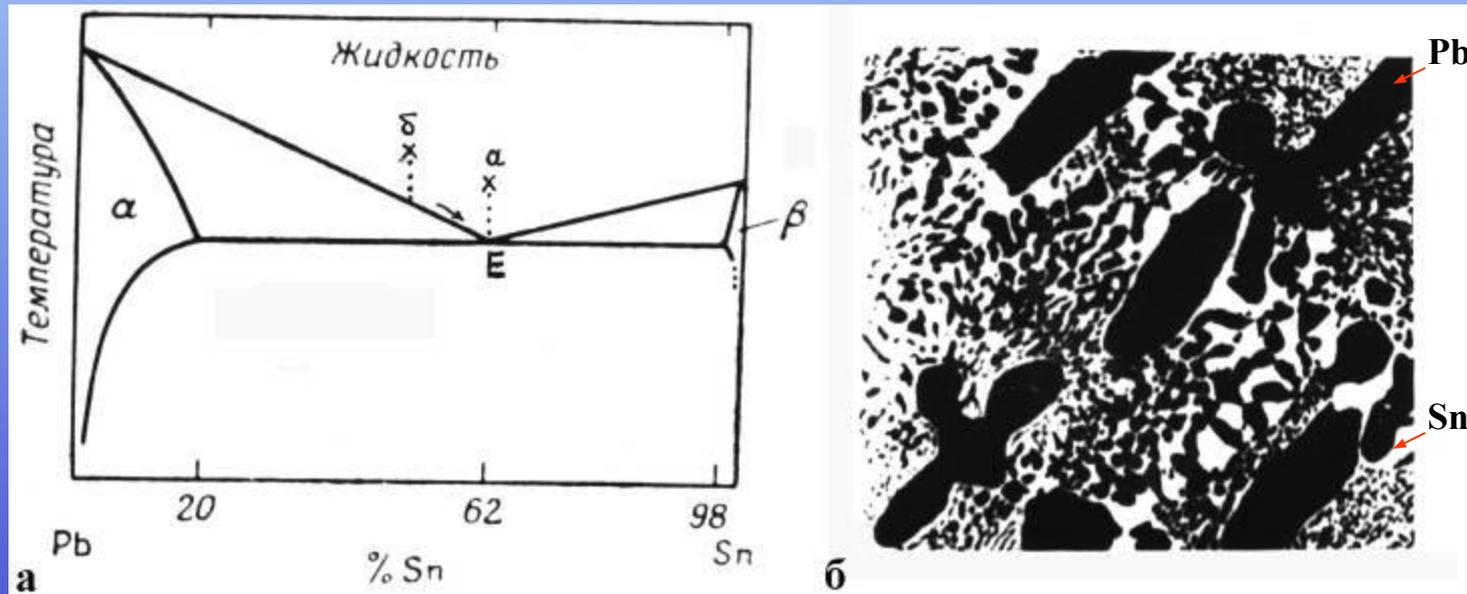
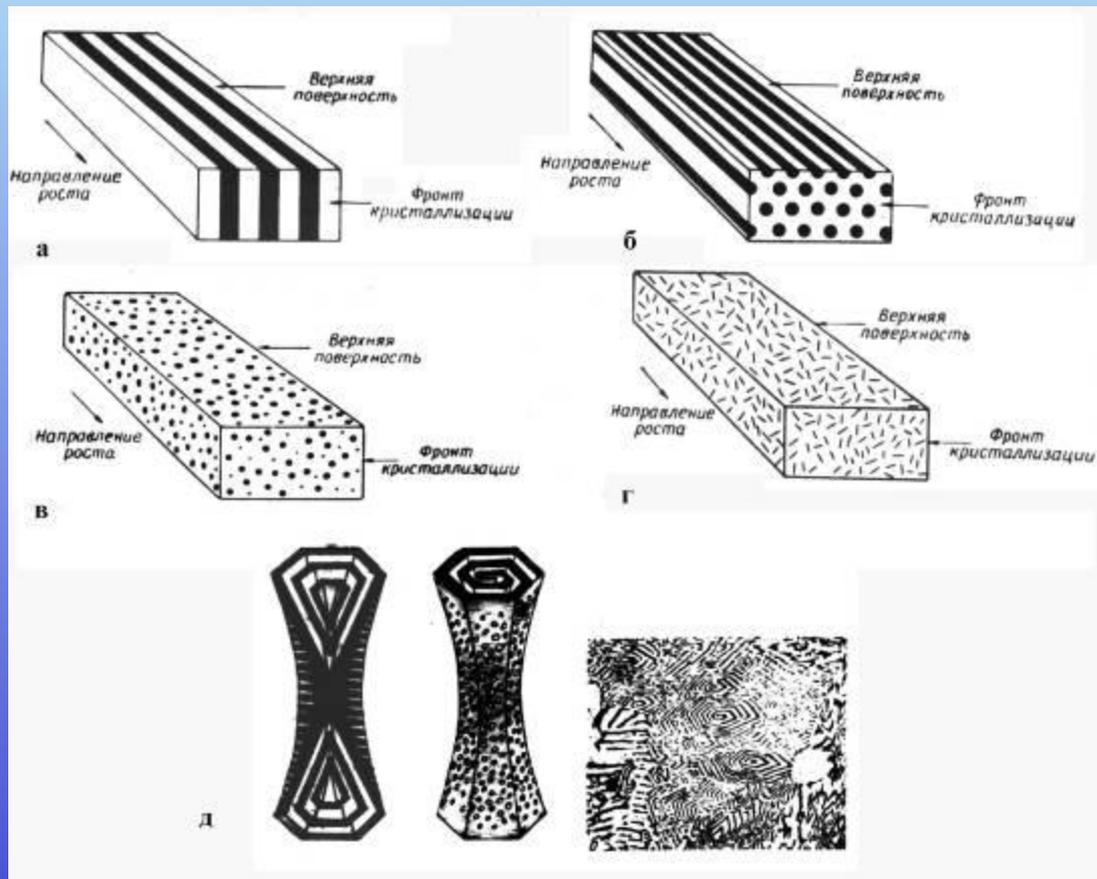


Рис. 7.21. Система свинец — олово. По работе [Вайнгард, 1967]. а — диаграмма состояния. (Е—точка эвтектики); б — микрофото структуры сплава, содержащего 50% свинца и 50% олова, — точка б на диаграмме состояния. Ув.  $\times 200$ ; Черная фаза на фотографии — кристаллы твердого раствора на основе свинца, светлая — твердого раствора на основе олова.

Морфология агрегатов, образующихся в результате эвтектической кристаллизации, зависит от многих факторов. Количественные соотношения твердых компонентов в собственно эвтектических сростках близки к соотношению веществ на физико-химической диаграмме для точки эвтектики. Отклонения в количественных соотношениях компонентов от теоретически предсказанных свидетельствуют в первую очередь о существенном влиянии каких-то неучтенных примесей, в частности летучих компонентов, сильно увеличивающих давление в системе, или же о каких-либо особых кинетических факторах кристаллизации. Иначе говоря, реальная система может существенно отличаться от теоретически предполагаемой конденсированной системы.



Морфология эвтектических сростков обычно определяется кристаллографическими особенностями преобладающего в количественном отношении ведущего компонента. Этот ведущий компонент (или базовая фаза) образует скелетный кристаллический каркас, в промежутках между ветвями которого располагаются индивиды второго компонента. Меньшее влияние на морфологию агрегата оказывают кристаллографические особенности второго компонента. Во многих случаях срастания двух кристаллических компонентов имеют закономерный эпитаксиальный характер (или лучше синтаксический).

Законы срастаний индивидов двух разных компонентов установлены лишь для некоторых эвтектических сростков. характер срастания индивидов будет зависеть от степени подобия обоих компонентов, т.е. если расхождение узлов решеток компонентов будет больше, чем 14-15%, то эвтектические сростки могут носить незакономерный характер. По морфологии сростков твердых фаз в эвтектических колониях многие исследователи выделяют разные типы, показанные на рис. 7.20.

Рис. 7.20. Морфологические типы эвтектических сростков (а-г — по работе [Вайнгард, 1967], д — по работе [Никонова, Рахманова, 1972]). а — пластинчатый; б — стержневой; в — глобулярный; г — игольчатый; д — спиральный.

Вид доэвтектического сплава с избытком относительно эвтектической точки содержания свинца (50%) и эвтектического сплава (62% олова +38% свинца) приведен на микрофотографии (рис. 7.21 в). В правой части фотографии видно уменьшение расстояния между отдельными пластинами твердой фазы на основе свинца, что отвечает ускорению роста фронта кристаллизации эвтектической колонии.

Рис. 7.21в. Микрофото пластинчатой структуры эвтектики Pb-Sn. Черная фаза — кристаллы твердого раствора на основе свинца, светлая — твердого раствора на основе олова. Ув. x 1000.

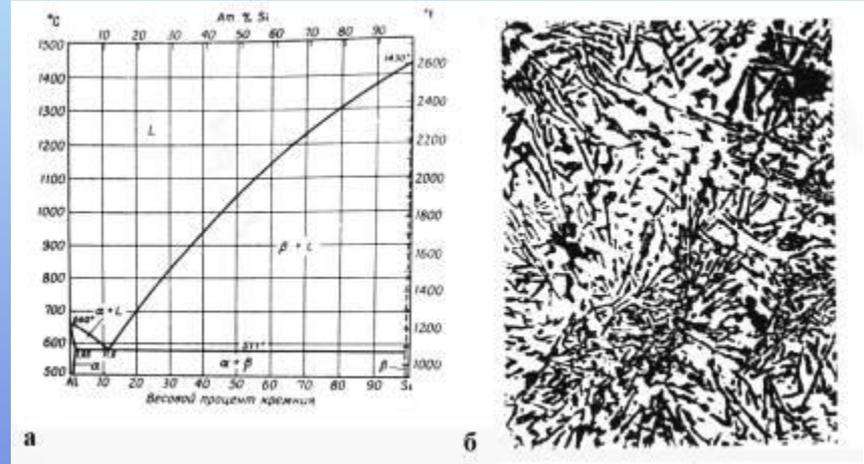


Рис. 7.22. Система алюминий — кремний. (По работе [39]). а — диаграмма состояния ( $\alpha$  — кристаллическая фаза на основе Al,  $\beta$  — кристаллическая фаза на основе кремния); б — микрофото структуры эвтектического сплава. Ув. x 100. Черное — фаза Si.

Пластинчатый и стержневой типы эвтектики часто наблюдаются в системах, где точка эвтектики находится примерно в средней части линии составов (например, 62% олова и 38% свинца; 67% алюминия и 33% меди, где эвтектический сплав состоит из смеси фазы  $\text{CuAl}_2$  и твердого раствора на основе алюминия; 71,5% серебра и 28,5% меди). В таких сплавах удельные объемы двух кристаллизующихся фаз не должны сильно отличаться друг от друга. Глобулярная и игольчатая эвтектики образуются в системах, где точка эвтектики сильно смещена к одной из фаз, как, например, 96,6% меди + 3,4%  $\text{Cu}_2\text{O}$  или 99,5% олова + 0,5% алюминия (глобулярный тип колонии), 88,4 % алюминия + 11,6% кремния (игольчатый тип колонии). Игольчатая форма кристаллов одного из веществ в эвтектическом сплаве обусловлена высокой анизотропией скоростей роста индивидов в разных направлениях, что характерно, в частности, для кремния.

Спиральная эвтектика описана для системы  $Zn-MgZn_2$  (рис. 7.20 д). Образование такой своеобразной эвтектической колонии начинается с роста скелетных гексагональных призматических кристаллов фазы  $MgZn_2$  (метастабильная область кристаллизации), имеющих ростовую воронку в секторе пинакоида. По всей видимости, скелетные кристаллы ведущей фазы имеют особое дислокационное строение, что и приводит к появлению индивидов спиральной формы.

Многие примеры конкретных микроструктур эвтектических сростков приведены на рис. 7.23.

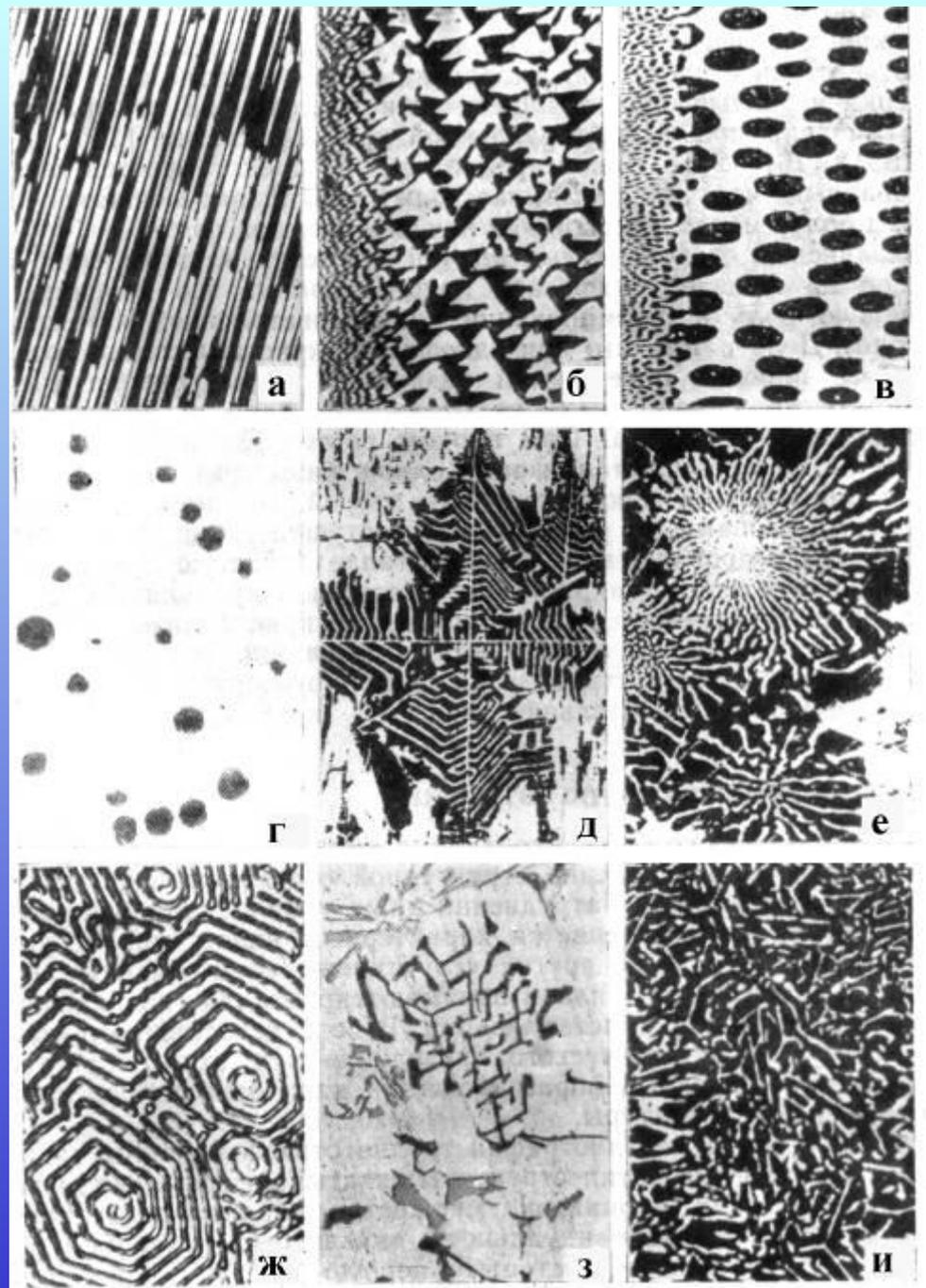


Рис. 7.23. Микроструктура эвтектик. По работе [Таран, Мазур, 1978]. а —  $Sb + Zn_4Sb_3$ , ув.  $\times 200$ ; б —  $Sb + Cu_2Sb$ , ув.  $\times 400$ ; в —  $Fe + Fe_3C$ , ув.  $\times 400$ ; г —  $Fe + C$ , ув.  $\times 150$ ; д —  $Fe + (W,Fe)_6C$ , ув.  $\times 250$ ; е —  $Fe + MoC$ , ув.  $\times 500$ ; ж —  $Zn + MgZn_2$ , ув.  $\times 1000$ ; з —  $Al + FeAlSi$ , ув.  $\times 500$ , и —  $Pb + Sb$ , ув.  $\times 200$ .

Как же происходит образование и последующий рост кристаллических индивидов в системах эвтектического типа? На этот вопрос помогают дать ответ эксперименты, проводимые при непосредственном наблюдении под микроскопом за ходом эвтектической кристаллизации некоторых пар органических соединений, таких как, например, азобензол-пиперонал, азобензол-бензил, азобензол-ацетанилид, ацетанилид-динитрофенол и др. Так, А.А. Бочваром [1935] было установлено, что в жидкостях эвтектического состава вначале самопроизвольно и на некотором удалении друг от друга начинают зарождаться и расти кристаллики обеих фаз. Несмотря на существующие переохлаждения, эвтектическая кристаллизация не начинается до тех пор, пока не возникает граница соприкосновения двух разных фаз. Лишь после этого наблюдается совместный рост индивидов разных веществ в виде эвтектической колонии.

Рост кристаллов одной из фаз, скажем  $\alpha$ , приводит к вытеснению в жидкость атомов В, что вызовет образование затравок фазы  $\beta$  в непосредственной близости от индивида  $\alpha$  (рис. 7.24б). Рост фазы  $\beta$  аналогичным образом приводит к вытеснению в жидкость атомов А, тогда как перед ее фронтом роста возникает область с меньшей концентрацией атомов В (рис. 7.24а). Диффузия частично выравнивает концентрацию компонентов в растворе, но все же некоторое увеличение содержания, скажем, компонента В перед фронтом кристаллизации фазы  $\alpha$ , и приведет к увеличению пересыщения относительно компонента А, что и будет способствовать продолжению роста индивидов.

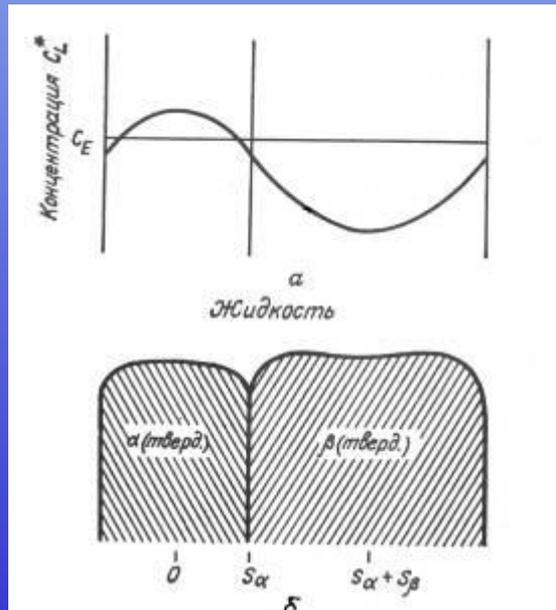


Рис. 7.24. Одновременная кристаллизация в двухфазной системе. По работе [Jackson, Hunt 1949].

а — распределение концентрации компонента В в жидкости перед фронтом кристаллизации; б — сечение пластинчатого фронта кристаллизации (пластина  $\beta$  обогащена компонентом В, пластина  $\alpha$  — компонентом А).

Число индивидов обеих фаз при постоянной скорости роста колонии остается неизменным. Для пластинчатых и стержневых эвтектик многими исследователями установлено сохранение постоянства произведения  $\lambda^2 V$ , где  $\lambda$  — это межпластинчатое расстояние (т.е. сумма ширин индивидов  $\alpha$  и  $\beta$  фаз), а  $V$  — скорость роста фронта кристаллизации. Межпластинчатое расстояние для многих эвтектик (близкое к 10 мкм) всегда уменьшается с увеличением скорости роста, что видно на рис. 7.21в. Эта зависимость определяется выражением [Флемингс, 1977 ]:

$$\lambda^2 = B/AV,$$

где  $A$  и  $B$  — константы, зависящие от свойств эвтектического сплава. Скорость роста фронта кристаллизации конечно же прямо пропорциональна пересыщению и соответственно переохлаждению системы:

$$V = \Delta T^2/4AB$$

Изменение температуры на фронте кристаллизации в зависимости от межпластинчатого расстояния при постоянной скорости роста определяется выражением:

$$\Delta T = AV\lambda + B/\lambda$$

и схематически представлено на рис. 7.25. В природе расстояние между пластинами в эвтектике обычно близко экстремальному значению, соответствующему точке  $m$  на рис. 7.25, т.е. межпластинчатое расстояние соответствует минимальным значениям переохлаждения при данной скорости роста.

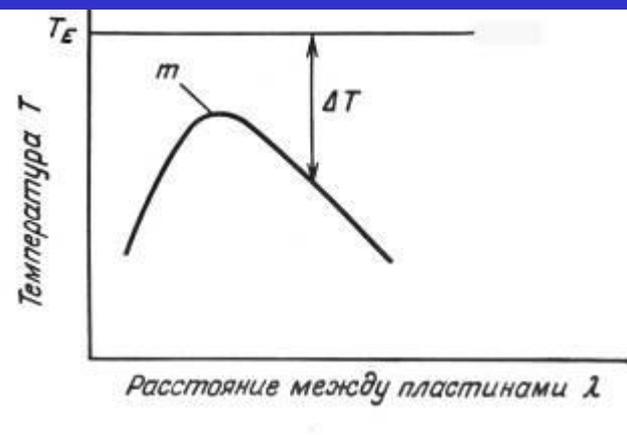


Рис. 7.25. Изменение температуры фронта кристаллизации в зависимости от расстояния между пластинами  $\alpha$  при постоянной скорости роста.

Если межпластинчатые расстояния превышают экстремальные в 2 раза или более, то поверхность фронта роста уже не будет изотермичной, что приведет к изменению этой кривизны поверхности вплоть до образования “карманов” (рис. 7.26). В этих-то “карманах” широкой пластины одной фазы и зарождаются затем пластины второй фазы [Jackson, Hunt, 1966].

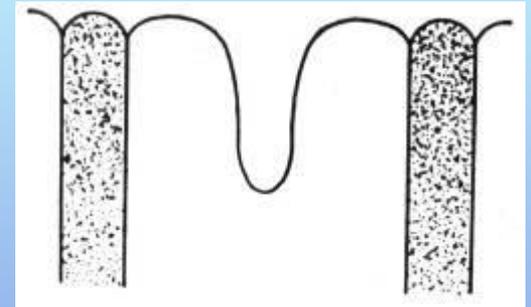


Рис. 7.26. Образование “кармана” в широкой пластине эвтектического сростка при увеличении межпластинчатого расстояния  $\Lambda$ . По работе [Ereyberg, 1927].

Изменение типа эвтектической колонии для одной и той же системы может быть вызвано отклонением состава от эвтектического. Так, для системы свинец-олово в сплавах, близких по составу к эвтектическим, образуются пластинчатые колонии двух компонентов, тоща как уменьшение количества второго компонента до 0,18 приводит к росту на завершающей стадии стержневой колонии. Пластины и стержни могут хотя бы частично ограняться гранями с рациональными индексами, характерными для той или иной фазы (обычно ведущей). **Поверхность соприкосновения двух фаз обычно бывает покрыта индукционной штриховкой.**

На морфологию эвтектических колоний оказывают существенное влияние добавки примесей, в особенности поверхностно-активных веществ, которые часто называют модификаторами эвтектик. Так, например, добавка всего 0,01 % натрия в систему алюминий-кремний приводит к увеличению числа индивидов кремния, а также к изменению их формы (игольчатая форма – рис. 7.22 – сменяется глобулярной). Добавки активных примесей оказывают сильное влияние на переохлаждение в системе, могут смещать точки эвтектики в сторону того или иного компонента, а также оказывать каталитическое воздействие на зарождение той или иной фазы.

Как указывалось выше, чем больше скорость роста фронта кристаллизации, тем меньше межпластинчатое расстояние, а следовательно, и тоньше (мельче) весь узор эвтектического сплава. Таким образом, кристаллизация эвтектического сплава происходит при определенных физико-химических условиях и при совершенно определенном кинетическом режиме, что в совокупности относительно редко реализуется в природных системах.

На рис. 7.20а, б отражена еще одна важная особенность строения эвтектических колоний такого типа: пластины или стержни второй фазы всегда удлинены в направлении роста агрегата и обычно перпендикулярны к фронту кристаллизации. Если же фронт кристаллизации искривляется, что может быть обусловлено движением жидкой эвтектической смеси, то происходит и искривление расположения пластин или стержней в затвердевшем агрегате (рис. 7.27). При округлом фронте кристаллизации будут образовываться радиально-лучистые агрегаты — “псевдосферолиты”.

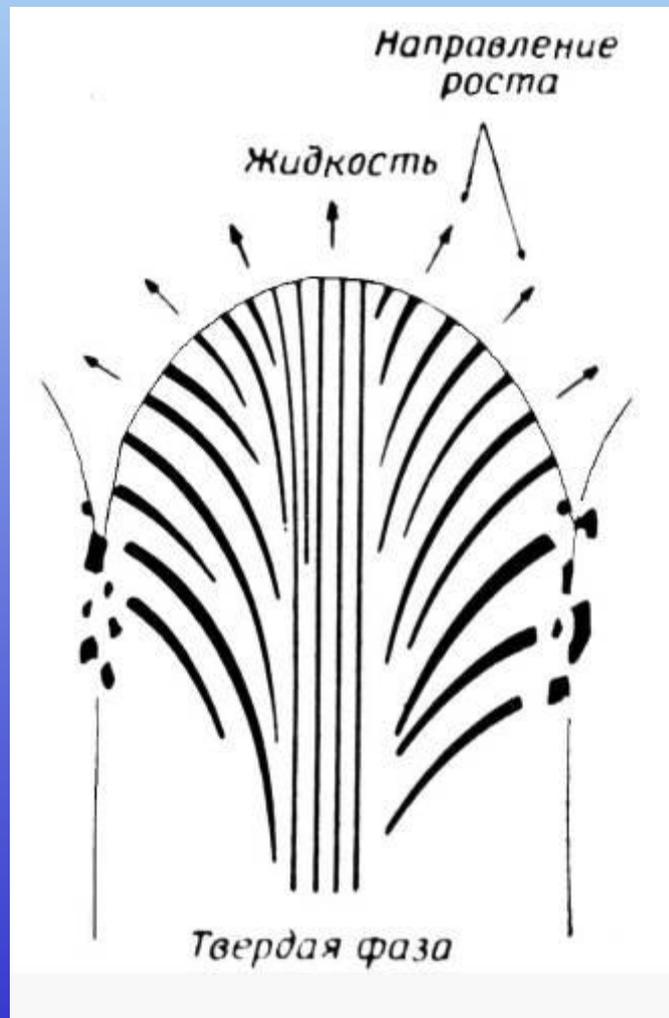


Рис. 7.27. Схематическое изображение эвтектической колонии, образующейся на движущемся фронте кристаллизации. По работе [Вайнгард, 1967].

## 7.5.2. Графические структуры в гранитных пегматитах.

Основная часть кварц-полевошпатовых сростаний, по мнению подавляющего большинства исследователей, явилась следствием эвтектической кристаллизации. Огромный вклад в изучение кварц-полевошпатовых графических сростаний внес А.Е. Ферсман [1960]. После установления некоторых законов сростания кварца с полевым шпатом Г. Розе [1837], А. Брейтгауптом [1839] и рядом других исследователей А.Е. Ферсман обобщил и дополнил все имеющиеся в литературе данные по этой проблеме. На основании точных измерений ориентировки кварца и полевого шпата во многих образцах графических сростков А.Е. Ферсман показал большую распространенность так называемых трапецоэдрических законов сростания, для которых трапецоэдрическая зона кварца совпадает с осью [001] полевого шпата. Эти законы впоследствии получили название ферсмановских.

Новая систематизация данных о закономерностях и распространенности тех или иных кварц-полевошпатовых сростаний была сделана И.Т. Бакуменко [1966]. Этим автором было показано, что ферсмановские законы сростаний не являются самыми распространенными в пегматитах, часто наблюдаются также сростания, для которых трапецоэдрическая зона кварца совпадает с осью [010] полевого шпата (II тип законов сростания) и ряд других.

Установление закона сростания различных минералов можно проводить разными методами. Если имеются какие-либо элементы огранки на сросшихся индивидах (например, ограненные головки кварца, выросшего на ихтиоглипте в полевом шпате из зародыша пегматита (см. фото), или рациональные поверхности негативных кристаллов кварца, т.е. вакуолей — включений в кварце), то возможно применение гониометра. С помощью гониометра измеряется ориентировка имеющихся граней кварца, а также граней или хотя бы плоскостей спайности полевого шпата.

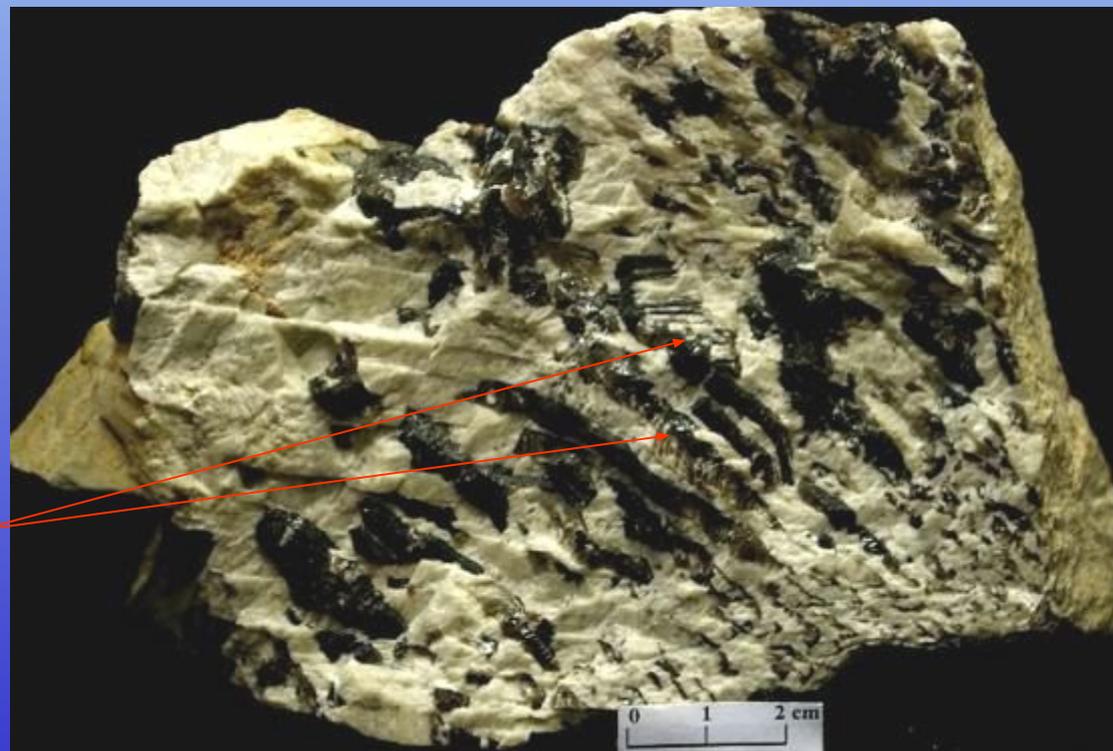


Образование идиоморфных кристаллов кварца и полевого шпата на затравках графических сростаний в занорыше пегматита. Обр. 433.

Наиболее часто применяют для определения закона срастания прозрачных двупреломляющих минералов федоровский метод. При этом в специально приготовленных точно ориентированных шлифах закономерных сростков удается определить не только оптическую ориентировку индивидов, но и направление индукционных ребер, которые бывают видны на поверхности взаимной индукции. Закон срастания можно установить в точно ориентированных срезах (или больших шлифах, приготовленных на эпоксидной смоле) с помощью рентгеновского метода: получают лауэграммы сначала для одного, потом для другого индивида сростка. Наконец, установлению ориентировки того или иного индивида помогают фигуры естественного или искусственного травления.

Морфология кварцевых вростков в графических кварц-полевошпатовых срастаниях была наиболее подробно описана А.Е. Ферсманом [1960] и затем И.Т. Бакуменко [1966]. Кварцевые вростки, или **ихтиоглипты**, в различных типах письменных гранитов оказались разновидностями скелетных кристаллов этого минерала. (**Ихтиоглиптами** А.Е. Ферсман назвал скелетные вростки кварца в полевом шпате из-за их сходства со скелетами рыб (см. фото). **Ихтиос** по-греч. **рыба** )

Классический письменный пегматит. Видно увеличение размеров кварцевых вростков во внешних зонах кристалла полевого шпата. Красными стрелками показаны скелетные ихтиоглипты кварца. Обр. 461.



И.Т. Бакуменко описаны гранные, реберные и вершинные скелетные формы кристаллов — востков кварца, что отчасти отражено в гл. 4.4.1. Весьма интересными оказались плоскостные или объемные вершинные формы, напоминающие “снежинки” (рис. 7. 28).

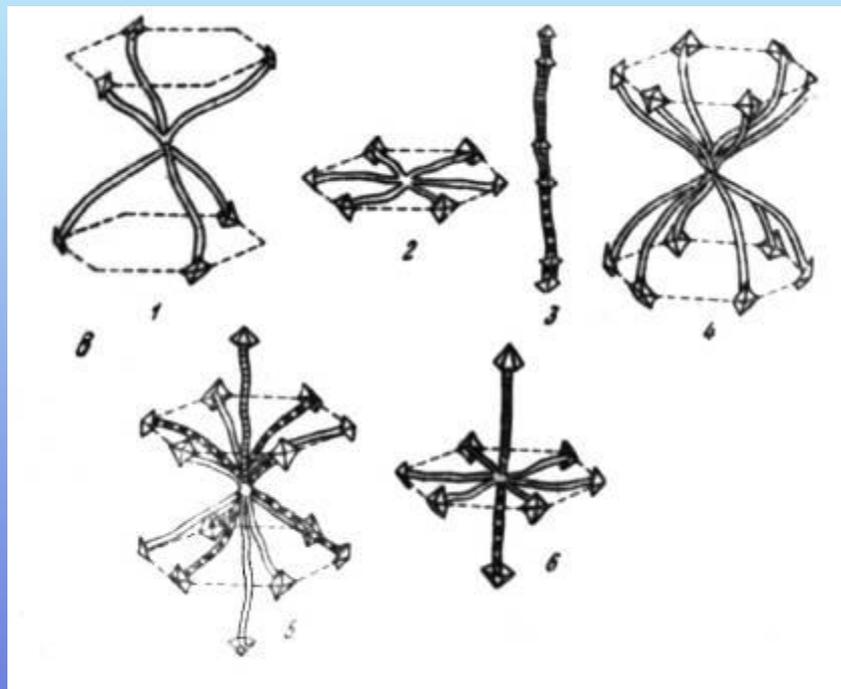


Рис 7. 28. Вершинные формы роста ихтиоглиптов кварца. По работе [Бакуменко,1966]. 1 — вершинный ромбоздр с ромбическими вершинками на окончании ветвей, 2 — вершинный гексагон, 3 — вершинный пинакоид, 4 — вершинная гексагональная дипирамида с соответствующими вершинниками на окончании ветвей, 5 — комбинации двух вершинных ромбоздров с вершинным пинакоидом, 6 — комбинация вершинного гексагона и пинакоида.



Вершинные скелетные кристаллы кварца в скелетно-графическом пегматите. Обр. 476.

Поверхность кварцевых вростков покрыта индукционной штриховкой, свидетельствующей, как указывалось ранее, об одновременной кристаллизации минерала-вростка и минерала-хозяина. На псевдогранях есть отдельные ровные плоскости, соответствующие определенным граням кварца, граням вмещающего его полевого шпата. На поверхности псевдограней бывает обычно хорошо видна штриховка (индукционные ребра), параллельная определенной грани минерала-хозяина, т.е. полевого шпата. Чаще всего штрихи — индукционные ребра — параллельны наиболее важным граням (001), (010), (201) полевого шпата. Если вросток кварца переходит из одной пирамиды роста полевого шпата в другую, то наблюдается коленчатый изгиб вростка и изменение расположения плоскостей индукционной штриховки (рис. 7. 29) при сохранении общей кристаллографической ориентировки вростка.

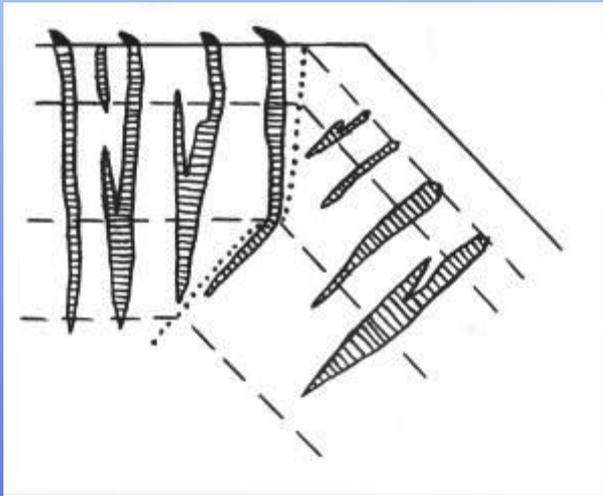
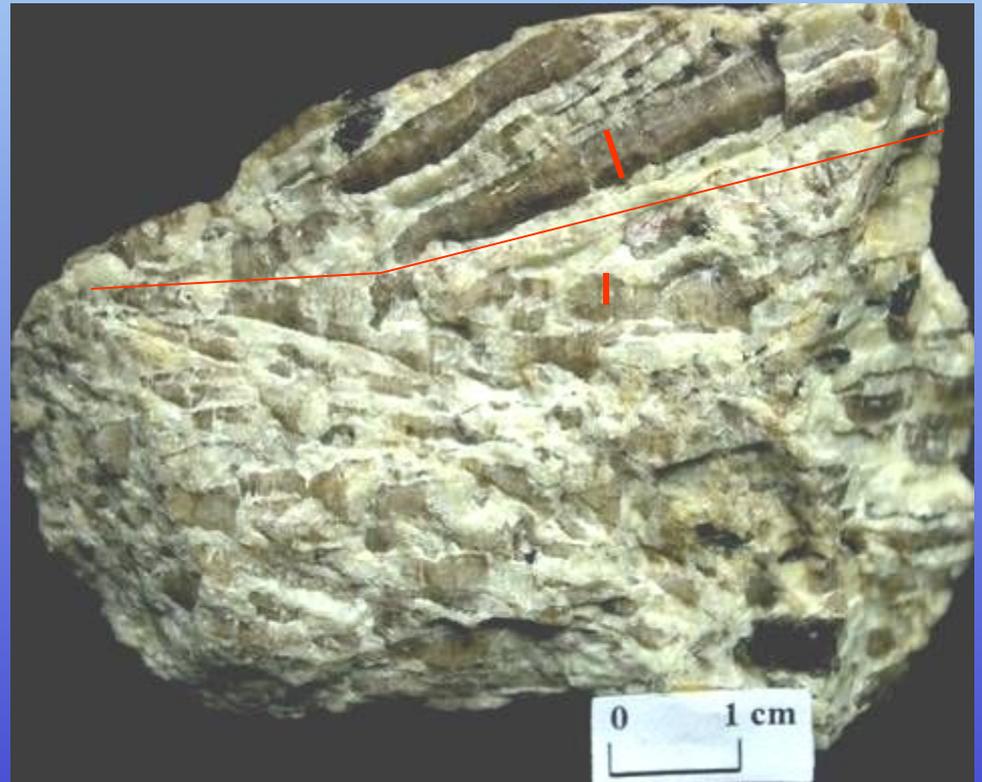


Рис. 7.29. Расположение “стай” ихтиоглиптов кварца вблизи от границы между двумя секторами роста полевого шпата. Зоны роста последнего показаны штриховыми линиями, а границы секторов роста — пунктирной. Виден коленчатый изгиб одного из ихтиоглиптов.



2 пирамиды роста кристалла полевого шпата с различным расположением в них удлиненных ихтиоглиптов кварца с разной ориентировкой индукционной штриховки. Обр. 444.

Расположение ихтиоглиптов кварца в пределах монокристалла полевого шпата строго подчинено зональности минерала-хозяина: вростки расположены сериями ("стаями") в пределах какой-либо пирамиды роста, причем они удлинены нормально к соответствующей грани полевого шпата. Иногда наблюдается ритмическое изменение межпластинчатого расстояния между вростками, подчеркивающее зональность минерала-хозяина. Такое зонально-ритмическое строение кварц-полевошпатового агрегата отражает изменение его скорости роста. Иногда наблюдается резкий обрыв "стай" на определенной стадии роста грани полевого шпата (рис. 7.30), что можно объяснить выходом системы из эвтектических условий кристаллизации. В этом случае вростки кварца иногда заканчиваются хорошо ограниченными головками, заключенными в моноблоках полевого шпата.



Рис. 7.30. Чередование зон с ихтиоглиптами кварца различной величины в кристалле полевого шпата. Обр. 464-1 из коллекции Е.В. Белогуб. Урал, Ильмены.

Большинство кристаллов полевого шпата с графическими вростками кварца растет, удлиняясь в направлении к центру пегматитового тела вдоль отрицательного конца оси [100]. При этом растущие моноблоки полевого шпата, иногда очень крупные по размеру, подчиняются геометрическому отбору особенно вблизи от внешнего контакта данной зоны.

Очень часто монокристаллы полевого шпата имеют всего одну или две пирамиды роста, тогда как другие угнетены при геометрическом отборе. Это однозначно свидетельствует об образовании агрегатов как графической, так и блоковой зон пегматита путем прямой кристаллизации.

Интересны зональные кристаллы полевого шпата, в которых внутренние зоны имеют графические вросстки кварца, а внешние свободны от них (см. фото). В таких полевых шпатах, представленных микроклином, всегда наблюдается закономерное увеличение содержания натрия к внешней мономинеральной зоне; одновременно с этим увеличивается и количество пертитов распада в микроклине внешней зоны. В плагиоклазовых моноблоках аналогичного зонального строения в мономинеральной внешней зоне отмечается увеличение количества кальция по сравнению с внутренней зоной, содержащей вросстки кварца. Эти наблюдения наряду с данными изучения температур гомогенизации первичных включений в кварца [Бакуменко, 1966] показали, что кварц-полевошпатовые зоны пегматита кристаллизовались при несколько более низких (на 15-29 °С) температурах, чем залегающие ближе к центру тел зоны блокового пегматита.

Весьма интересны данные Г.П. Барсанова и Э.Я. Гурьевой [1964] о возможности различия высокотемпературного  $\beta$ -кварца от низкотемпературного  $\alpha$ -кварца по особенностям их двойникования. Показано, что для графических сростаний характерен высокотемпературный  $\beta$ -кварц, претерпевший впоследствии  $\beta$ - $\alpha$ -переход.

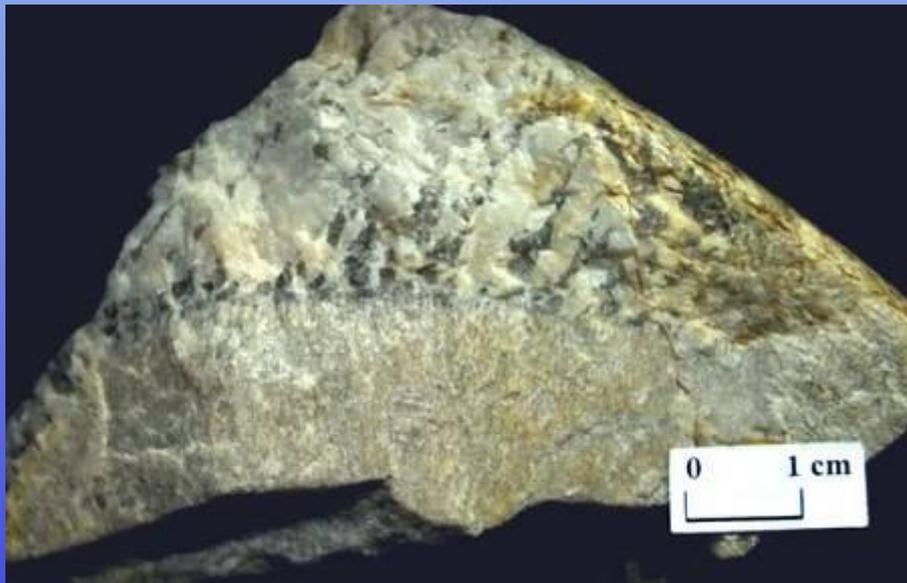
Нарастание зоны чистого полевого шпата на письменный пегматит с зонально-секториальным строением. Виден "обрыв" ихтиоглиптов по плоскостям индукции. Обр. 447.





**Классическая графическая структура. На разных сколах кристалла полевого шпата ихтиоглипты кварца создают разный узор. Обр.**

**Классическая графическая структура. Ихтиоглипты кварца имеют футляровидную форму (реберные скелеты). На поверхности образца видны регенерированные вросстки кварца. Обр. 464.**



**Микрографическая структура графики в крупном кристалле полевого шпата переходит в классическую с укрупненными вростками кварца. Обр.**



В пегматитах нередко встречаются сходные с графическими срастания кварца с гранатом, турмалином, мусковитом и реже другими минералами (рис. 7.31). Близкое внешнее сходство с приведенным на рис. 7.31 сростками кварца и шерла имеют эвтектические колонии в кристаллах карбидов медленно охлаждающихся сплавов Fe-Mo-C.



Рис. 7.31. Кварц-турмалиновая (шерловая) «графика». Питкяранта. Образец 462. Из коллекции П.Б. Соколова.



Турмалино-полевошпатовая «псевдографика». Питкяранта. Люпико. Обр. 463.

**Срастания таких минералов чаще приурочены к промежуткам между крупными кристаллами полевых шпатов и, без сомнения, требуют еще дополнительных исследований для объяснения механизма их формирования.**



**Турмалин-полевошпатовый графический агрегат цементирует кристаллы полевого шпата. Обр. 472-1. Киргизия. Туркестано-Алай. Дар Г.А. Ильинского.**



**Кварц-турмалиновые графические срастания между идиоморфными выделениями полевого шпата. Обр. 465. Алдан.**

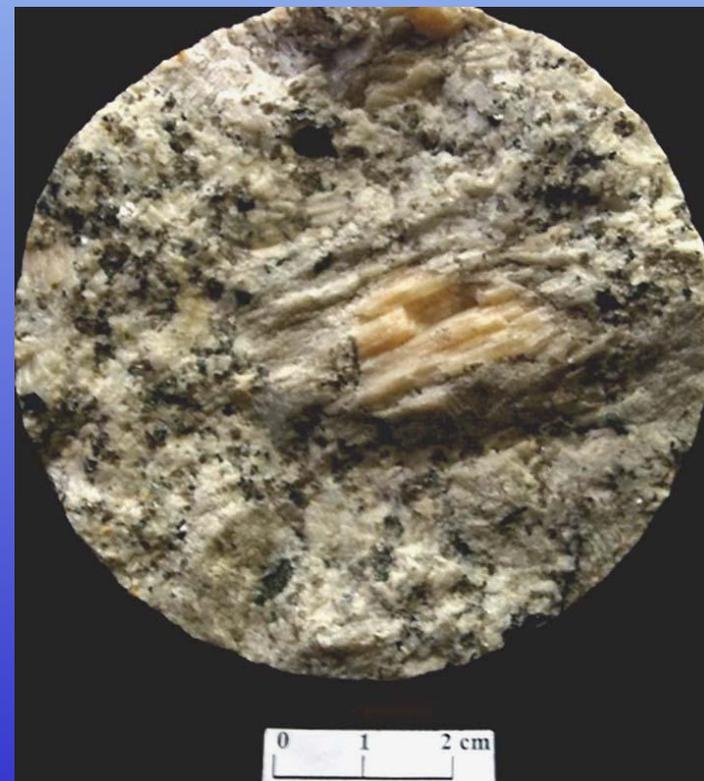


**Кварц-гранатовые графические срастания. Корякия, п-ов Тайганос, бас. Р. Ититят. Обр. 470-1. Дар студ. С. Серегина.**

Для пегматитов разных геохимических типов (слюдоносных, редкометальных, редкоземельных, хрусталеносных) характерны различные количественные соотношения кварца и полевого шпата в графических сростках. Это обусловлено разной температурой, давлением и содержанием ряда летучих компонентов в среде, что оказывает большое влияние на условия эвтектической кристаллизации кварца и полевого шпата [Родионов, 1972].

На основании изучения большого разнообразия морфологических типов закономерных кварц-полевошпатовых сростков И.Т. Бакуменко [1966] выделяет следующие их разновидности. К первично магматическим, образовавшимся в результате эвтектической кристаллизации кварца и полевого шпата, он относит, лучисто-венчиковые графические сростки, порфиоровидно-графические и классические письменные структуры. Для графических сростков лучисто-венчиковой структуры, напоминающих ледяные узоры на стекле, характерно частое искривление удлиненных ихтиоглиптов, сопровождающееся изменением ориентировки индукционной штриховки. Такие структуры соответствуют зоне геометрического отбора при друзовом росте зерен полевого шпата, располагающейся обычно непосредственно за аплитовой зоной.

В порфиоровидно-графических структурах роль вкрапленников могут играть мономинеральные зерна как кварца, так и полевого шпата, что зависит от последовательности кристаллизации минералов в данной эвтектической системе. Внешние зоны вкрапленников имеют уже графическую структуру, что свидетельствует о начале эвтектической кристаллизации системы. Основная масса цементирующих вкрапленников имеет микрографическую структуру.



# Кварц-полевошпатовые срастания.

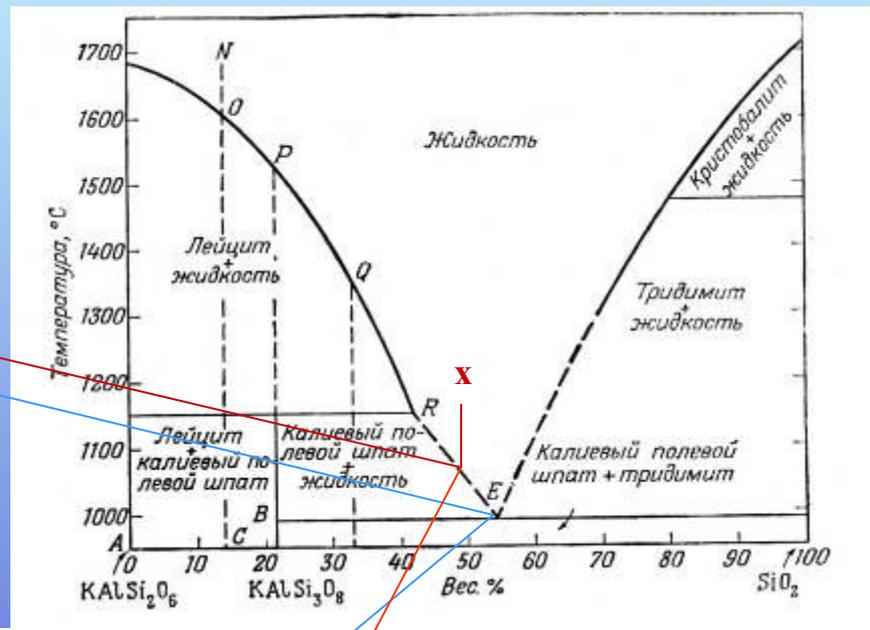
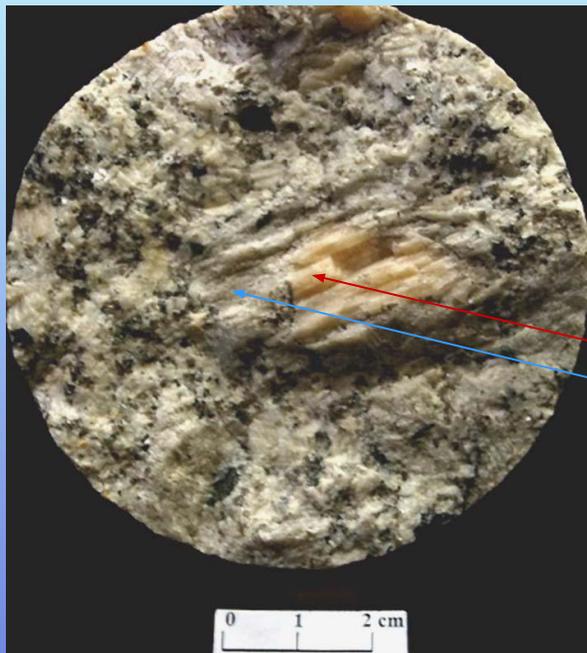
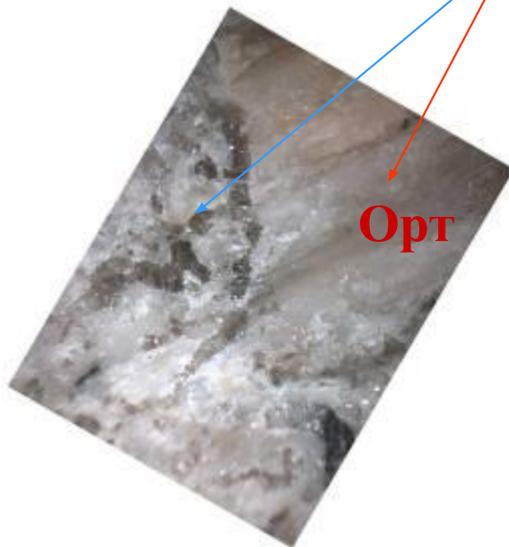
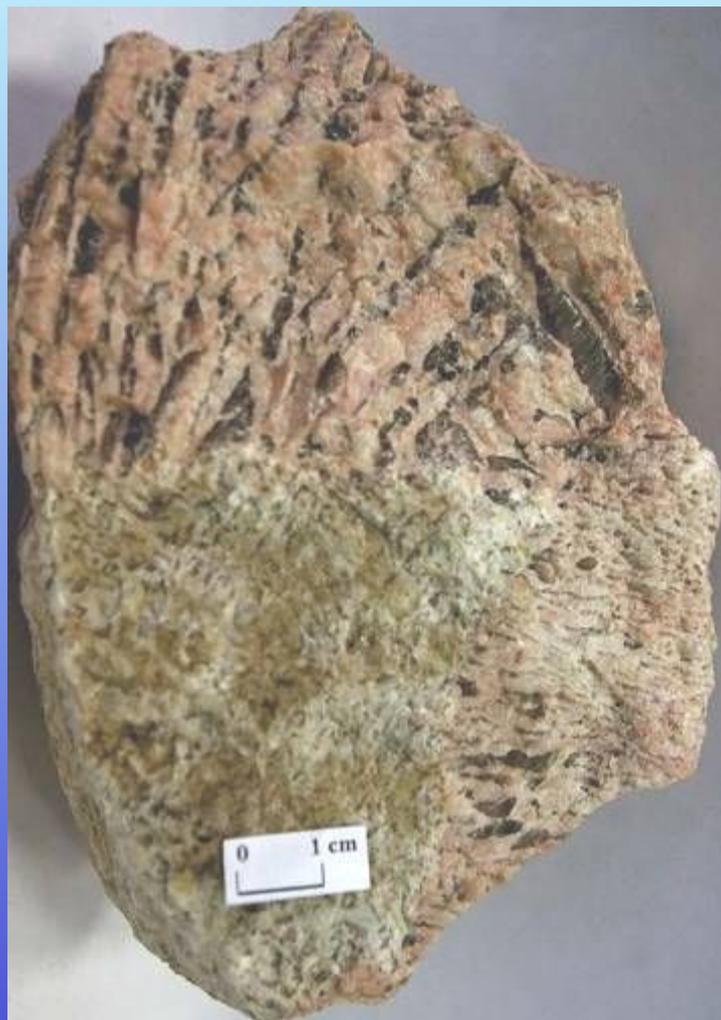


Фото. Гранит порфоровидно-графической структуры с вкрапленником полевого шпата. Обр. 432.



Микрофото Обр. 432 под бинокляром. .

**Постепенно лучисто-венчиковая графика переходит в классическую, для которой характерна отчетливая прямая зависимость размера кварцевых вростков от размера моноблока полевого шпата (фото обр. 457).**



**Кварц-плагиоклазовая и кварц-микроклиновая графика из пегматита. Кольский п-ов, Риколатва. Обр. 457.**

Среди вторичных сегрегационно-метасоматических типов структур И.Т. Бакуменко выделяет такие разновидности: скелетно-дендритно-графические, прожилково-кварцевые, псевдописьменные (или антиграфические) и пегматоидные. Для скелетно-графических структур характерны кварцевые вростки снежинкообразной, моховидной, ёльчатой, крестообразной форм (обр. 483)



**Пегматит скелетно-графической структуры. Обр. 483.**

Для прожилково-кварцевых структур характерно развитие неправильной формы вростков кварца (с которым часто ассоциируют и другие минералы) вдоль секущих трещин в монокристаллах полевого шпата.

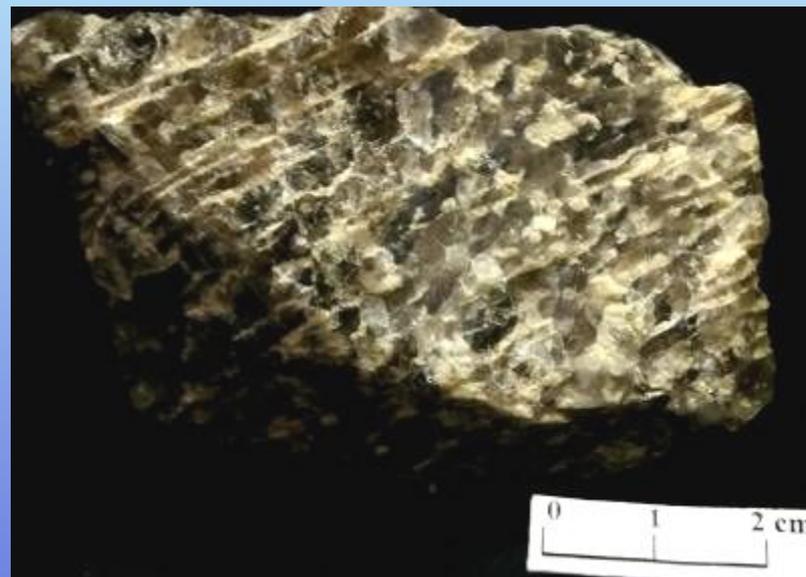


Цепочка кристаллов граната в блоковом (плагиоклазовом) пегматите. Сев. Карелия, Чупа, Черная Салма. Обр. 481. Дар В.А. Леоновой.

**Антиграфические структуры характерны для зон пегматита вблизи от кварцевого ядра. Для таких структур отмечаются пластинчатые или неправильной формы реликты (?) полевого шпата в блоках сплошного кварца. В таких структурах сохраняется закономерный характер срастания кварца с полевым шпатом.**



**Петельчатая структура пегматита. Антиграфика. Обр. 466**



**Антиграфическое срастание кварца с полевым шпатом. Обр. 474**

Для пегматоидных графических агрегатов типична изометрическая форма кварцевых вростков, а также сочетание индукционной и комбинационной (собственной) штриховки на поверхности вростков.

На основании многостороннего изучения закономерных кварц-полевошпатовых сростаний, а также и других особенностей строения пегматитов большинство исследователей приходит к выводу об их полигенном образовании. Ведущую роль при их формировании играли магматогенные процессы кристаллизации, которые постепенно сменялись более поздним преобразованием под воздействием наложенных вторичных процессов замещения, перекристаллизации и сегрегации.

#### Вопросы по теме

1. Что называется эвтектикой и эвтектической кристаллизацией?
2. В каких системах может происходить эвтектическая кристаллизация, и каковы их отличительные черты?
3. Какие известны морфологические типы эвтектических сростков?
4. Какие признаки могут доказывать совместную кристаллизацию двух фаз?
5. Что такое «межпластинчатое расстояние», и на что указывает его изменение?
6. Какие типы графических сростаний минералов известны в гранитных пегматитах? Как называются кварцевые вростки в графических сростаниях?
7. Какие методы используются для установления закона сростания кварца и полевого шпата в письменных гранитах?
8. При каких условиях формируются разные типы графических сростаний кварца и полевого шпата в гранитных пегматитах?

## Литература

- Бакуменко И.Т. Закономерные кварц-полевошпатовые сростания в пегматитах и их генезис. М., Наука, 1966. 172 с.
- Барсанов Г.П., Гурьева Э.Я. О значении и методах исследования  $\alpha$ - $\beta$ -превращения природного кварца. – Тр. Минерал. музея АН СССР, 1964, в.15, с.3-38.
- Бочвар А.А. Механизм и кинетика кристаллизации сплавов эвтектического типа. М., ОНТИ, 1935. 82с.
- Вайнгард У. Введение в физику кристаллизации металлов. М., Мир, 1967. 160 с.
- Дымкин А.М., Пермьяков А.А. Онтогенез магнетита. Свердловск, УНЦ АН СССР, 1984. 188 с.
- Никонова В.В., Рахманова Э.П. Морфология эвтектических колоний. - В кн.: Рост кристаллов. М., Наука, 1972, т. 9, с. 176-181.
- Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., Иностран. лит., 1962. 1132 с.
- Родионов Г.Г., Калугина Е.Н., Баландина Л.И. и др. О природе и соотношениях графических и блоковых пегматитов. - Изв. АН СССР, Серия геол., 1972, N 8, с. 28-37.
- Таран Ю.Н., Мазур В.И. Структура эвтектических сплавов. М., Металлургия, 1978. 312 с.
- Ферсман А.Е. Избранные труды. М., изд-во АН СССР, 1952, т. I, с. 51-53; 1953, т. II, с. 456; 1958, т. IV, с. 105-127; 1960, т. VI, с. 645-658.
- Флемингс М. Процессы затвердевания. М., Мир, 1977. 424 с.
- Юбел Р.П. Петрогенезис письменных гранитов. - В кн.: Морфологические и фазовые равновесия минералов. София, изд-во АН, 1986, с. 125-136.
- Breithaupt A. Über regelmäßige Verwachsungen von Kristallen zweier und dreier Mineralspezies. - Neues Jahrb. Mineral., 1839, s.89.
- Ereyberg B. von. Observationes geologicae en la region de las agatas de la Serra Geral. - Boletin Acad. Nac. Cien. Cordova, 1927, t. XXX, p. 129-170.
- Jackson K.A., Hunt J.D. Lamellar and rod eutectic growth. - Trans. Metallurg. Soc. AIME, 1966, 236, N 8, p. 1129-1142.
- Rose G. Reise nach dem Ural. 1. 1837. 445 S.