

Флюиды разных типов при кристаллизации гранитоидных пород

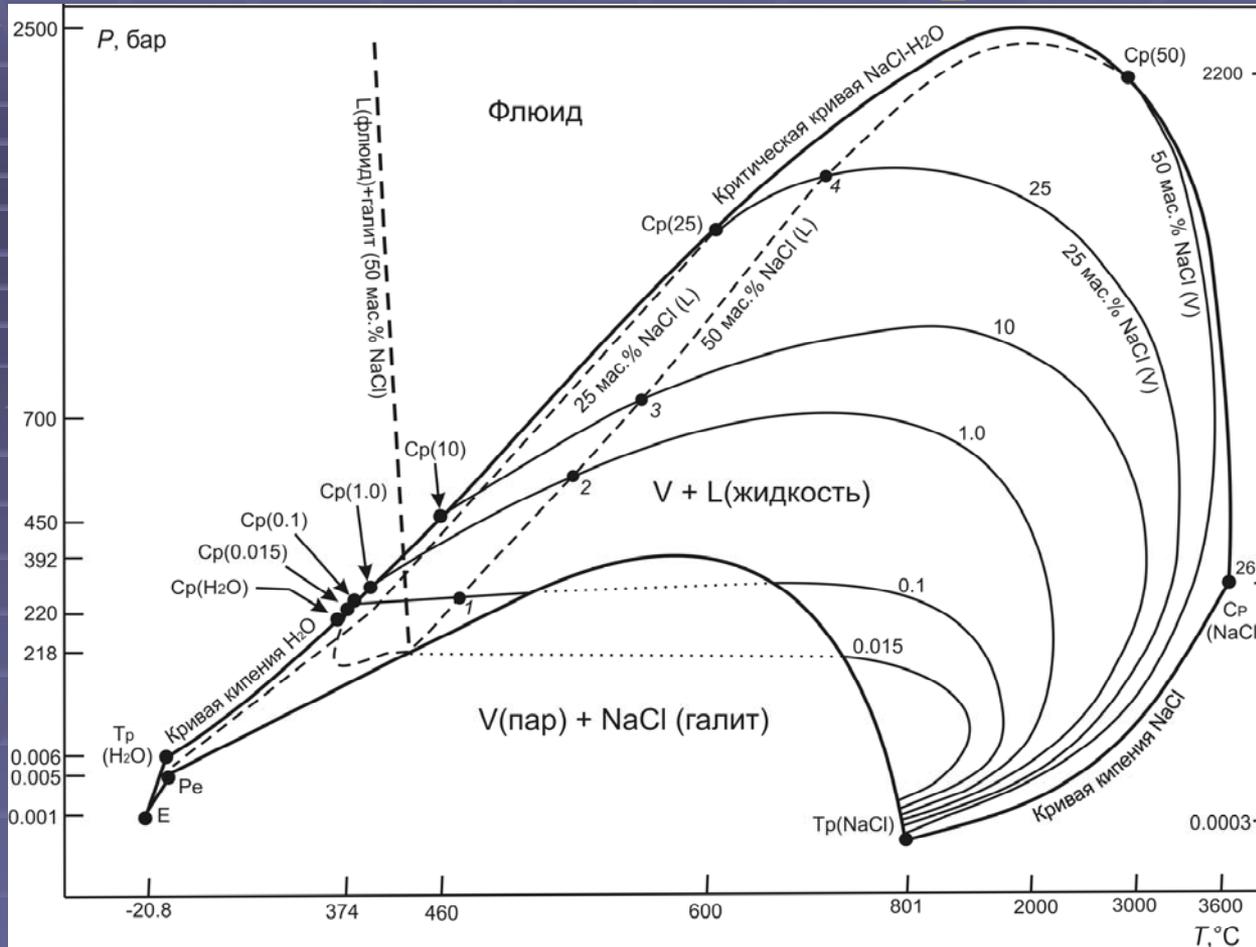
*И.С. Перетяжко
Институт геохимии им. А.П.
Виноградова, г.Иркутск*

Интерпретация данных по термометрическим свойствам содержимого **флюидных и расплавных включений** требует анализа P - V - T - X фазовых диаграмм растворов разных типов. Ниже представим краткий обзор свойств **нескольких типов водно-солевых растворов**, характерных для природных флюидных систем, а также необычных **гелеподобных флюидных сред**, участвующих в процессах формирования риолитов, гранитов, гранитных пегматитов и селикситов (существенно кварцевых тел).

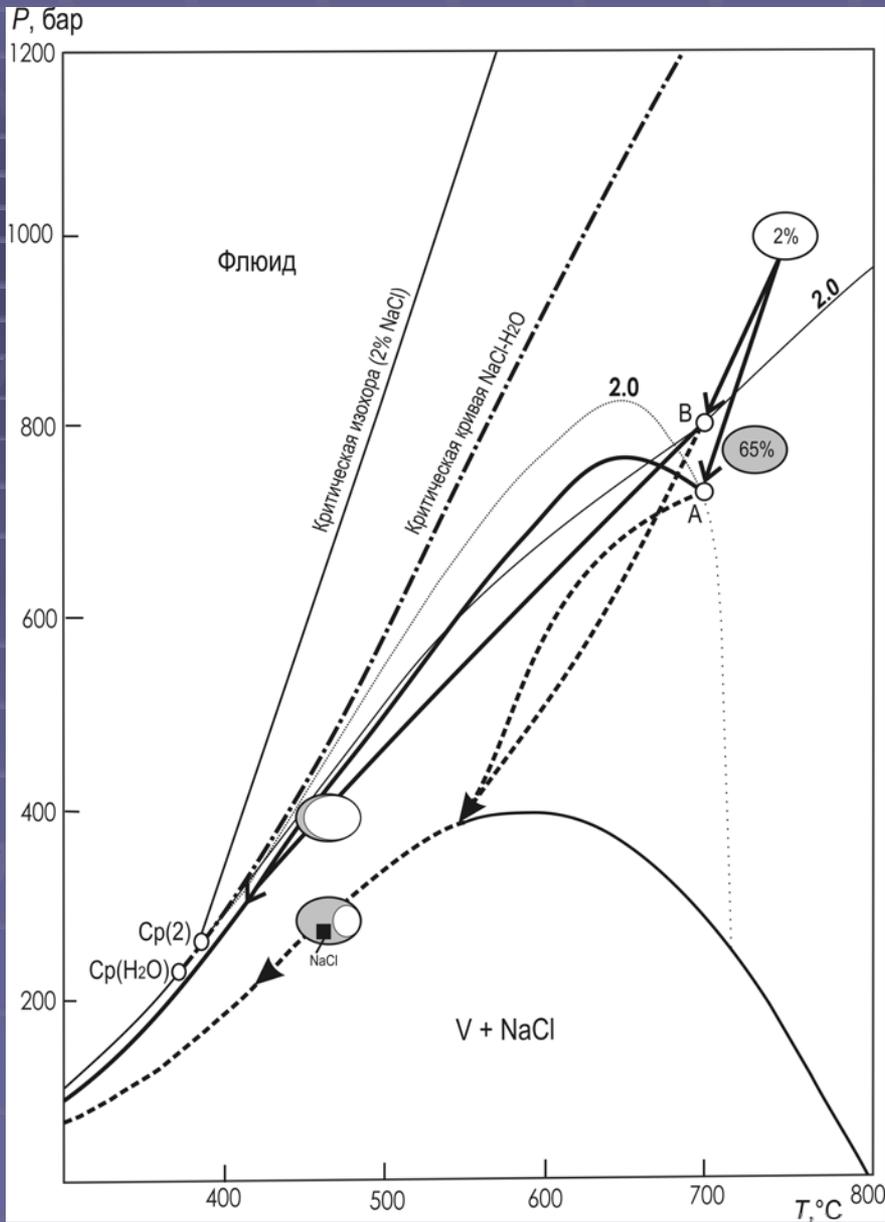
Свойства **водных флюидов** при повышенных температурах и давлениях определяются **коэффициентами растворимости** **входящих** в их состав соединений и отсутствием или наличием **критических явлений** в **насыщенных растворах**. По этому признаку водные системы делятся на два типа [Равич, 1974; Валяшко, 1990].

Для **водных растворов первого типа** характерно непрерывное увеличение растворимости компонента (**NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, LiCl, NaOH, KOH, KF, CsOH, RbOH, H₃BO₃** и др.) с повышением температуры.

P-T проекция системы $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$



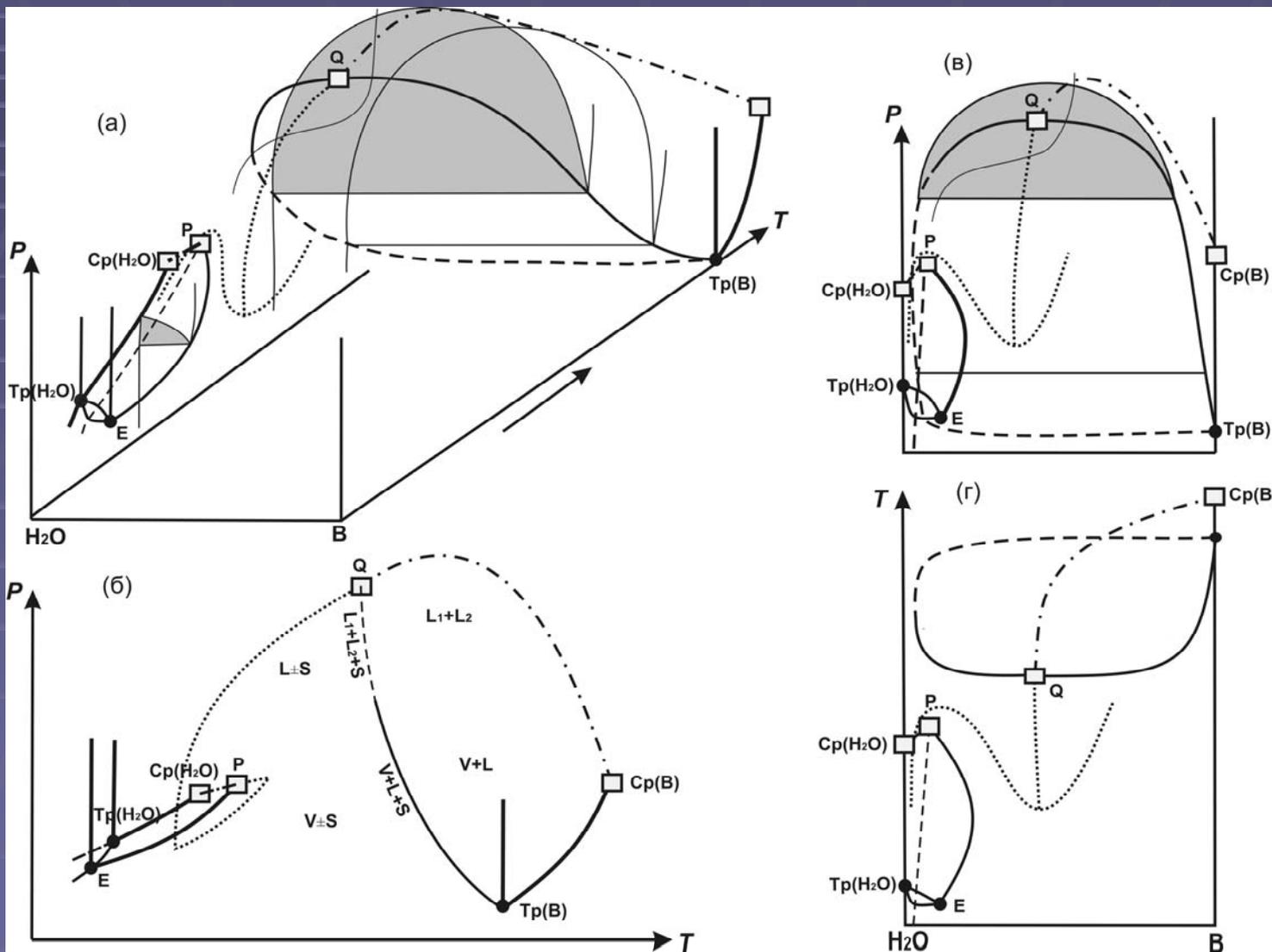
При изучении флюидных включений используются **только *P-V-T-X*** свойства растворов этого типа, главным образом, **хлоридов натрия**.

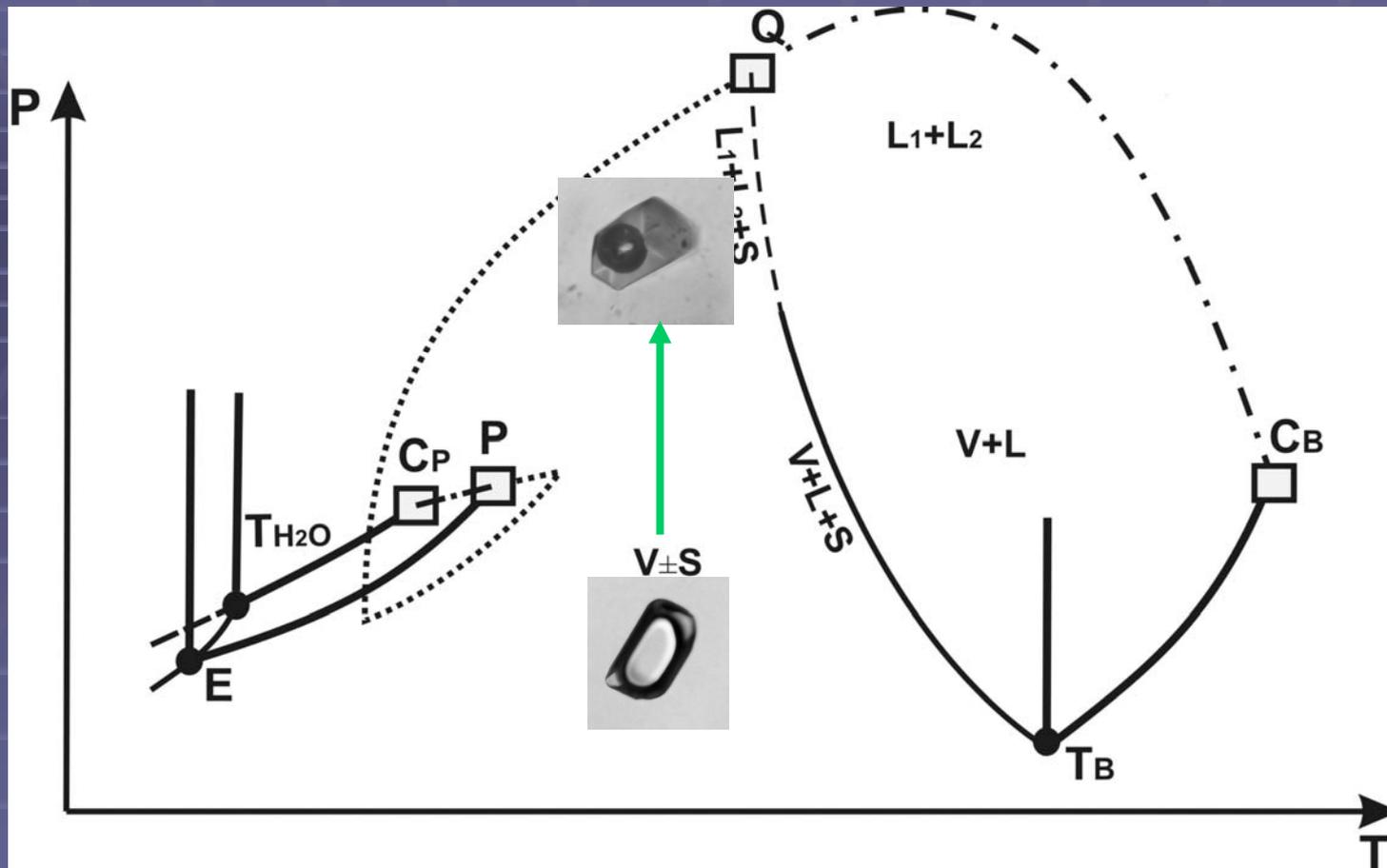


P - T проекция фазовой диаграммы $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ с изоплетой парового раствора (2 мас.% NaCl): тонкая точечная линия – по [Sourirajan, Kennedy, 1962], тонкая сплошная линия – по [Anderko, Pitzer, 1993].

Во **втором (или P-Q) типе** флюидных систем растворимость компонентов (**NaF, LiF, Na₂CO₃, Na₂SO₄, K₂SO₄, Li₂SO₄, кварца, большинства силикатных минералов**) достигает минимальных значений в точке **P** (вблизи критической точки воды), а при температурах выше точки **Q** значительно повышается.

P-T-X схема фазовой диаграммы системы второго (P-Q) типа с метастабильной областью расслаивания и ее *P-T*, *P-X*, *T-X* проекции



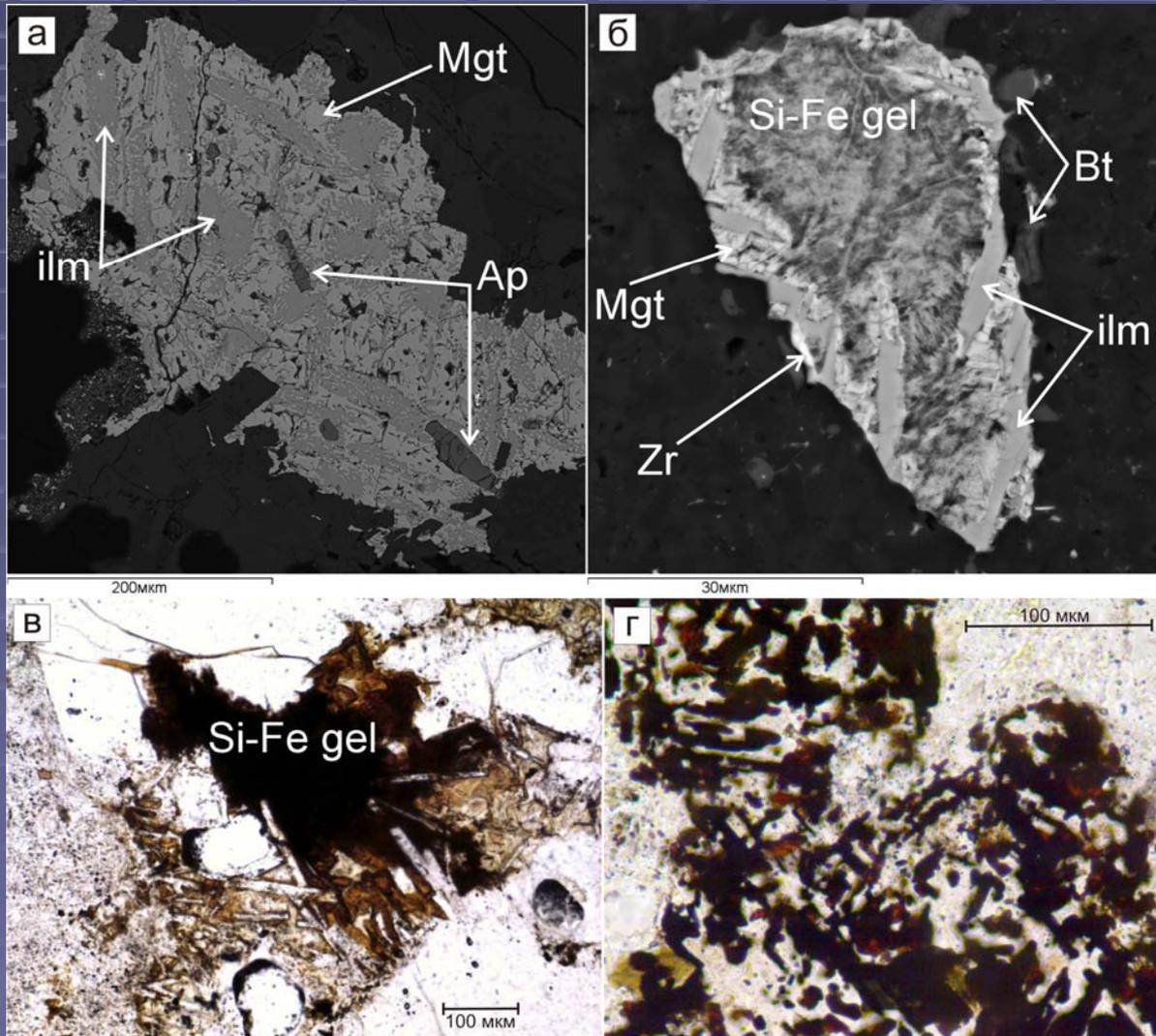


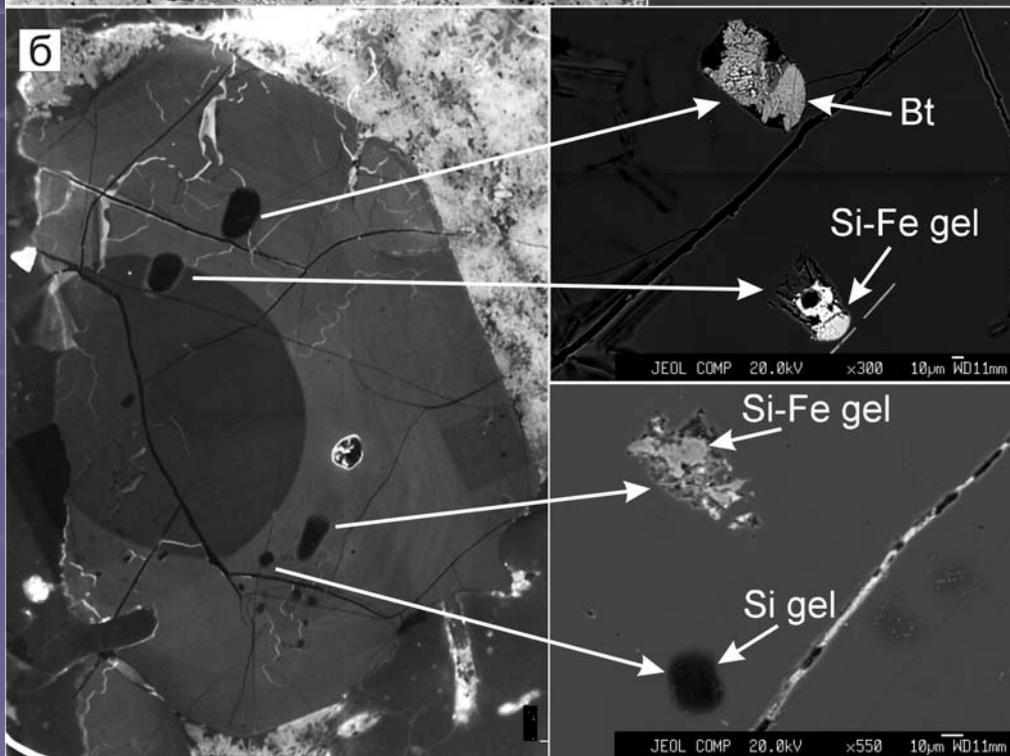
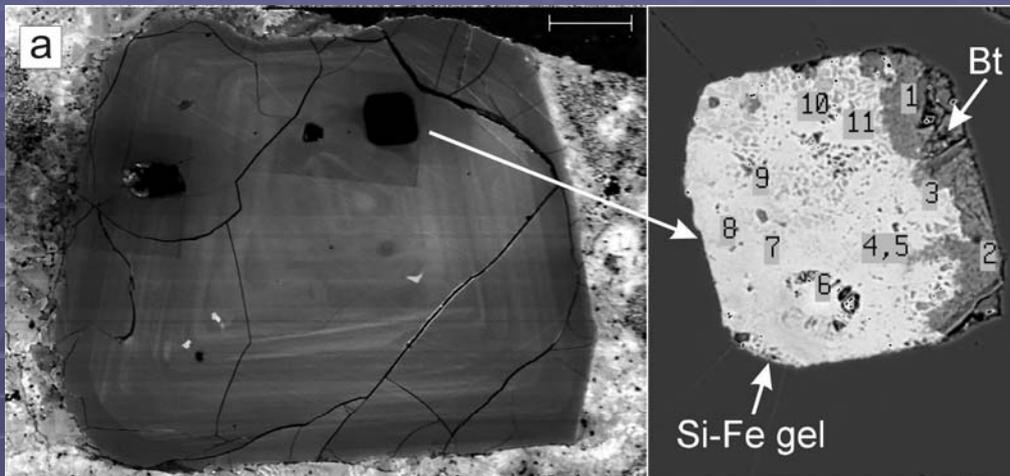
Между точками P и Q существует гомогенный флюид – ненасыщенный либо насыщенный в равновесии с солью. Плотность флюида в этой области постепенно возрастает при изотермическом повышении давления.

Коллоиды — высокодисперсные микрогетерогенные системы, промежуточные между **истинными растворами и суспензиями или эмульсиями** (т.е. грубодисперсными системами) с размером частиц **дисперсной фазы 0.1-0.01 мкм**. Средой для дисперсных фаз может быть любой растворитель. К коллоидам относят обычные коллоидные растворы — **золи** и коагулированные или структурированные системы — **гели**. **Студни или гели** — концентрированные растворы высокомолекулярного вещества и низкомолекулярной жидкости.

На основе анализа многочисленных экспериментальных данных было показано, что **гелеподобные флюидные среды**, предположительно, **коллоидной природы** существуют в широком диапазоне температур (**250-800°C**) и давлений (**50-2500 бар**) за счет взаимодействия флюида (истинного раствора) с кристаллическими фазами и/или силикатными расплавам. Их образование может быть связано с процессами **полимеризации и гелирования** растворенных форм кремнезема, глинозема и других компонентов, находящихся в **коллоидно-дисперсных флюидных средах**.

Силикатно-железистые обособления в матрице риолита





КЛ-изображения
зональных зерен
кварца и врезки
изображений
включений
силикатных и
силикатно-
железистых
гелеподобных
флюидных фаз.

Признаки текучего состояния магматической силикатной среды (селикагеля?)



Кварцевая жила (селиксит) с ксенолитами сланцев

Кварцевый порфир с флюидальными зонами

Выделения кварца в гранитах



Селиксит в гнейсах

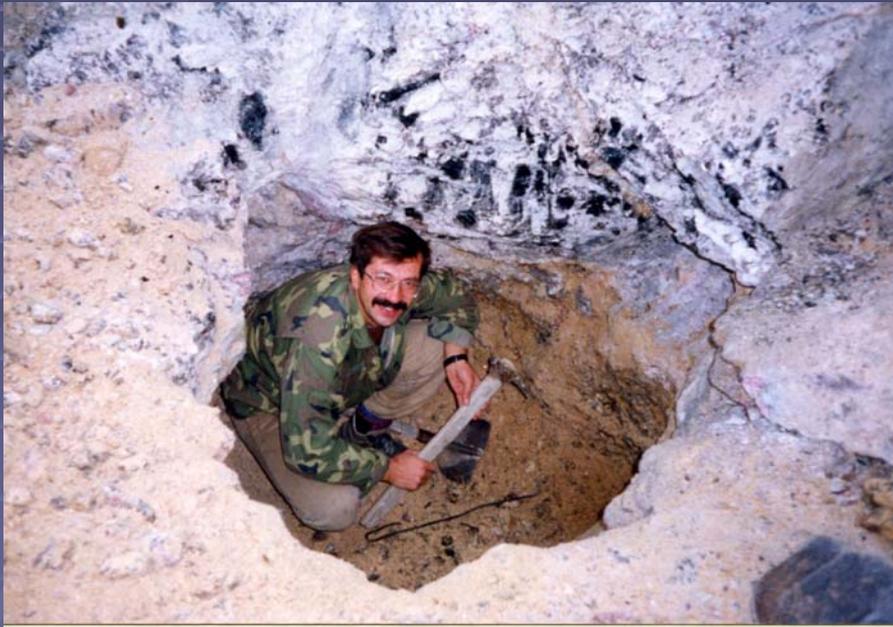
Селикагели могут быть средой, из которой формировались **массивные обособления кварца** в гранитных пегматитах



Редкометалльные комплексы в гранитных пегматитах со значительными вариациями турмалина, лепидолита, петалита или сподумена, поллуцита, топаза, апатита, флюорита, танталониобатов и других минералов также, формировались на **магматической стадии**, предположительно, **из гелеподобных алюмосиликатных флюидных сред**.



Первичные миаролы в комплексах магматической кристаллизации достигают в объеме **многие кубические метры**



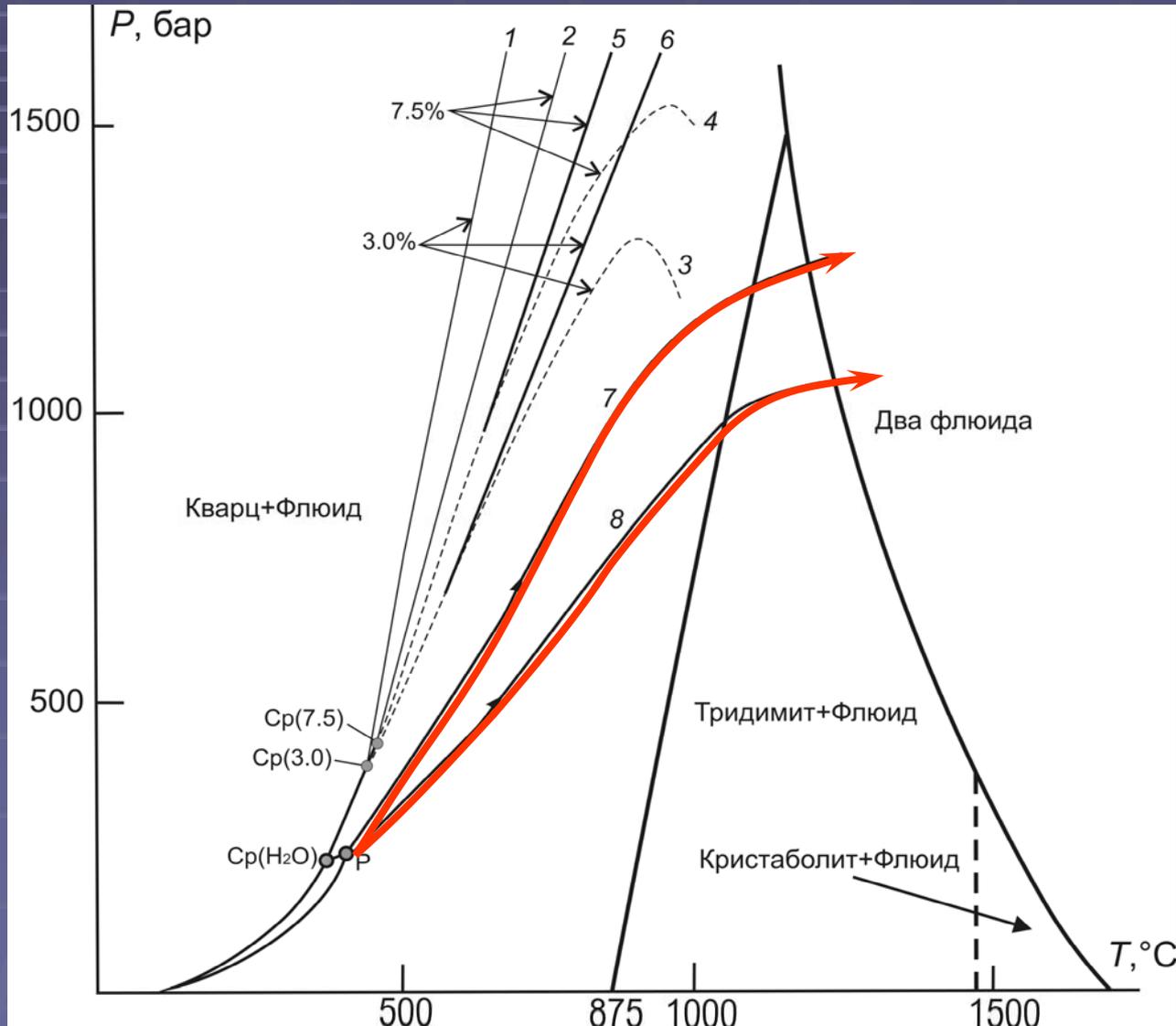
При анализе условий кристаллизации пород разного генезиса необходимо установить **тип флюидной среды** (**первый или P-Q**), а также учитывать ее **агрегатное состояние**.

Покажем примеры **интерпретации термометрических данных по флюидным включениям** и некоторые выводы по условиям кристаллизации **миароловых гранитных пегматитов и онгонитов**, основанных на анализе *P-V-T-X* данных по флюидным средам разных типов.

Характерные свойства флюидных включений с растворами разных типов :

- **Постепенное растворение дочерних кристаллов** при повышении температуры, совместное присутствие газовых и концентрированных жидких включений с растворимыми фазами однозначно определяет **первый тип растворов**.
- **Наличие дочерних фаз, нерастворимых при нагревании, отсутствие признаков вскрытия** существенно газовых флюидных включений до очень высоких температур (**выше 1000°C**) с большой долей вероятности указывают на принадлежность растворов во включениях к **системе P-Q типа**.

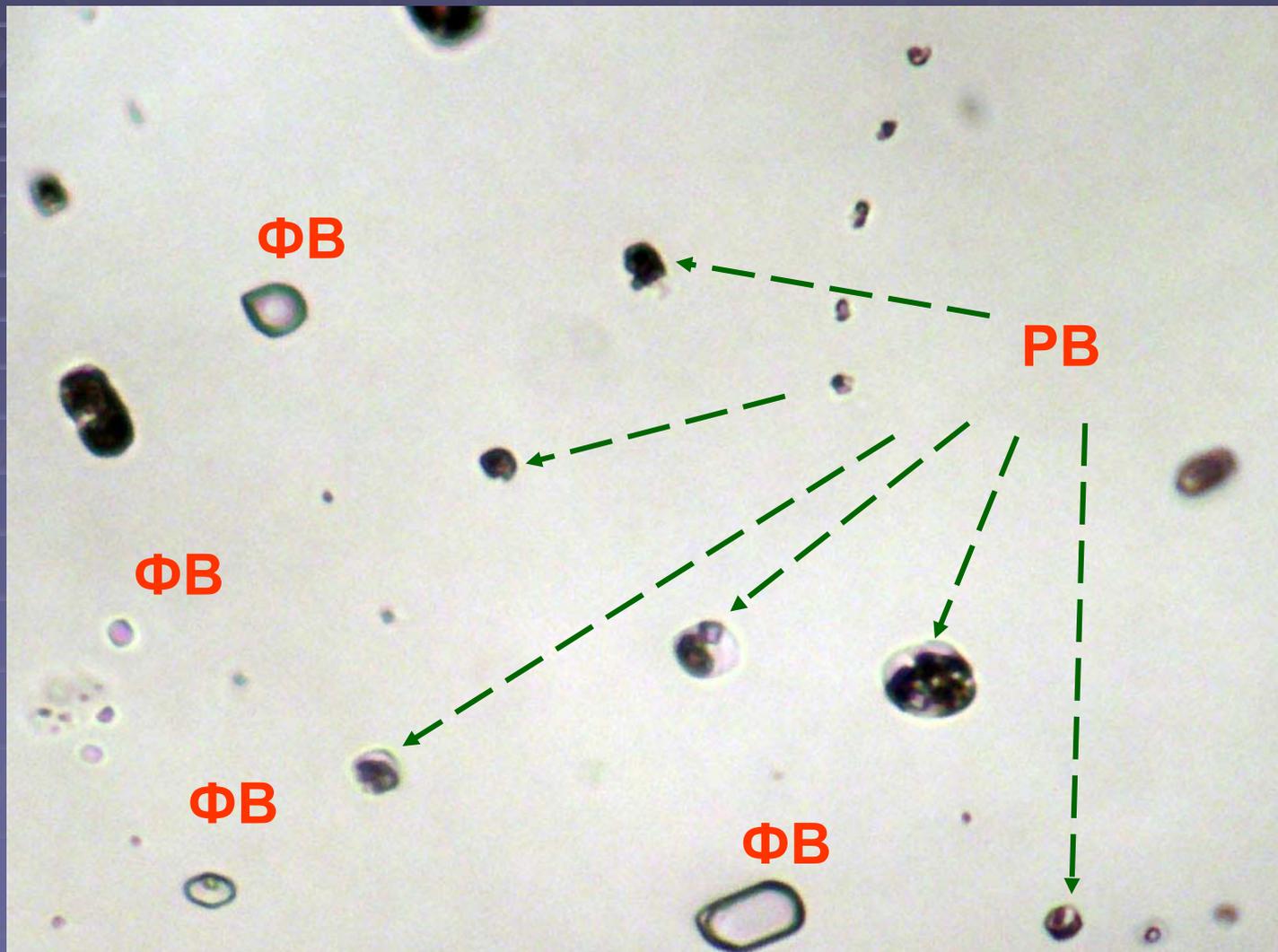
Изменение флюидного давления для флюидов первого и P-Q типа



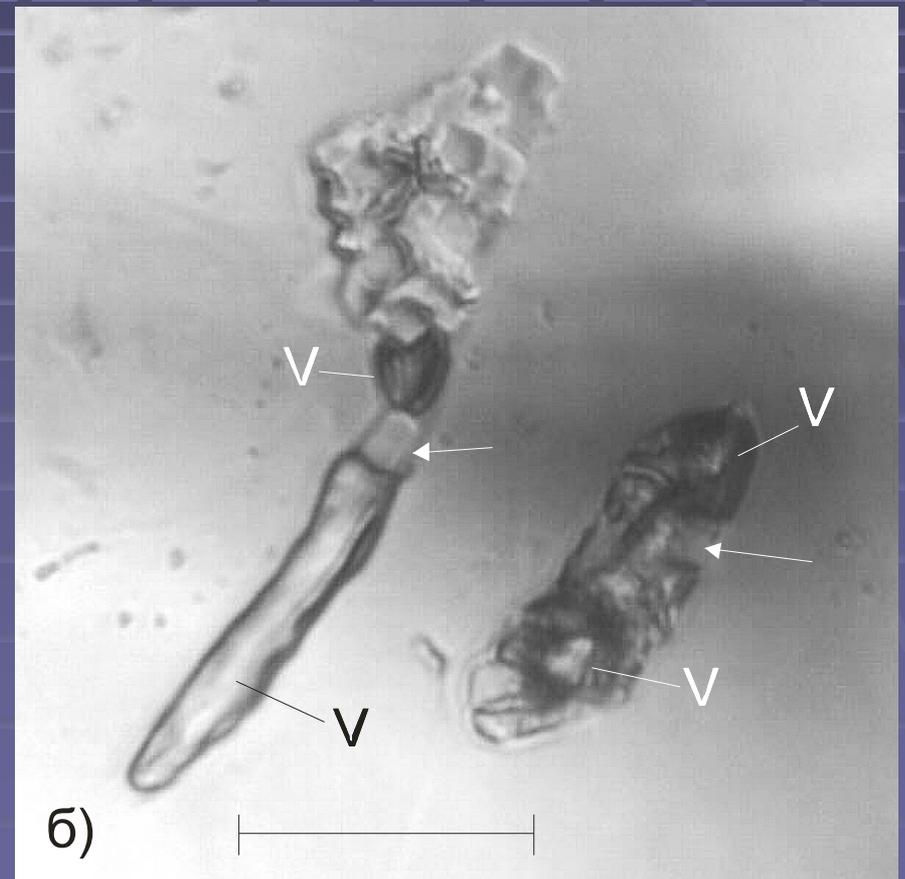
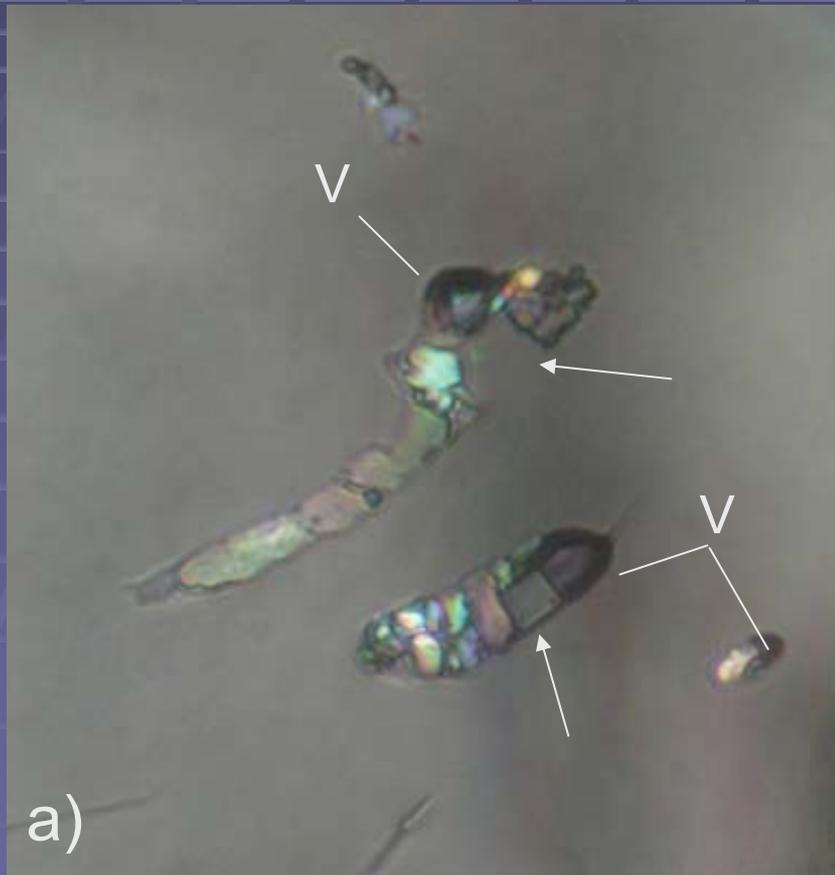
Необоснованное отнесение растворов P-Q типа, например, к хлоридной системе первого типа приводит к значительному завышению флюидного давления. Следует также учитывать, что в многокомпонентных природных флюидных системах температурный коэффициент растворимости соединений, а следовательно и тип флюида, может меняться в зависимости от их концентраций и T-P условий (Равич, 1980; Валяшко, 1990).

При изучении онгонитов массива Ары-Булак обнаружены включения магматического NaF-содержащего флюида P-Q типа и было показано как изменение его состава с увеличением концентрации хлоридов привело к вскипанию и выделению солевого рассола вследствие перехода флюидной системы к первому типу (Перетяжко, 2009; Перетяжко, Савина, 2010).

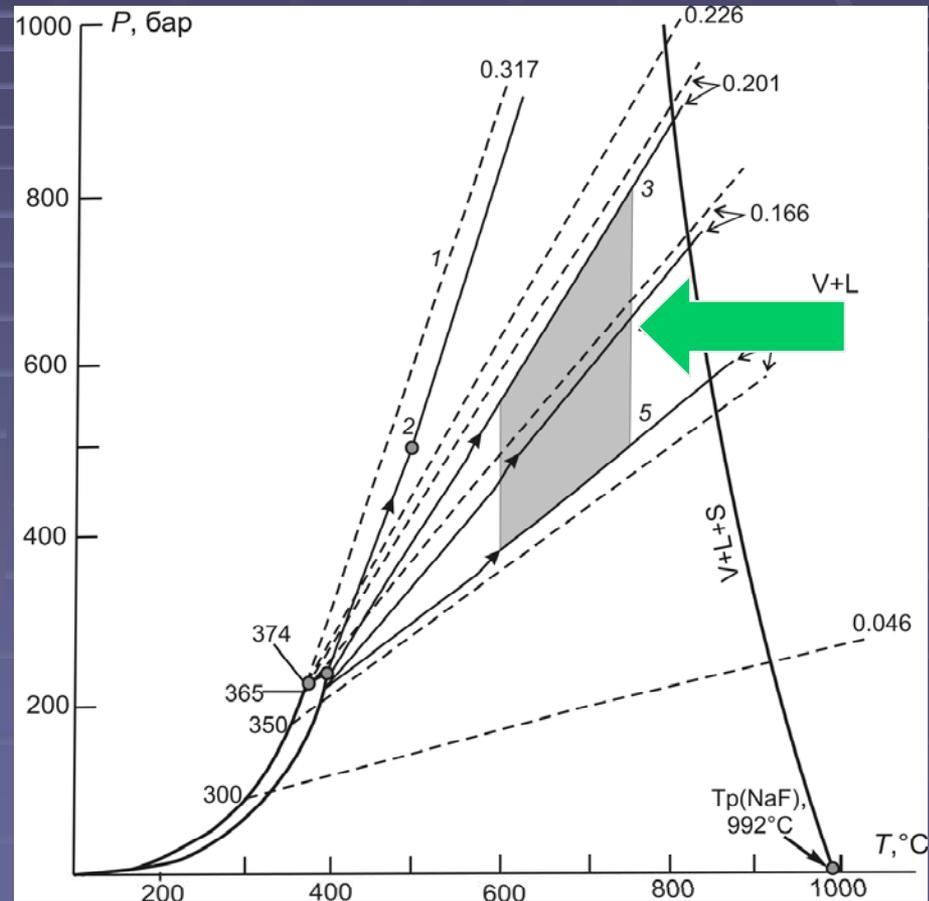
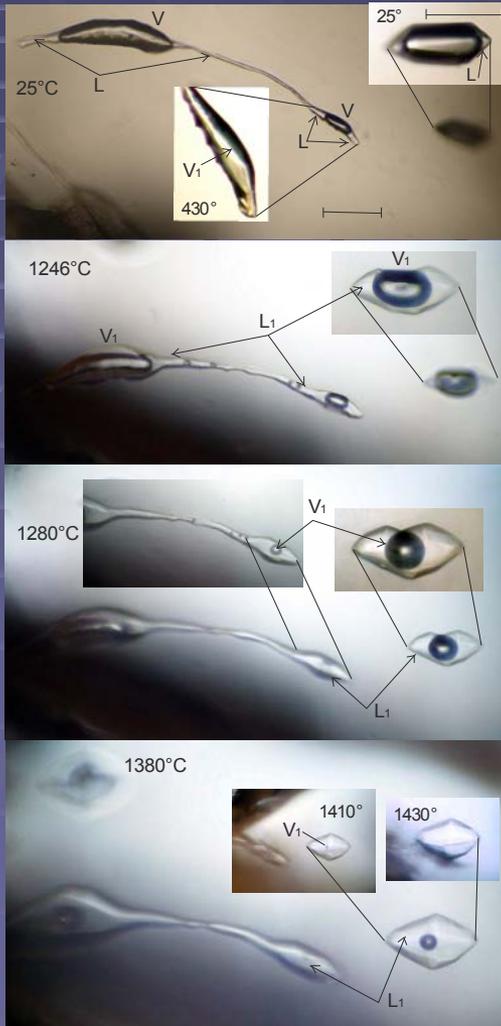
Сингенетичные **расплавные (РВ)** и **флюидные (ФВ)** включения с раствором Р-Q типа (NaF- содержащим) из онгонитов массива Ары-Булак



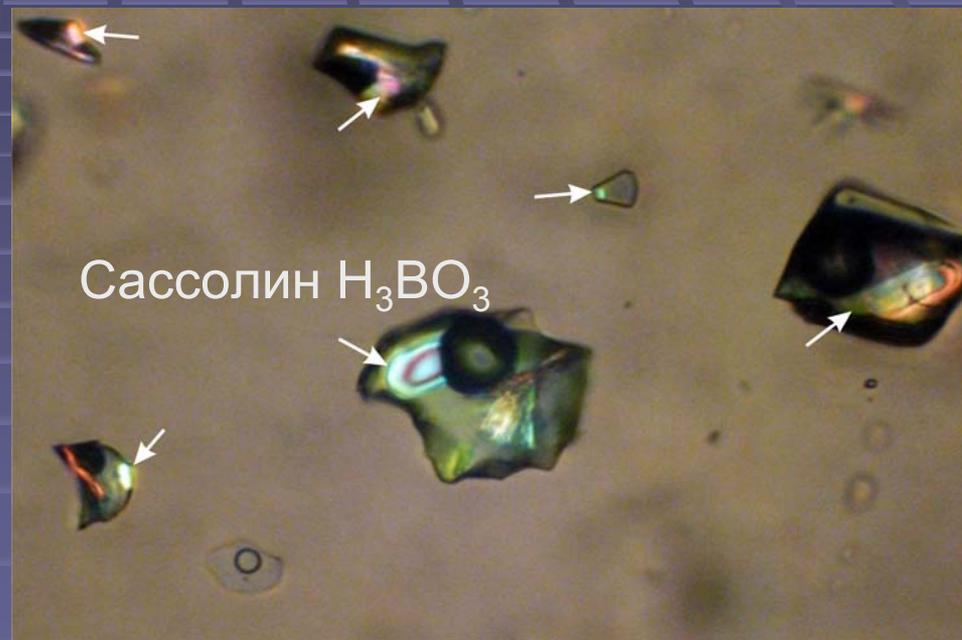
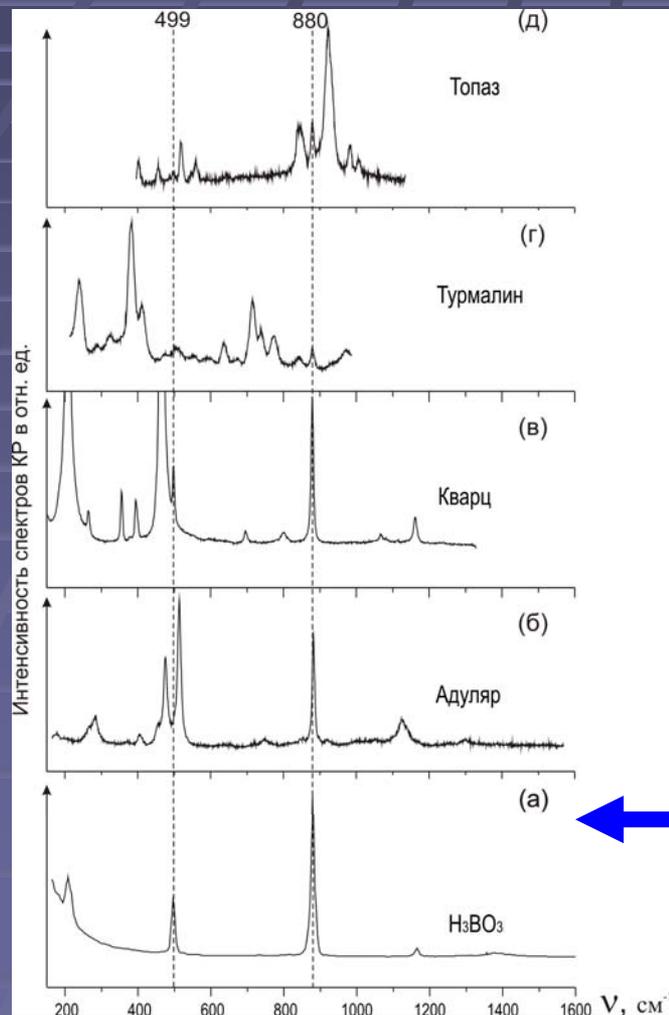
Включения солевых рассолов в кварце из афировой породы в массиве онгонитов Ары-Булак. Включения захватывались в области **несмеси** флюидной системы первого типа.



Расчет флюидного давления по включениям с **низкоплотными растворами P-Q типа** (NaF-содержащими с примесью хлоридов) в **породах массива Ары-Булак**

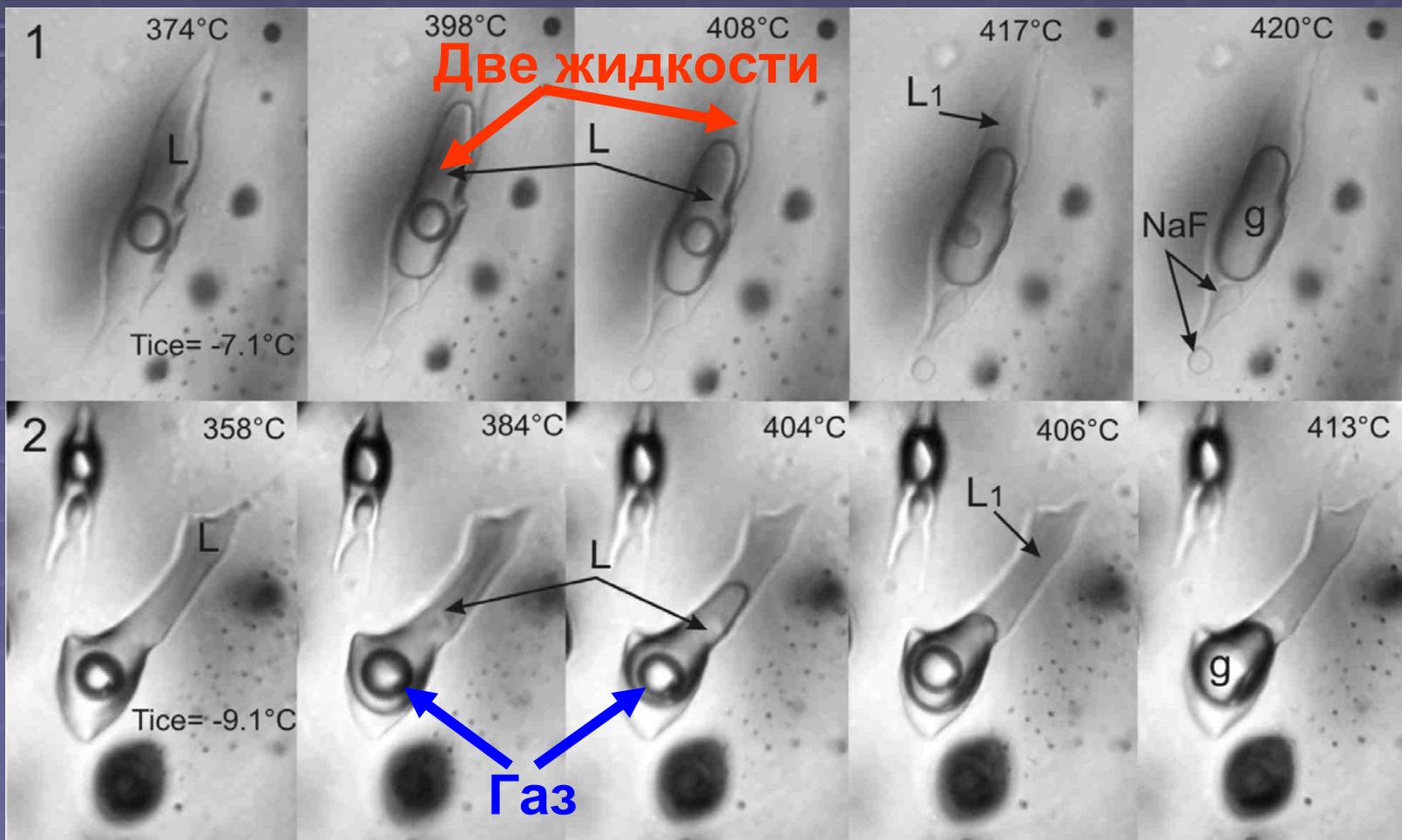


В процессах кристаллизации **миароловых гранитных пегматитов** и **редкометалльных гранитоидных пород** принимали участие **борнокислые флюиды, богатые бором и фтором силикатные расплавы**

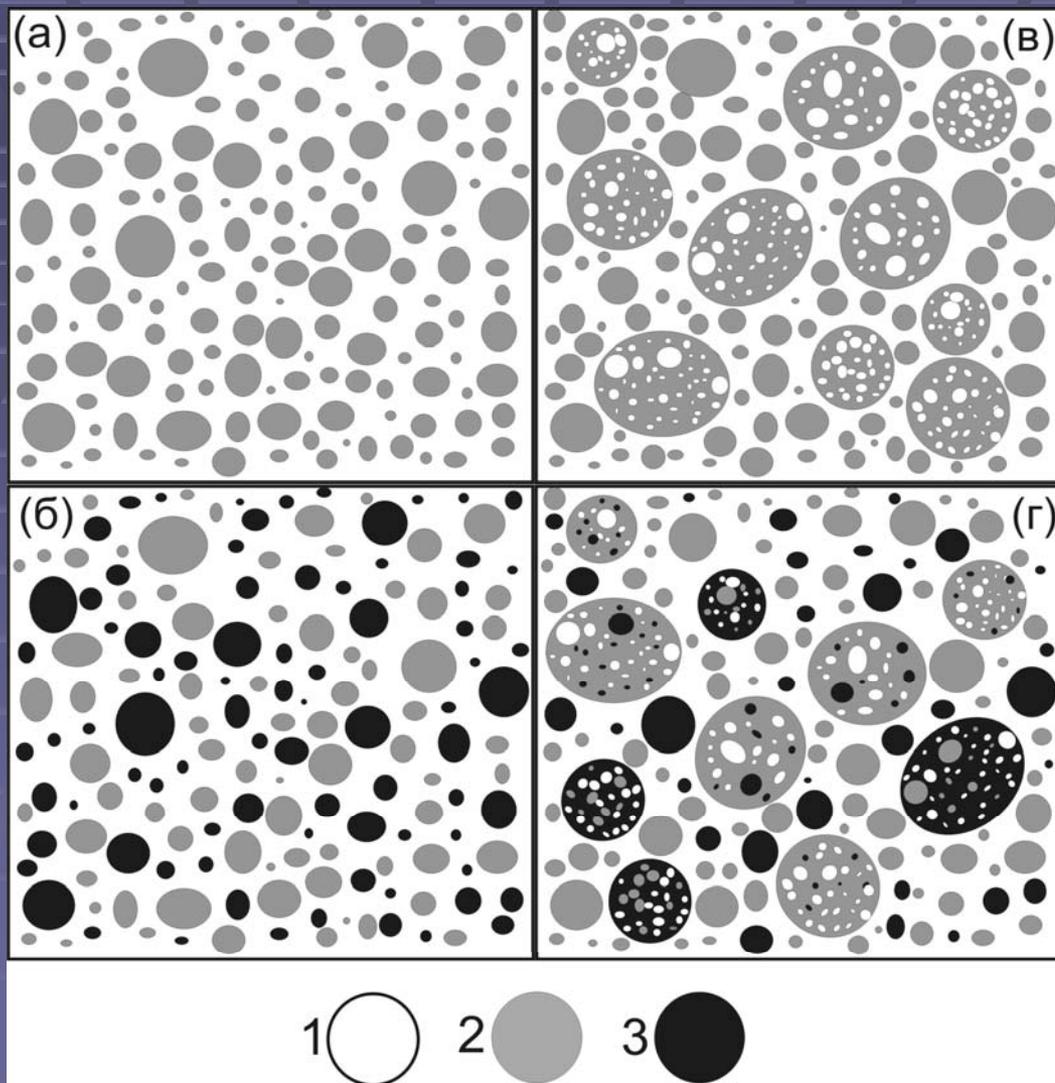


КР-спектры сассолина и борнокислых растворов во включениях из разных минералов

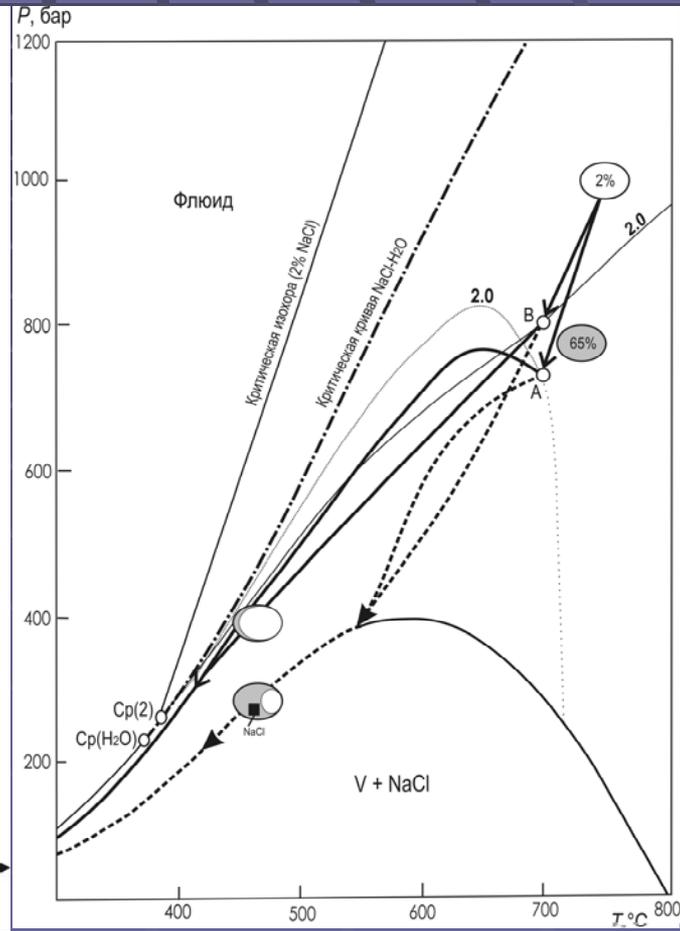
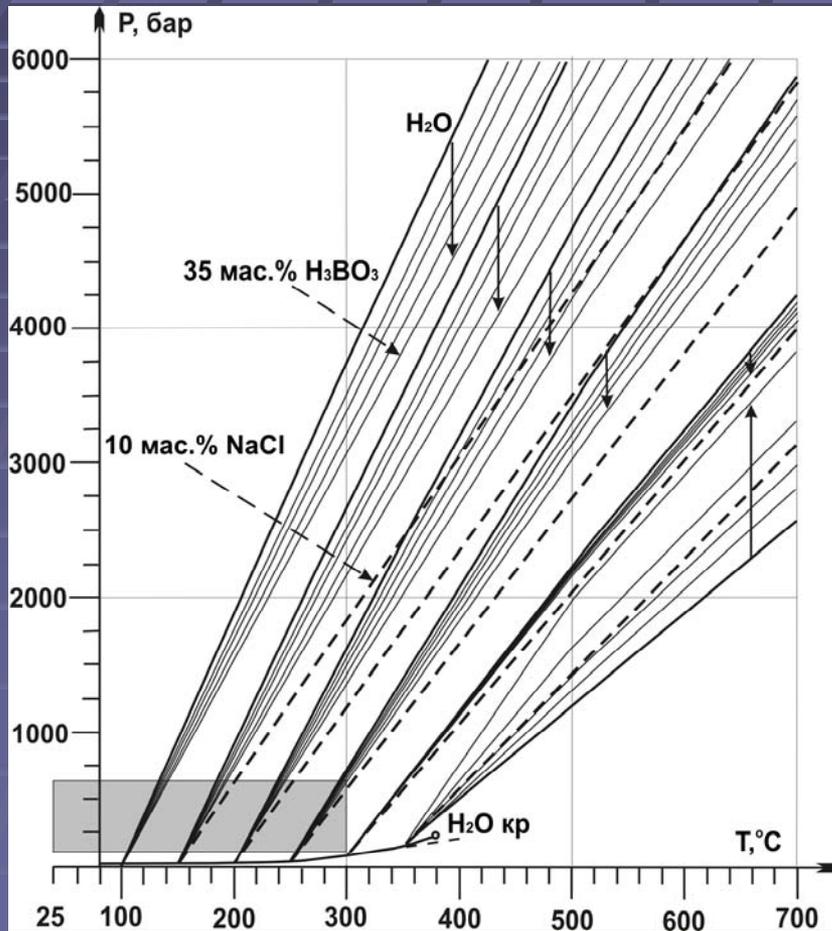
Расслоение на три флюида разной плотности (две жидкости и газ) в системе $\text{NaF-H}_3\text{BO}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$



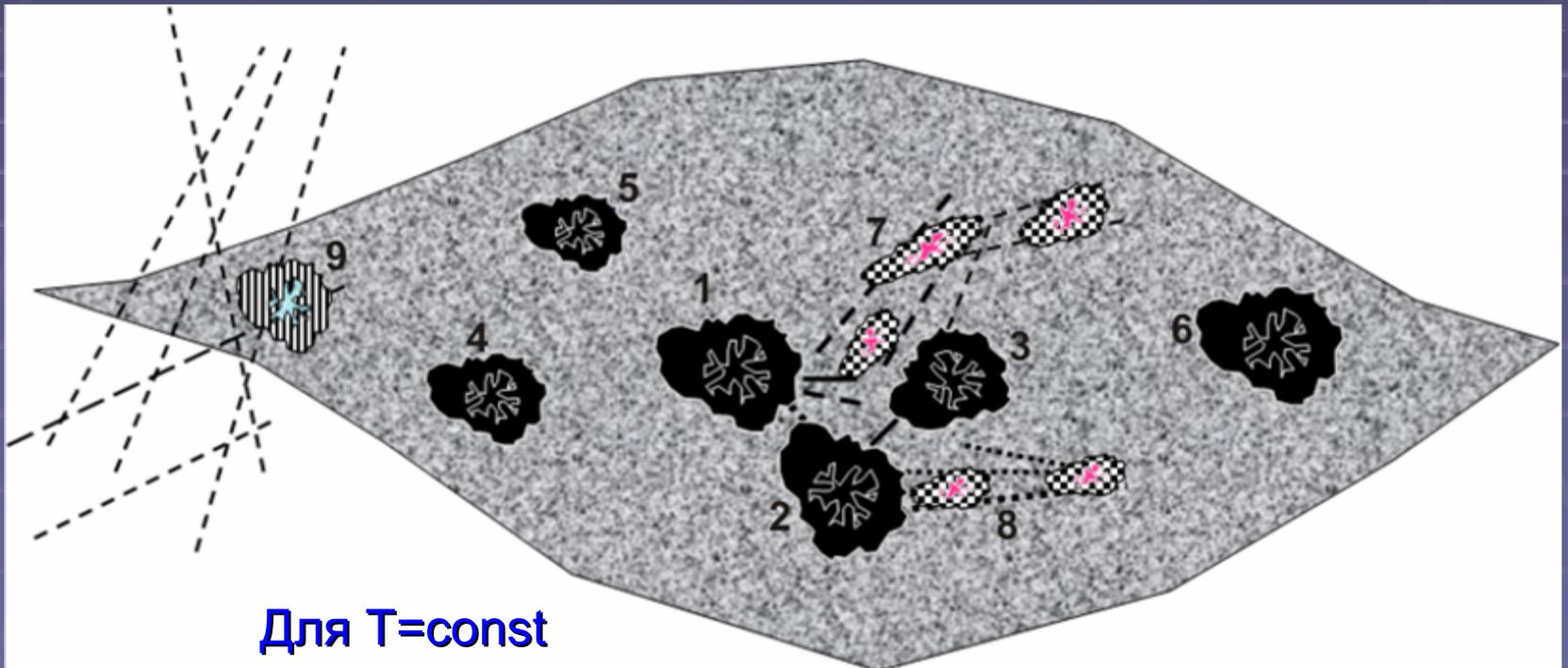
Коллоидно-дисперсное состояние трех несмесимых флюидных фаз



Разные варианты **изменения флюидного давления в миаралах** (природных автоклавах), содержащих флюиды первого типа – борнокислые и хлоридные по расчетным данным [Peretyazhko et al., 2004, Перетяжко, 2009]



Анализ данных P - V - T - X свойств флюидных сред разных типов позволил объяснить **разнообразие минерального состава в миаролах гранитных пегматитов** и причину **значительных (десятки-сотни бар)** вариаций в них флюидного давления

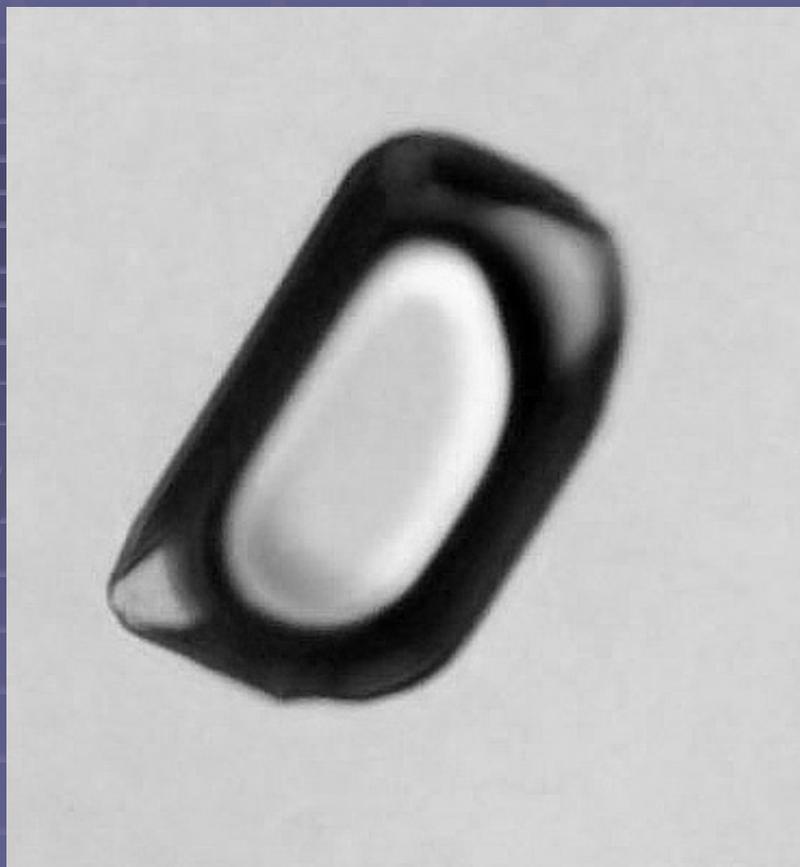


Для $T = \text{const}$

$P(\text{бар}): P_1 \neq P_2 \neq P_3 \neq P_4 \neq P_5 \neq P_6 \neq P_7 \neq P_8 \neq P_9$

Заключение :

- Для корректных оценок условий кристаллизации пород по данным термометрии содержимого включений необходим **детальный анализ $P-T-V-X$ свойств флюидных сред** разных типов.
- Следует учитывать **многокомпонентность большинства природных флюидных сред** и возможные **изменения их типа** в зависимости от состава флюида и $T-P$ условий.
- В природных флюидах, содержащих соединения образующие с водой систему $P-Q$ типа, вблизи критической точки воды, может существовать **стабильная область расщепления** на две жидкости пар.
- Часть включений в гранитоидных породах (пегматитах, редкометальных гранитах, кислых вулканитах) содержат **реликты гелеподобных силикатных флюидных сред**, которые существовали в широком диапазоне условий минералообразования.



Благодарю за внимание !