

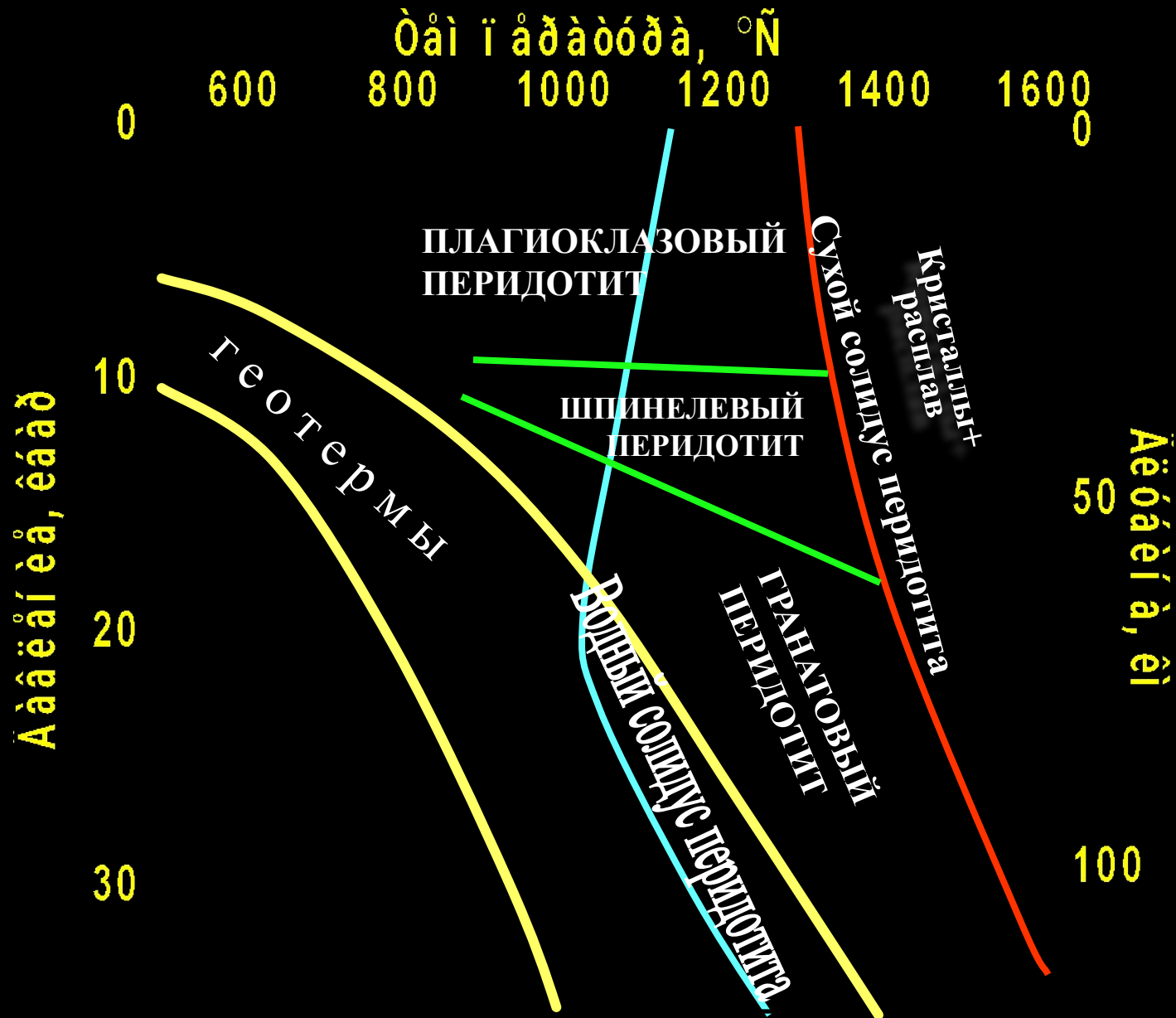
# Магматические горные породы

Состав магмы и магматических пород

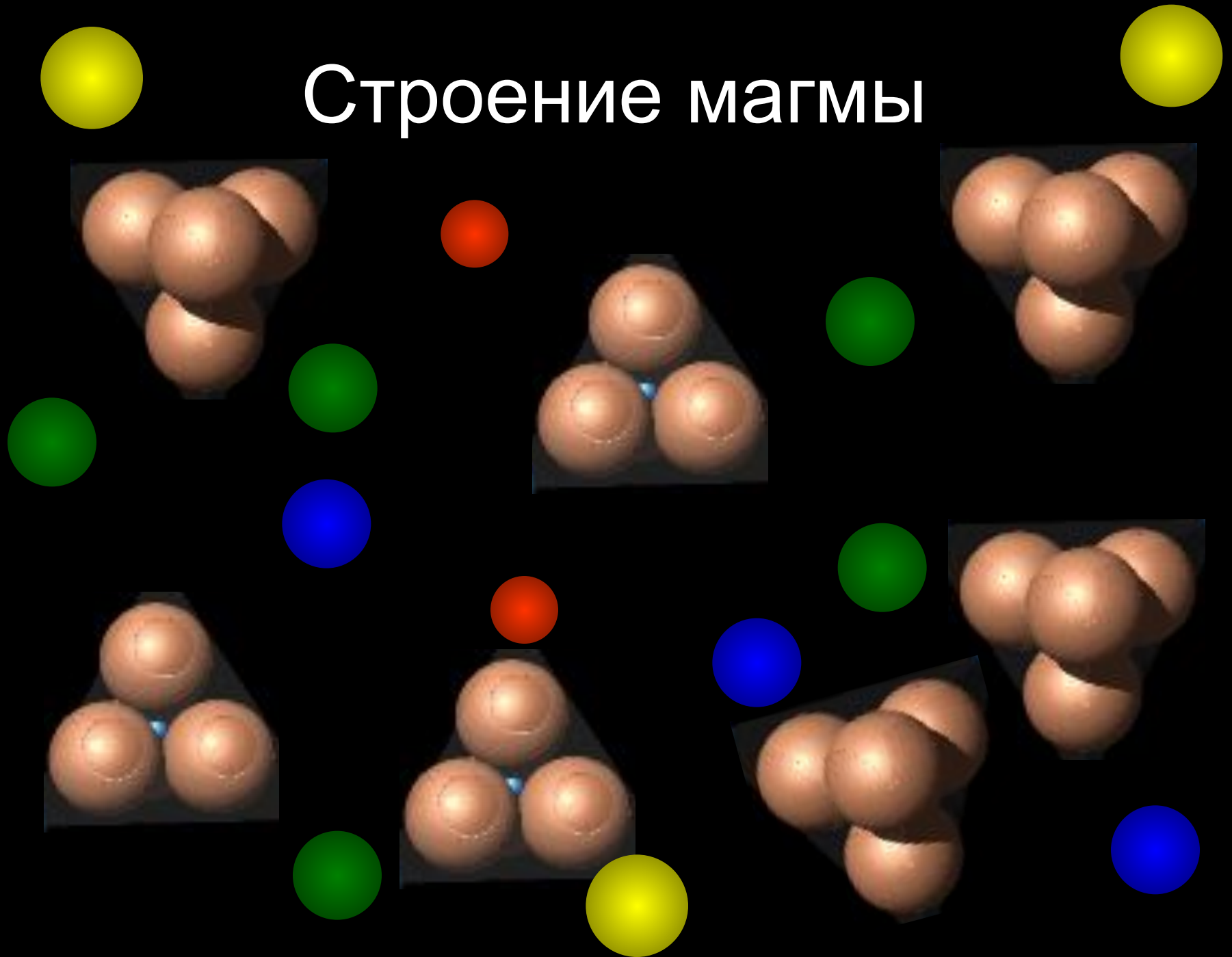


**Магма - огненно-жидкий  
силикатный расплав,  
насыщенный летучими компонентами.**

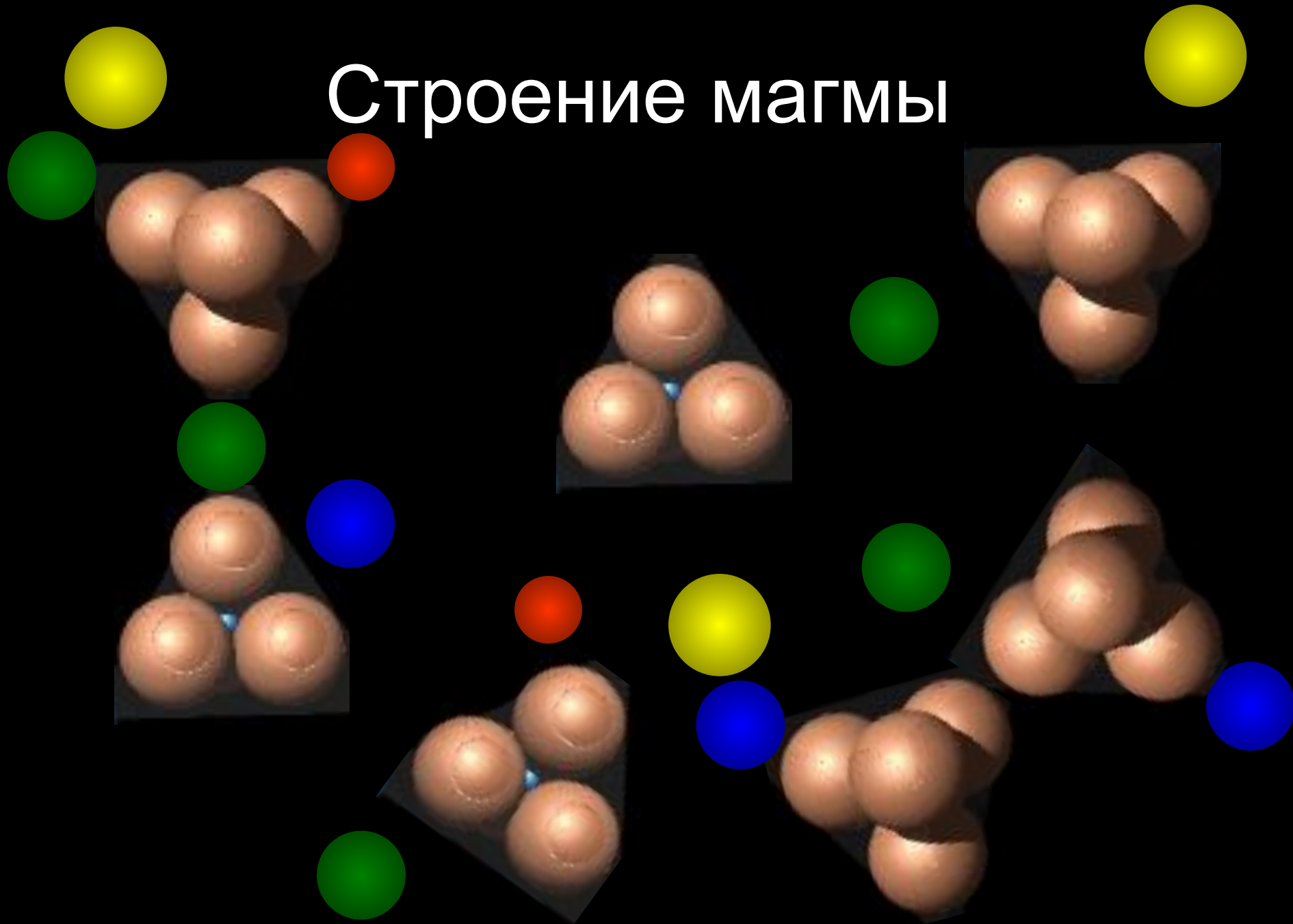
# P-T условия зарождения магм



# Строение магмы



# Строение магмы



# Строение магмы

АНИОНЫ

КАТИОНЫ



**В магме преобладают  
силикатные и  
алюмосиликатные анионы,  
увеличение радиусов которых  
соответствует  
последовательности:  
Ультраосновные породы  
Основные породы  
Кислые породы**

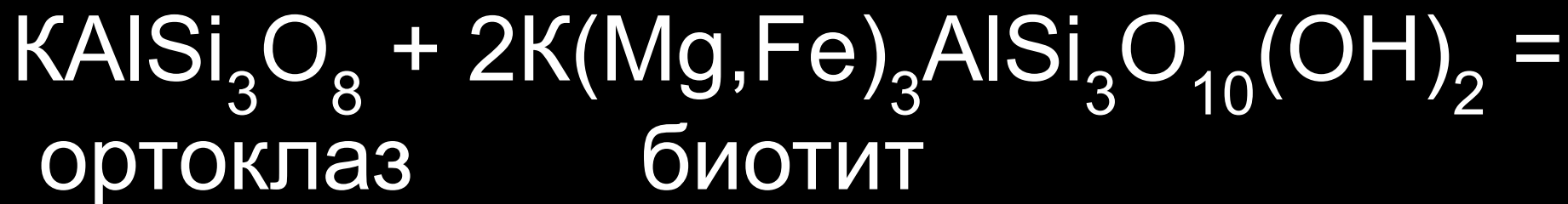




При определенных температуре ( $T$ ) и давлении ( $P$ ) в магматическом расплаве создается равновесие в комбинации главнейших компонентов. Изменение этих  $P$ - $T$  условий нарушает равновесие и вызывает перегруппировку молекул - происходят реакции обменного характера между компонентами, с обогащением магмы некоторыми из них, и при определенной концентрации расплава и комбинации внешних условий, она начинает кристаллизоваться.

Из этого вытекает важное для петрогенезиса следствие: расплав одного и того же химического состава при различных условиях образует различные минеральные ассоциации.

Пример:



# Основные принципы кристаллизации магмы

Кристаллизацию магм и обратный процесс плавления кристаллических агрегатов можно представить фазовыми равновесиями в модельных системах, состоящих из двух, трех или четырех химических компонентов.

**Система** – часть пространства обособленная для рассмотрения изменений, происходящих в её пределах в зависимости от различных условий (например, магматическая камера, магматическое тело, горная порода). При заданных условиях эти системы представлены определённым набором фаз.

**Фаза** – это часть системы, которая может быть отделена от других её частей механическим способом. В каждой системе могут выделяться одна газовая фаза, одна или две несмешивающиеся жидкие фазы, и несколько твёрдых фаз, то есть минералов разного состава, обладающих разными физическими свойствами и поэтому легко механически отделимых друг от друга.

Количество компонентов системы  
– это минимальное число  
химических соединений,  
необходимых и достаточных для  
описания состава всех фаз.



Равновесным является такое состояние системы, которое при заданных значениях интенсивных параметров (температура, давление, химический потенциал) самопроизвольно не меняет фазового состава.

В условиях термодинамического равновесия между количествами компонентов ( $C$ ), фаз ( $P$ ) и степеней свободы ( $F$ ) существует зависимость, известная как правило фаз Гиббса:

**$P + F = C + N$** , где  $N$  – число интенсивных параметров.

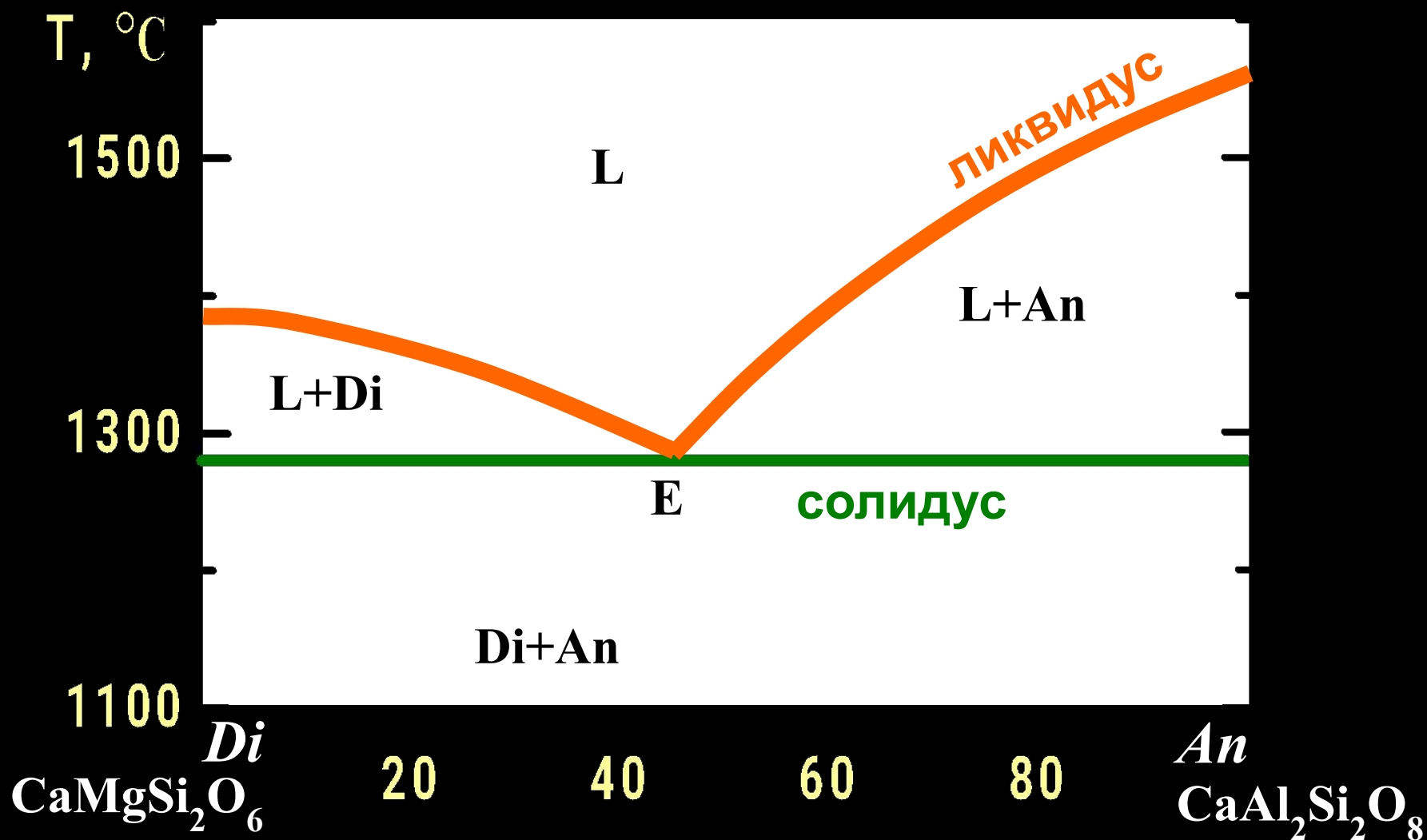
Если интенсивные параметры  
ограничены только  
температурой и давлением, то  
правило фаз записывается  
следующим образом:

$$P + F = C + 2.$$

# Двойная система с эвтектикой

**Эвтектика** - это равновесие двух или более кристаллических фаз с расплавом при отсутствии степеней свободы

# Система диопсид-анортит

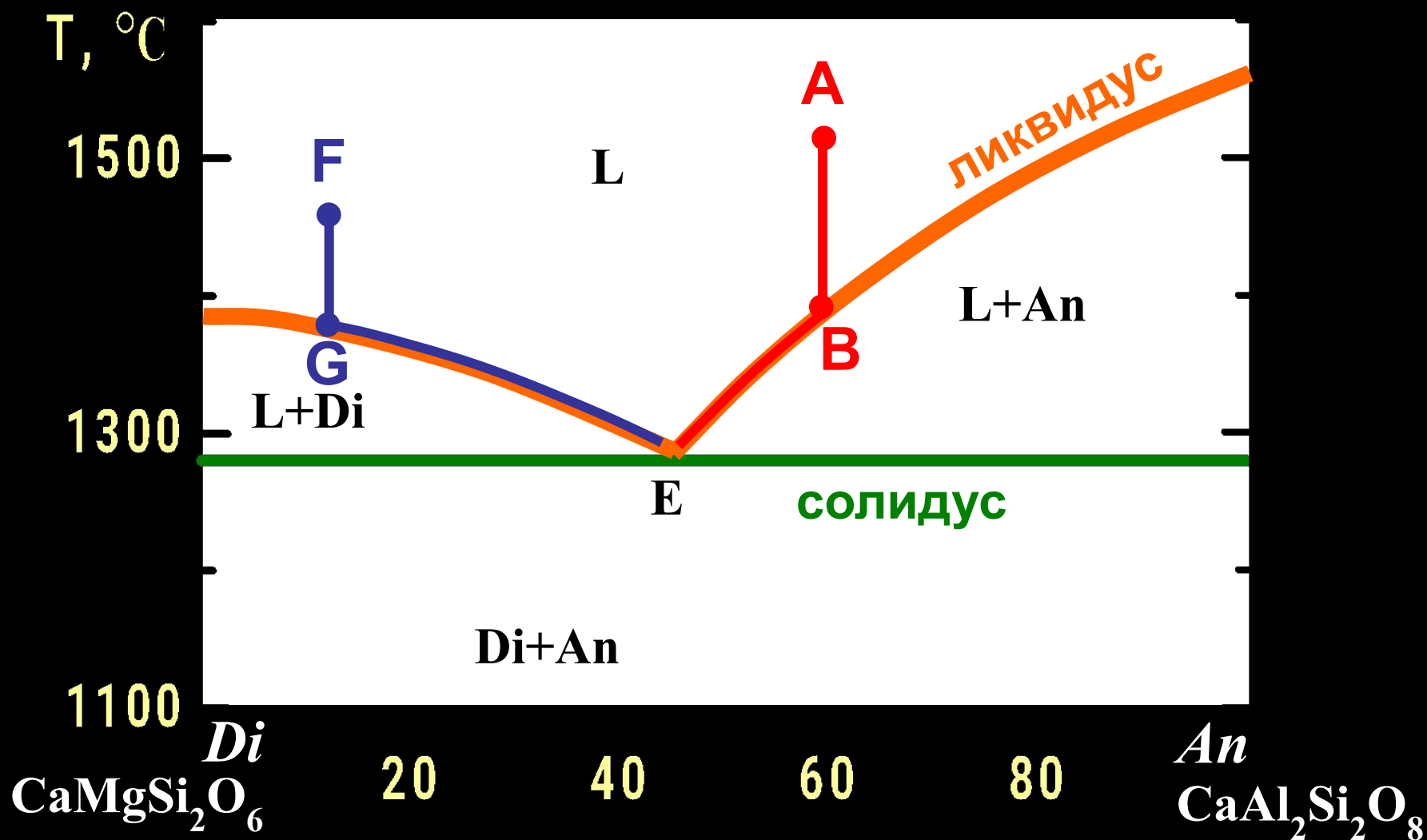


**Линия ликвидуса** определяет состояние равновесия между твёрдыми фазами (кристаллы диопсида и анортита) и расплавом.

**Линия солидуса** отделяет поле твёрдых фаз от поля их совместного появления с расплавом.

**Эвтектическая точка  $E$**  – точка наименьшей температуры кристаллизации расплава, в которой линия ликвидуса касается линии солидуса и в равновесии находятся все три фазы

# Система диопсид-анортит

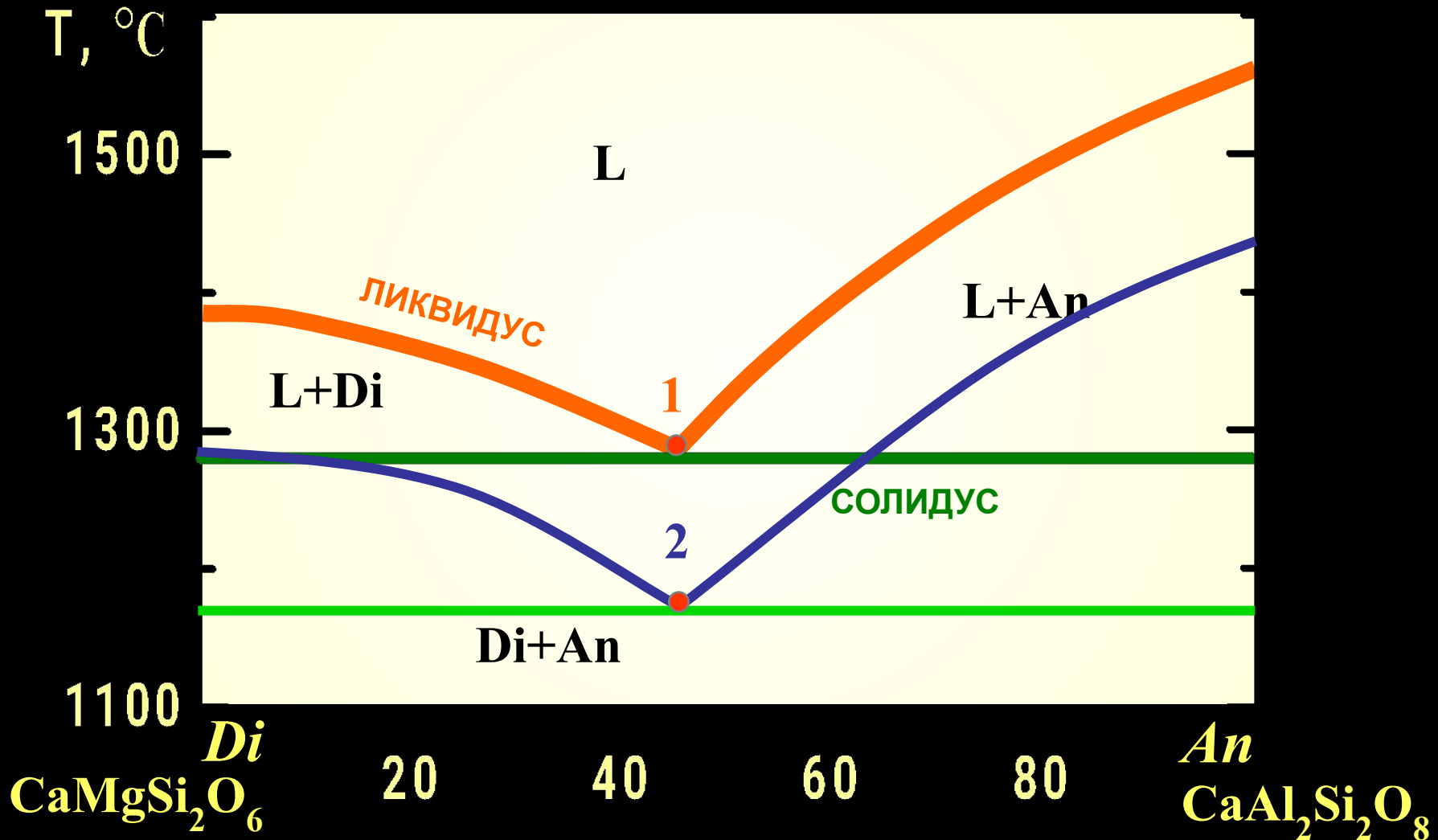




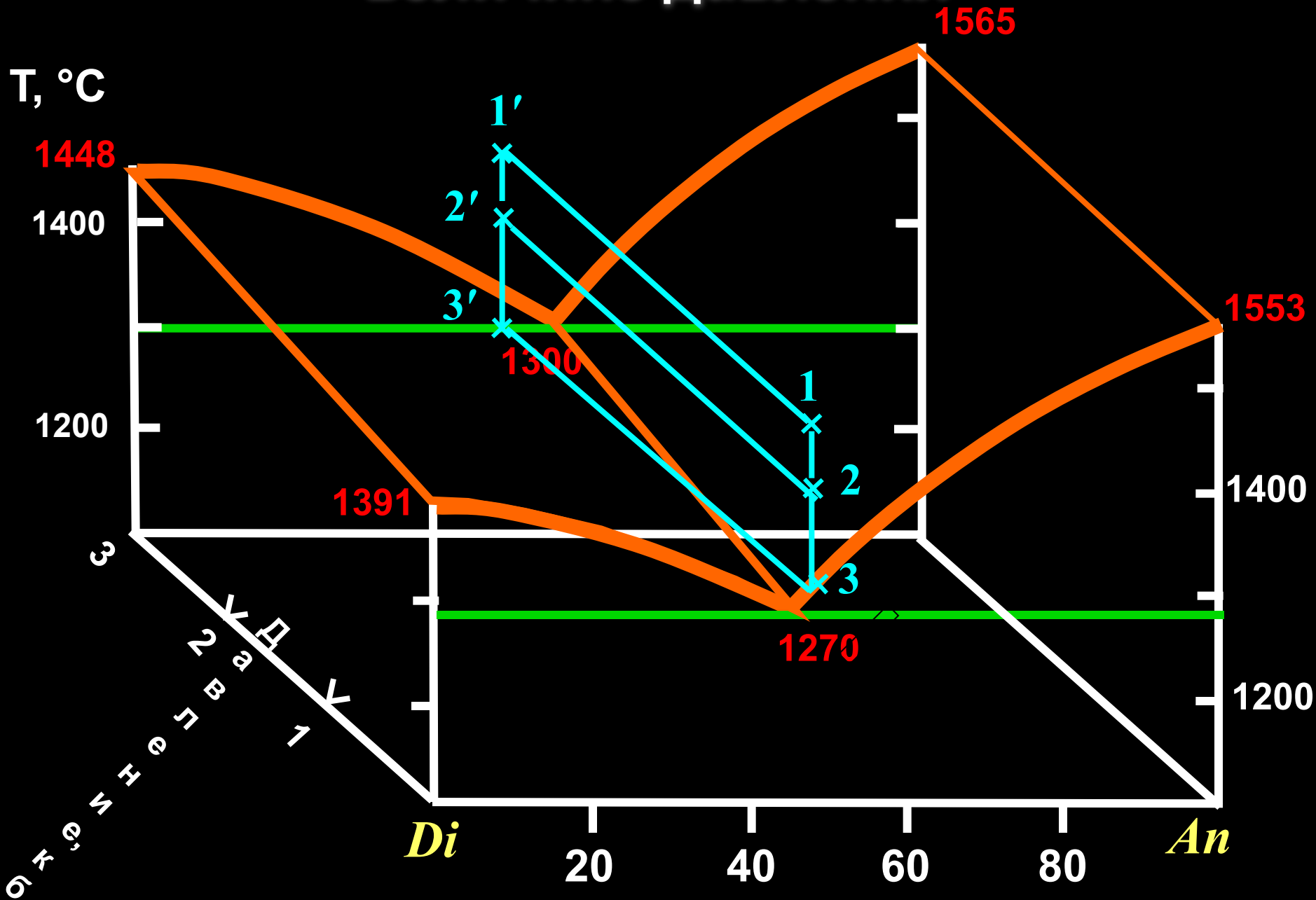
# Система диопсид-анортит

1 – сухая эвтектика

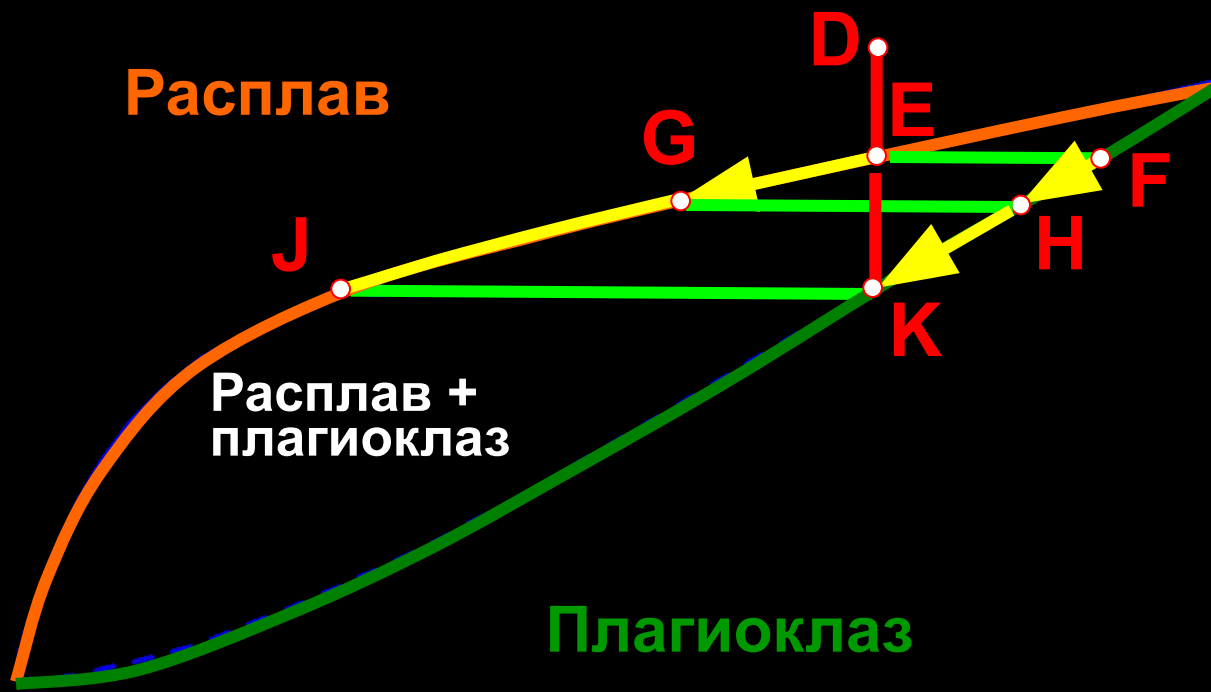
2 – водная эвтектика



# Система диопсид-анортит при разной величине давления

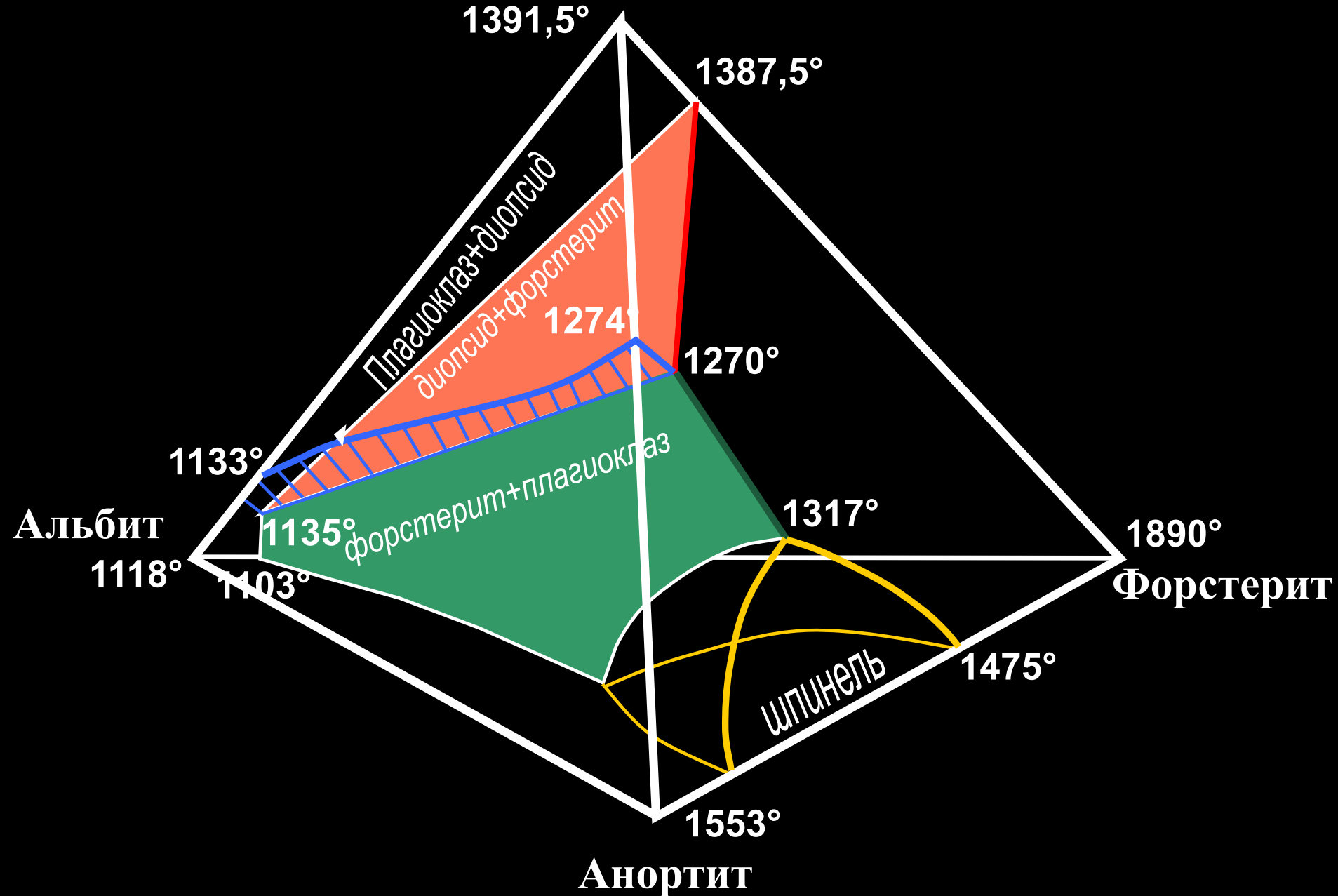


# Система альбит-анортит



$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	20	40	60	80	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
100	80	60	40	20	0

# Система Диопсид **Di-Fo-An**

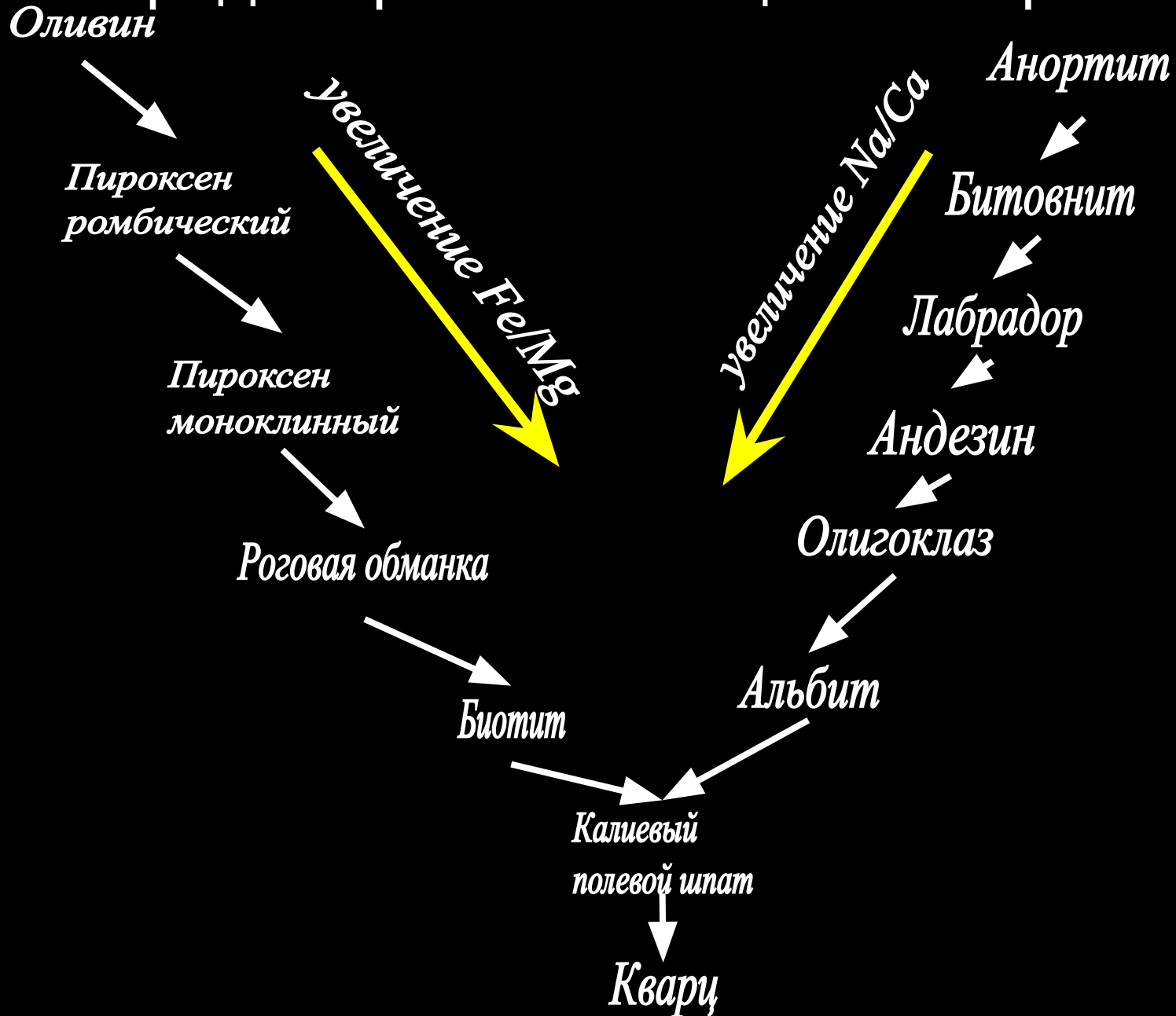


# Порядок кристаллизации минералов

Согласно экспериментальным работам Н. Боуэна, кристаллизация магмы осуществляется по двум ветвям – **фемической** (железوماгнезиальной) и **сиалической** (кремнистоглиноземистой).

Начинается она с наиболее тугоплавких минералов в каждой из ветвей – магнезиального оливина и основного плагиоклаза, соответственно.

# Порядок кристаллизации минералов



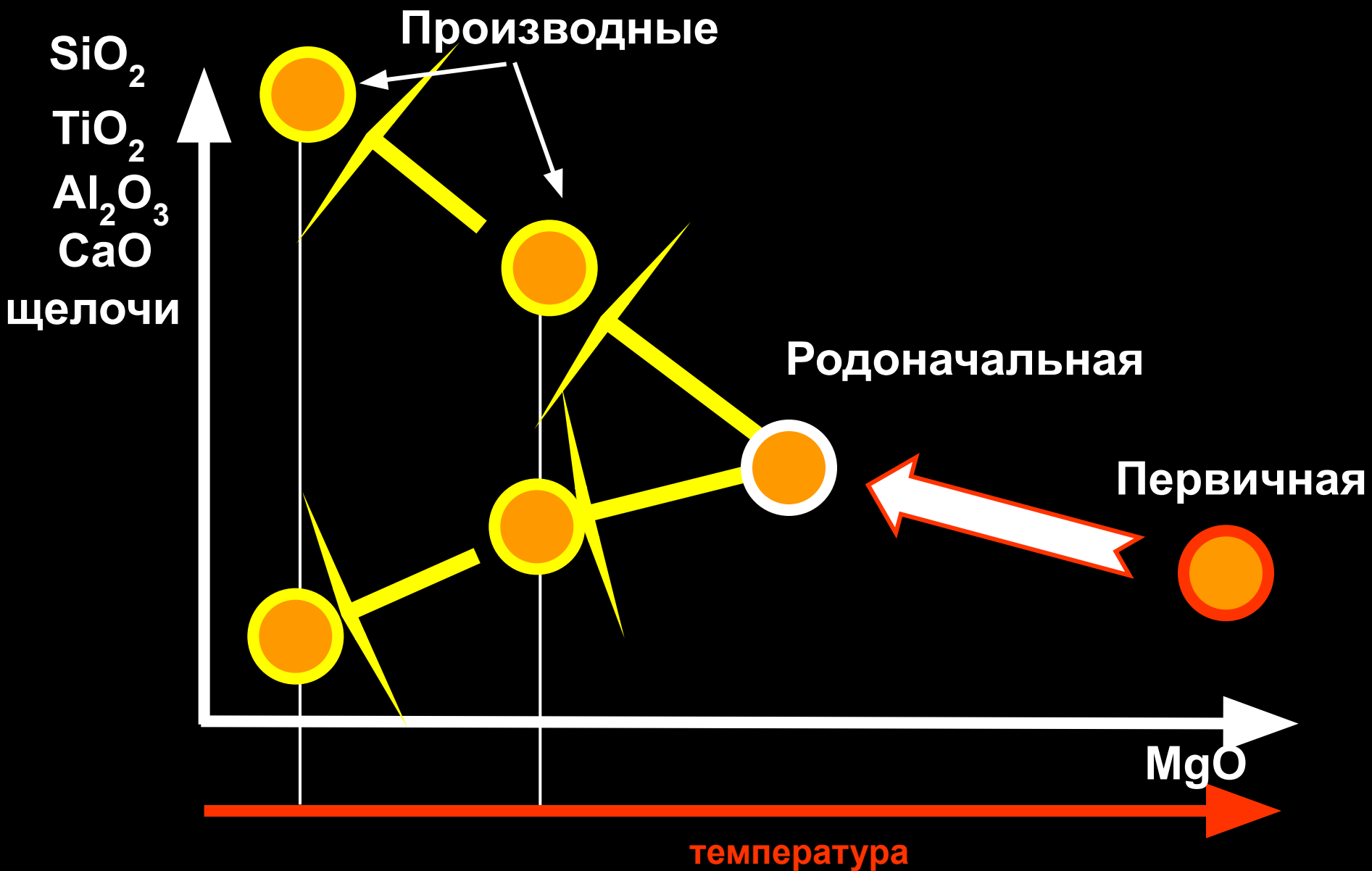
Разнообразие магматических пород во многом определяется процессами дифференциации магмы.

# Магматическая дифференциация –

это процесс образования серий  
магматических пород из  
единого магматического  
расплава во время его  
внедрения и охлаждения.



# Генетические соотношения первичной, родоначальной и производных магм



# Главные механизмы дифференциации магмы:

- ликвация
- фракционная кристаллизация
- эманационная дифференциация
- ассимиляция.

# Ликвация —

расщепление единого расплава на две несмешивающиеся жидкости до начала кристаллизации. В настоящее время является доказанным разделением расплава на силикатную и сульфидную жидкости, последующая кристаллизация которых не зависима друг от друга.

# Фракционная кристаллизация -

совместно происходящие процессы кристаллизации и удаления образованных кристаллов по мере остывания магматического расплава.

Механизмы фракционирования:

гравитационное разделение, отжим расплава из зоны кристаллизации (фильтр-прессинг) и локальное исключение твердых фаз из равновесия с остаточным расплавом.

# *Гравитационное фракционирование кристаллов*

обусловлено механизмом  
погружения и всплывания наиболее  
тугоплавких кристаллов благодаря  
их различной плотности по  
отношению к первичному расплаву.

# *Дифференциация в движущемся потоке*

обусловлена тем, что жидкость, содержащая взвешенные твёрдые частицы, движущиеся между стенками канала, стремится сконцентрировать их в центральных частях потока, отдаляя их от стенок.

Этот эффект зависит от скорости движения расплава, его вязкости, плотности жидкости, ширины канала, размеров и концентраций частиц.

# *Кристаллизация остывания* —

это процесс, характерный для образования крупных плутонов и заключающийся в образовании равновесия застывших кристаллических минеральных фаз с жидкой магмой вблизи стенок магматической камеры.

В дальнейшем в жидком остатке происходят диффузионные процессы, приводящие к изменению концентраций тех элементов, которые не требуются для кристаллизации тугоплавких минералов. Это выражается в заметной степени фракционирования, с образованием зональности — появлении низкотемпературной жидкой магмы во внутренних частях интрузии.

# Эманационная дифференциация

является конечной стадией кристаллизации остывания и обусловлена более низкой температурой кристаллизации летучих компонентов, которые концентрируют значительную часть редких элементов и способствуют образованию остаточных расплавов.

Последние могут кристаллизоваться либо в центре застывшего магматического тела, либо по трещинам проникать в застывшие части интрузии и во вмещающие породы.

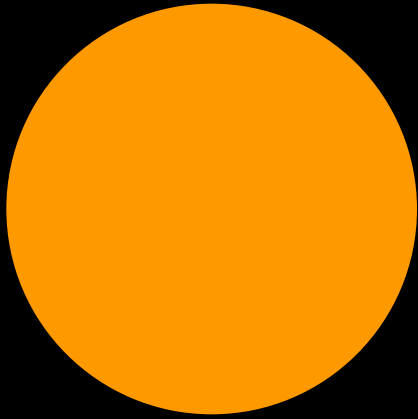


# Ассимиляция –

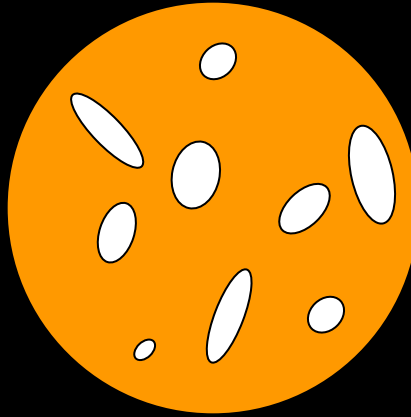
это процесс поглощения вмещающих пород магмой, что приводит к изменению состава первоначального расплава, и как следствие к его дифференциации.

Магма может частично или полностью расплавлять породы, температурный интервал плавления которых ниже температуры кристаллизации расплава. Сравнительно тугоплавкие минералы вмещающих пород могут быть превращены путем химических реакций в минералы, равновесные с магмой.

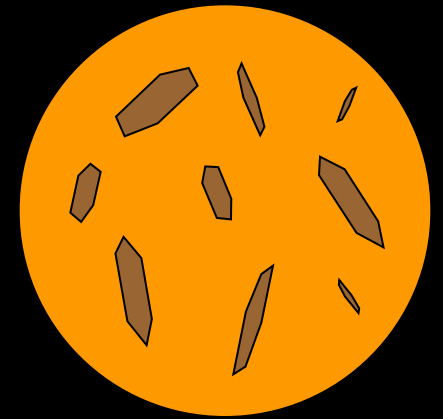
# Фазовый состав магм



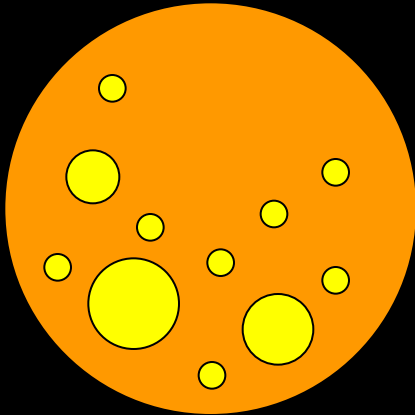
Гомогенный  
расплав



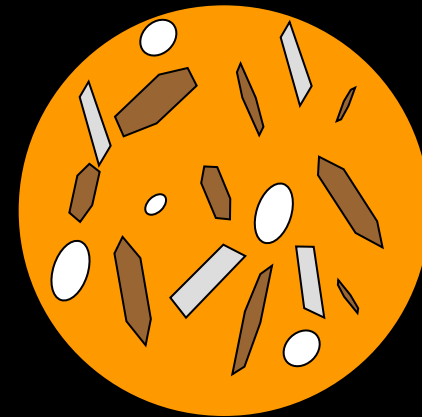
Двухфазовая магма  
(расплав+флюид)



Двухфазовая магма  
(расплав+кристаллы)

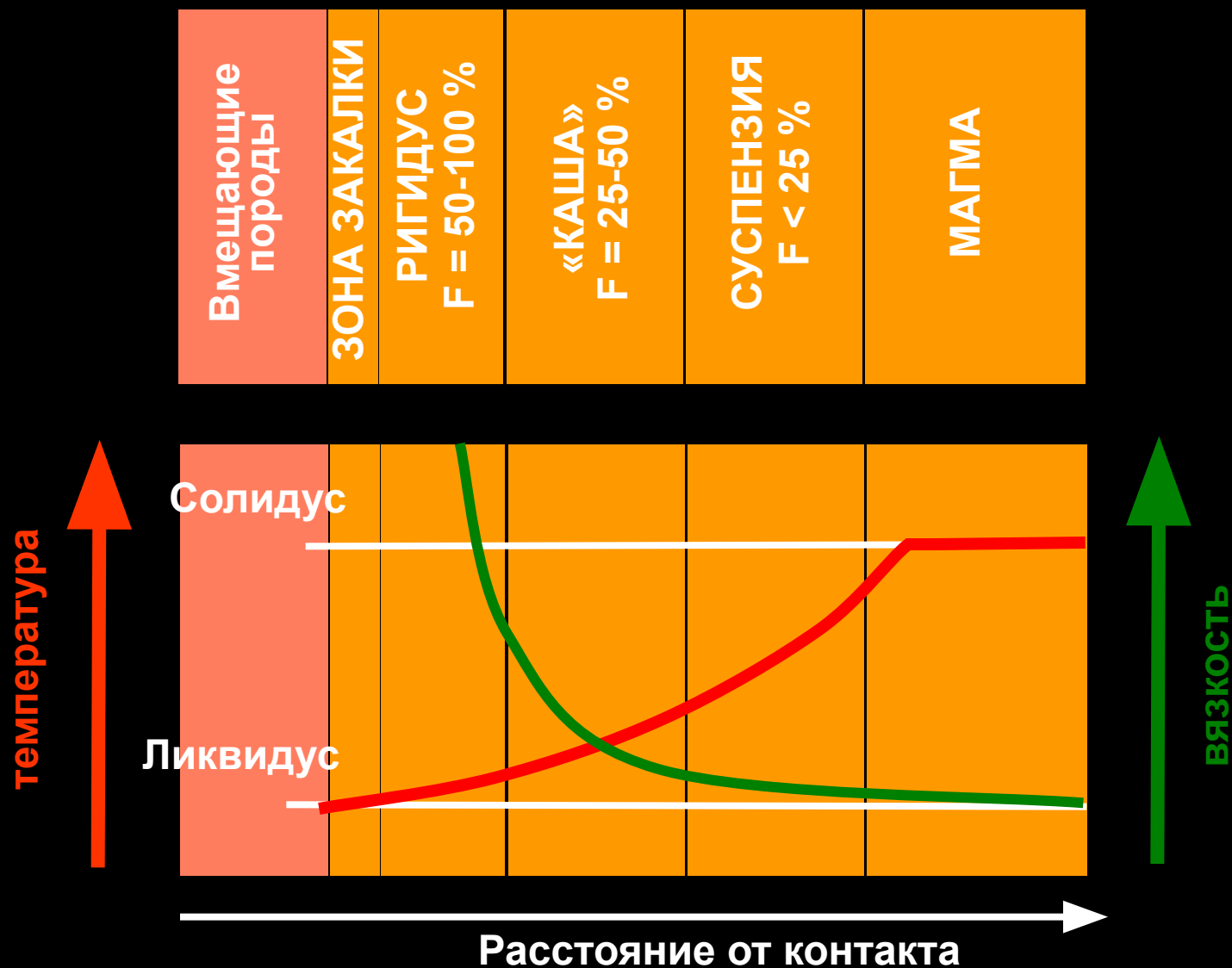


Двухфазовая магма  
(два расплава)



Четырёхфазовая магма  
(расплав+Pl+Px+флюид)

# Изменение температуры и вязкости магмы

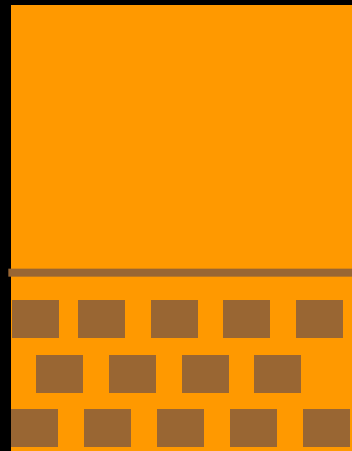


# Типы фракционирования

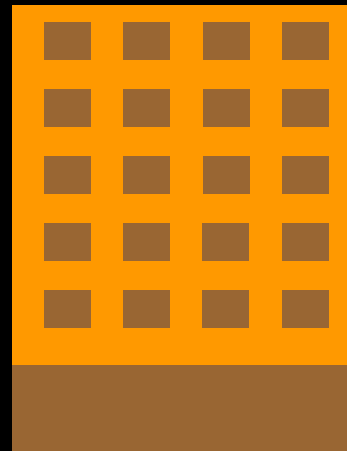
Идеальное



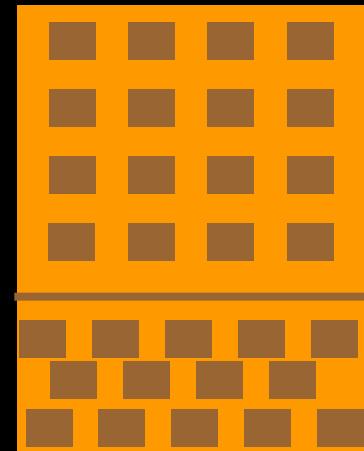
Частичное



Промежуточное



Реальная  
ситуация



Расплав

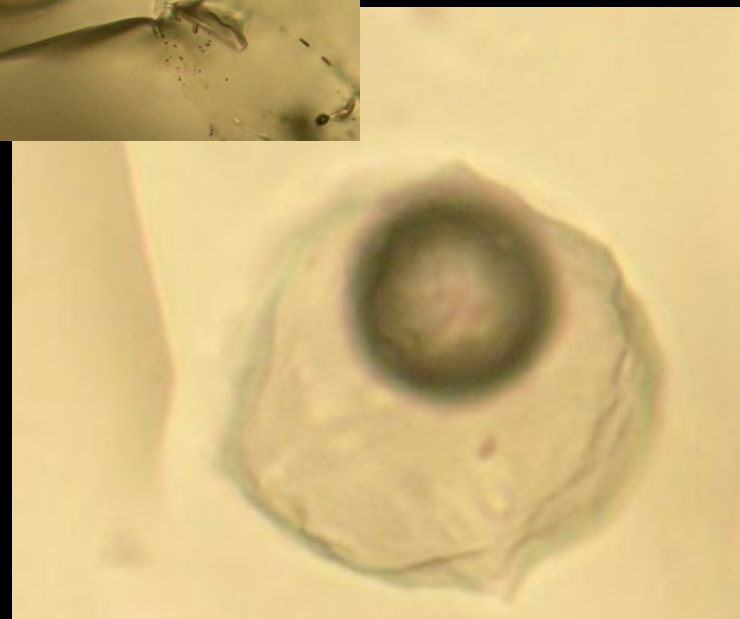
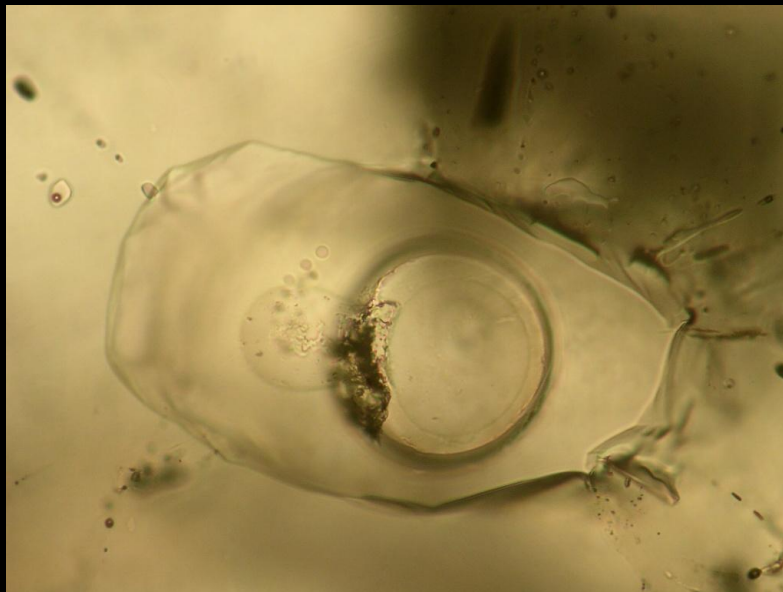
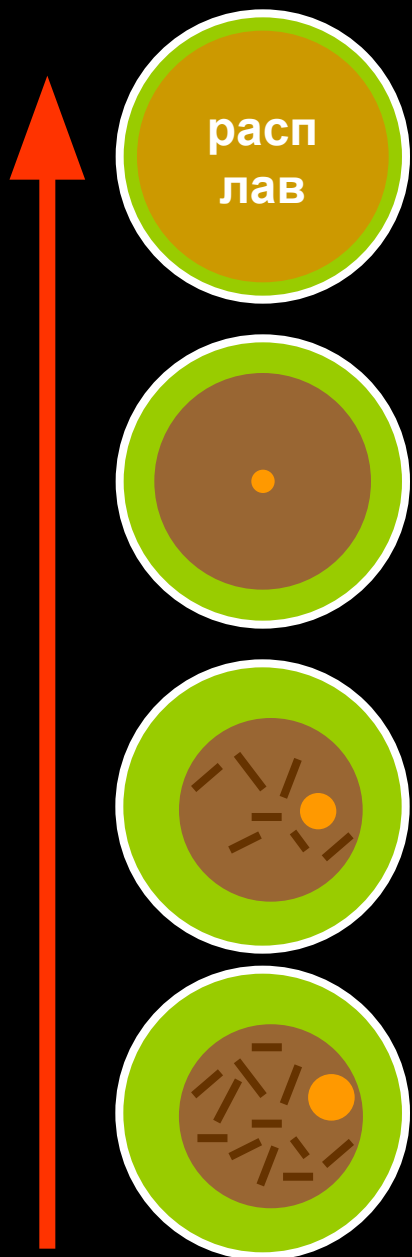


Кристаллы

# Определение состава первичной магмы

## Метод гомогенизации расплавных включений

температура



Оливин  
с включением

# Определение состава первичной магмы

## Метод компьютерного моделирования

Программа Комагмат (Автор А. А. Аriskин)

COMAGMAT-3.57, 2006

File Edit Process Help

**Select a modeling process**

- Thermometry of Mineral-Melt Equilibria
- Simulating Equilibrium Crystallization
- Simulating Fractional Crystallization
- Simulating Layered Intrusion Formation

**Trace element information includes:**  
Mn, Ni, Co, Cr, Sc, V, Sr, Ba, Rb, Cu, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, Lu

Melt  
 Selected mineral (OI)

**Mineral geochemistry (change if necessary)**

<input checked="" type="radio"/> Olivine	<input type="radio"/> Magnetite
<input type="radio"/> Plagioclase	<input type="radio"/> Ilmenite
<input type="radio"/> Low-Ca Pyroxene	<input type="radio"/> Augite

**Modeling Low-Ca Pyroxene**

Pigeonite  Orthopyroxene

**Solving equilibrium problem at given**

Crystallization increment 1 % up to 75 %

**Simulating effect of pressure**

Isobaric crystallization  
 Increasing pressure routine  
 Decompression crystallization

Total pressure (P,kbar) 0  
Maxim pressure (Pm,kbar) 10

**Simulating redox conditions**

Closed system (Fe<sup>2+</sup>/FeO ratios)  
 Open system (oxygen buffers)

Constant  Variable  
Given Fe<sup>2+</sup>/FeO in a melt 0.99

**Precision of calculations**

Temperature convergence, C 0.5  
Phase compositions, mol.% 0.25

H2O content in model system, wt % 0

**Number of start compositions** 9

**Specify Data Files**

Major element contents >>

Trace element contents >>

Distribution coefficients >>

Mineral-Melt geothermometers >>

Correction of model temperatures >>

Oxygen buffer parameters >>

Parameters of intrusion process >>

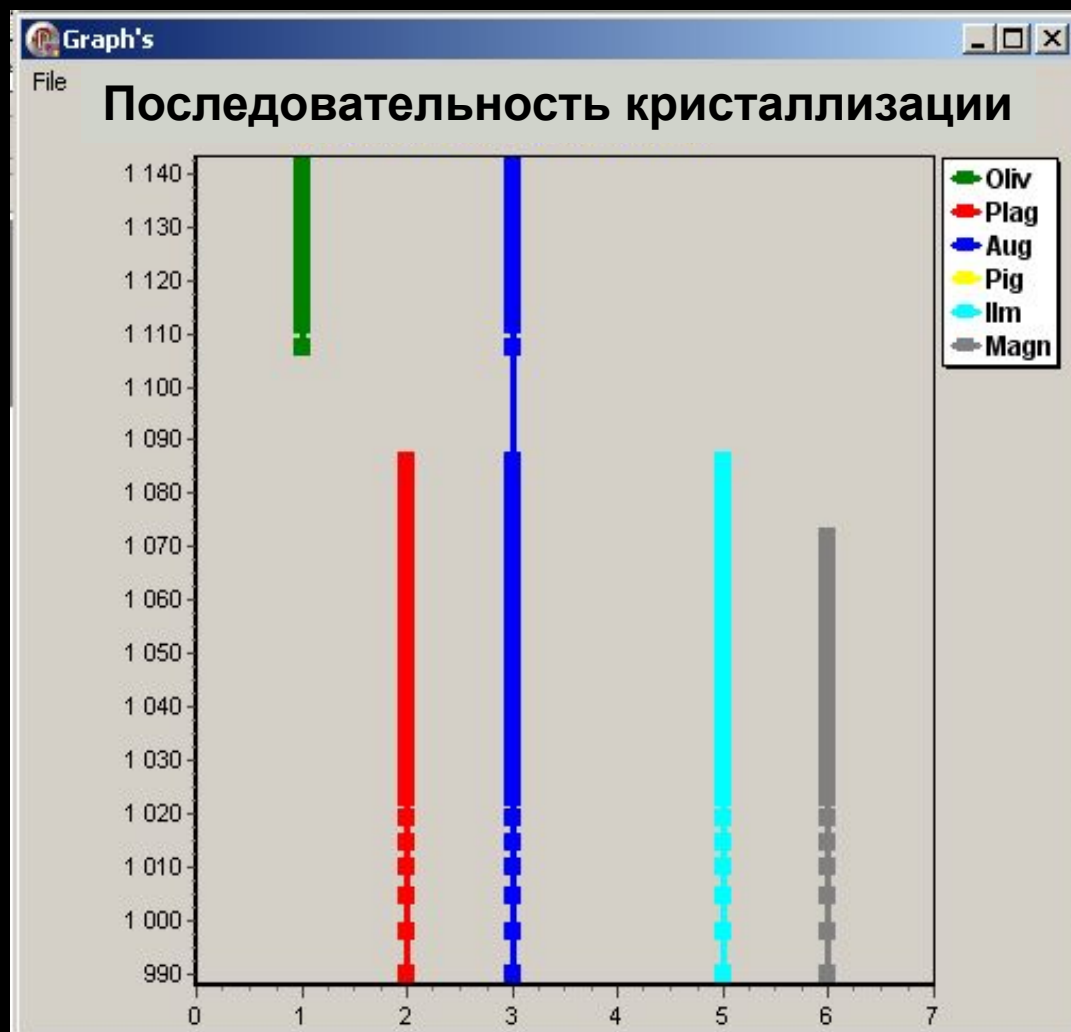
Starting calculations >>

Simulating Equilibrium Crystallization

# Определение состава первичной магмы

## Метод компьютерного моделирования

Программа Комагмат (Автор А. А. Арискин)



# Определение состава первичной магмы

## Метод компьютерного моделирования

Программа Комагмат (Автор А. А. Арискин)

