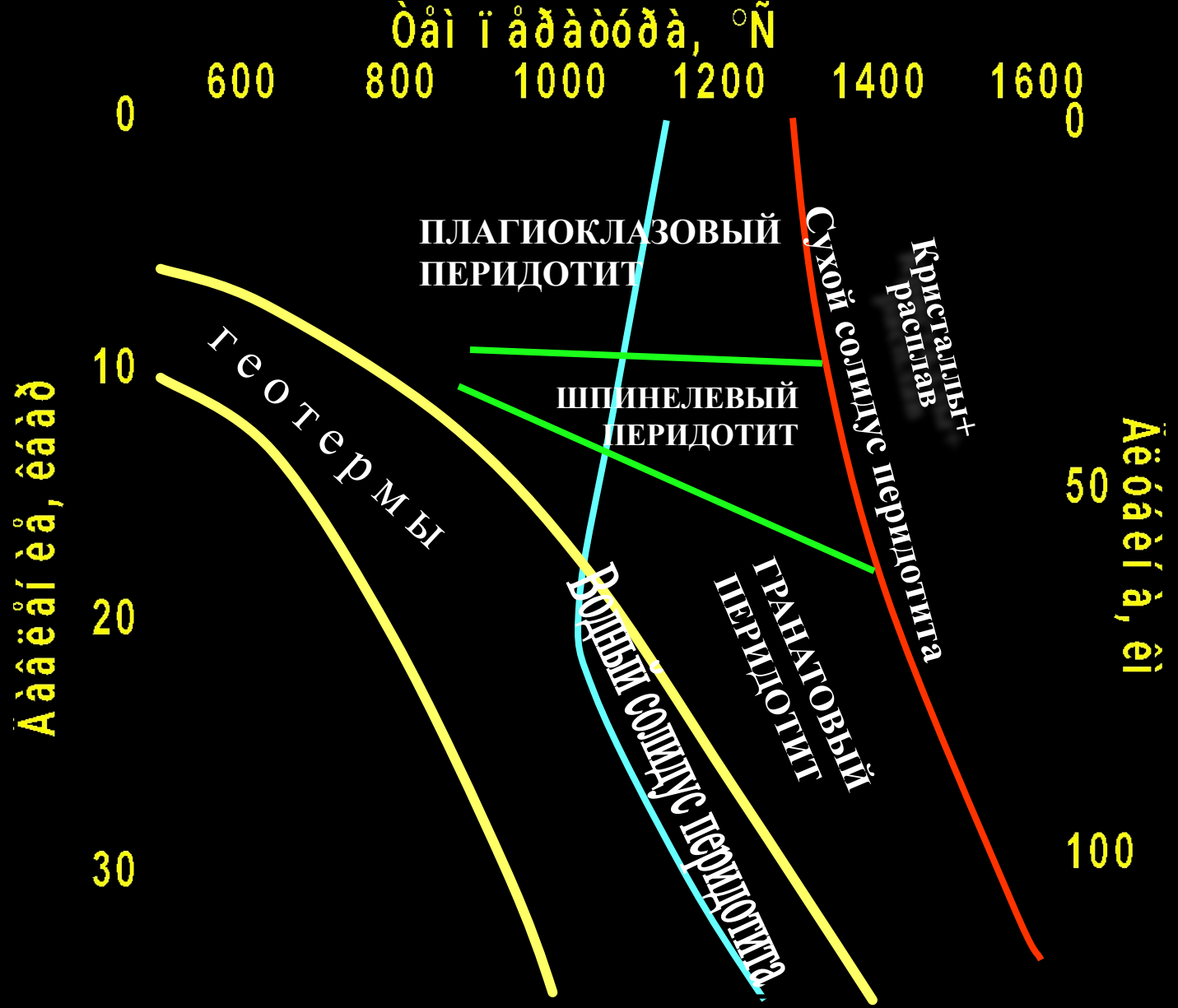
Магматические горные породы

Состав магмы и магматических пород

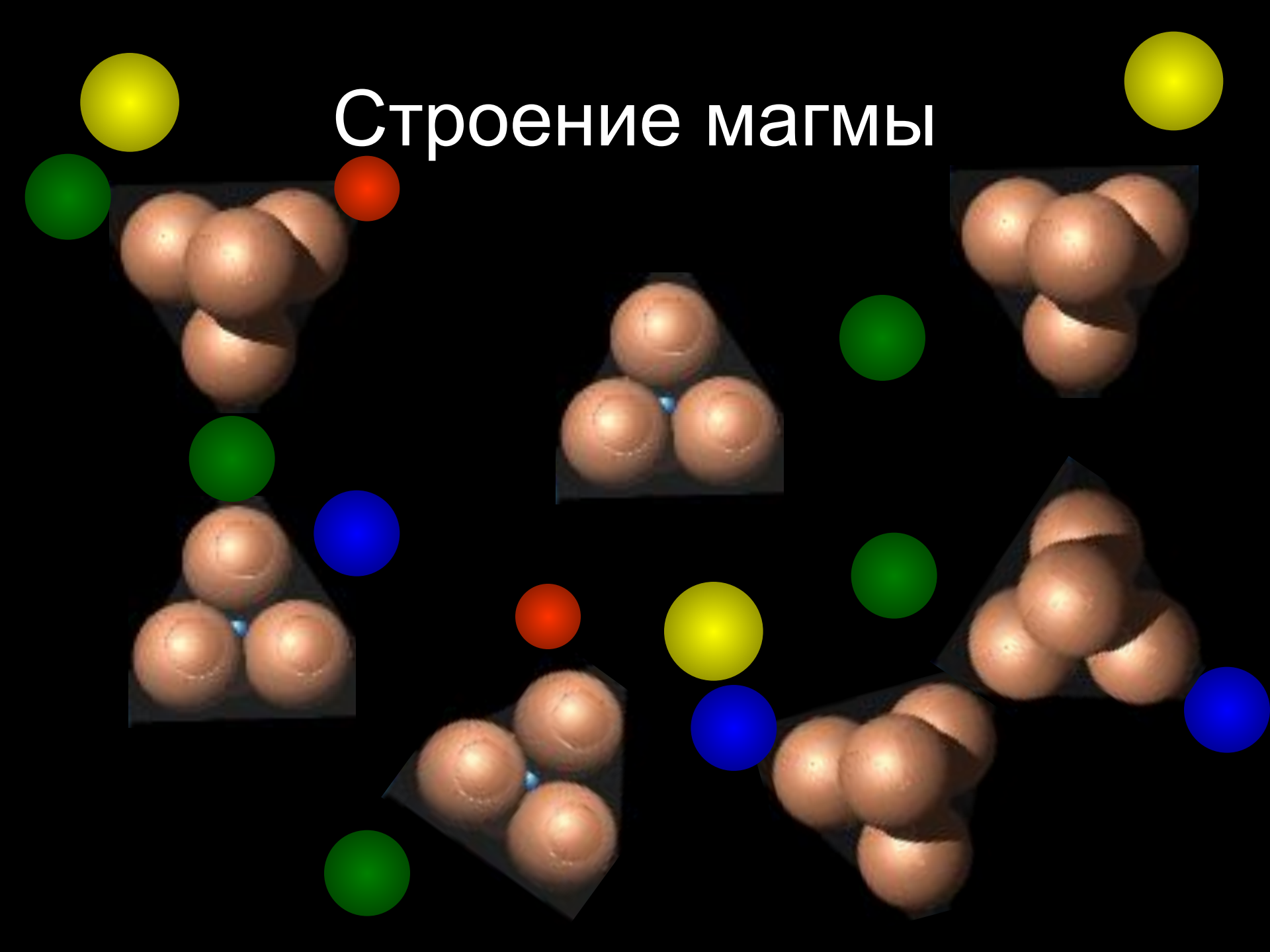
Магма - огненно-жидкий силикатный расплав, насыщенный летучими компонентами.

P-T условия зарождения магм



Строение магмы

Строение магмы



Строение магмы

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

Средний химический состав различных типов эффузивных пород

Тип магмы	Содержание оксида, мас. %								
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O

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:

$KAlSi_3O_8 + 2K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2 =$

ортоклаз биотит

$= 3(KAlSi_2O_6) + 3(Mg,Fe)_2SiO_4 + 2H_2O\uparrow$

лейцит оливин

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.

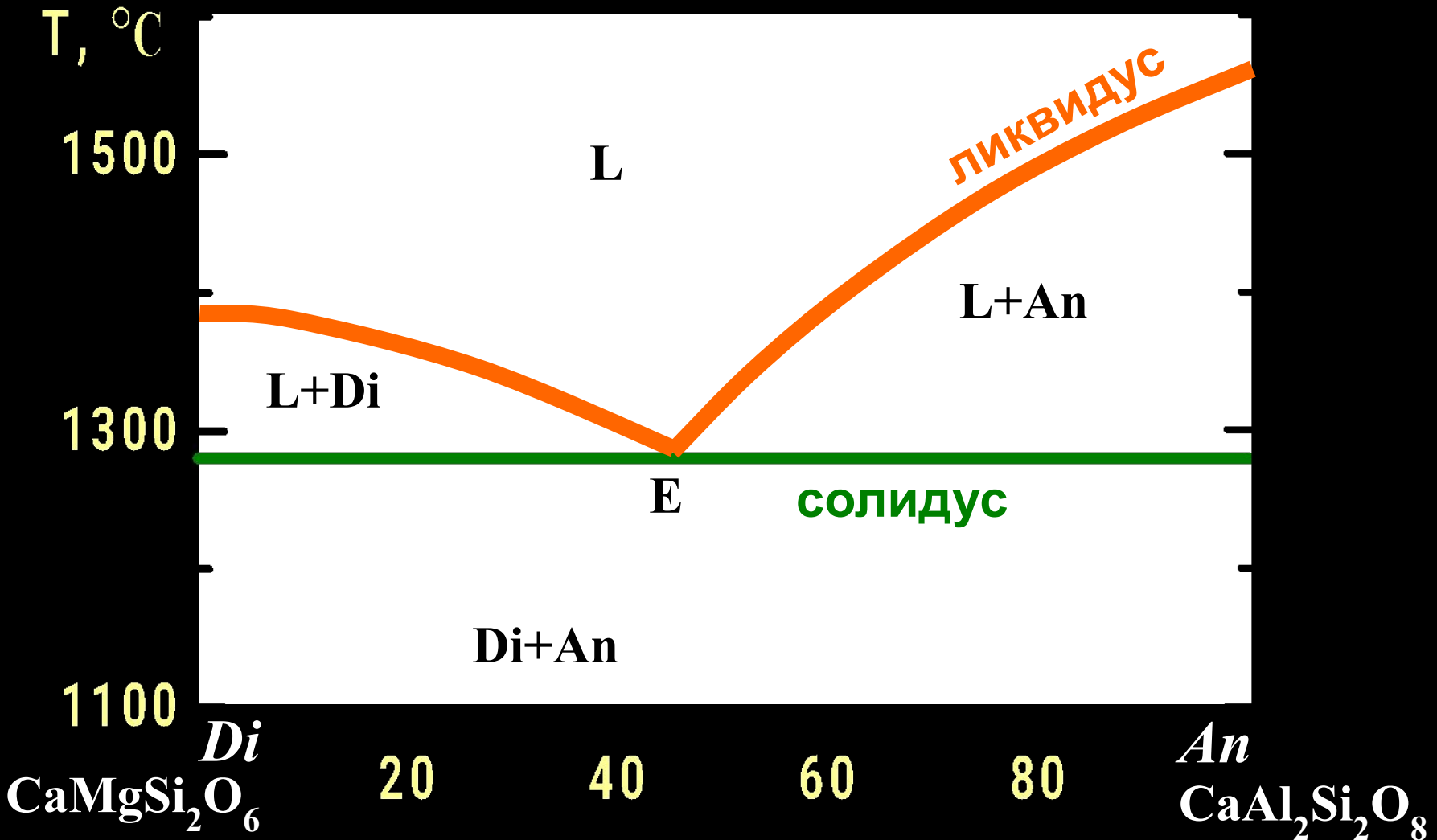
Если интенсивные параметры ограничены только температурой и давлением, то правило фаз записывается следующим образом:

$$P + F \equiv C + 2.$$

Двойная система с эвтектикой

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

Система диопсид-анортит

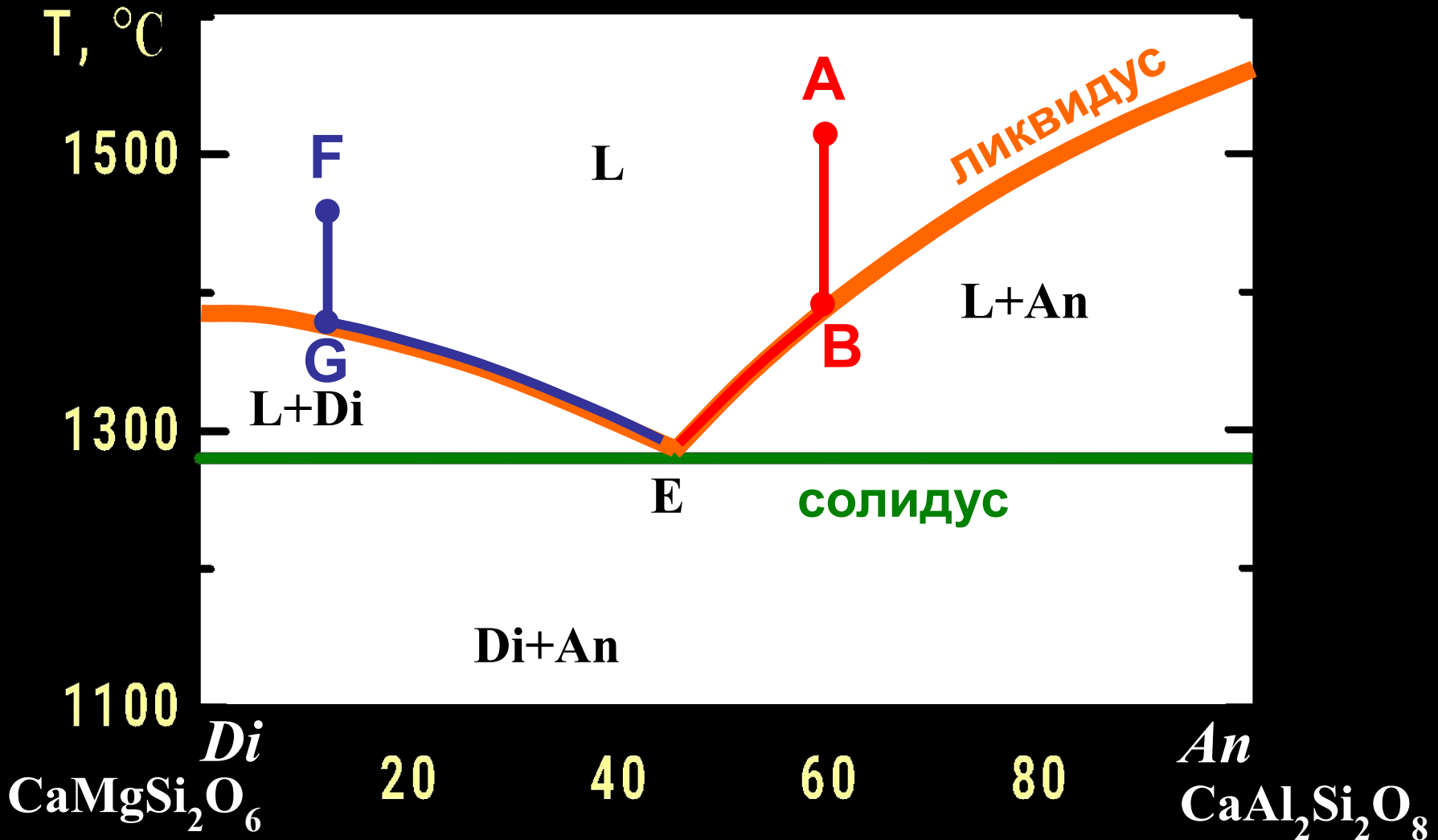


Линия ликвидуса определяет состояние равновесия между твёрдыми фазами (кристаллы диопсида и анортита) и расплавом.

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

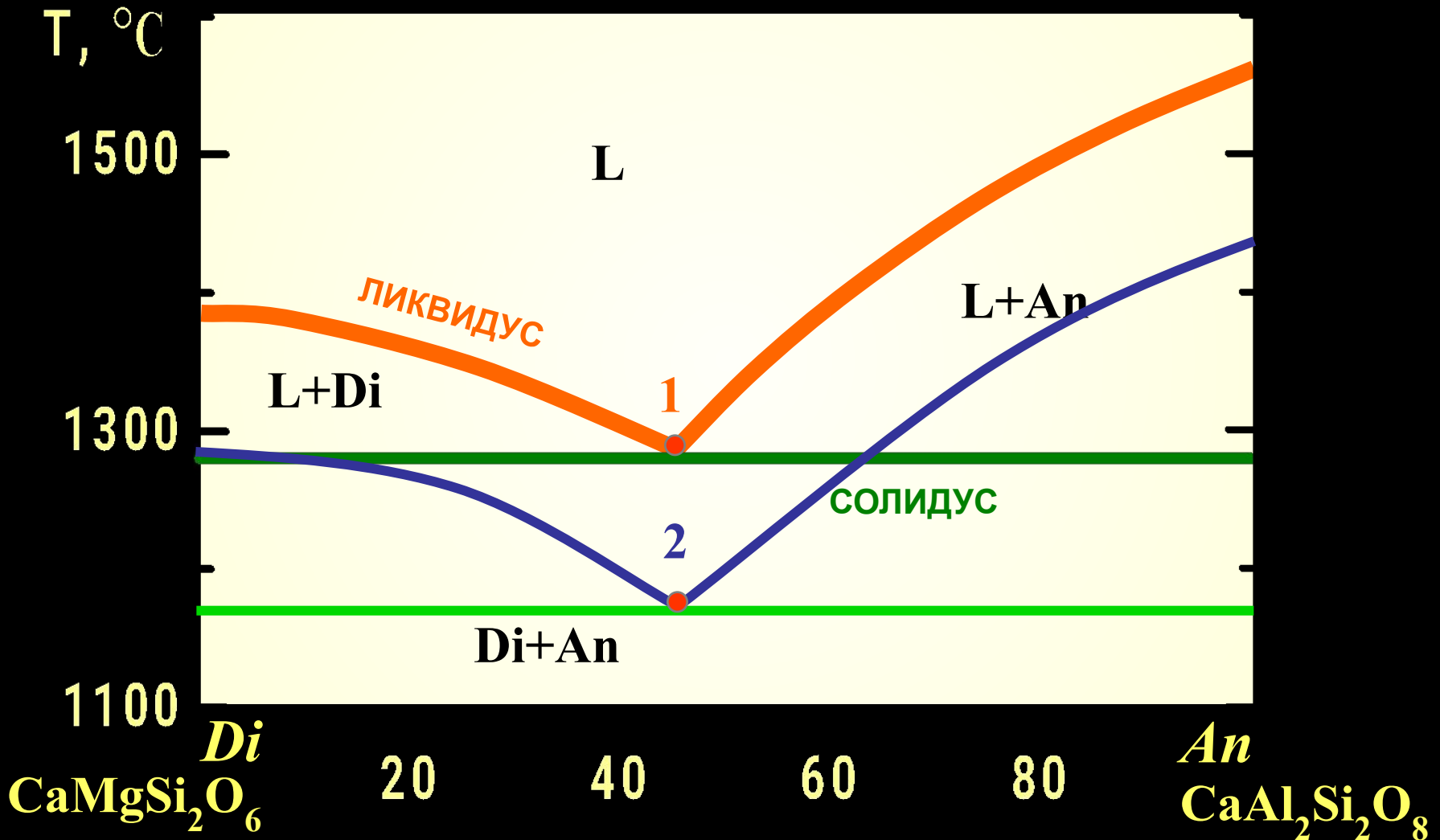
Система диопсид-анортит



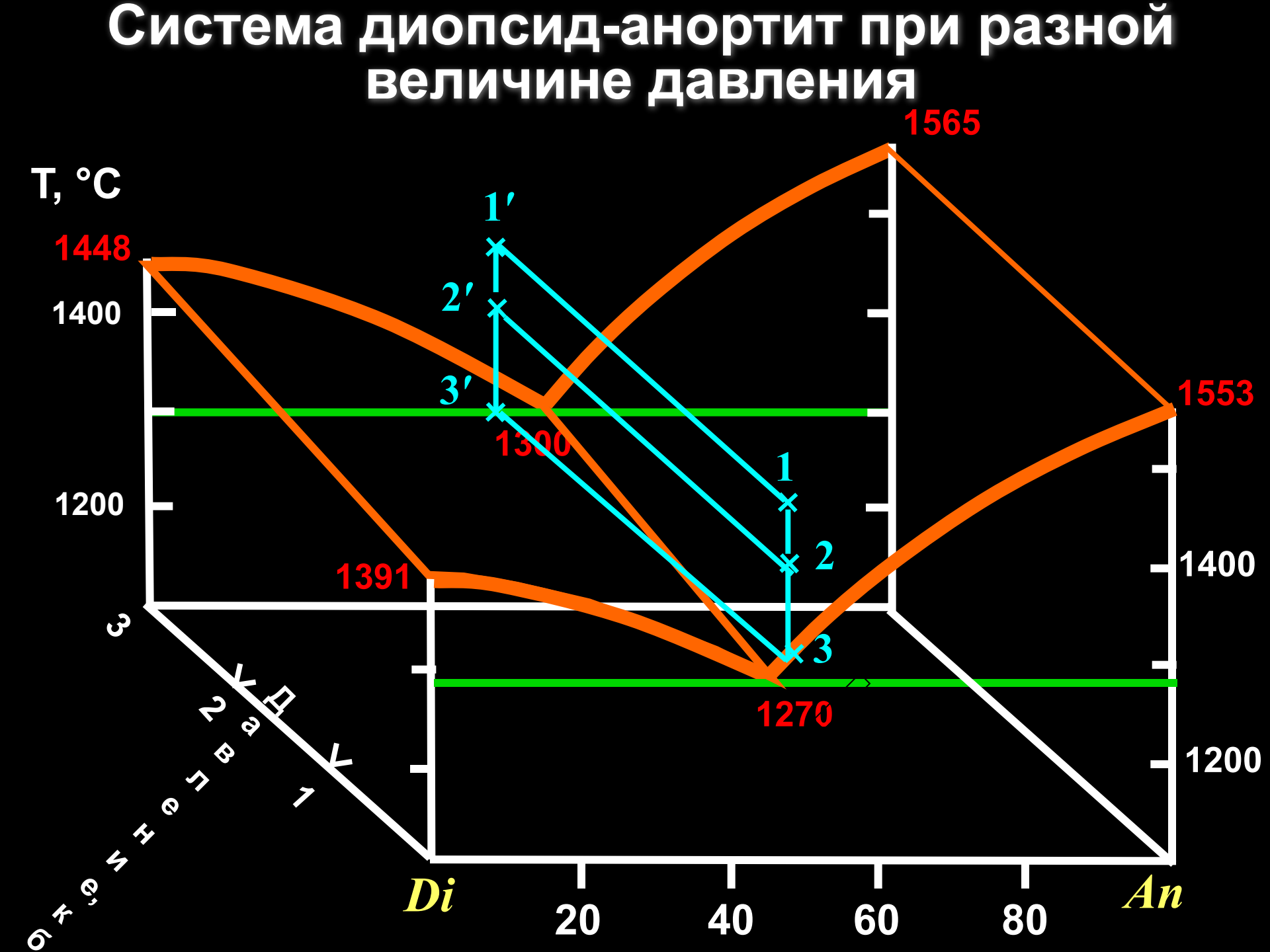
Система диопсид-анортит

1 – сухая эвтектика

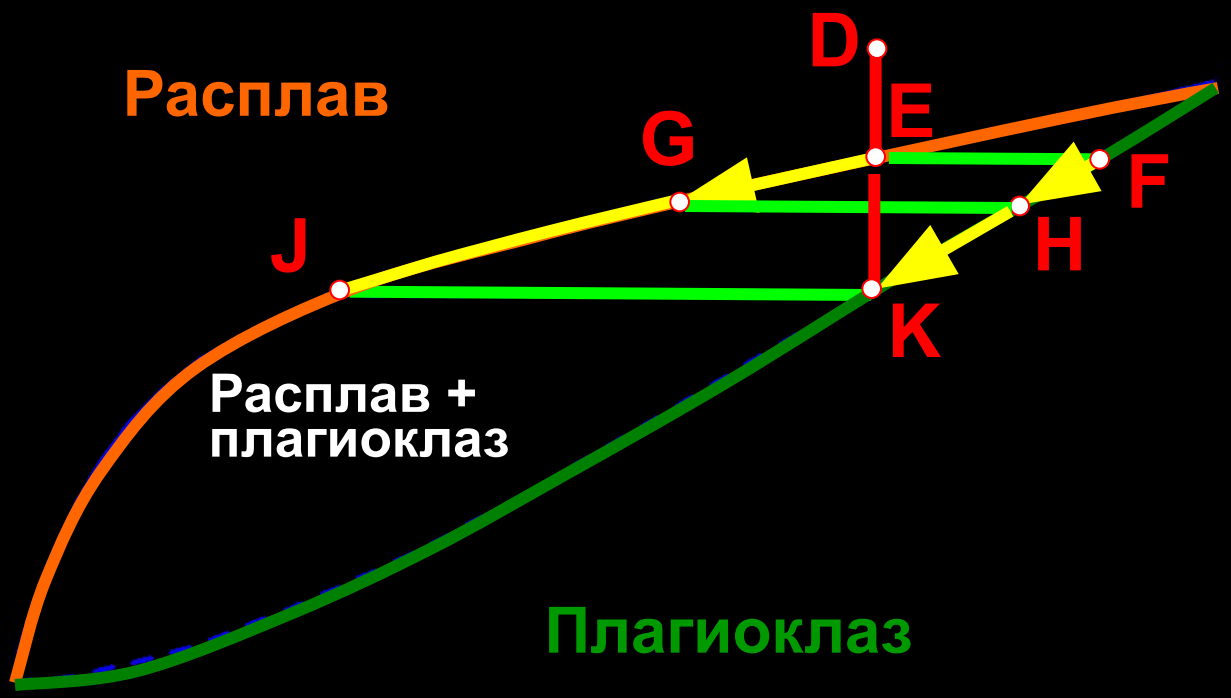
2 – водная эвтектика



Система диопсид-анортит при разной величине давления

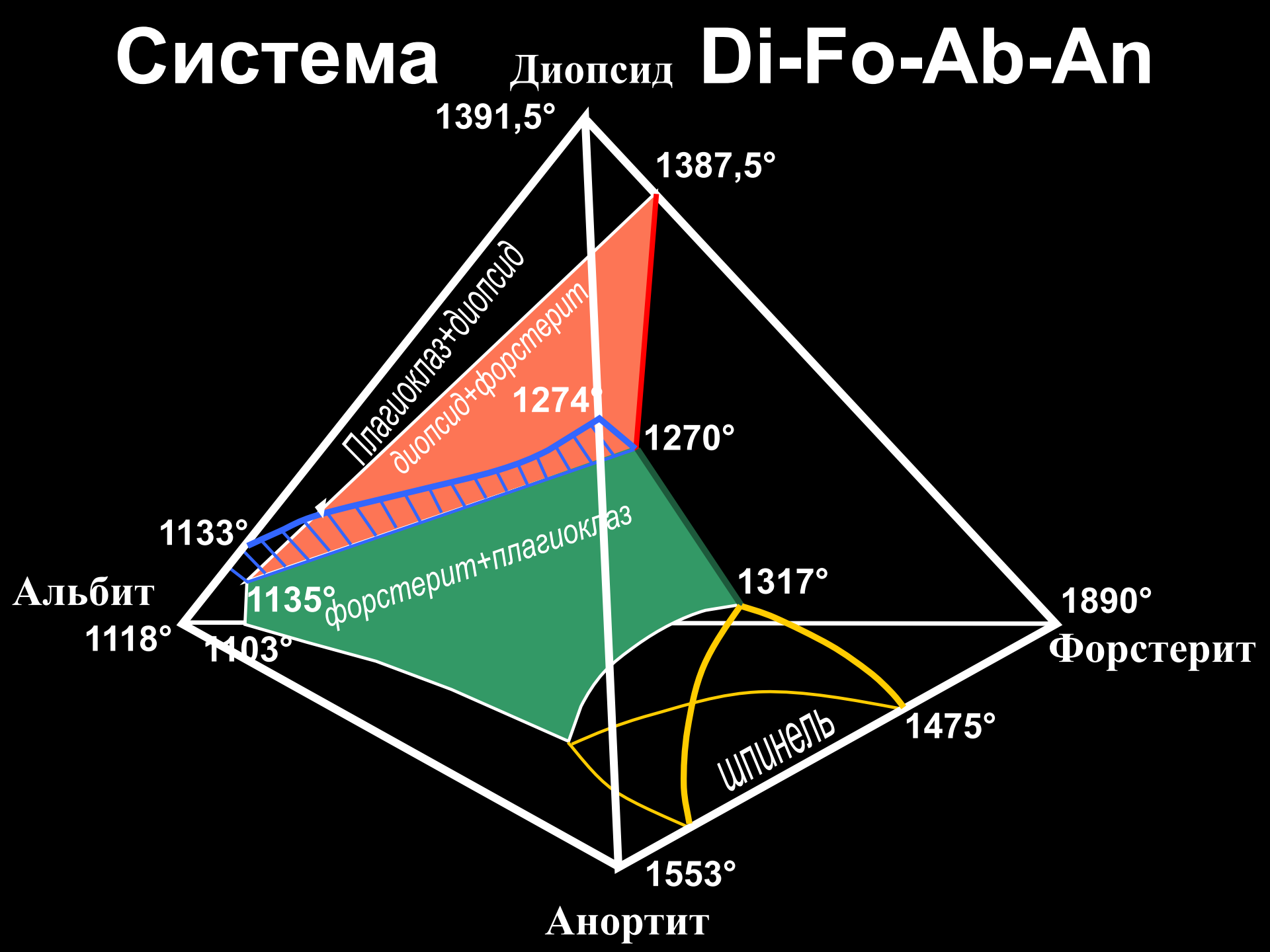


Система альбит-анортит



$NaAlSi_3O_8$	0	20	40	60	80	100	$CaAl_2Si_2O_8$
Àëüáèò	100	80	60	40	20	0	Àíîðòèò

Система Диопсид Di-Fo-Ab-An

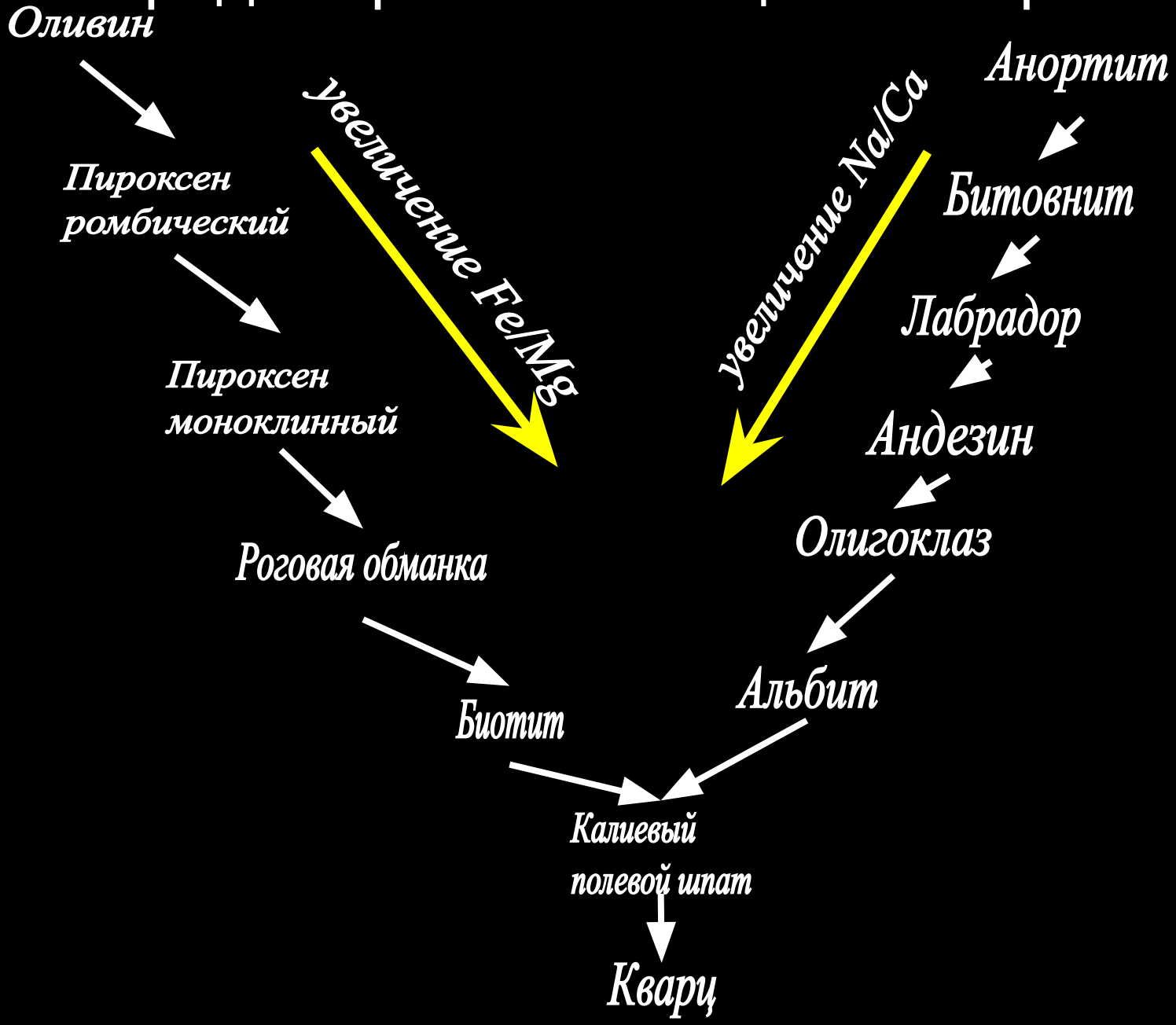


Порядок кристаллизации минералов

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

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

Порядок кристаллизации минералов

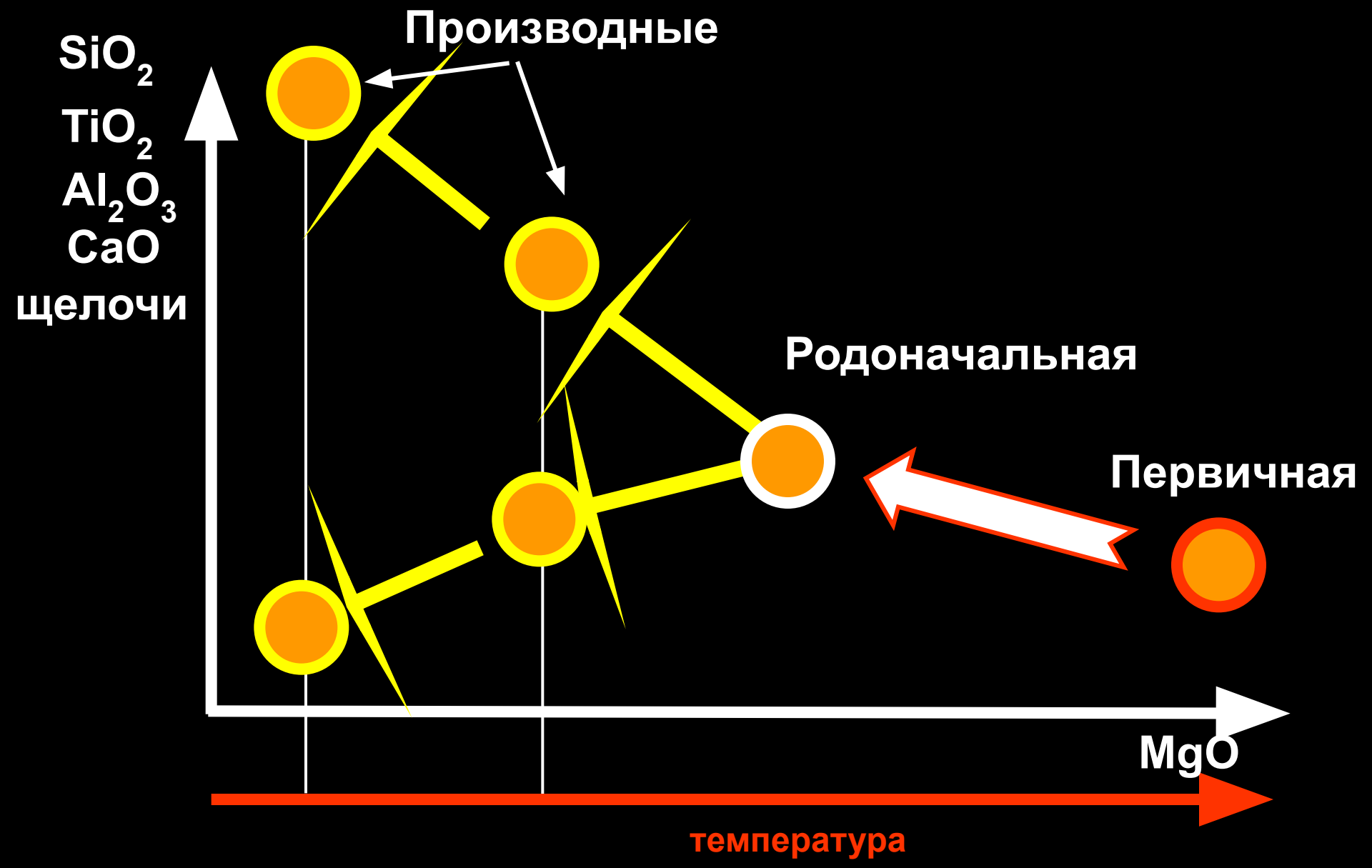


Разнообразие магматических пород во многом определяется процессами дифференциации магмы.

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 разделение 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.

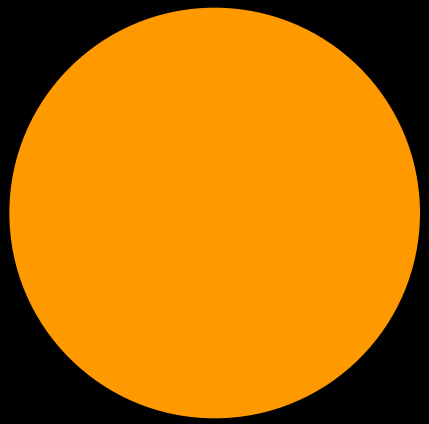
Последние могут кристаллизоваться либо в центре застывшего магматического тела, либо по трещинам проникать в застывшие части интрузии и во вмещающие породы.

Ассимиляция –

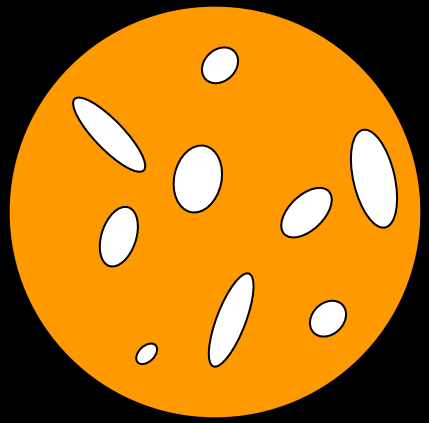
это процесс поглощения вмещающих пород магмой, что приводит к изменению состава первоначального расплава, и как следствие к его дифференциации.

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.

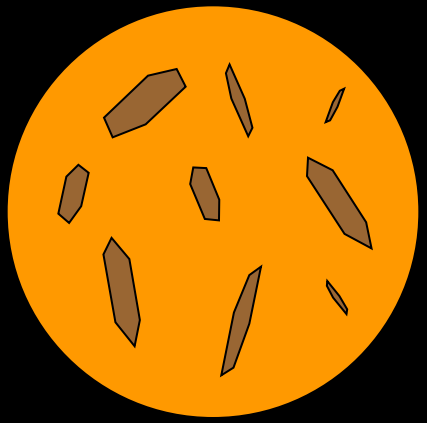
Фазовый состав магм



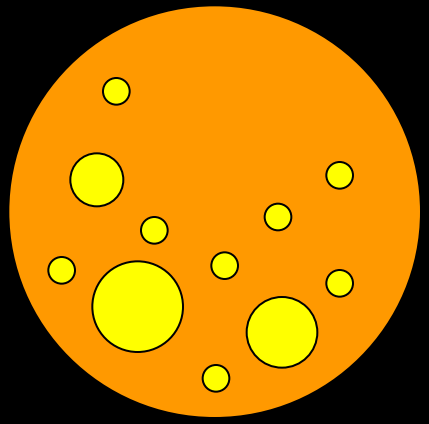
Гомогенный расплав



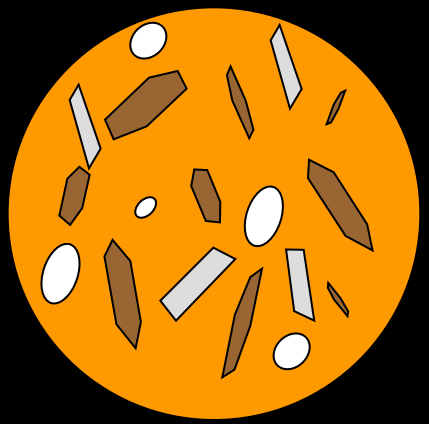
Двухфазовая магма (расплав+флюид)



Двухфазовая магма (расплав+кристаллы)

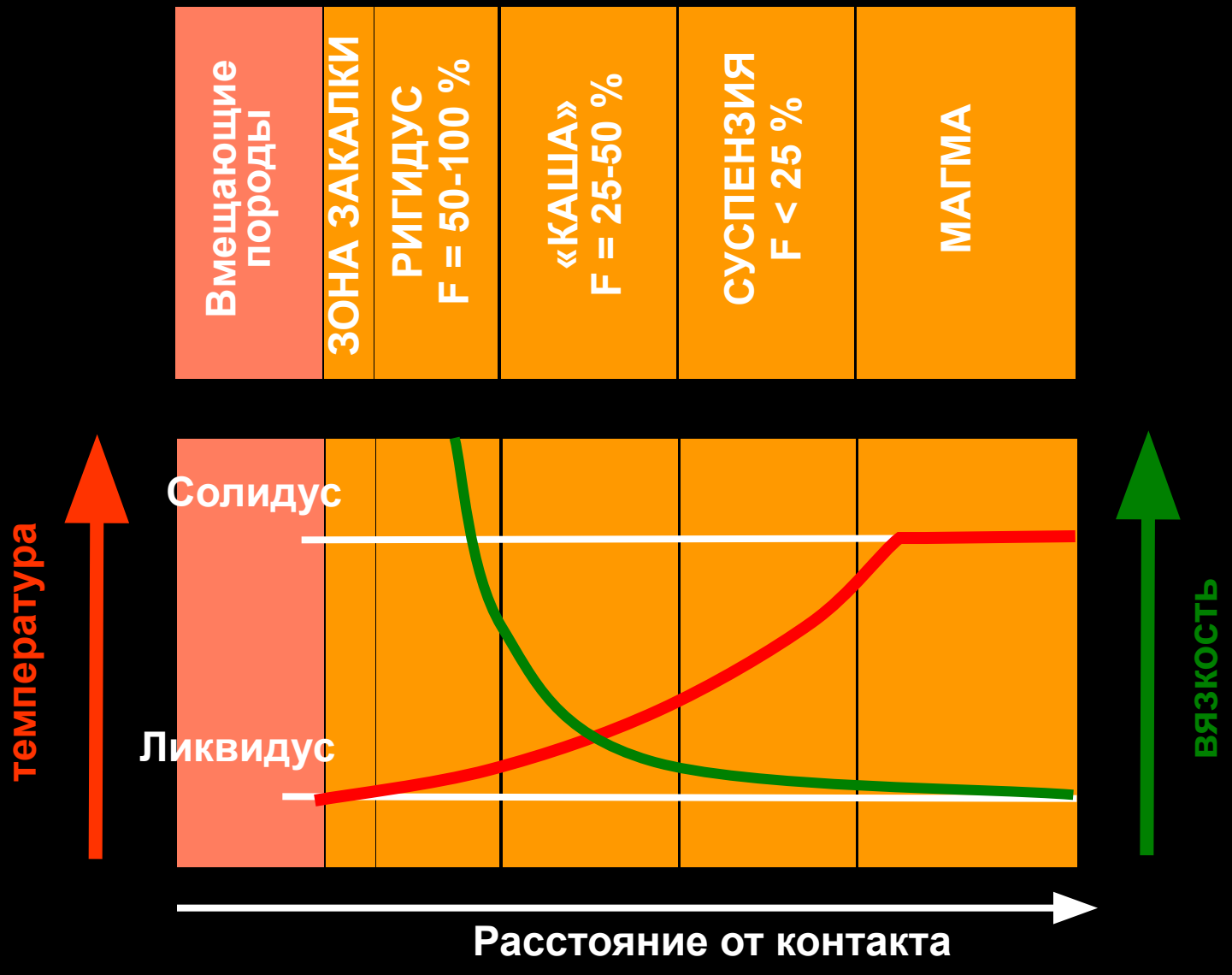


Двухфазовая магма (два расплава)

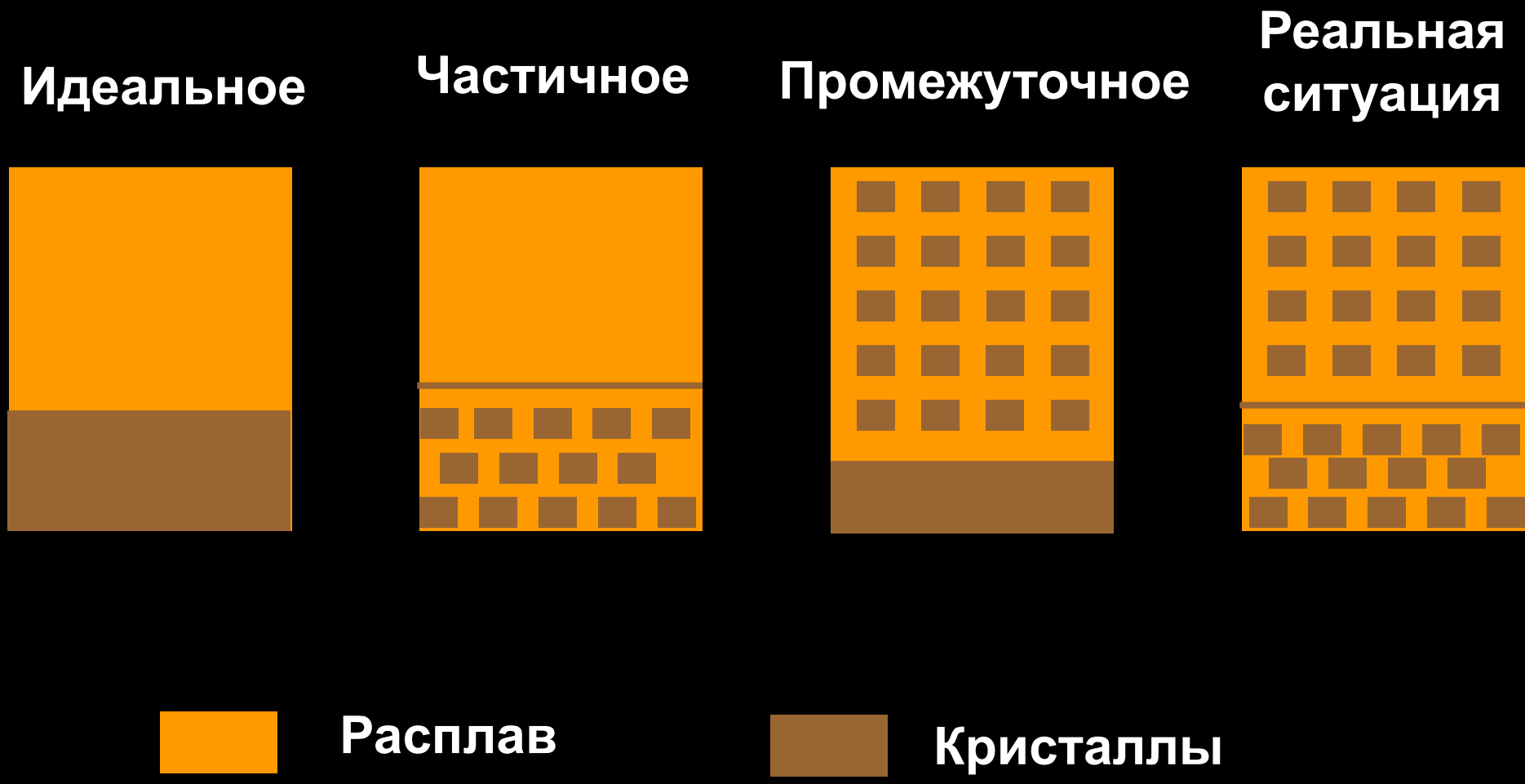


Четырёхфазовая магма (расплав+Pl+Px+флюид)

Изменение температуры и вязкости магмы

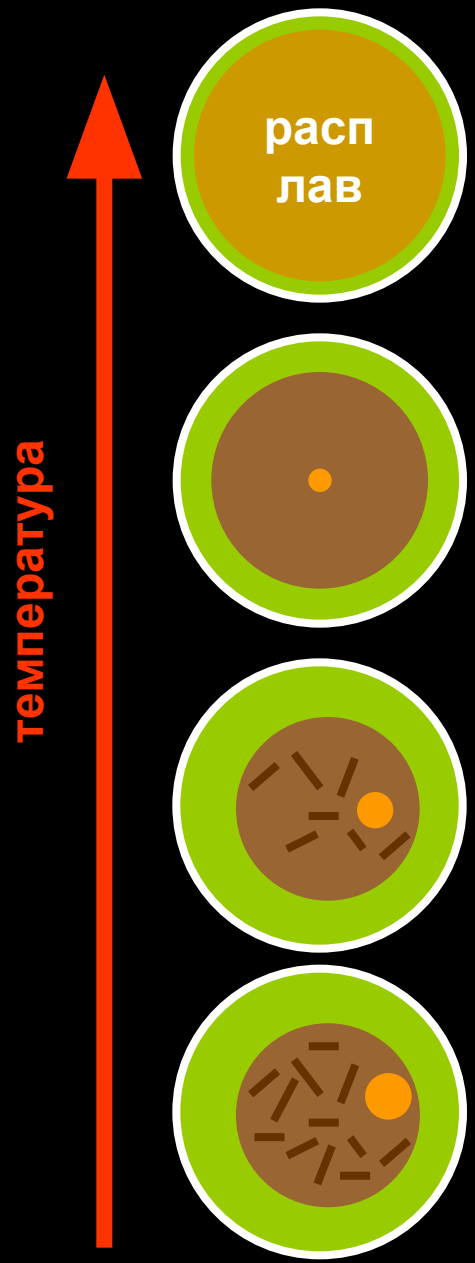


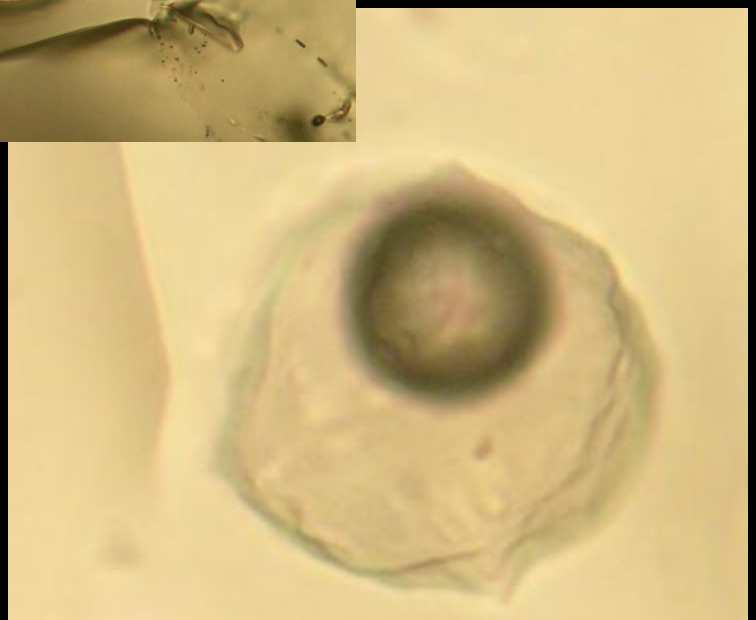
Типы фракционирования



Определение состава первичной магмы

Метод гомогенизации расплавных включений



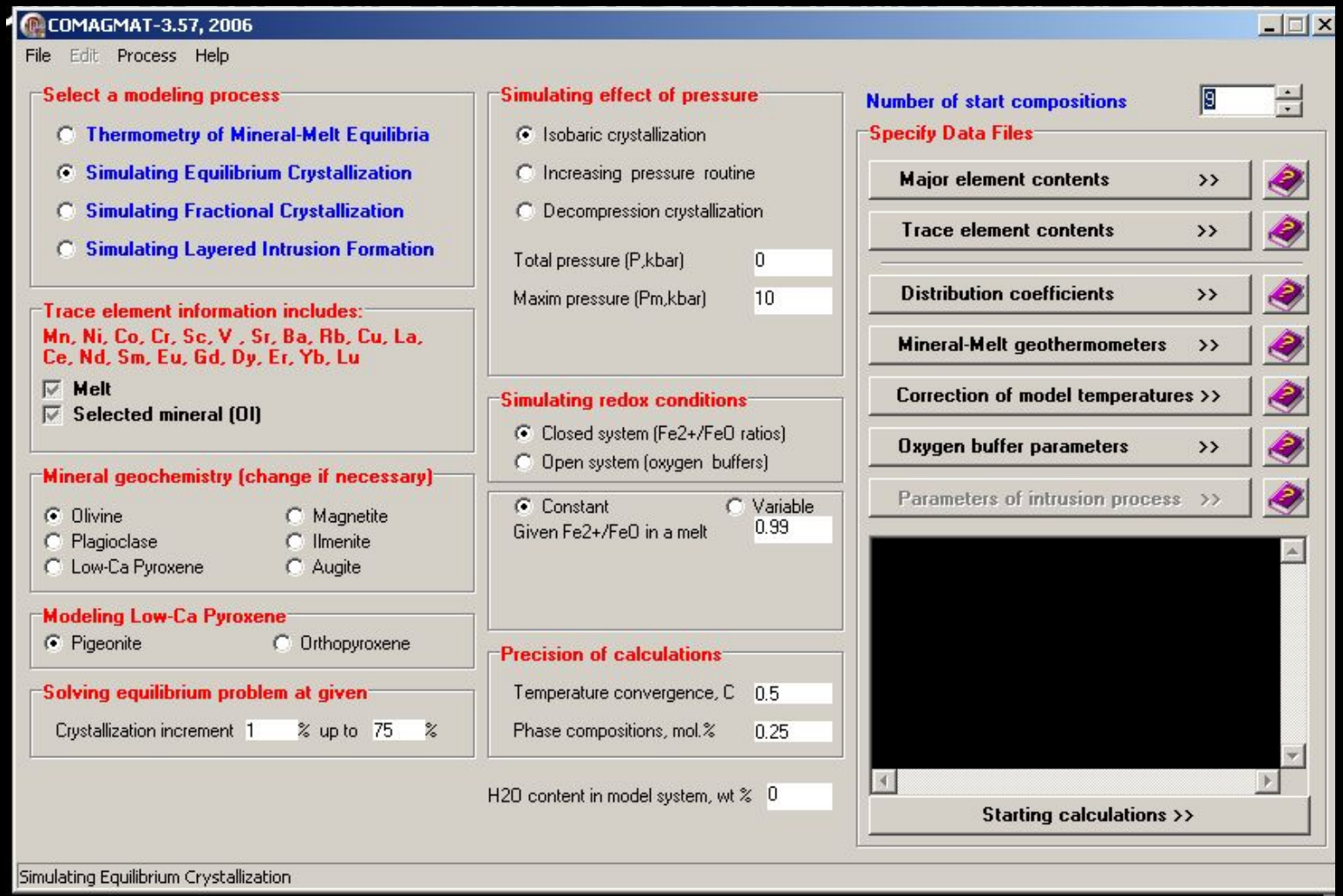


Оливин с включением

Определение состава первичной магмы

Метод компьютерного моделирования

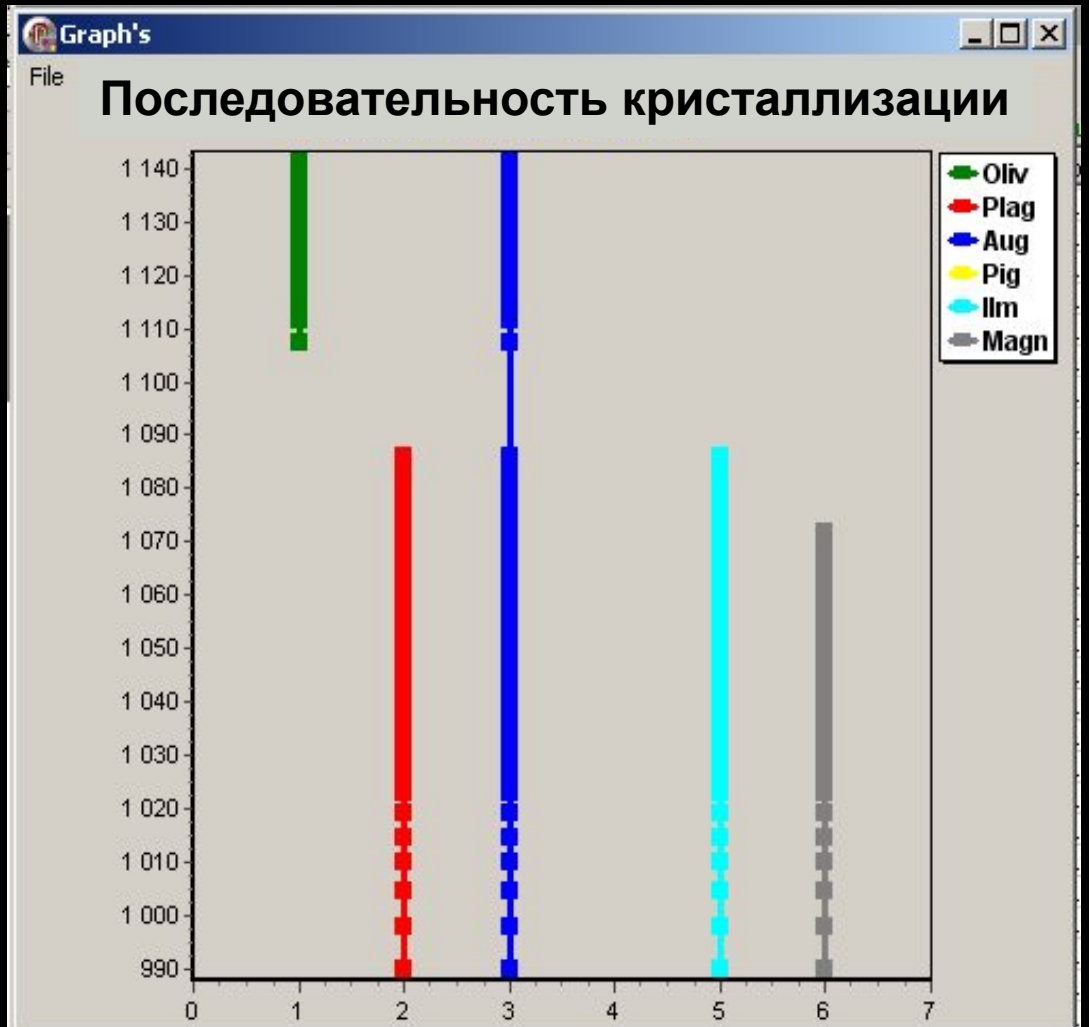
Программа Комагмат (Автор А. А. Арискин)



Определение состава первичной магмы

Метод компьютерного моделирования

Программа Комагмат (Автор А. А. Арискин)



Определение состава первичной магмы

Метод компьютерного моделирования

Программа Комагмат (Автор А. А. Арискин)