

Тема занятий (лекции № 6-8):

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ МАГМ

лекция № 6:

**Концепция фракционной
кристаллизации исходной магмы
и простейшие модели
фракционирования**

Определения “первичной” и “родительской” магмы



Исходной или родоначальной (*parental*) называется магма, при дифференциации которой сформировалась данная серия или ассоциация магматических пород

Примитивные расплавы

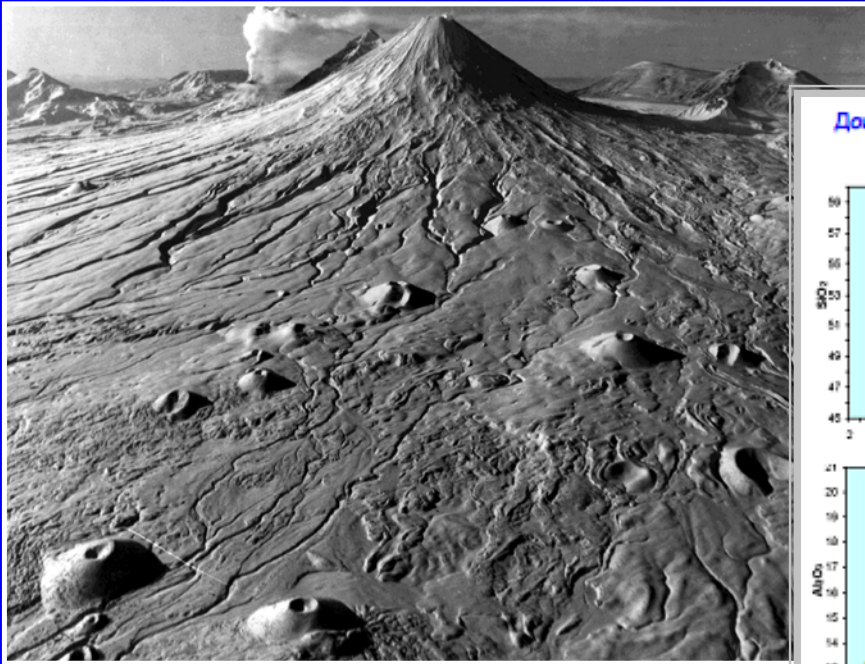
Расплавы, формирующиеся непосредственно в зоне плавления мантийного вещества, называются **первичной (*primary*) магмой**

Главные проблемы образования магматических пород

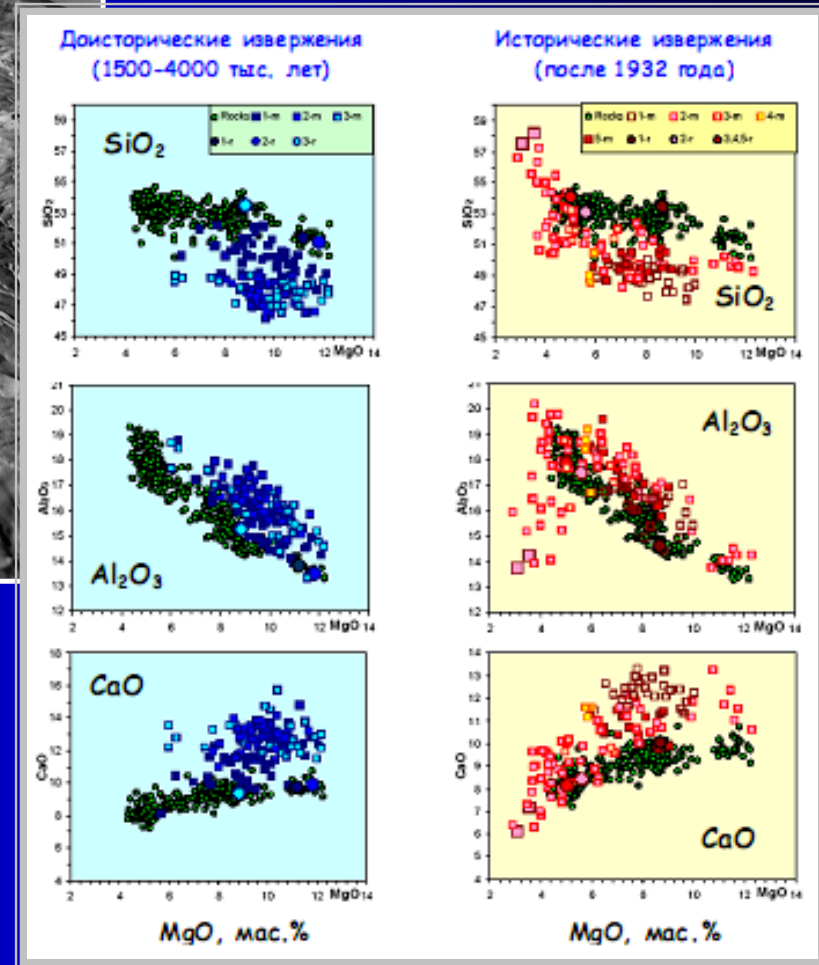
1. Оценки состава и условий кристаллизации родительских магм как источника химического разнообразия производных расплавов (дериватов), которые затвердевают с образованием магматических пород (*формируя конкретную серию или ассоциацию*)

2. Условия образования наиболее примитивных – первичных расплавов, являющихся источником родительских магм.

Составы расплавных включений и базальтовых лав Ключевского вулкана на Камчатке (данные Н.Л.Миронова, М.В.Портнягина и П.Ю.Плечова)



Общий вид Ключевского
вулкана



Зависимость содержания Al_2O_3 от MgO в базальтовых лавах Ключевского вулкана

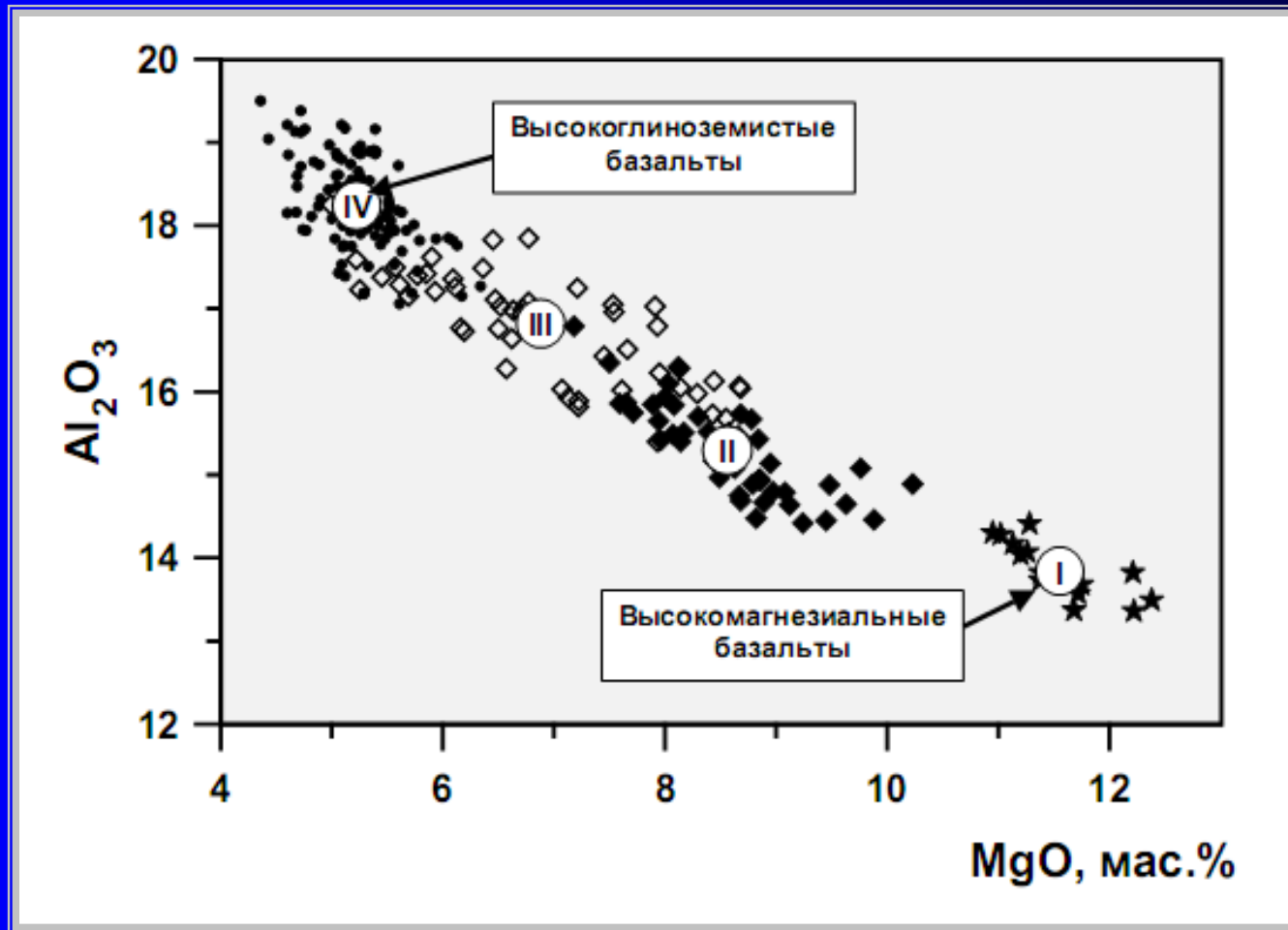
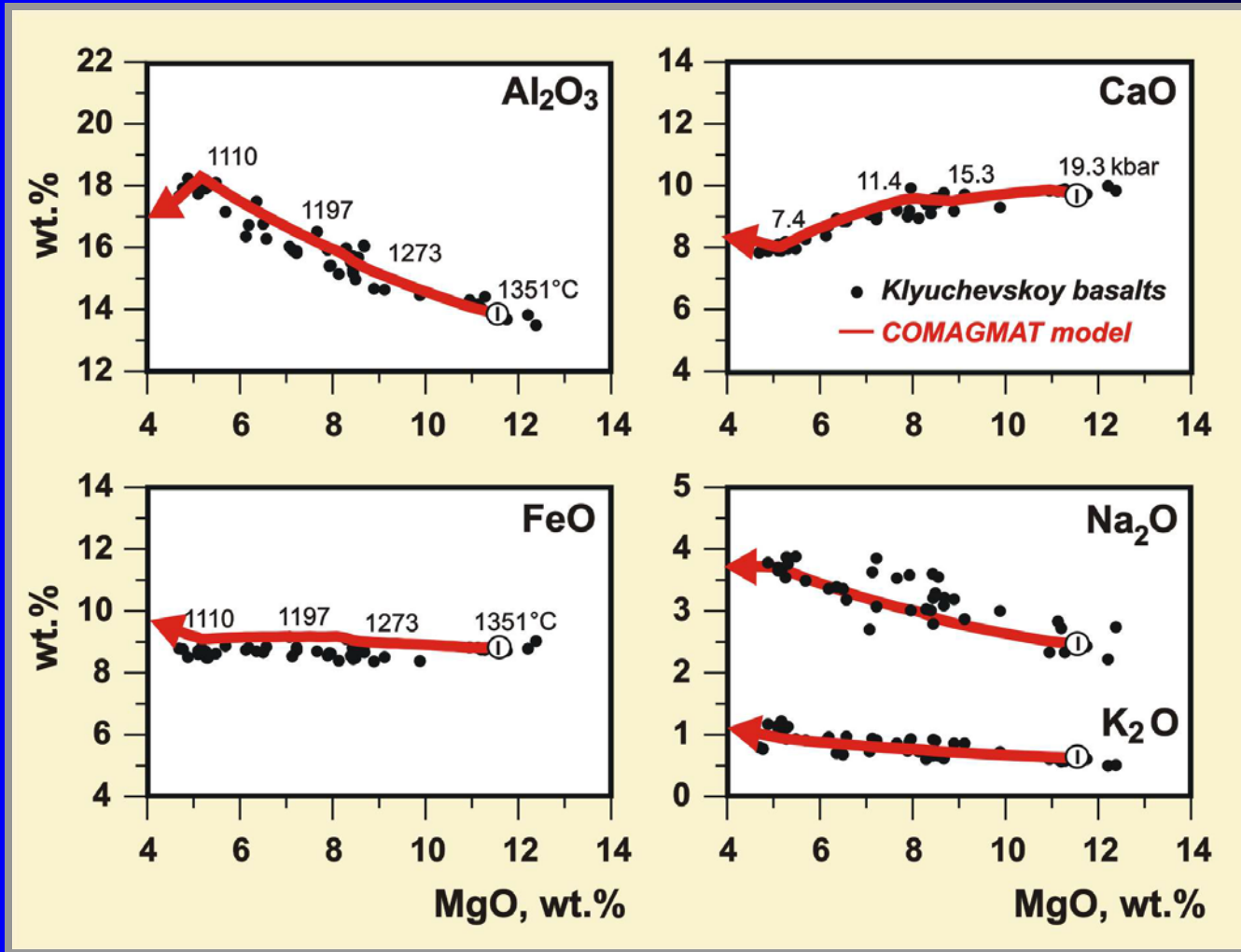
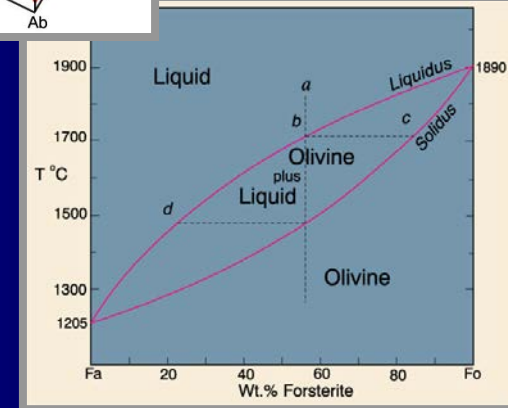
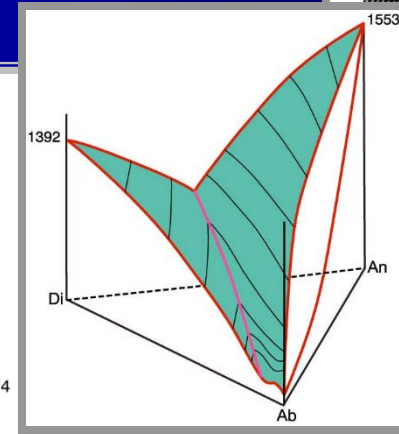
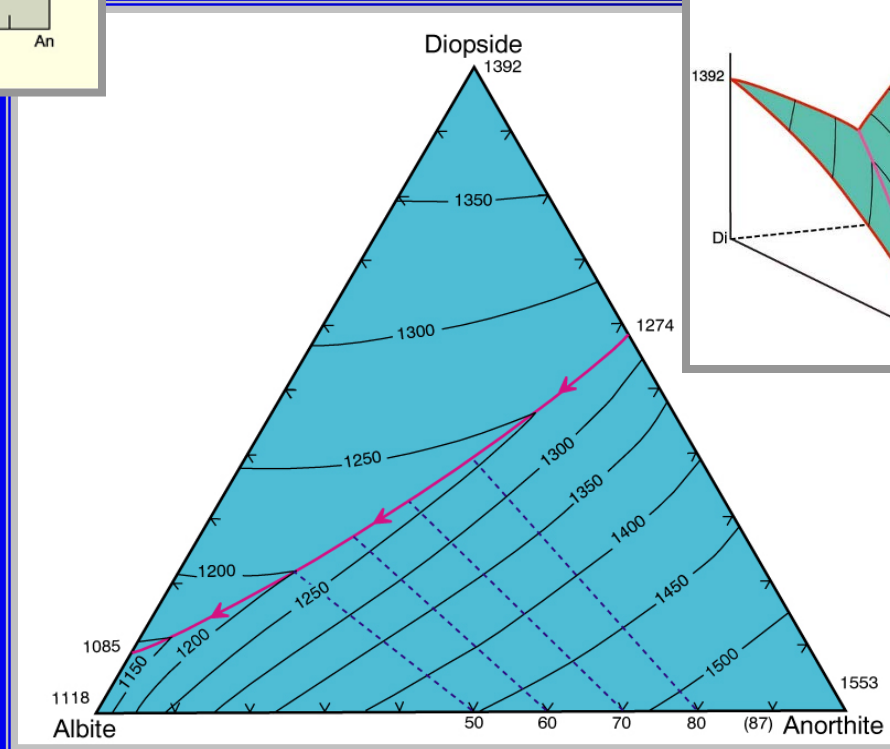
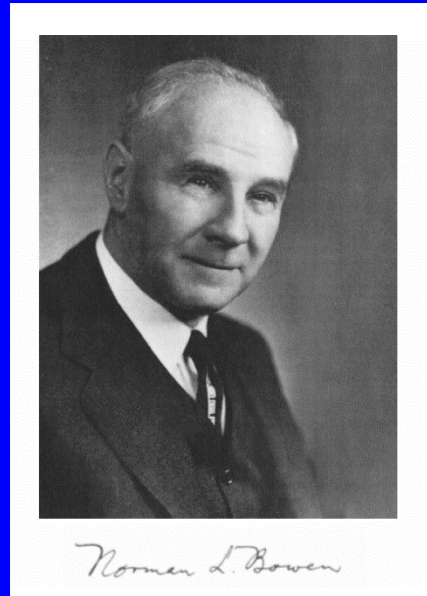
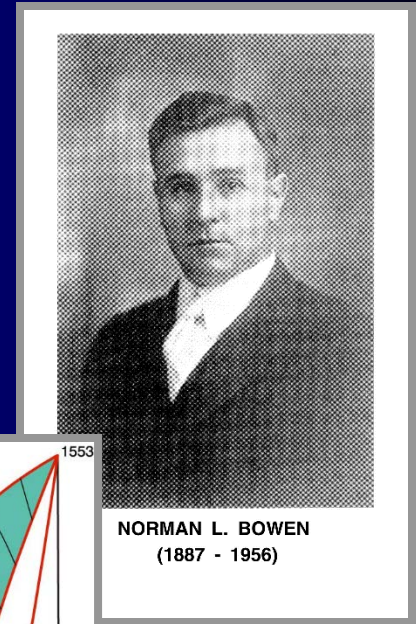
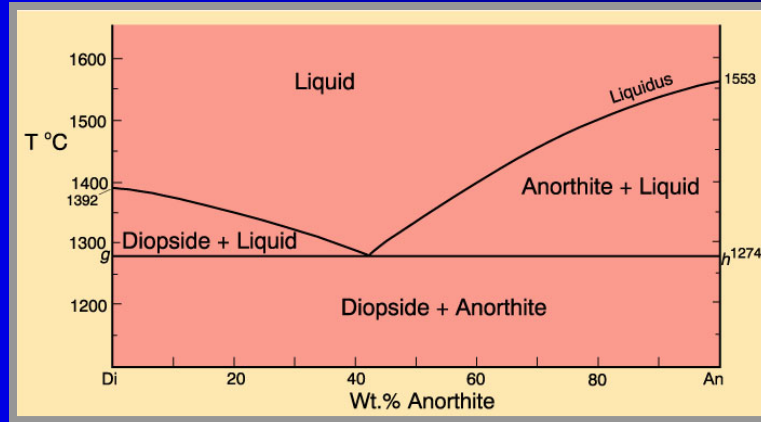
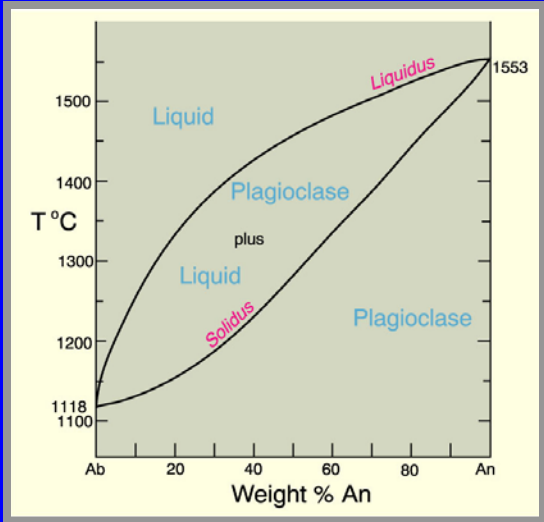


Схема химической эволюции Ключевского вулкана (Арискин и др., 1995)



Диаграммы плавкости для простых силикатных систем



Принципы генетической интерпретации изверженных пород (по Боуэну)

- (1) Полевое изучение ассоциаций пород** и выделение генетически связанных пород по результатам петрохимических и геохимических исследований;
 - (2) Проведение экспериментов** по плавлению и кристаллизации типовых систем, максимально близких природным образцам;
 - (3) Анализ полевых и петролого-геохимических данных при помощи экспериментальных диаграмм плавкости;**
 - (4) Более детальные полевые исследования** с целью проверки или опровержения выводов, полученных при сопоставлении данных природных наблюдений с экспериментальной информацией.
-
- (5) построение и исследование численных моделей петрогенетических процессов.**

Bowen N.L., 1928, The evolution of the igneous rocks: Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 334 p.

Аналогии природных систем и топологии диаграмм плавкости

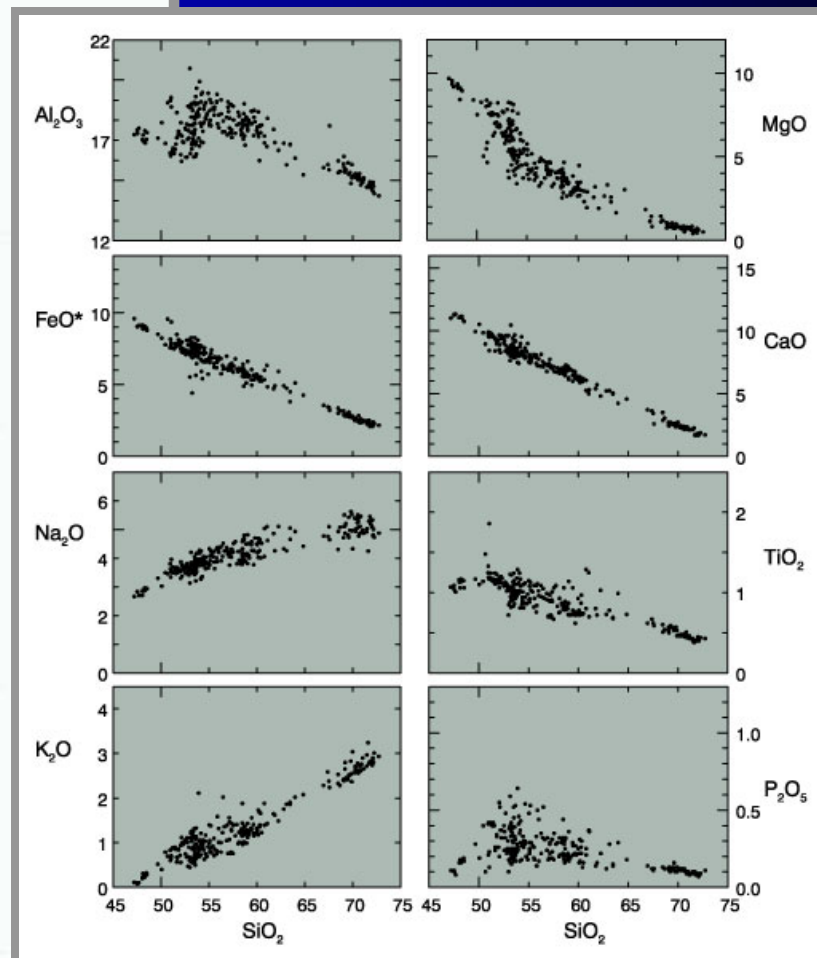
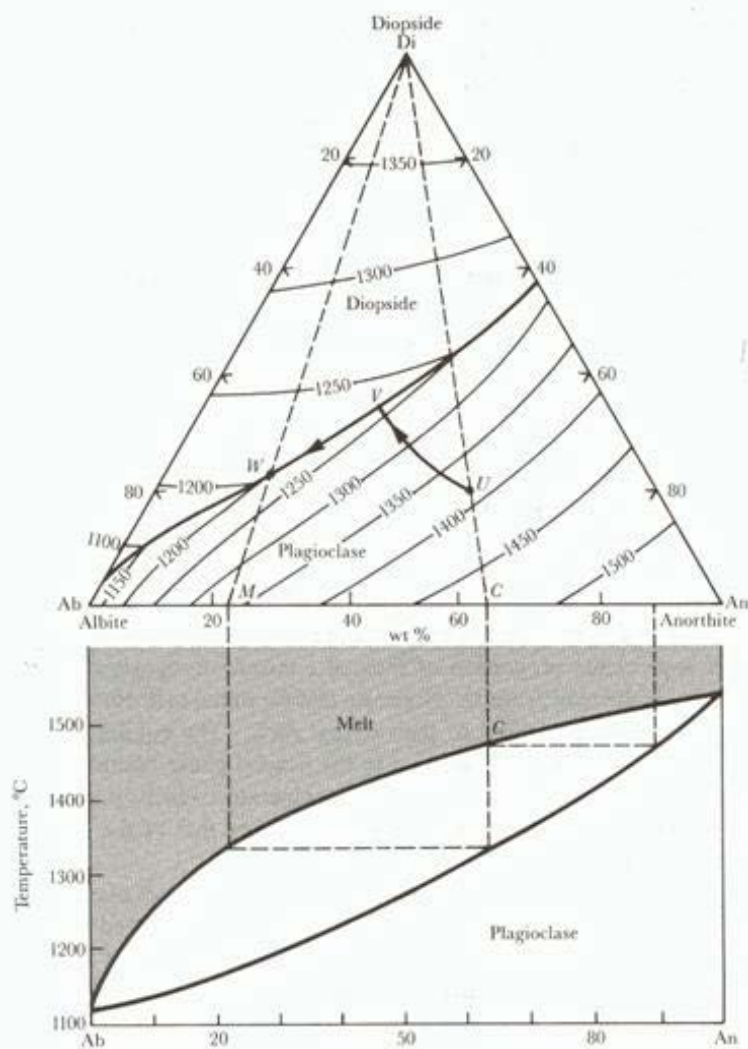
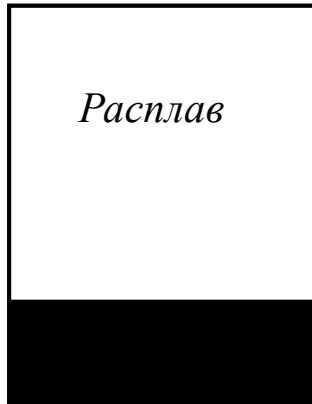


Figure 4-10 The system diopside-anorthite-albite at $P_{H_2O} = 1$ bar. See text for discussion of crystallization paths. (After Bowen, 1915; modified by Kushiro, 1973.)

Типы фракционирования природных магм (в режиме гравитационной сепарации кристаллов)

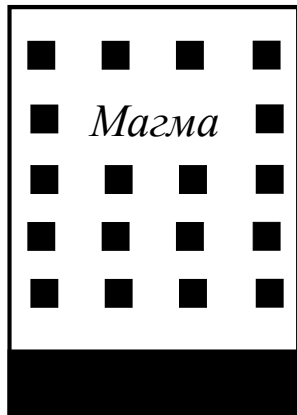
Идеальное



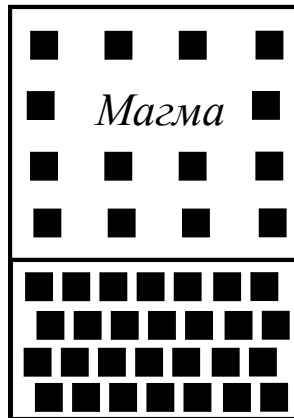
Частичное



Промежуточное

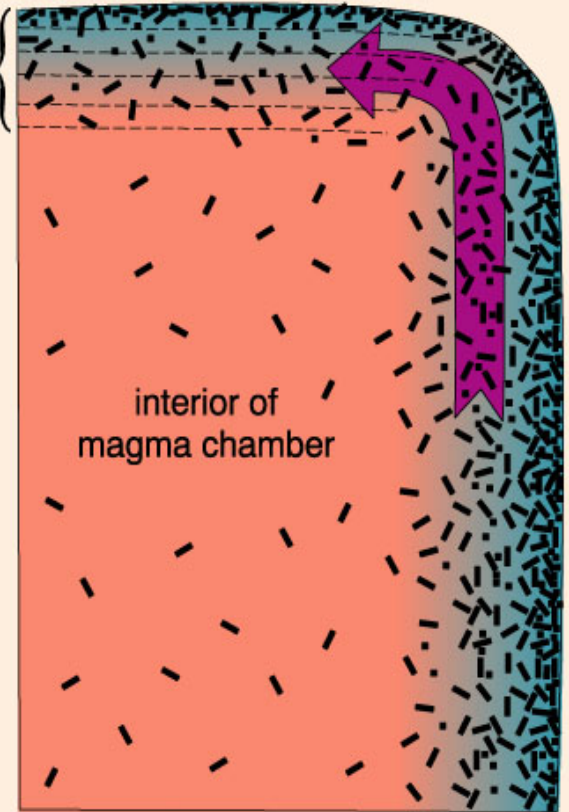


Реальная ситуация



■ Кристаллы

stratified cap
boundary
layer

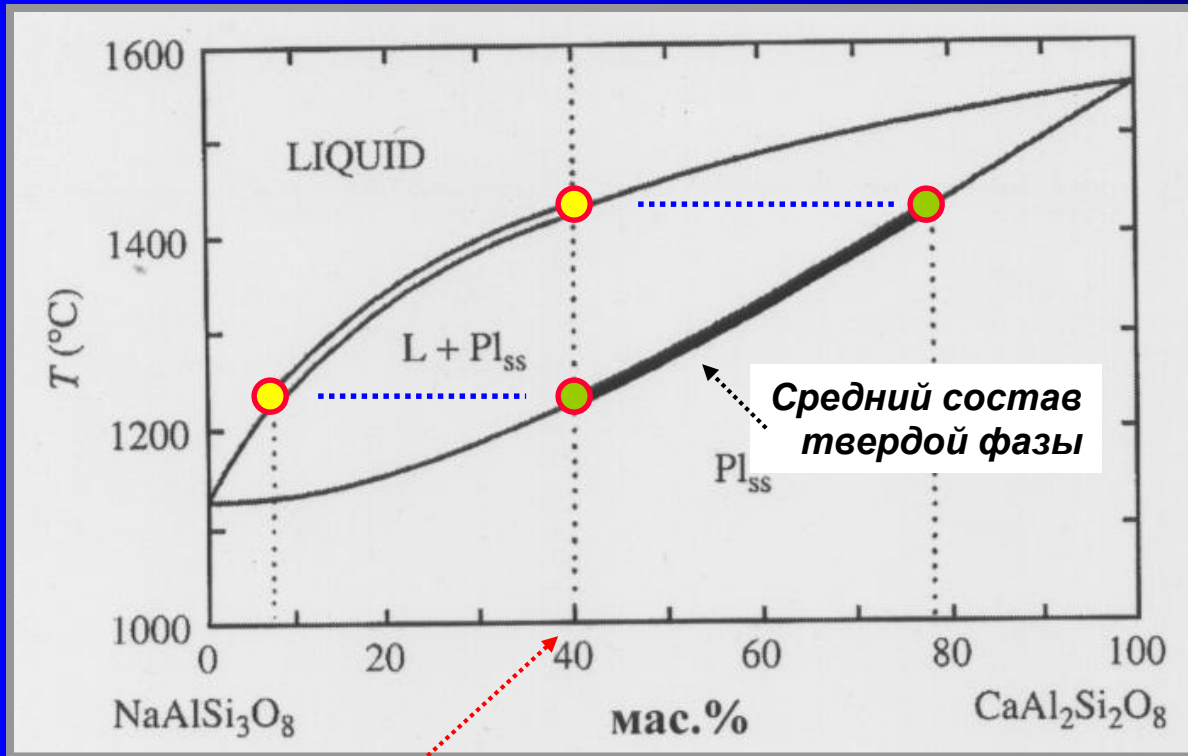


wall
rock

wall
boundary
layer

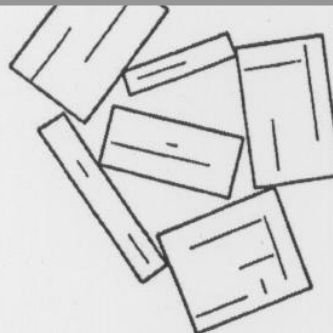
Фракционирование за счет обмена
материалом с пограничным слоем
(Langmuir, 1989) – BLF process

Равновесная кристаллизация в системе *Ab-Ab*



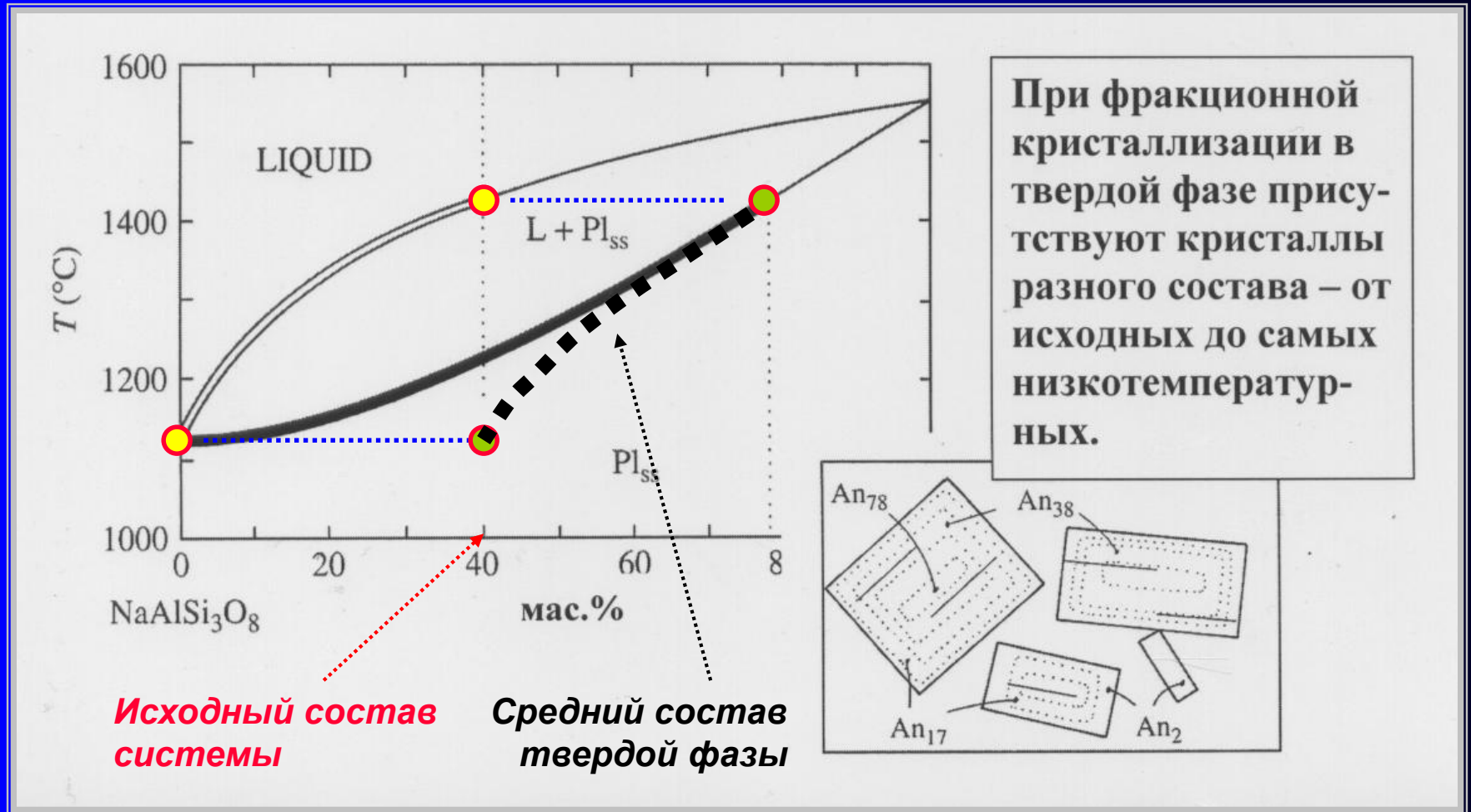
“Средний” состав Pl на каждой стадии кристаллизации постоянный и отвечает равновесию со всем объемом остаточного расплава

Исходный состав системы



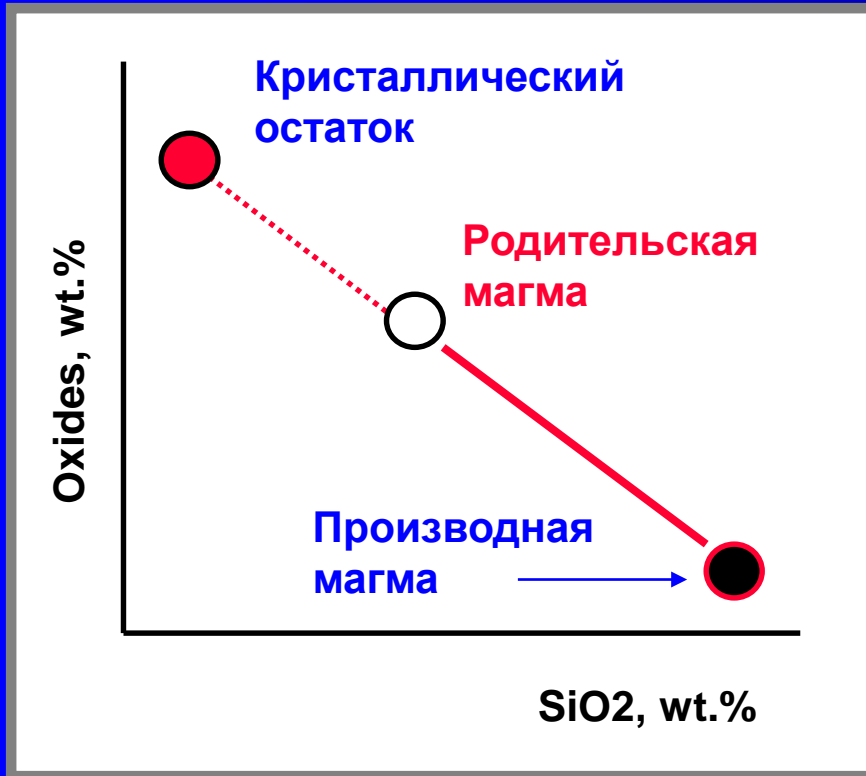
В результате равновесной кристаллизации процесс завершается образованием однородных кристаллов (An40).

Фракционная кристаллизация в системе Ab-Ab



“Средний” состав ранее выделившегося Pl на разных стадиях кристаллизации разный, хотя состав (бесконечно малого количества) Pl , кристаллизующегося в данный момент и отвечает равновесию со всем объемом остаточного расплава

Как доказать фракционную кристаллизацию родительских магм?

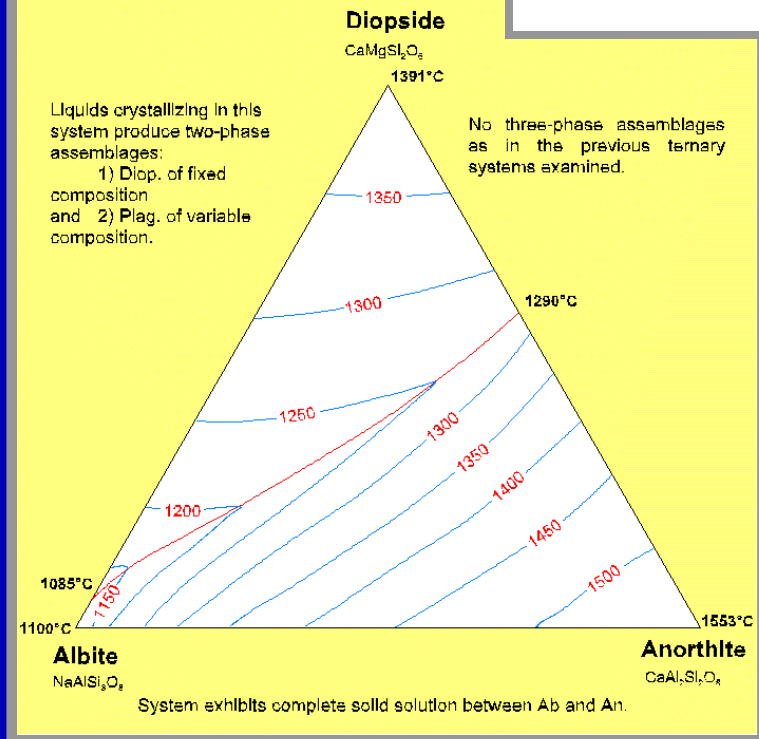


Принцип построения
“диаграмм вычитания”



NORMAN L. BOWEN
(1887 - 1956)

Diopside - Albite - Anorthite



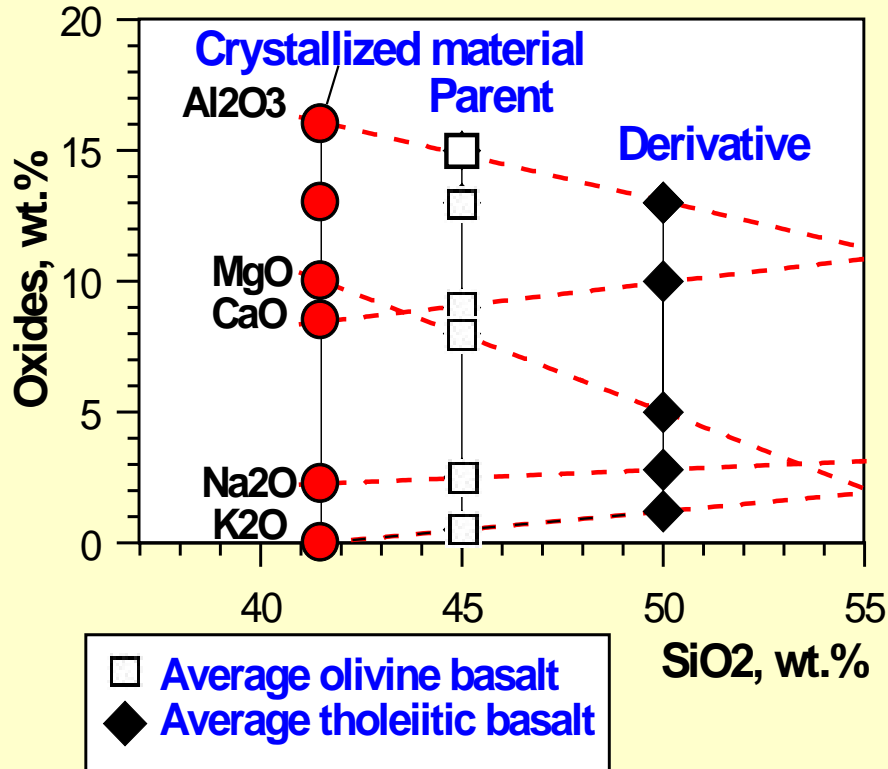
МАГМАТИЗМ ГЕБРИДСКИХ ОСТРОВОВ

как части Британо-Арктической провинции



THE SUBTRACTION DIAGRAM PROPOSED FOR BASALTS

from Mull, Hebrides (Bowen, 1928)



Bowen first suggested that more siliceous and less magnesian **tholeiitic basalts were originated from olivine-rich basalts.**

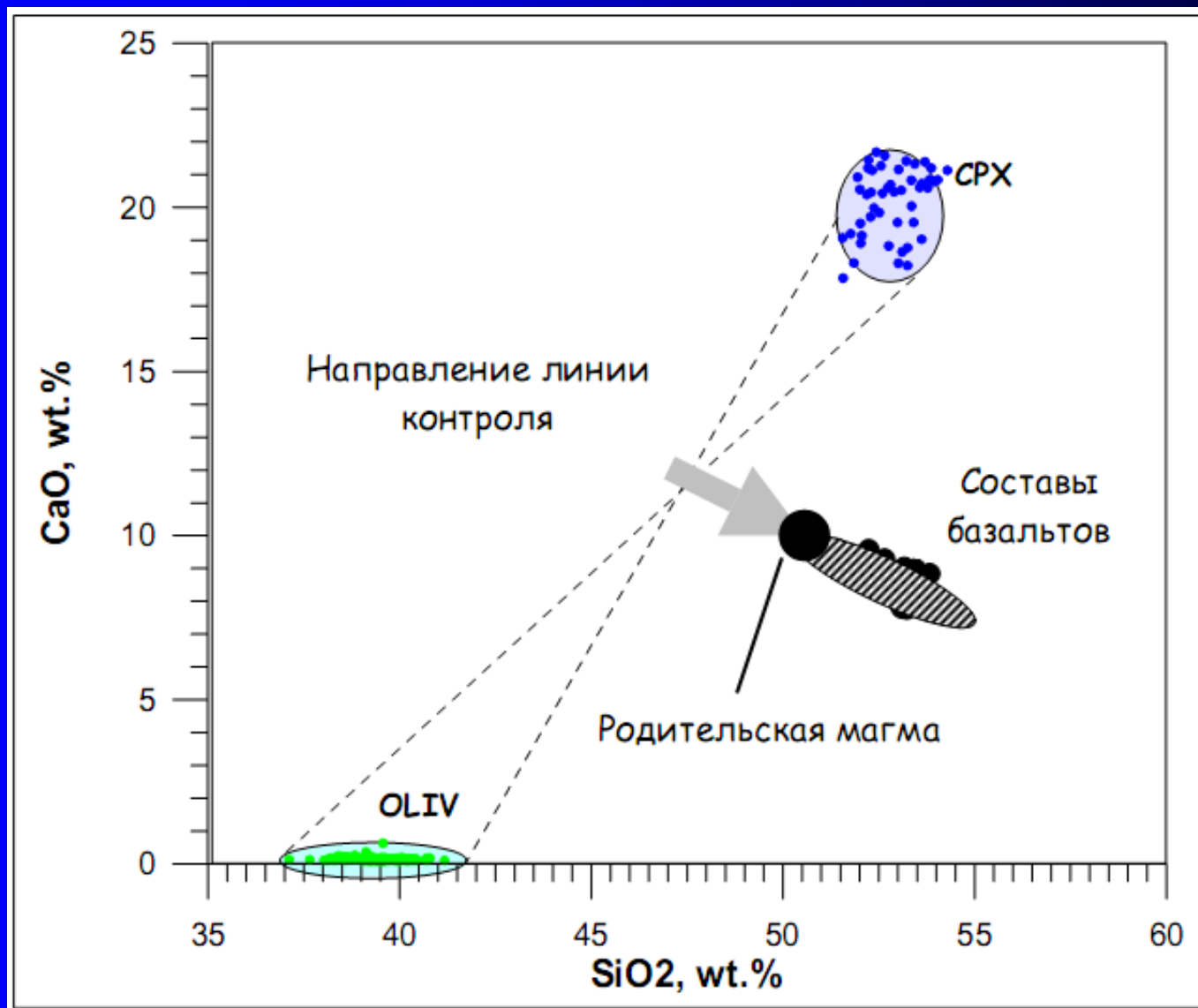
The construction of control lines allowed him to define the concentrations of components in the crystallized material.

Using the extract composition an average proportion between crystallized *Pl* and *OI* has been calculated.

It proved to be of about 2:1.

Only in the end of 60s this plotting technique has been replaced with more accurate mass-balance calculations.

Линия котектического контроля ОI-Срх, определяющая эволюцию состава магм Ключевского вулкана



РАСЧЕТЫ ПО МЕТОДУ БАЛАНСА МАСС

There are a number of computer programs which can be used to interpret chemical trends on the variation diagrams. These programs are based on computations, by least-squares method, the proportions of the relative fractionating minerals.

For instance, the formation of a differentiated rock DM may be expressed as a numeric subtraction of some amount of crystallized minerals from a primitive rock PM assumed to be the parent:

$$\begin{array}{l} \text{Differentiated} \\ \text{rock} \\ \mathbf{DM} \\ \textit{Derivative} \\ \textit{melt} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Primitive} \\ \text{rock} \\ \mathbf{PM} \\ \textit{Parental} \\ \textit{magma} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Crystallized mineral assemblage} \\ (\text{mineral X} + \text{mineral Y} + \text{mineral Z}) \\ \textit{Crystalline material (extract)} \end{array}$$

CALCULATIONS BY THE LEAST-SQUARES METHOD

(basic principles and equations)

The above mentioned relations should be written in the form of **mass-balance equations** for an arbitrary element i :

- $$M^{\text{DM}} C_i^{\text{DM}} = M^{\text{PM}} C_i^{\text{PM}} - M^{\text{Crys}} C_i^{\text{Crys}}$$

The indices M are masses of the parent and derivatives,

the indices C denote bulk concentrations of the element i in the parent and derivatives.

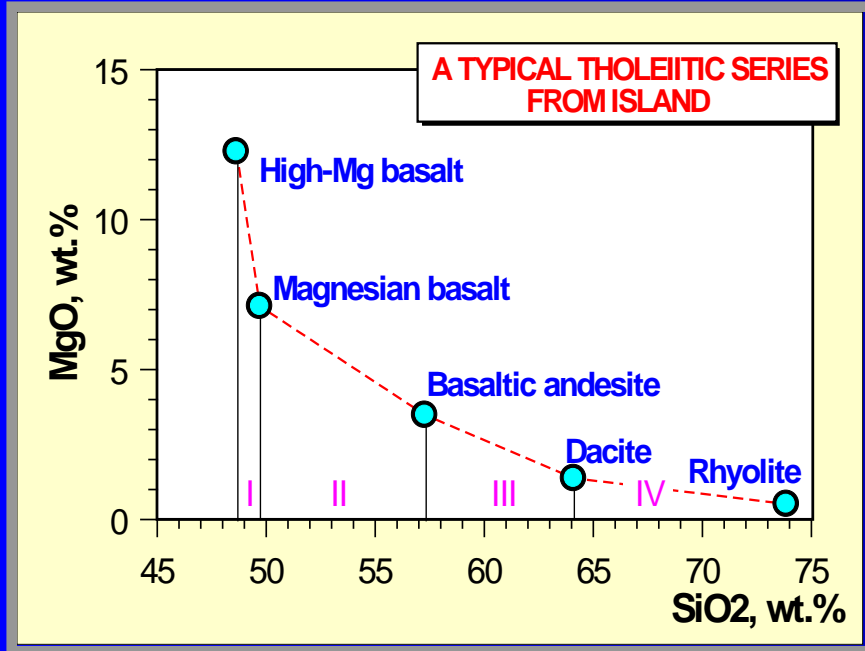
The parent – derivative equation:

$$C_i^{\text{PM}} = F^{\text{Crys}} C_i^{\text{Crys}} + (1 - F^{\text{Crys}}) C_i^{\text{DM}}$$

where $F^{\text{Crys}} = M^{\text{Crys}} / M^{\text{PM}}$ is the total degree of crystallization the parental magma.

These two equations define relationships between abundances of a specified element in the parent and fractionation products **in terms of the total degree of crystallization of the parental system.**

CALCULATIONS BY THE LEAST-SQUARES METHOD for a typical Island tholeiitic series



Interval	Parent	Derivative
I	High-Mg bas	Mg-basalt
II	Mg-basalt	Bas-andesite
III	Bas-andesite	Dacite
IV	Dacite	Rhyolite

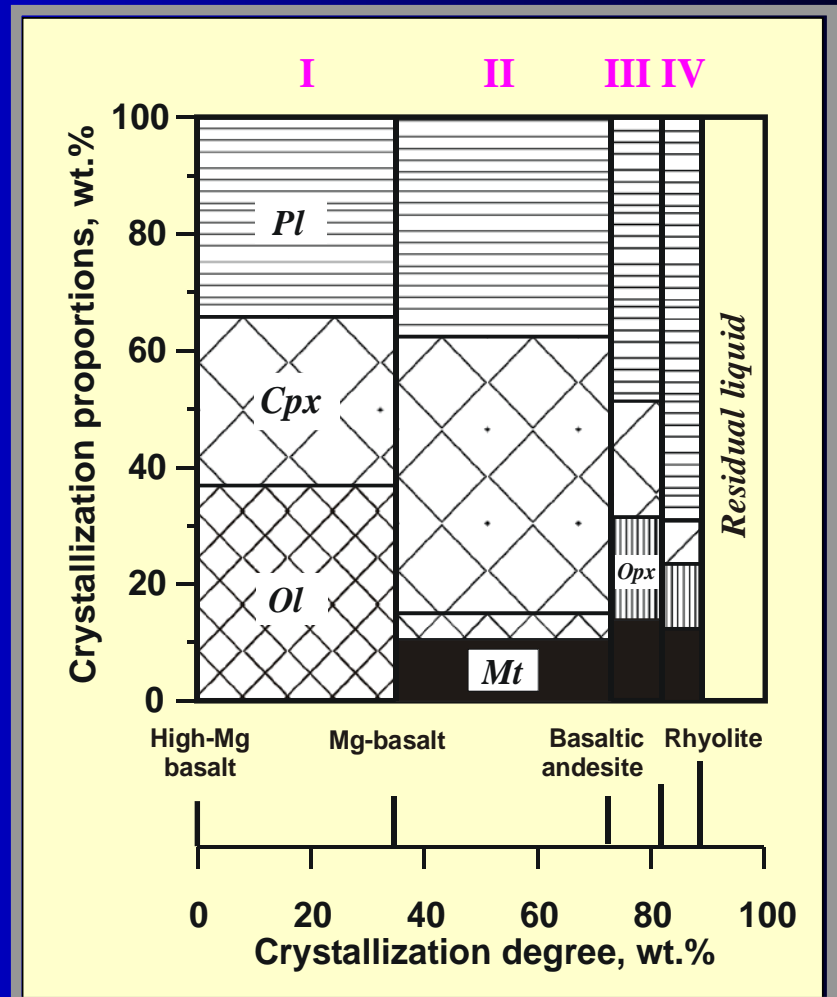
The main idea was to postulate the high-magnesia basalt as a parental magma for the whole rock sequence, whereas each of its derivatives is assumed to be an intermediate parent for more evolved rocks.

To conduct the calculations, a group of five representative samples were selected. These compositions divide the range of fractionation to four intervals.

CALCULATIONS BY THE LEAST-SQUARES METHOD for a typical Island tholeiitic series (continued)

Following from petrographic studies, a specific mineral assemblage was assumed to crystallize at the selected intervals.

Interval	Assemblage
I	<i>Ol + Pl + Cpx</i>
II	<i>Ol + Pl + Cpx + Mt</i>
III	<i>Pl + Cpx + Mt + Opx</i>
IV	<i>Pl + Cpx + Mt + Opx</i>



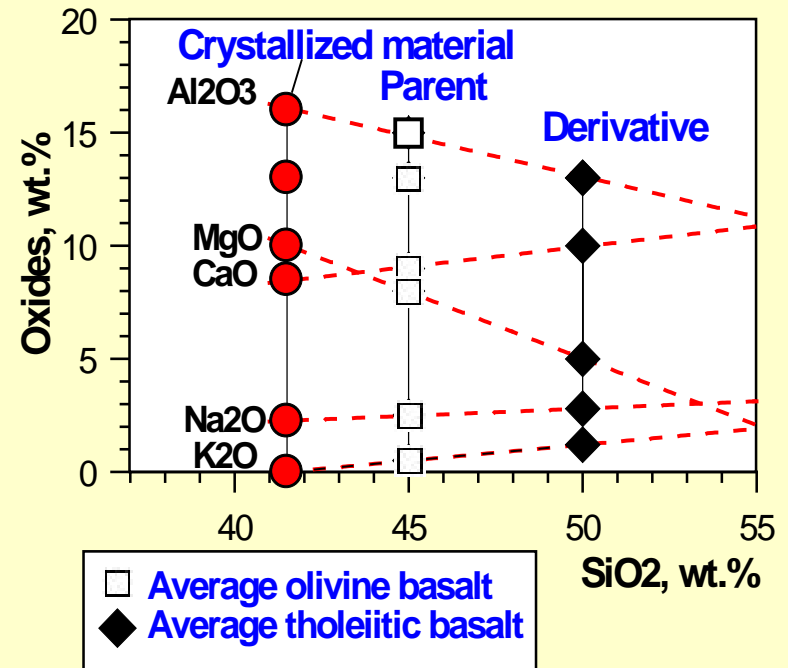
MAIN CONCLUSION

The numeric solution of the mass-balance equations is a formal mathematical procedure that does not guarantee correspondence of the calculated mineral proportions to experimental data on mineral-melt equilibria.

Thus, we should treat both the graphical and the least-squares method calculations as at best semi-quantitative.

As an example of this weakness of mass-balance reconstructions one could cite the end of the story with Bowen's interpretation of the Hebrides basalts.

The Bowen's reconstructions



The olivine-basalt is not really a parent for the tholeiitic basalt. In fact, it gives rise to the alkaline-basaltic series.

Вариации содержаний микроэлементов в базальтовых лавах Ключевского вулкана

(данные Р.Р.Альмеева и А.А.Арискина)

