

Интерпретация вещественного состава магматических горных пород

Рекомендованная литература

Интерпретация геохимических данных (под ред. Е.В.Склярова). М.: 2001.

Лекция 1

- основы геохимии элементов
- геохимические классификации
- поведение элементов в магматическом процессе
- процессы дифференциации магм
- интерпретация состава магматических серий
- основы изотопной геохронологии

Геохимия элементов

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																			
	A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	VIII		VIII		VIII		VIII		V		
1	(H)										H Hydrogenium Водород		He Helium Гелий							
2	Li Lithium Литий	Be Beryllium Бериллий	B Borum Бор	C Carboneum Углерод	N Nitrogenium Азот	O Oxygenium Кислород	F Fluorum Фтор	Ne Neon Неон												
3	Na Natrium Натрий	Mg Magnesium Магний	Al Aluminium Алюминий	Si Silicium Кремний	P Phosphorus Фосфор	S Sulfur Сера	Cl Chlorium Хлор	Ar Argon Аргон												
4	K Kalium Калий	Ca Calcium Кальций	Sc Scandium Скандий	Ti Titanium Титан	V Vanadium Ванадий	Cr Chromium Хром	Mn Manganum Марганец	Fe Ferrum Железо	Co Cobaltum Кобальт	Ni Niccolum Никель										
	Cu Cuprum Медь	Zn Zincum Цинк	Ga Gallium Галлий	Ge Germanium Германий	As Arsenicum Мышьяк	Se Selenium Селен	Br Bromum Бром	Kr Kryptonum Криптон												
5	Rb Rubidium Рубидий	Sr Strontium Стронций	Y Yttrium Иттрий	Zr Zirconium Цирконий	Nb Niobium Нйобий	Mo Molybdaenum Молибден	Tc Technetium Технеций	Ru Ruthenium Рутений	Rh Rhodium Родий	Pd Palladium Палладий										
	Ag Argentum Серебро	Cd Cadmium Кадмий	In Indium Индий	Sn Stannum Олово	Sb Stibium Сурьма	Te Tellurium Теллур	I Iodum Иод	Xe Xenonum Ксенон												
6	Cs Caesium Цезий	Ba Barium Барий	La* Lanthanum Лантан	Hf Hafnium Гафний	Ta Tantalum Тантал	W Wolframium Вольфрам	Re Rhenium Рений	Os Osmium Осмий	Ir Iridium Иридий	Pt Platinum Платина										
	Au Aurum Золото	Hg Hydrargyrum Ртуть	Tl Thallium Таллий	Pb Plumbum Свинец	Bi Bismuthum Висмут	Po Polonium Полоний	At Astatum Астат	Rn Radonum Радон												
7	Fr Francium Франций	Ra Radium Радий	Ac** Actinium Актиний	Rf Rutherfordium Ферзберфдий	Db Dubnium Дубний	Sg Seaborgium Сеаборгий	Bh Bohrium Борий	Hs Hassium Хассий	Mt Meitnerium Мейтнерий											
формулы высших оксидов	R ₂ O		RO		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₅		RO ₃		R ₂ O ₇		RO ₄					
формулы летучих однородных соединений					RH ₄		RH ₃		RH ₂		RH									
ЛАНТАНОИДЫ*	Ce Ceria Церий	Pr Praseodymium Прозеродим	Nd Neodymium Неодим	Pm Promethium Прометий	Sm Samarium Самарий	Eu Europium Европий	Gd Gadolinium Гадолиний	Tb Terbium Тербий	Dy Dysprosium Диспрозий	Ho Holmium Гольмий	Er Erbium Эрбий	Tm Thulium Тулий	Yb Ytterbium Иттербий	Lu Lutetium Лютеций						
АКТИНОИДЫ**	Th Thorium Торий	Pa Protactinium Протактиний	U Uranium Уран	Np Neptunium Нептуний	Pu Plutonium Плутоний	Am Americium Америций	Cm Curium Курий	Bk Berkelium Берклий	Cf Californium Калифорний	Es Einsteinium Эйнштейний	Fm Fermium Фермий	Md Mendelevium Менделеев	No Nobelium Нобелий	Lr Lawrencium Лавренций						



Геохимия элементов

строение электронных
оболочек



Химические свойства

стремление к полному
комплекту электронов



электроотрицательность
(металлы / неметаллы)

минералы -
«хозяева»



поведение элементов в
ходе геологических
процессов

Геохимия элементов

ряды сходства кристаллохимических свойств: вертикальные

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																				
	A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	VIII								B			
1	(H)																		H Hydrogenium Водород	He Helium Гелий	
2	Li Lithium Литий	Be Beryllium Бериллий	B Borun Бор	C Carbonium Углерод	N Nitrogenium Азот	O Oxygenium Кислород	F Fluorun Фтор	Ne Neon Неон											Ne Neon Неон	Ar Argon Аргон	
3	Na Natrium Натрий	Mg Magnesium Магний	Al Aluminium Алюминий	Si Silicium Кремний	P Phosphorus Фосфор	S Sulfur Сера	Cl Chlorum Хлор	Ar Argon Аргон											Ar Argon Аргон	Ar Argon Аргон	
4	K Kalium Калий	Ca Calcium Кальций	Sc Scandium Скандий	Ti Titanium Титан	V Vanadium Ванадий	Cr Chromium Хром	Mn Manganum Марганец	Fe Ferrum Железо	Co Cobaltum Кобальт	Ni Niccolum Никель									Fe Ferrum Железо	Co Cobaltum Кобальт	Ni Niccolum Никель
5	Rb Rubidium Рубидий	Sr Strontium Стронций	Y Yttrium Иттрий	Zr Zirconium Цирконий	Nb Niobium Ниобий	Mo Molybdenum Молибден	Tc Technetium Технеций	Ru Ruthenium Рутений	Rh Rhodium Родий	Pd Palladium Палладий									Ru Ruthenium Рутений	Rh Rhodium Родий	Pd Palladium Палладий
6	Cs Caesium Цезий	Ba Barium Барий	La Lanthanum Лантан	Hf Hafnium Гафний	Ta Tantalum Тантал	W Wolframum Вольфрам	Re Rhenium Рений	Os Osmium Осмий	Ir Iridium Иридий	Pt Platinum Платина									Os Osmium Осмий	Ir Iridium Иридий	Pt Platinum Платина
7	Fr Francium Франций	Ra Radium Радий	Ac** Actinium Актиний	Rf Rutherfordium Феррфордий	Db Dubnium Дубний	Sg Seaborgium Сиборгий	Bh Bohrium Борий	Hs Hassium Хассий	Mt Meitnerium Мейтнерий										Hs Hassium Хассий	Mt Meitnerium Мейтнерий	
	R ₂ O		RO		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₅		RO ₃		R ₂ O ₇		RO ₄						
					RH ₄		RH ₃		RH ₂		RH										
ЛАНТАНОИДЫ*	Ce Ceria Церий	Pr Praseodymium Протактиний	Nd Neodymium Неодимий	Pm Promethium Прометий	Sm Samarium Самарий	Eu Europium Европий	Gd Gadolinium Гадолиний	Tb Terbium Тербий	Dy Dysprosium Диспрозий	Ho Holmium Гольмий	Er Erbium Эрбий	Tm Thulium Тулий	Yb Ytterbium Иттербий	Lu Lutetium Лютеций							
АКТИНОИДЫ**	Th Thorium Торий	Pa Protactinium Протактиний	U Uranium Уран	Np Neptunium Нептуний	Pu Plutonium Плутоний	Am Americium Америций	Cm Curium Кюрий	Bk Berkelium Берклий	Cf Californium Калифорний	Es Einsteinium Эйнштейний	Fm Fermium Фермий	Md Mendelevium Менделеевий	No Nobelium Нобелий	Lr Lawrencium Лавренций							



Геохимия элементов

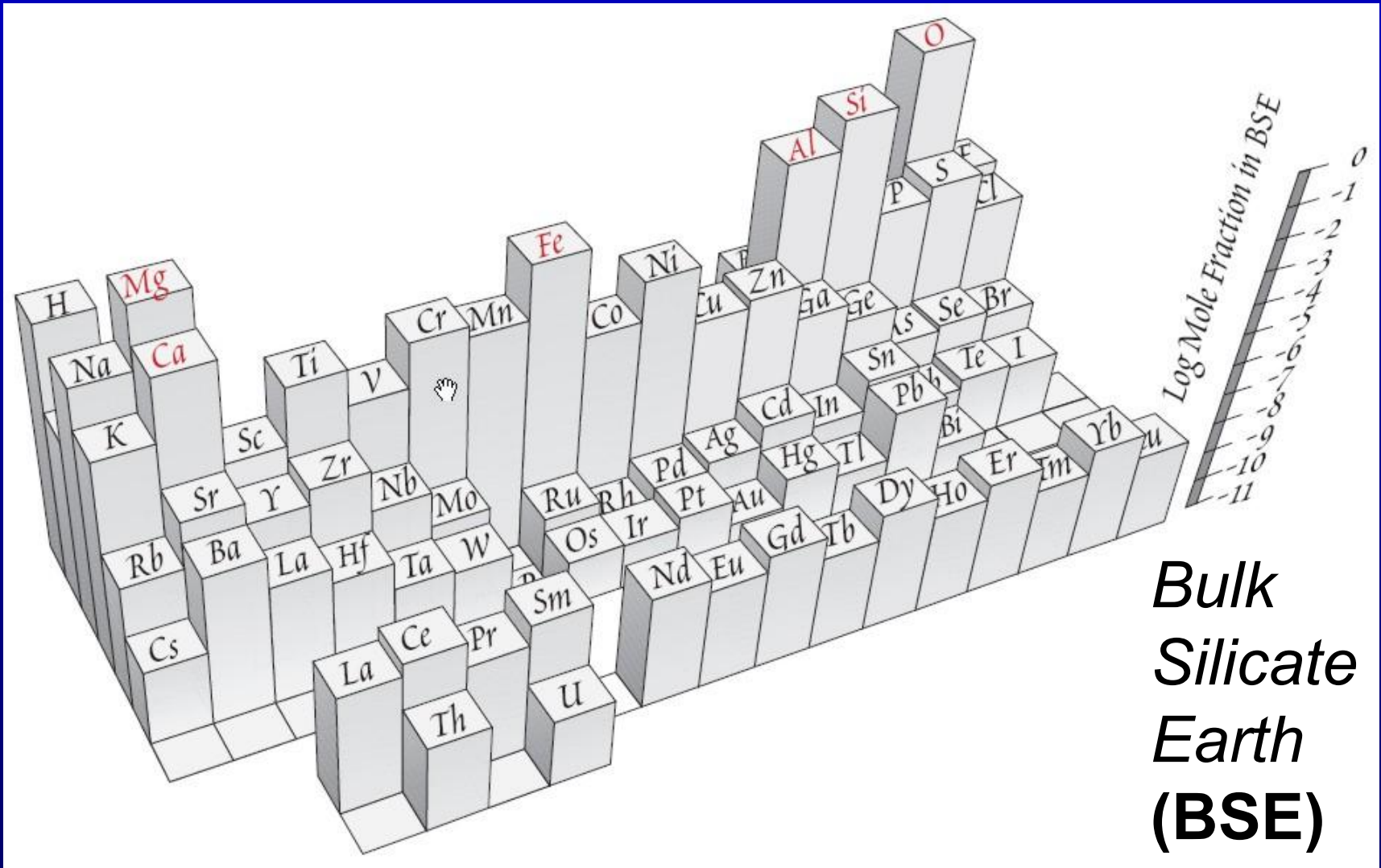
ряды сходства кристаллохимических свойств: диагональные

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																	
	A	I	В A	II	В A	III	В A	IV	В A	V	В A	VI	В A	VII	В A	VIII	V	
1	(H)																	
2	Li Lithium Литий	Be Beryllium Бериллий	B Borun Бор	C Carbonium Углерод	N Nitrogenium Азот	O Oxygenium Кислород	F Fluorun Фтор	Ne Neon Неон										
3	Na Natrium Натрий	Mg Magnesium Магний	Al Aluminium Алюминий	Si Silicium Кремний	P Phosphorus Фосфор	S Sulfur Сера	Cl Chlorium Хлор	Ar Argon Аргон										
4	K Kalium Калий	Ca Calcium Кальций	Sc Scandium Скандий	Ti Titanium Титан	V Vanadium Ванадий	Cr Chromium Хром	Mn Manganum Марганец	Fe Ferrum Железо	Co Cobaltum Кобальт	Ni Niccolum Никель								
5	Rb Rubidium Рубидий	Sr Strontium Стронций	Y Yttrium Иттрий	Zr Zirconium Цирконий	Nb Niobium Ниобий	Mo Molybdenum Молибден	Tc Technetium Технеций	Ru Ruthenium Рутений	Rh Rhodium Родий	Pd Palladium Палладий								
6	Cs Cesium Цезий	Ba Barium Барий	La* Lanthanum Лантан	Hf Hafnium Гафний	Ta Tantalum Тантал	W Wolframium Вольфрам	Re Rhenium Рений	Os Osmium Осмий	Ir Iridium Иридий	Pt Platinum Платина								
7	Fr Francium Франций	Ra Radium Радий	Ac** Actinium Актиний	Rf Rutherfordium Феррфордий	Db Dubnium Дубний	Sg Seaborgium Сиборгий	Bh Bohrium Борий	Hs Hassium Хассий	Mt Meitnerium Мейтнерий									
	R ₂ O		RO		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₅		RO ₃		R ₂ O ₇		RO ₄			
ЛАНТАНОИДЫ*	Ce Cesium Цезий	Pr Praseodymium Прозербий	Nd Neodymium Неодимий	Pm Promethium Прометий	Sm Samarium Самарий	Eu Europium Европий	Gd Gadolinium Гадолиний	Tb Terbium Тербий	Dy Dysprosium Диспрозий	Ho Holmium Гольмий	Er Erbium Эрбий	Tm Thulium Тулий	Yb Ytterbium Иттербий	Lu Lutetium Лютеций				
АКТИНОИДЫ**	Th Thorium Торий	Pa Protactinium Протактиний	U Uranium Уран	Np Neptunium Нептуний	Pu Plutonium Плутоний	Am Americium Америций	Cm Curium Кюрий	Bk Berkelium Берклий	Cf Californium Калифорний	Es Einsteinium Эйнштейний	Fm Fermium Фермий	Md Mendelevium Менделеевий	No Nobelium Нобелий	Lr Lawrencium Лавренций				



Распространенность хим. элементов



Element	Wt % Oxide	Atom %
O		60.8
Si	59.3	21.2
Al	15.3	6.4
Fe	7.5	2.2
Ca	6.9	2.6
M	4.5	2.4
Na	2.8	1.9

Распространенность
элементов в земной коре

Главные (петрогенные) : > 1%



Второстепенные: 0.1 - 1%



Элементы-примеси: < 0.1%

все прочие

Goldschmidt's Classification

	IA																		VIIIA
1	H																		He
2	Li	Be										B	C	N	O	F		Ne	
3	Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIIIB	IB	IIB		Al	Si	P	S	Cl		Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac																

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Nu	Pu									



Lithophile



Siderophile

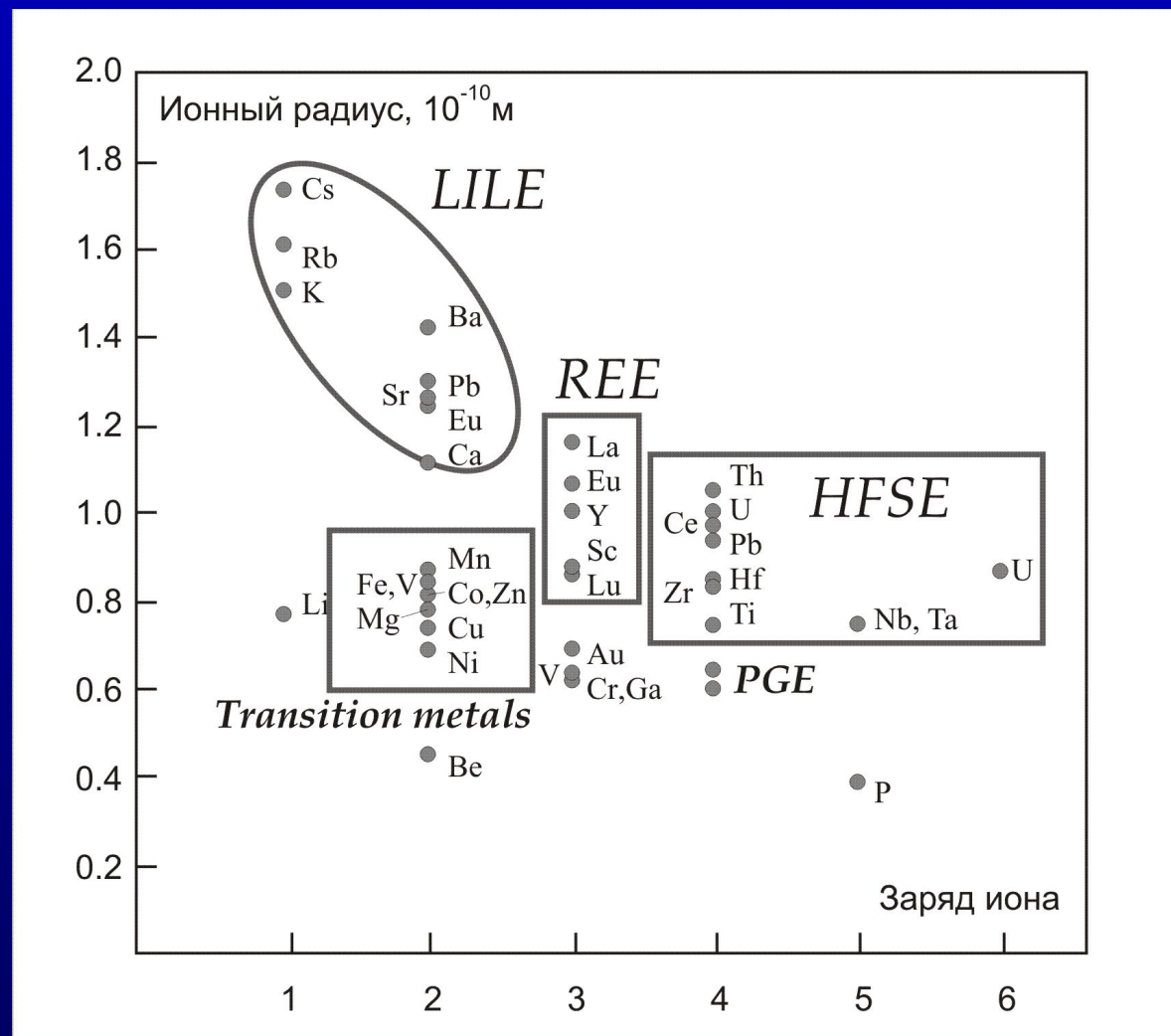


Chalcophile



Atmophile

Группировка литофильных элементов по кристаллохимическим свойствам

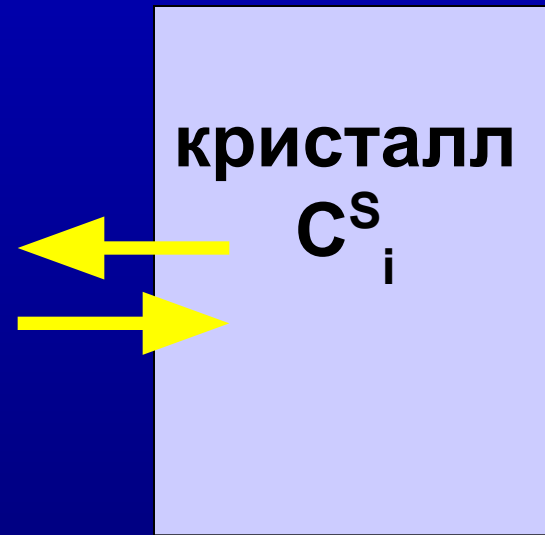


Поведение хим. элементов в магматическом процессе

элемент i

Коэффициент
распределения
(*partition coefficient*)

расплав
 C_i^L



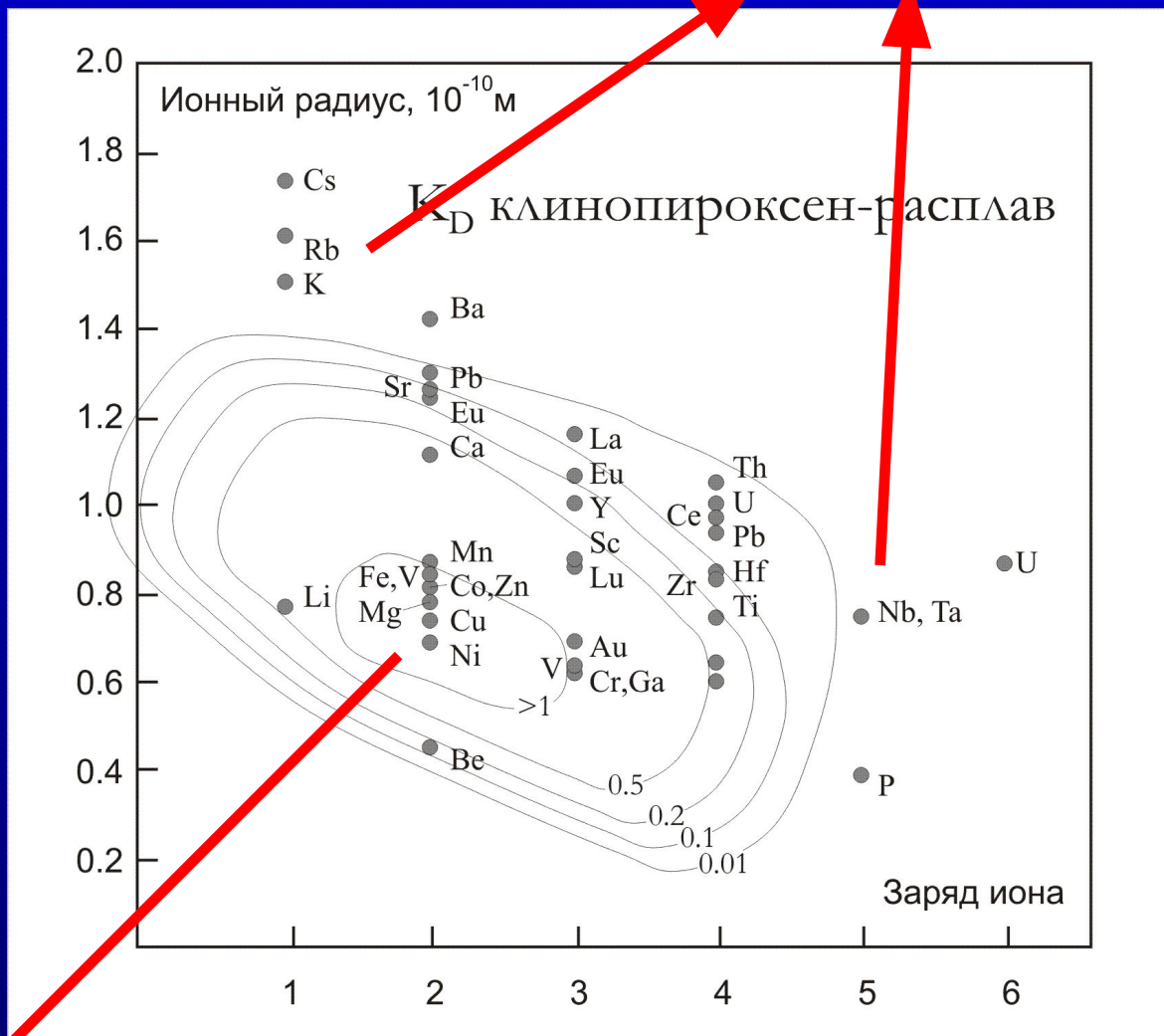
$$K_D = C_i^S / C_i^L$$

(K_d, D)

Валовый K_D :

$$\bar{D}_i = x_1 K_{D1}^i + x_2 K_{D2}^i + x_3 K_{D3}^i + \dots$$

несовместимые (*incompatible*)

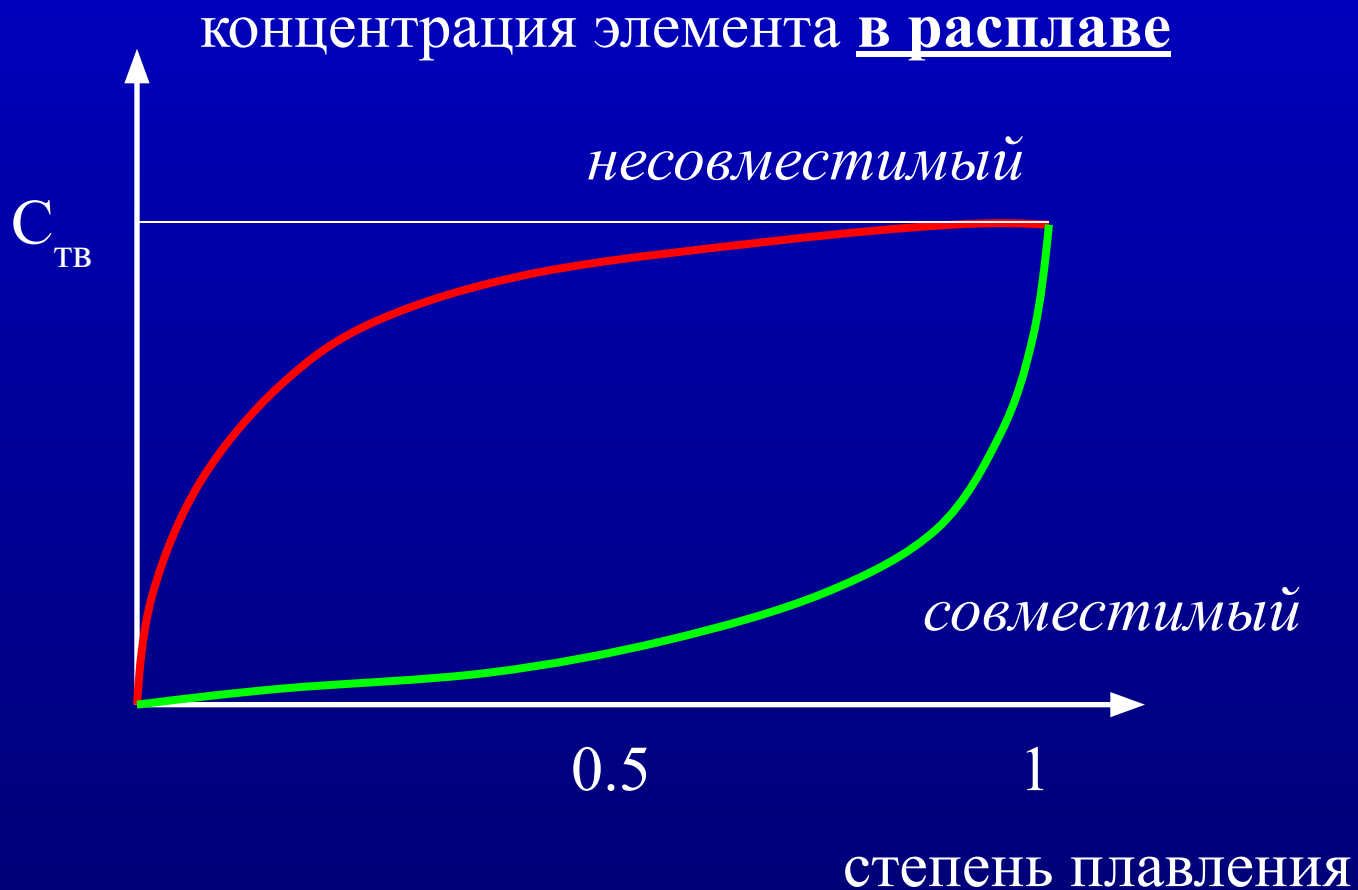


совместимые (*compatible*)

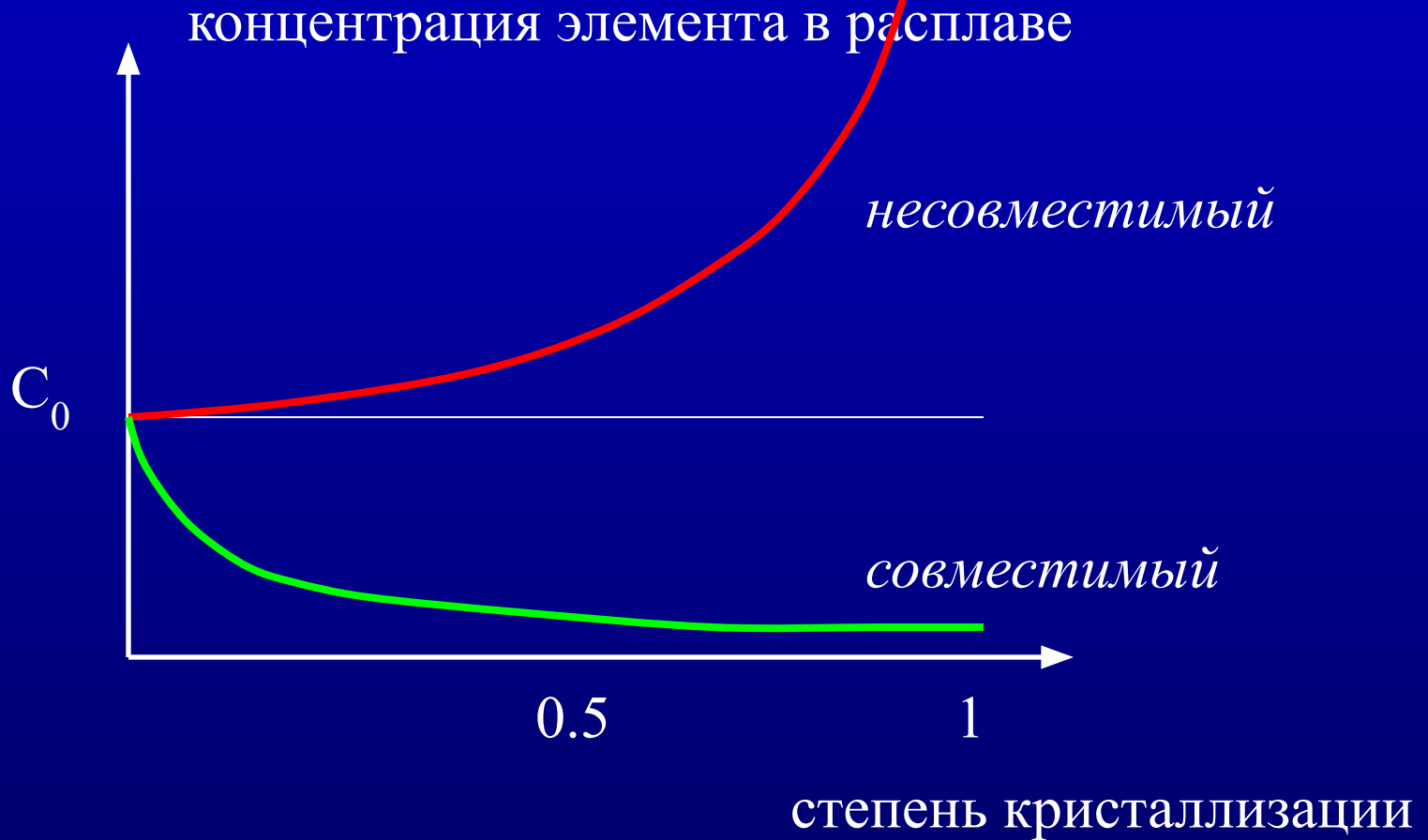
Факторы, определяющие состав магматических пород:

- состав источника (протолита)
- вариации степени плавления источника (PM)
- фракционирование кристаллов (CF)
- контаминация
- смешение магм
- несмесимость расплавов (ликвация)

Поведение элементов при плавлении источника



Поведение элементов при кристаллизации расплава

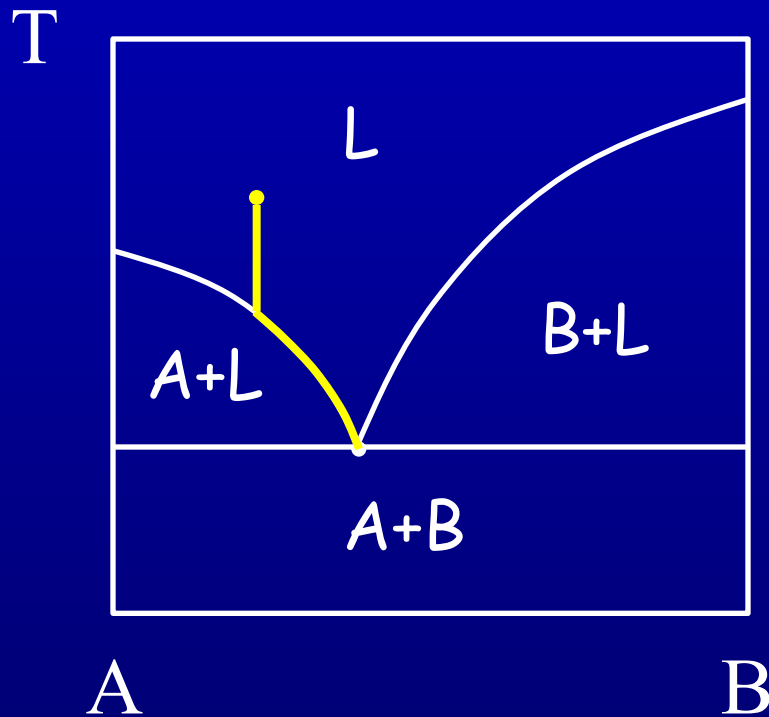


Осложнение - зависимость от состава кристаллизующихся фаз

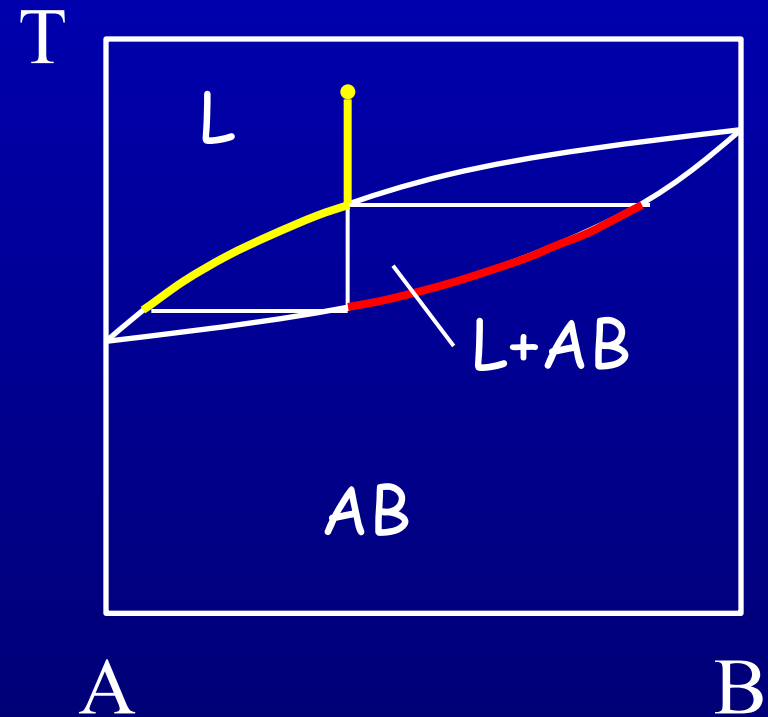
Факторы, определяющие состав магматических пород:

- состав источника (протолита)
- вариации степени плавления источника (PM)
- фракционирование кристаллов (CF)
- контаминация
- смешение магм
- несмесимость расплавов (ликвация)

Фракционирование кристаллов: изменение состава остаточного расплава

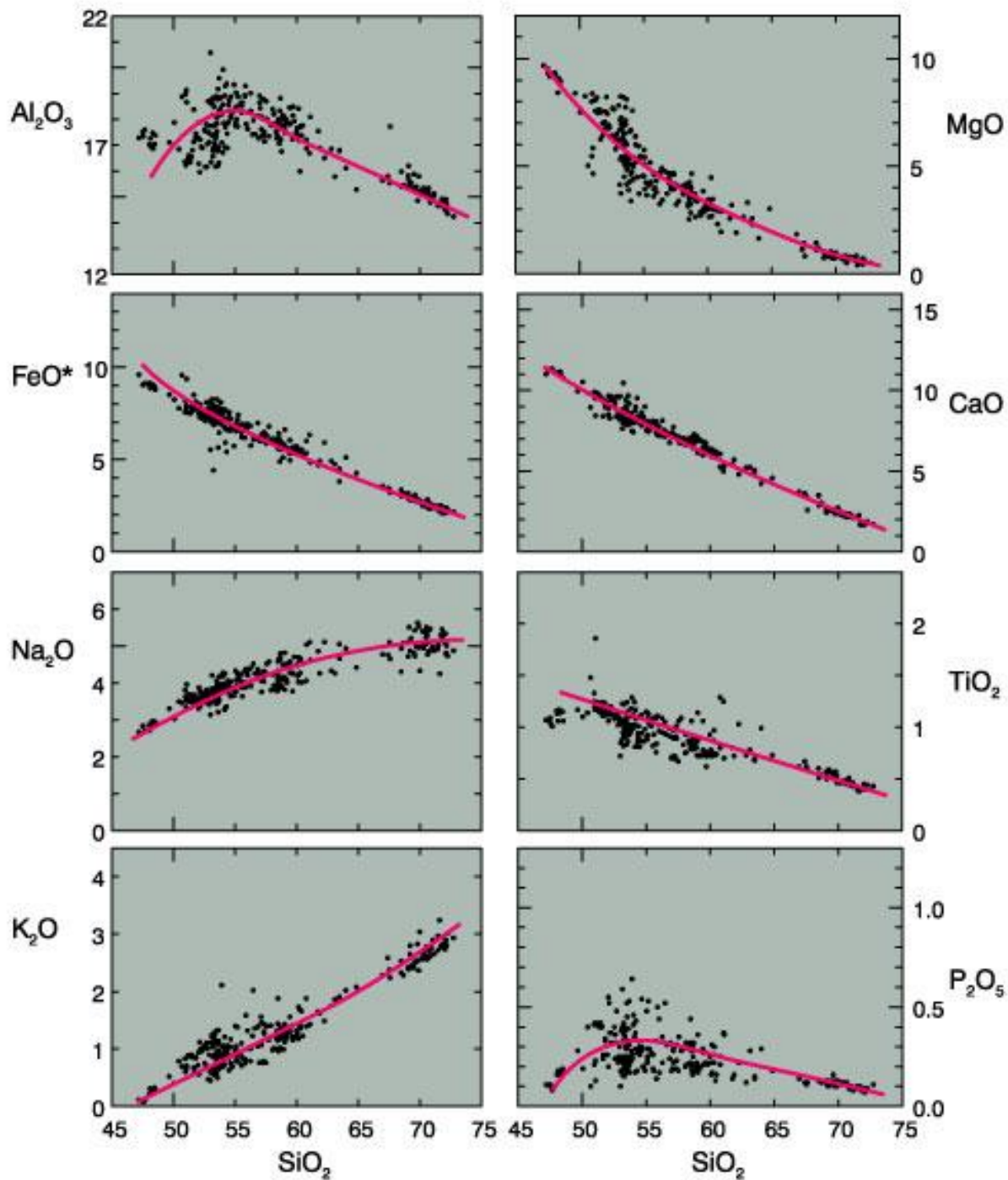


A и B не смешиваются
(напр, p_l и p_x)



A и B – непрерывный
твердый р-р (напр, ol_{Fe} и ol_{Mg})

Тренды кристаллизационного фракционирования



*Ведущая роль в формировании
трендов -*

**качественный состав фаз, уходящих
из системы**

Минералы — хозяйева !

Источники информации:

Состав пород:

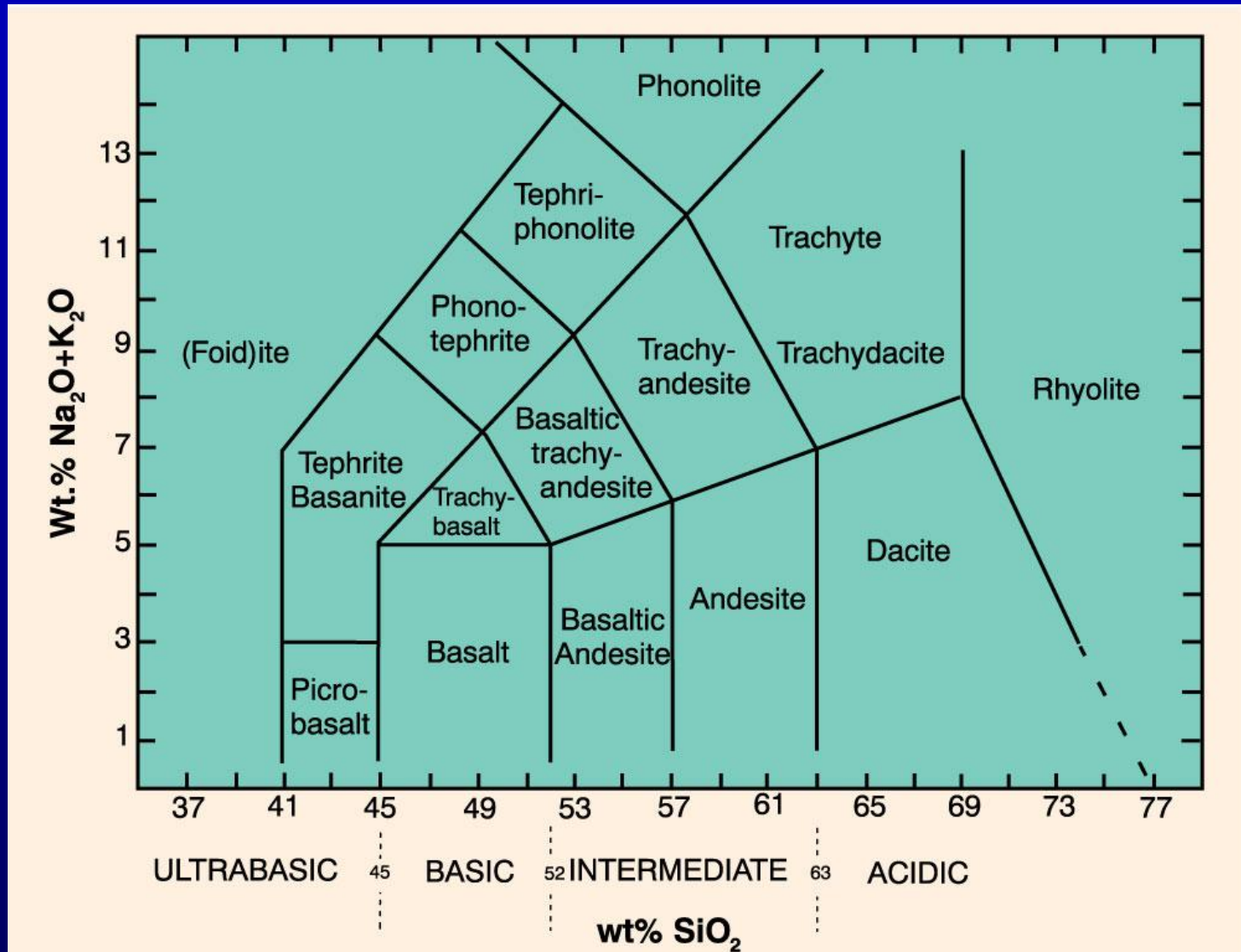
- петрогенные элементы
- элементы-примеси
- изотопы

Состав минералов

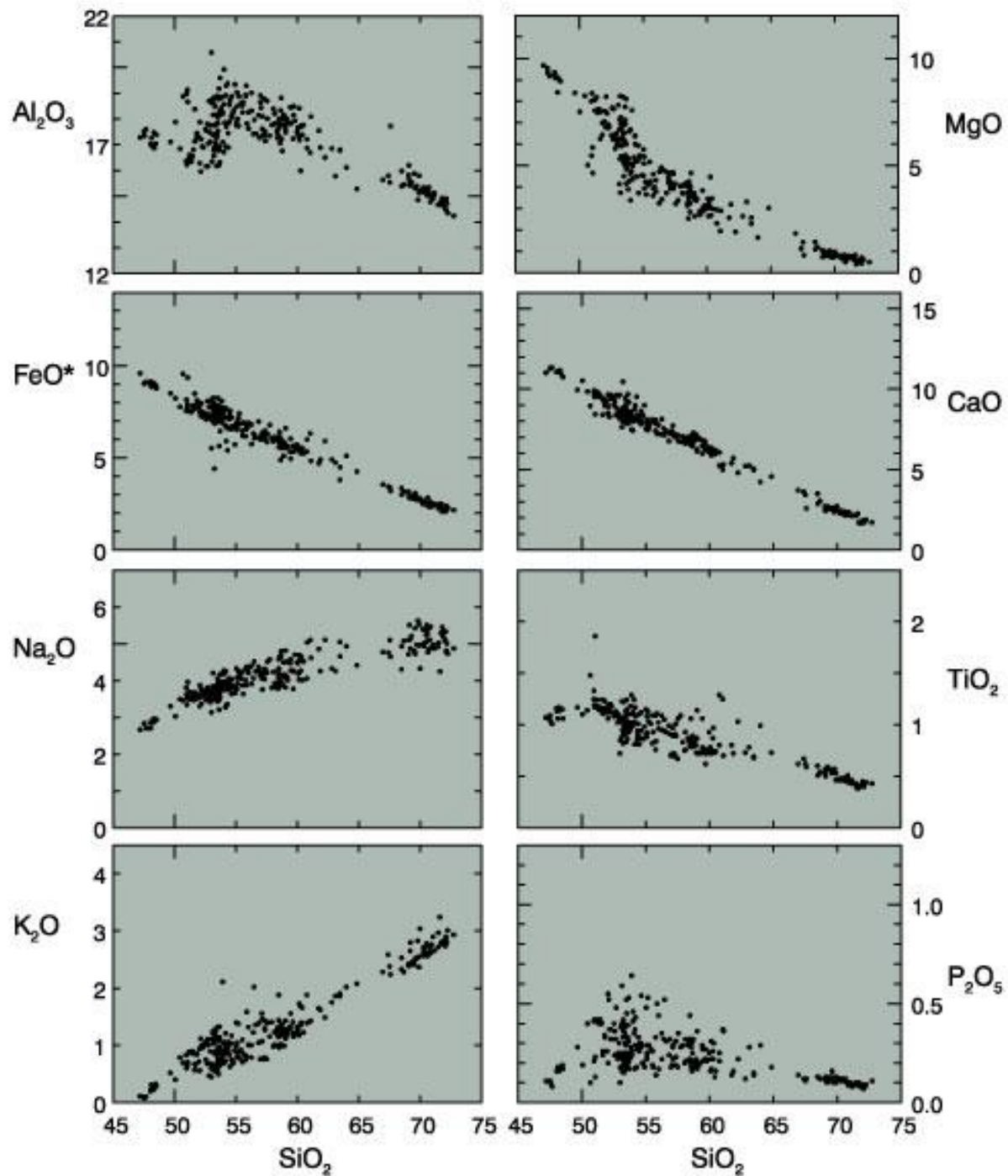
Петрогенные элементы

Wt. % Oxides to Atom % Conversion				
Oxide	Wt. %	Mol	Atom	Atom %
SiO ₂	49.20	Wt. 60.09	prop 0.82	12.25
TiO ₂	1.84	95.90	0.02	0.29
Al ₂ O ₃	15.74	101.96	0.31	4.62
Fe ₂ O ₃	3.79	159.70	0.05	0.71
FeO	7.13	71.85	0.10	1.48
Mn	0.20	70.94	0.00	0.04
Mg	6.73	40.31	0.17	2.50
CaO	9.47	56.08	0.17	2.53
Na ₂ O	2.91	61.98	0.09	1.40
K ₂ O	1.10	94.20	0.02	0.35
H ₂ O ⁺	0.95	18.02	0.11	1.58
(O			4.83	72.26
Total	99.06		6.69	100.00

Классификационная диаграмма TAS



Вариационные диаграммы (Харкеровские)



СИРВ НОРМЫ

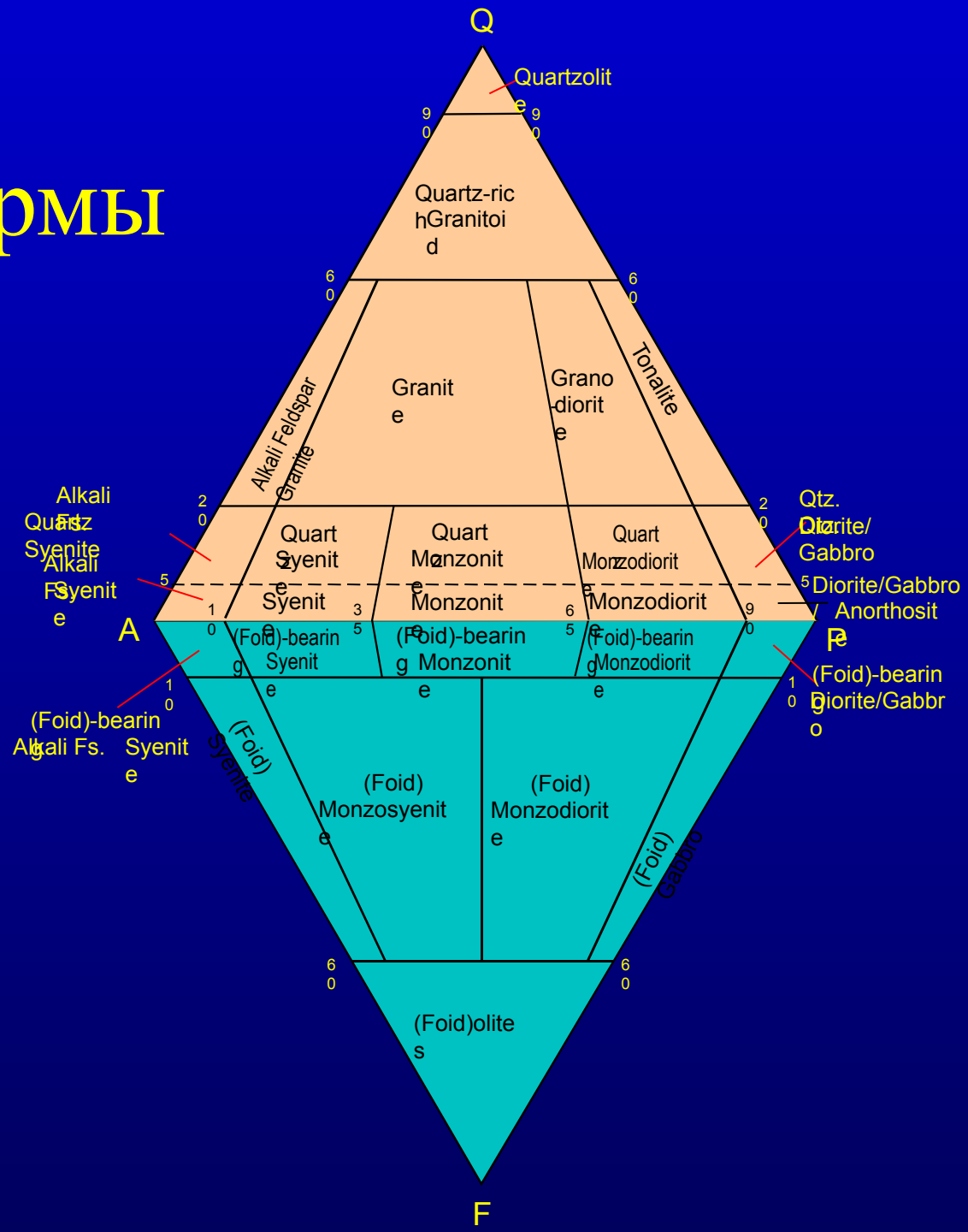
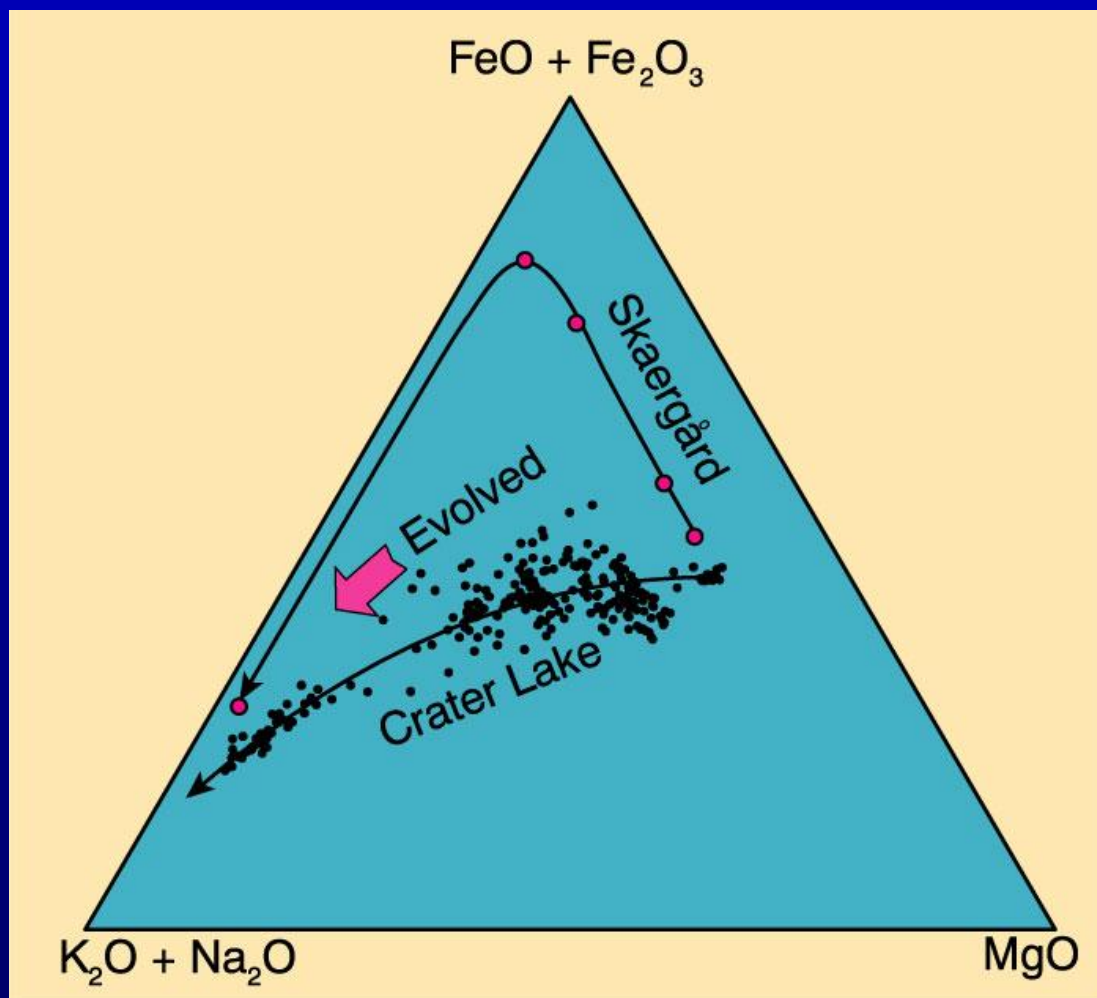
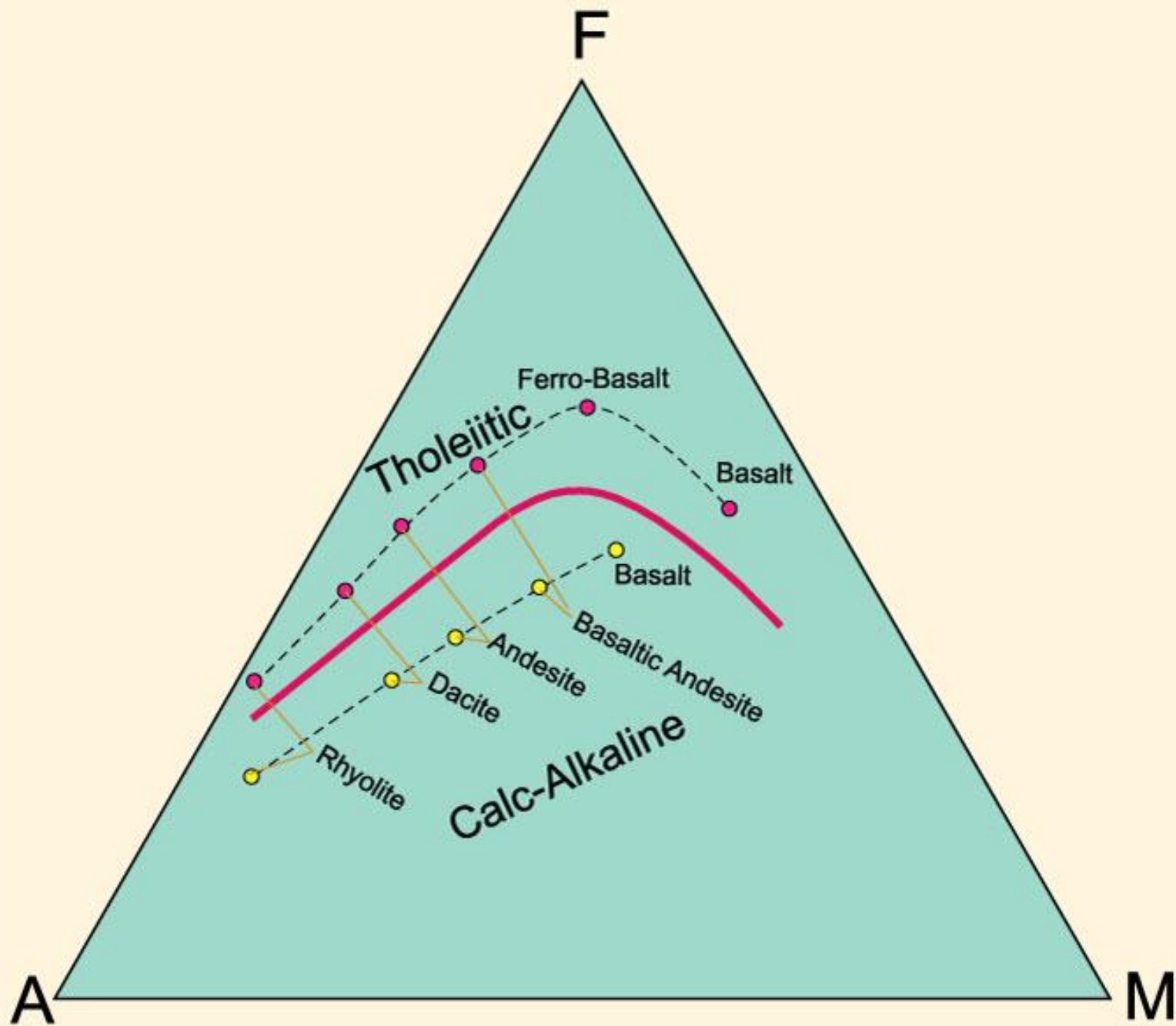
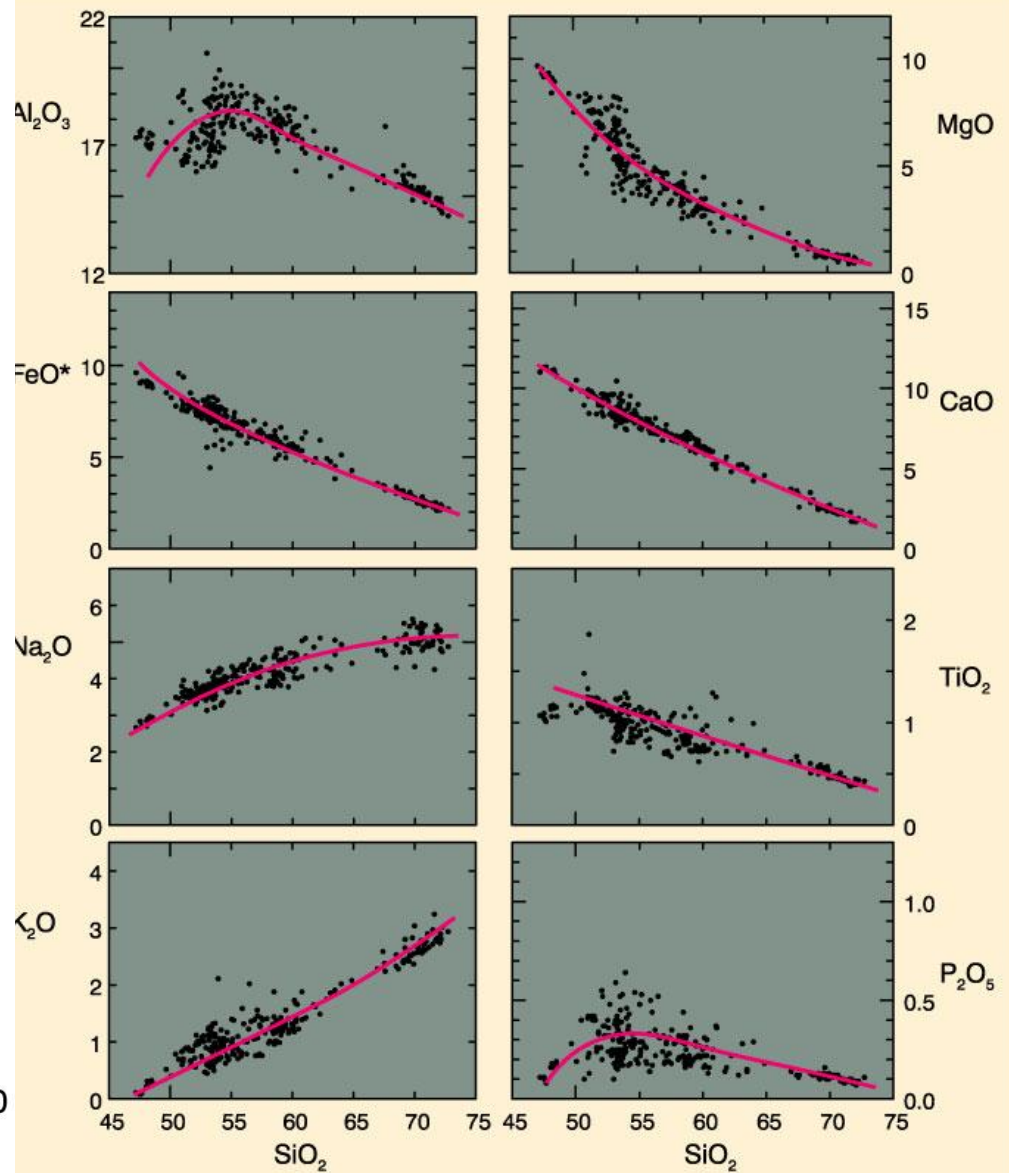
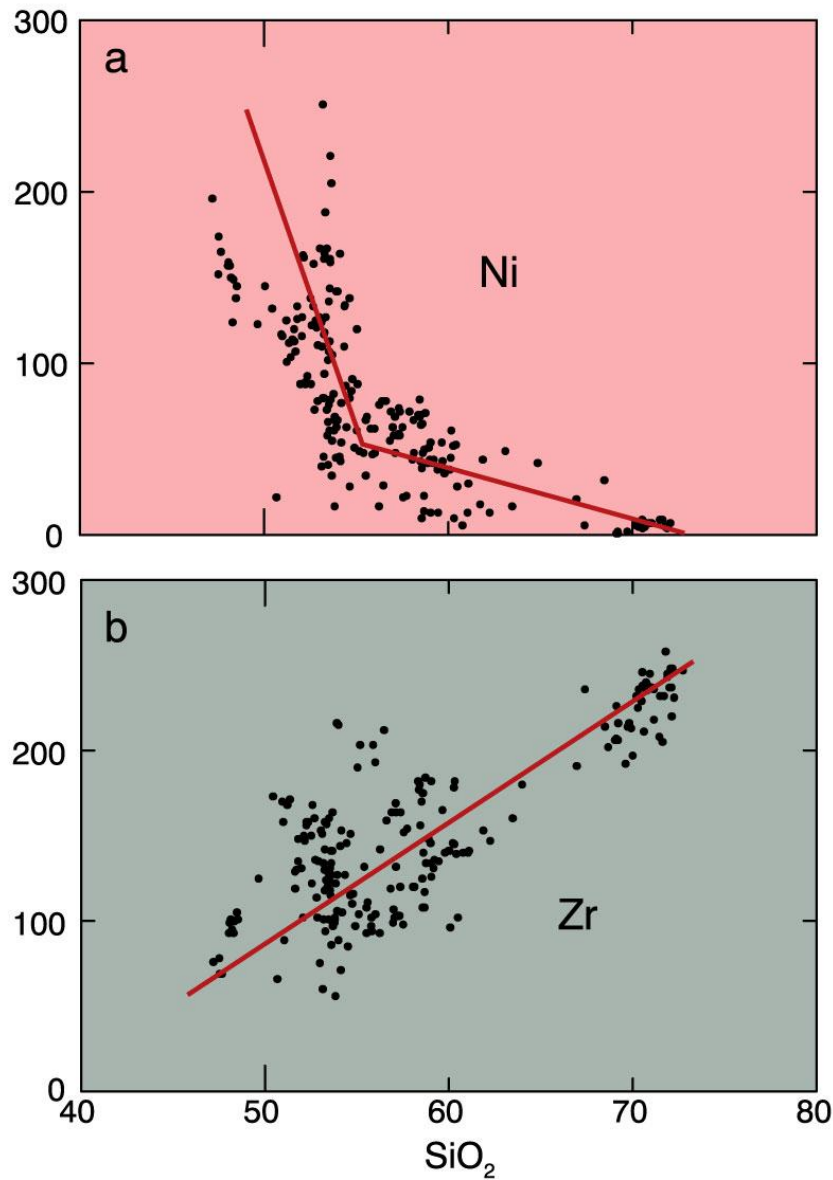


диаграмма AFM

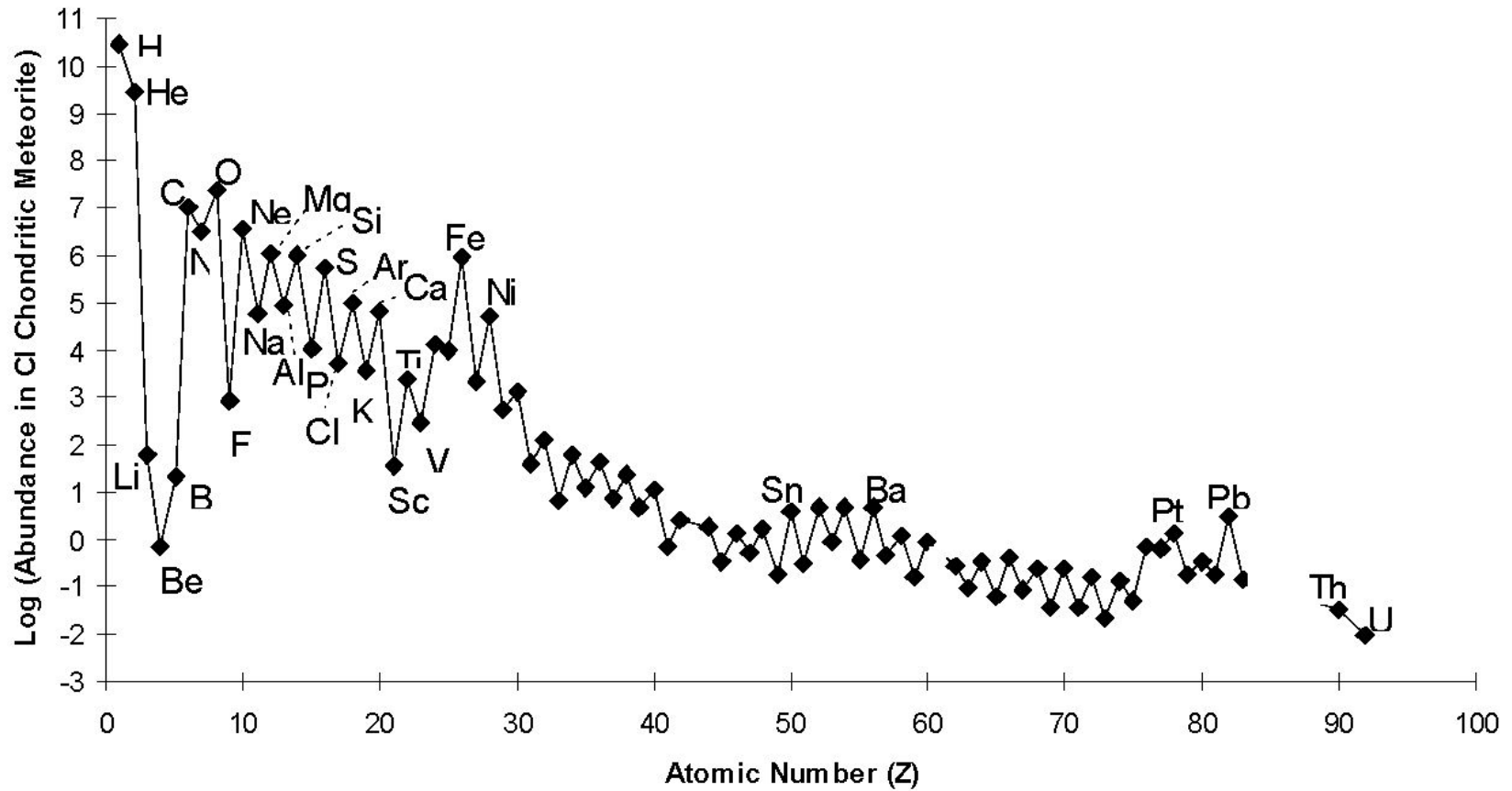




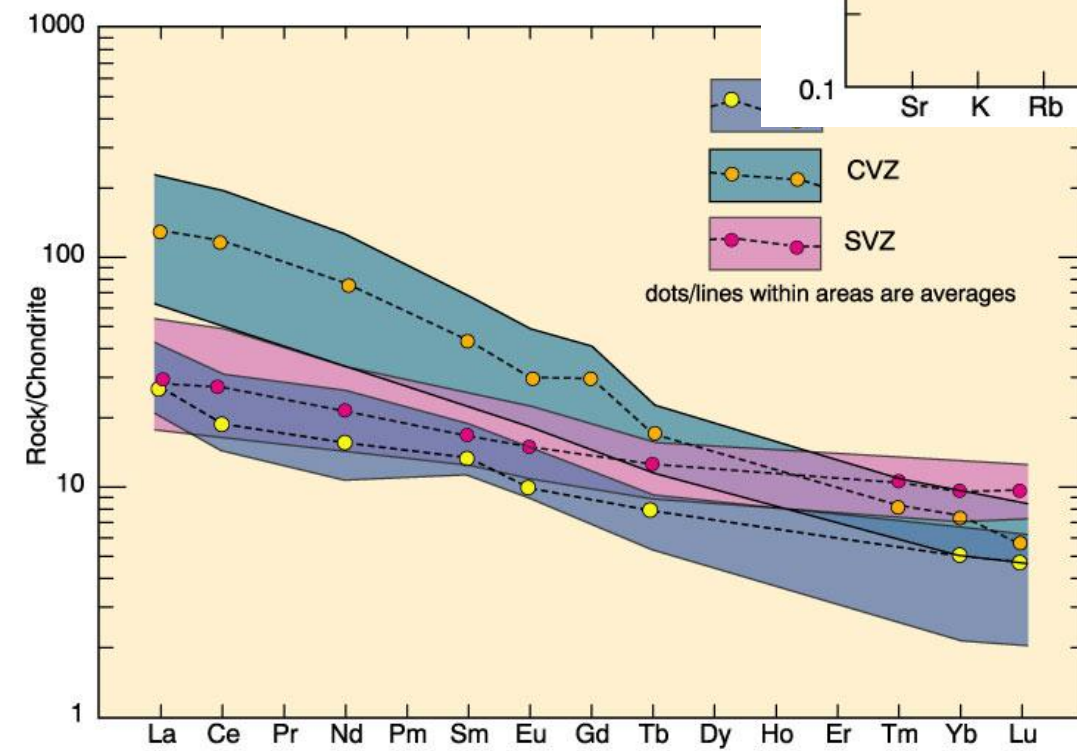
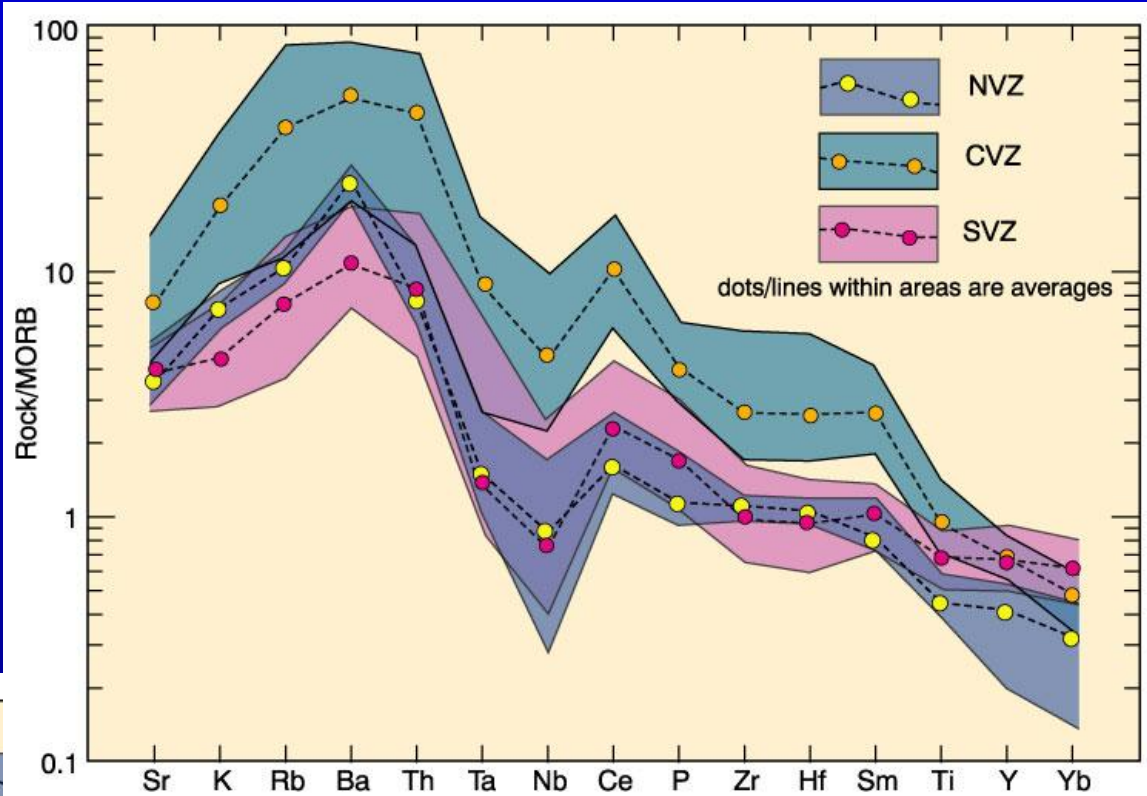
Элементы-примеси



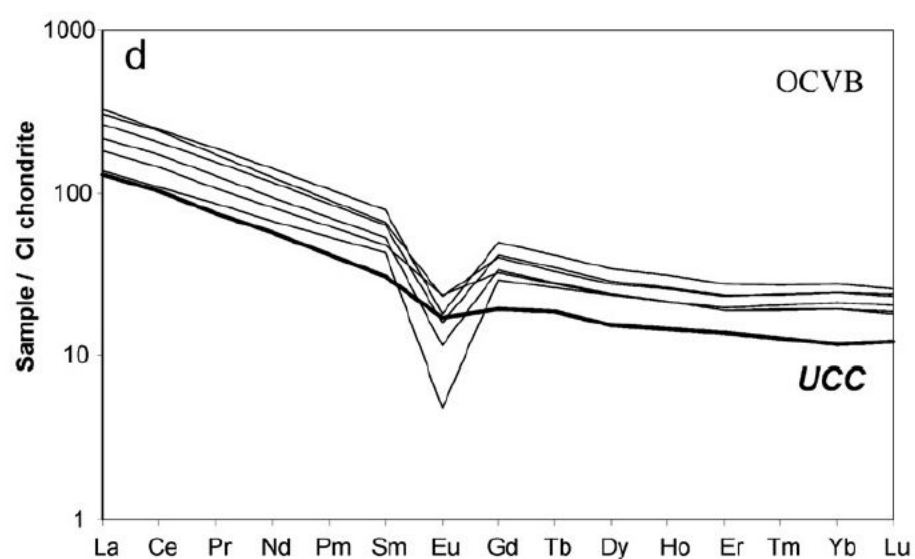
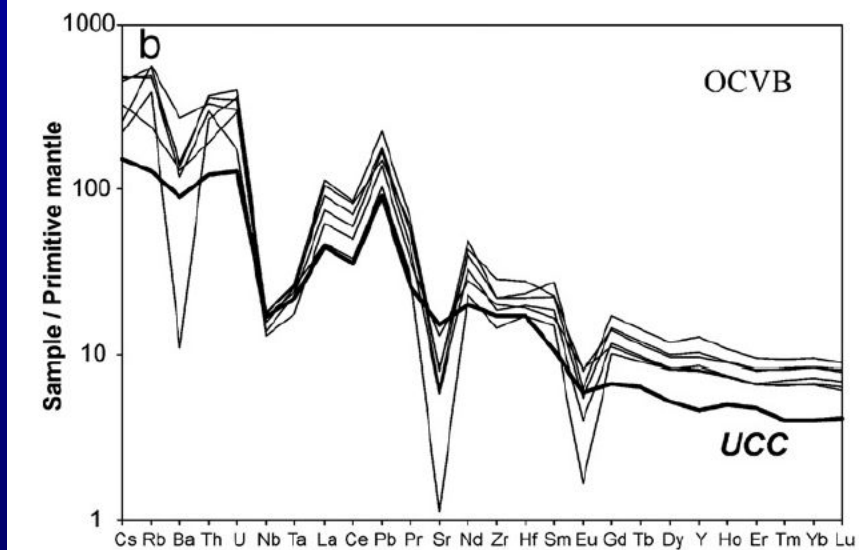
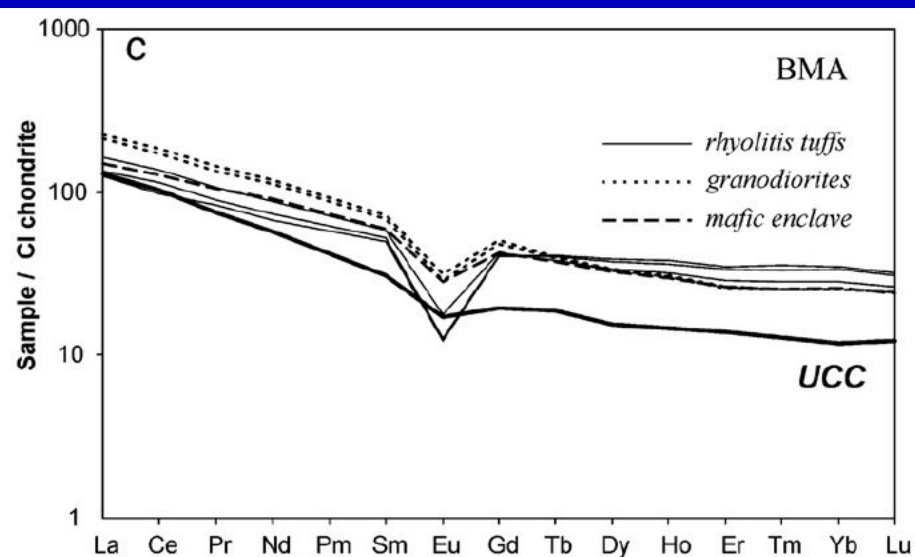
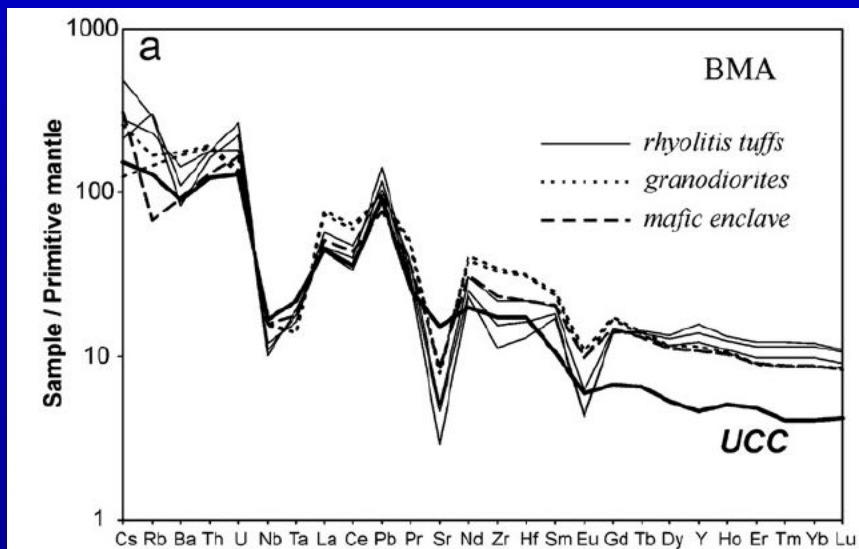
построение спайдеграмм



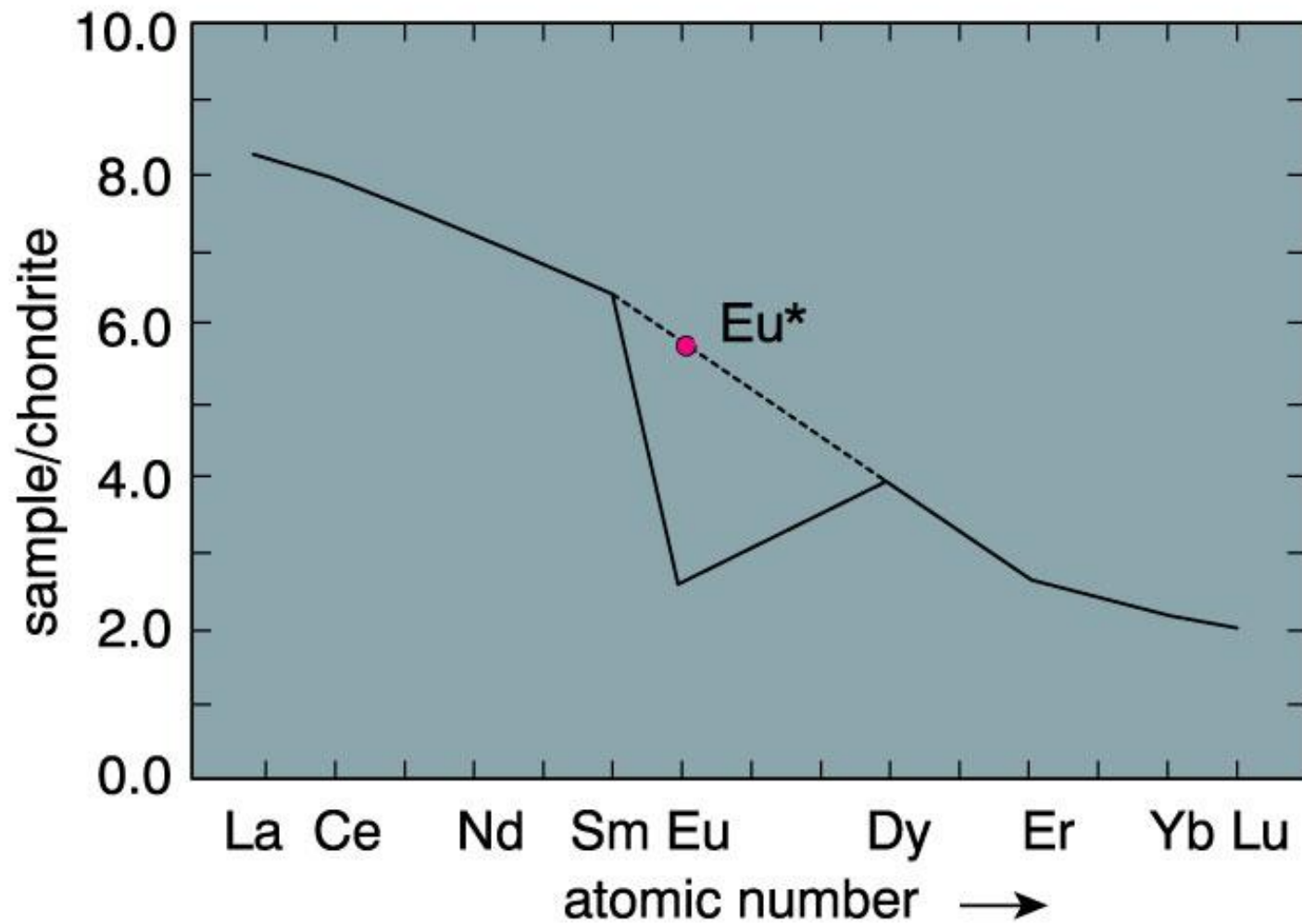
построение спайдеграмм



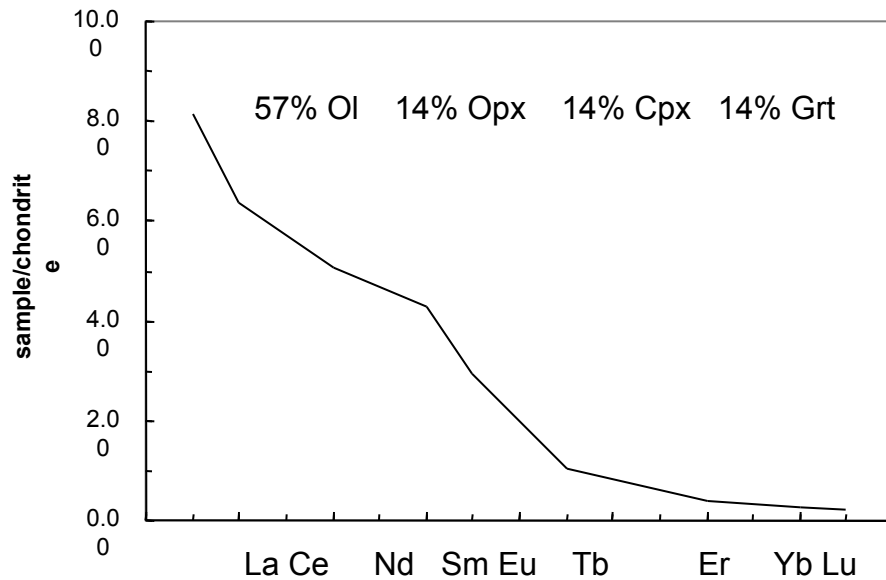
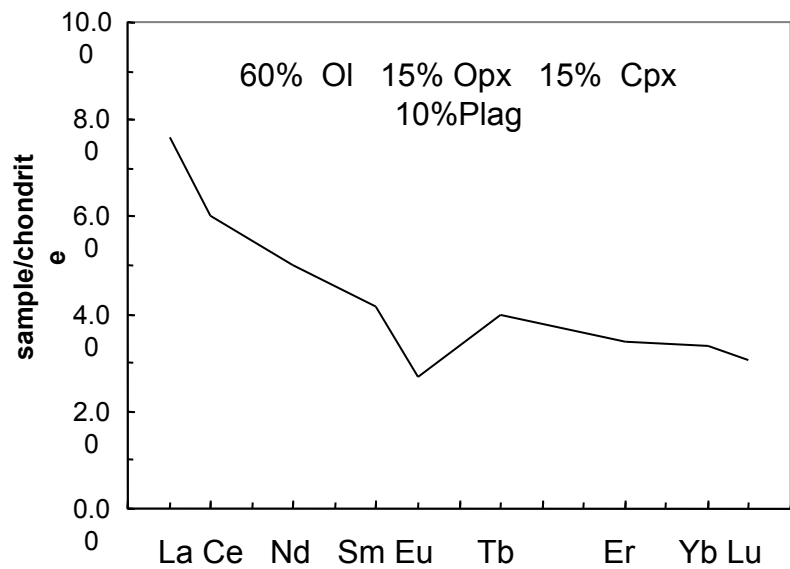
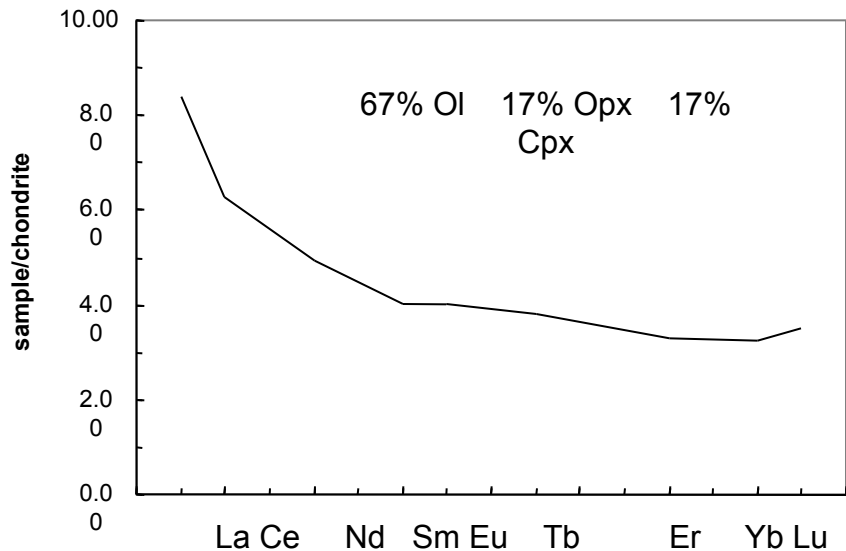
построение спайдеграмм



Аномалия европия



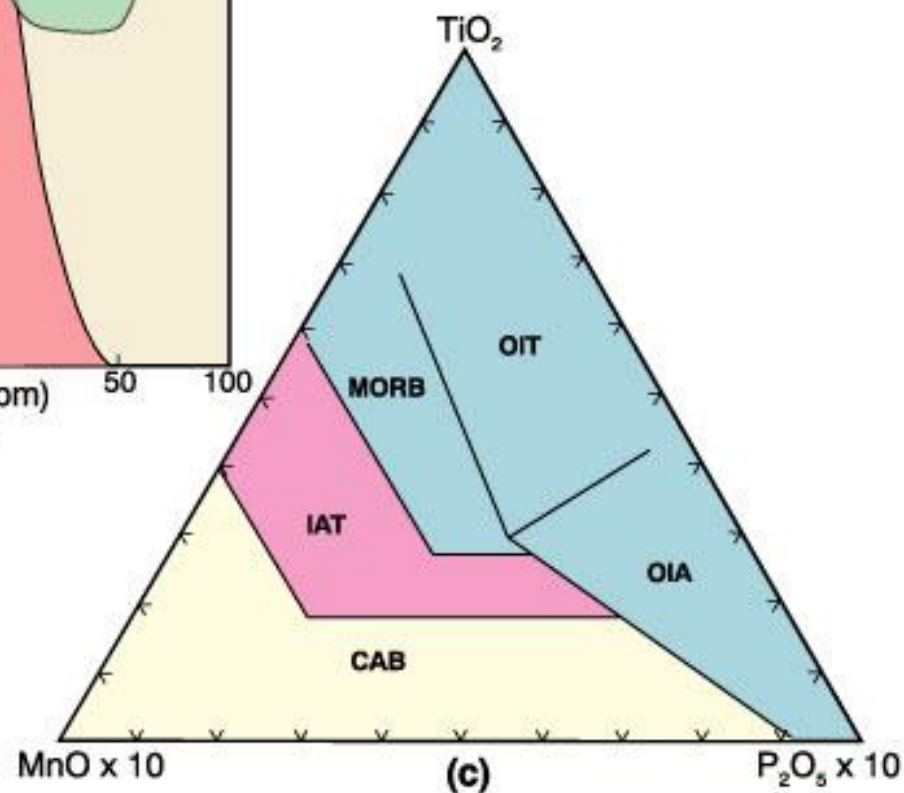
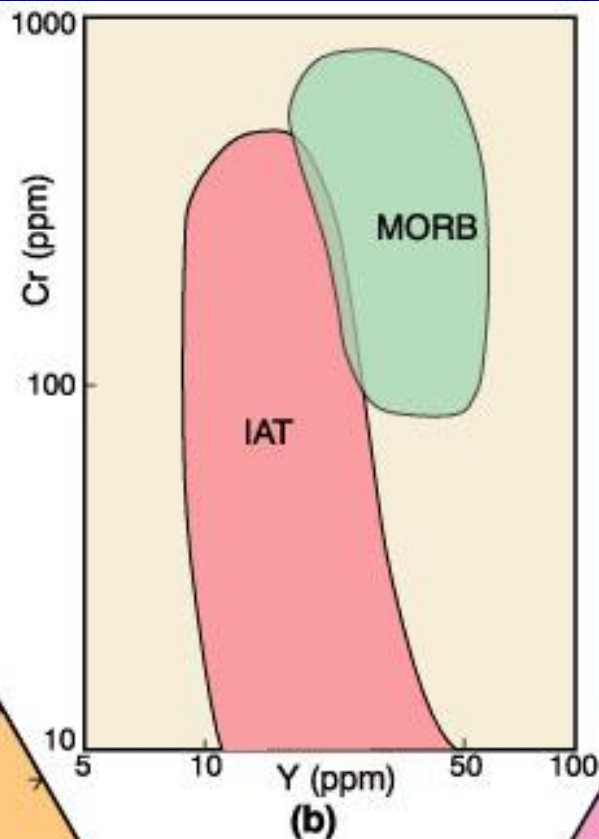
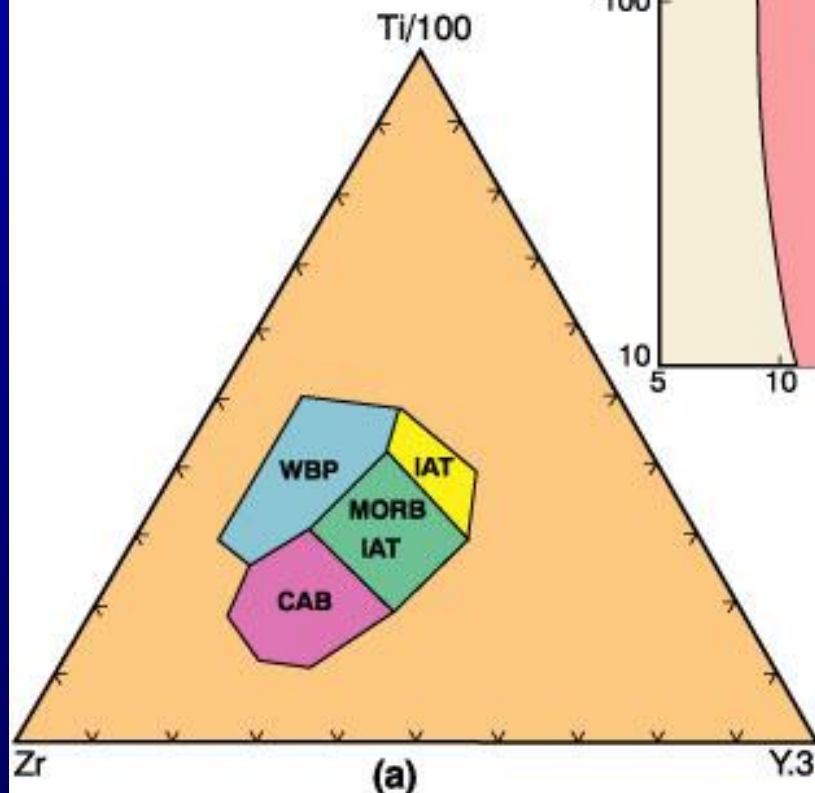
Эффект фракционирования фаз



Дискриминационные диаграммы

Explanation

WBP within-plate basalts
 IAT island-arc tholeiites
 CAB calc-alkaline basalts
 MORB mid-ocean ridge basalts
 OIT ocean island tholeiite
 OIA ocean island alkaline basalt



Изотопная геохронология

(кратко)

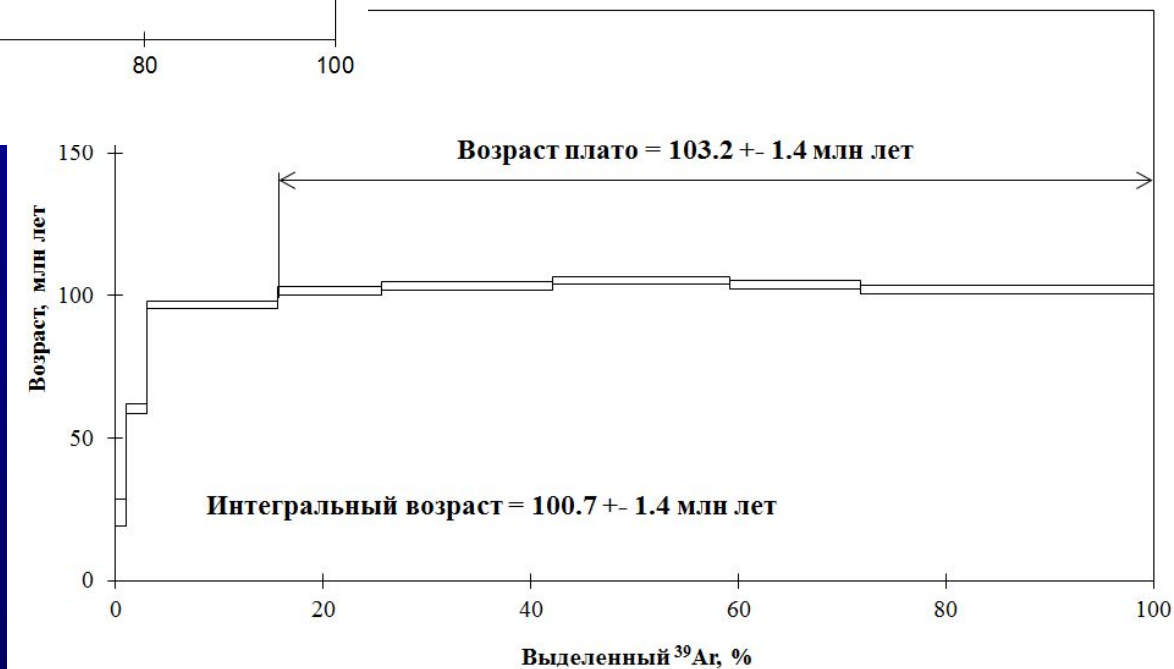
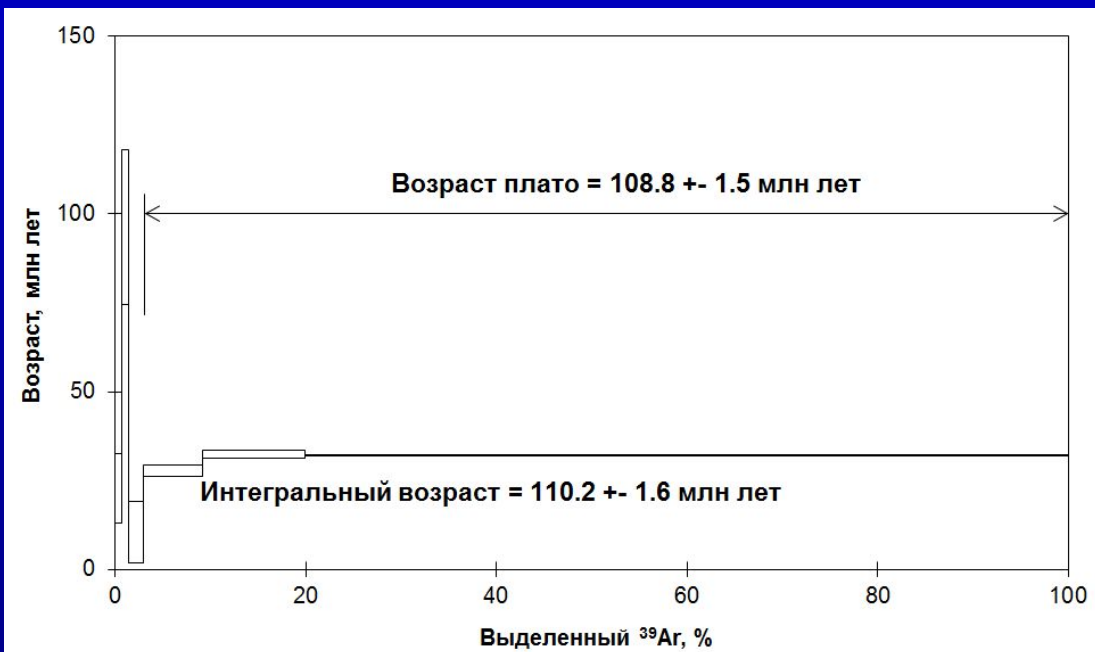
Рекомендованная литература

Г. Фор . Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1986 + более поздние издания.

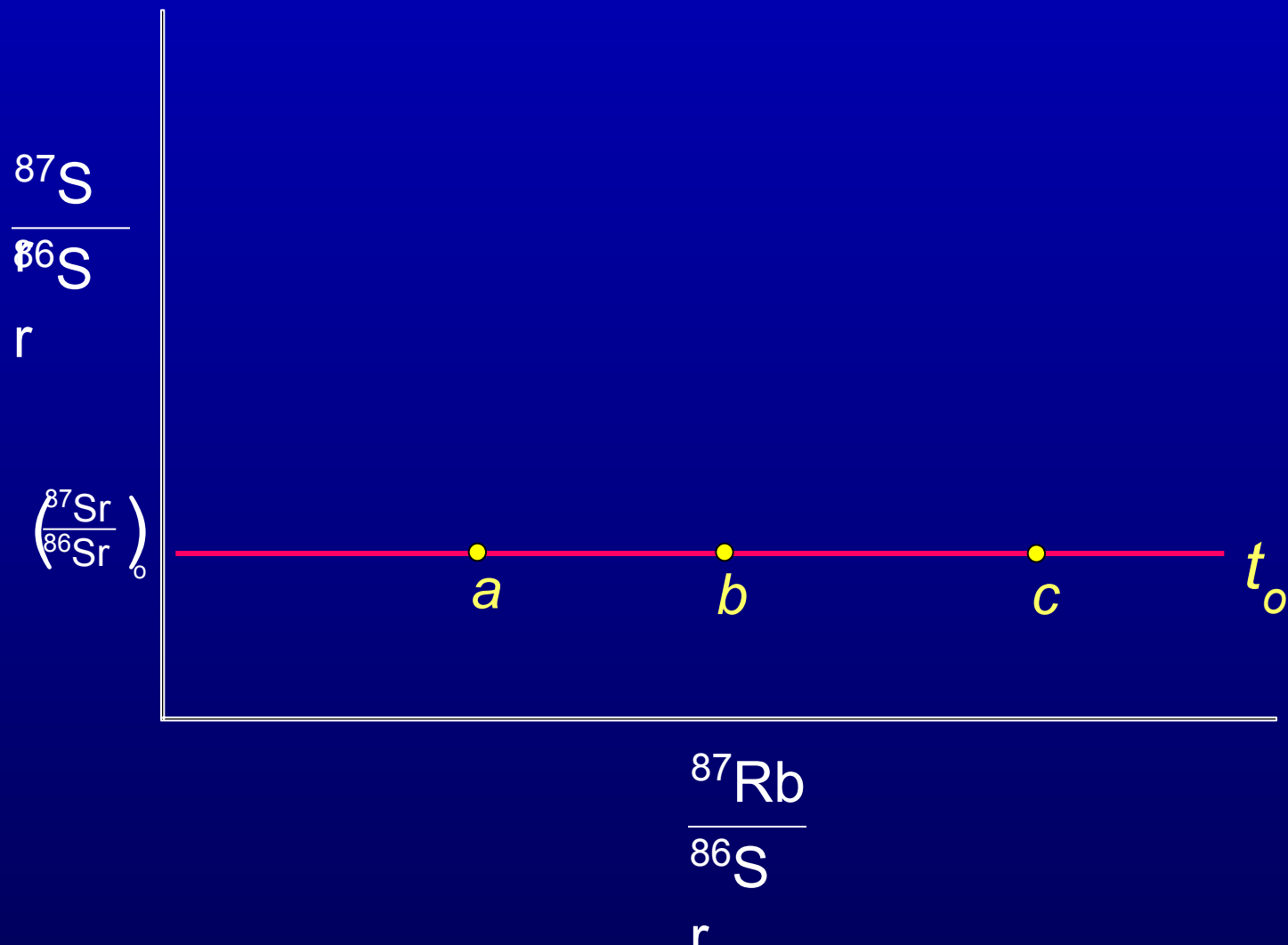
Радиоактивные / радиогенные ИЗОТОПЫ



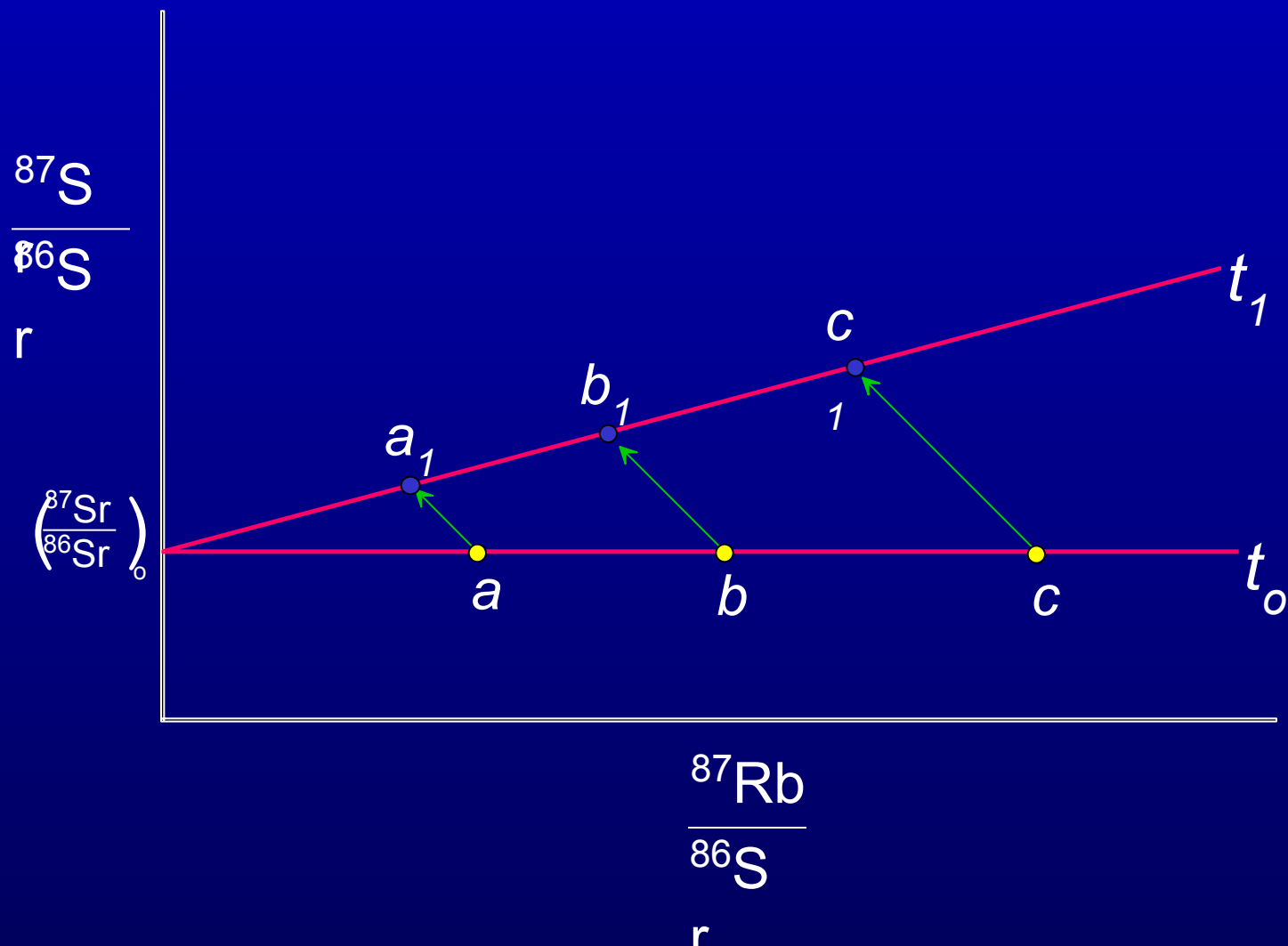
$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод *ступенчатый нагрев (step heating)*



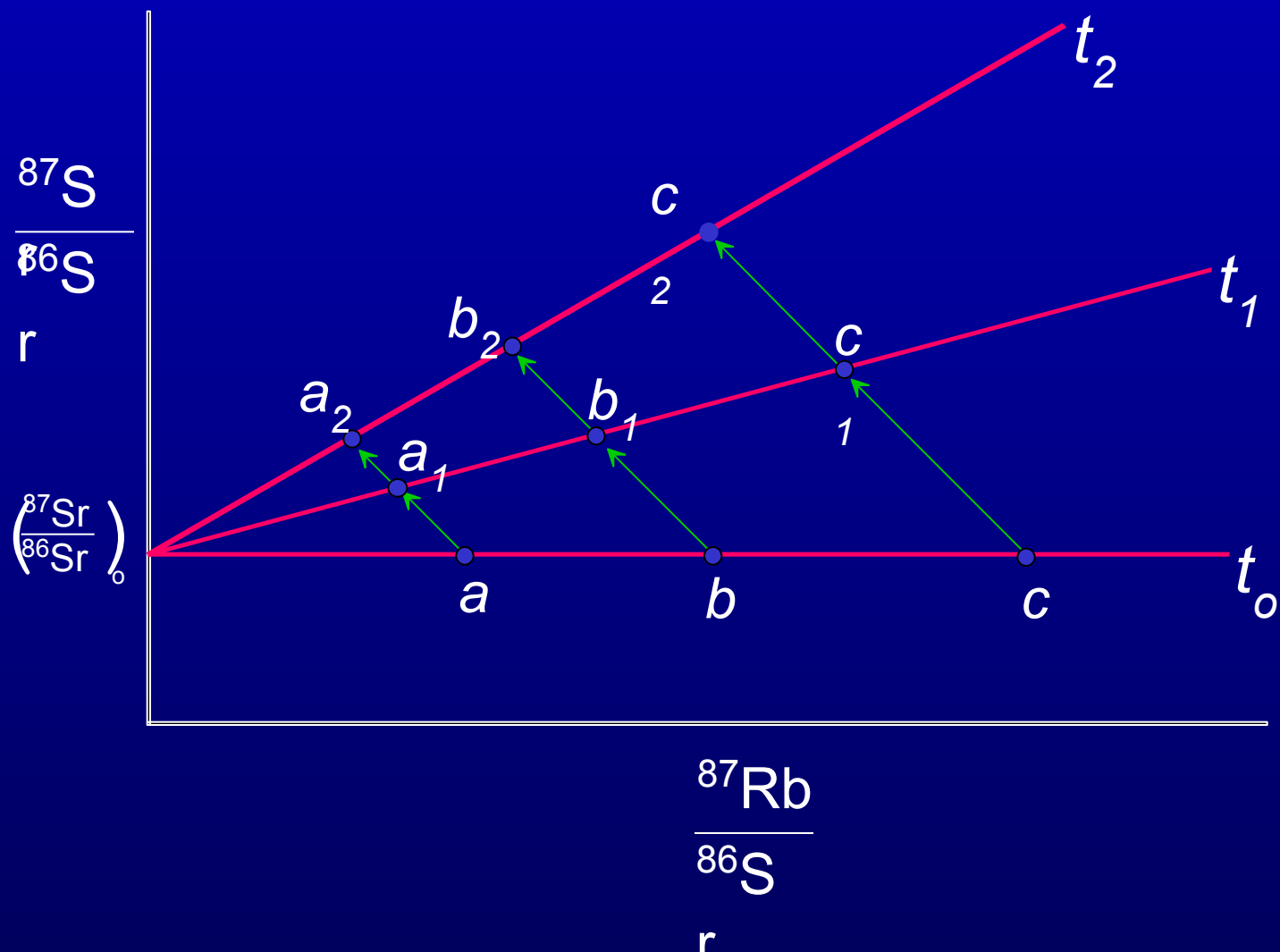
Формирование изохроны: 1



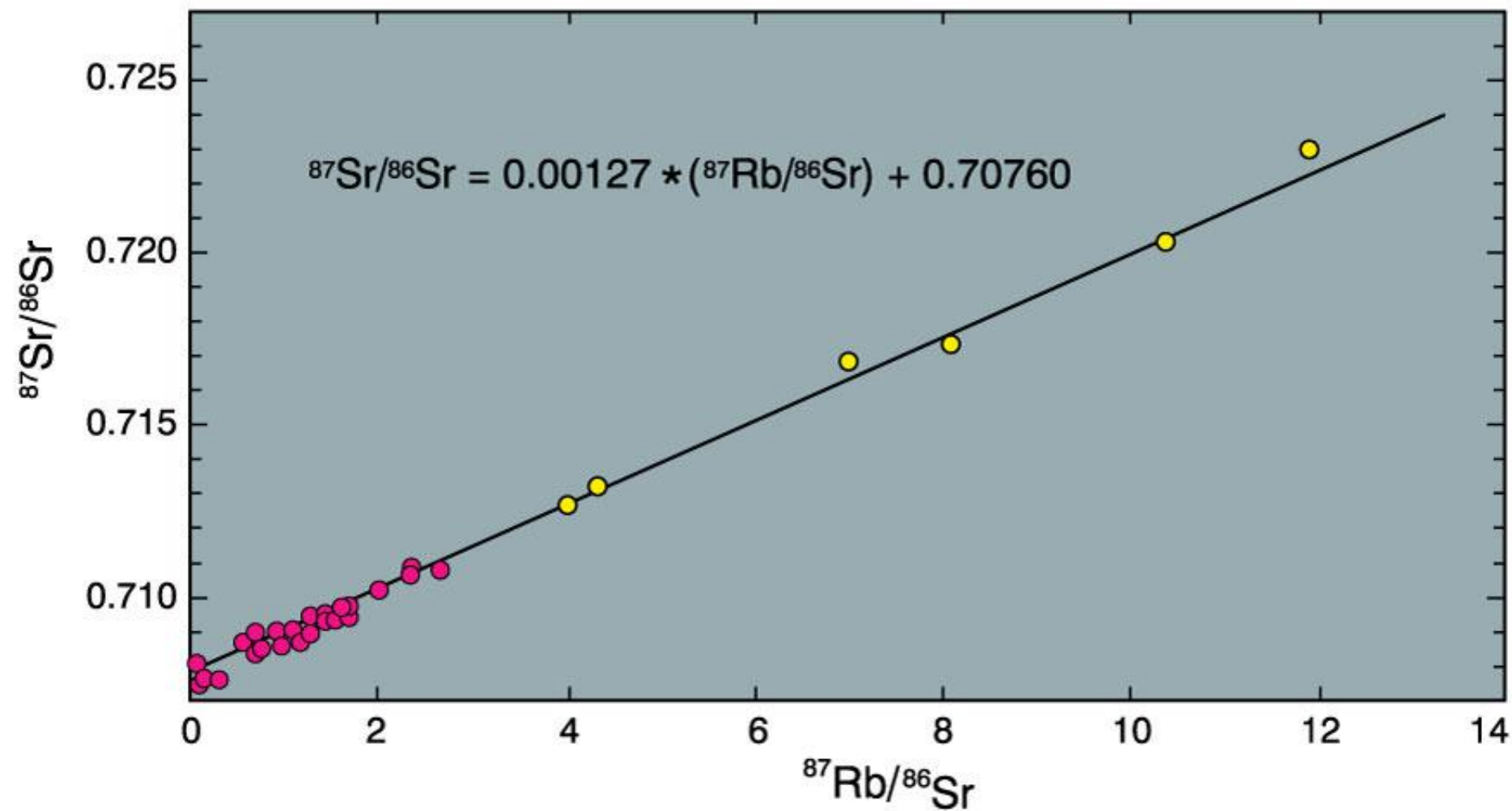
Формирование изохроны: 2



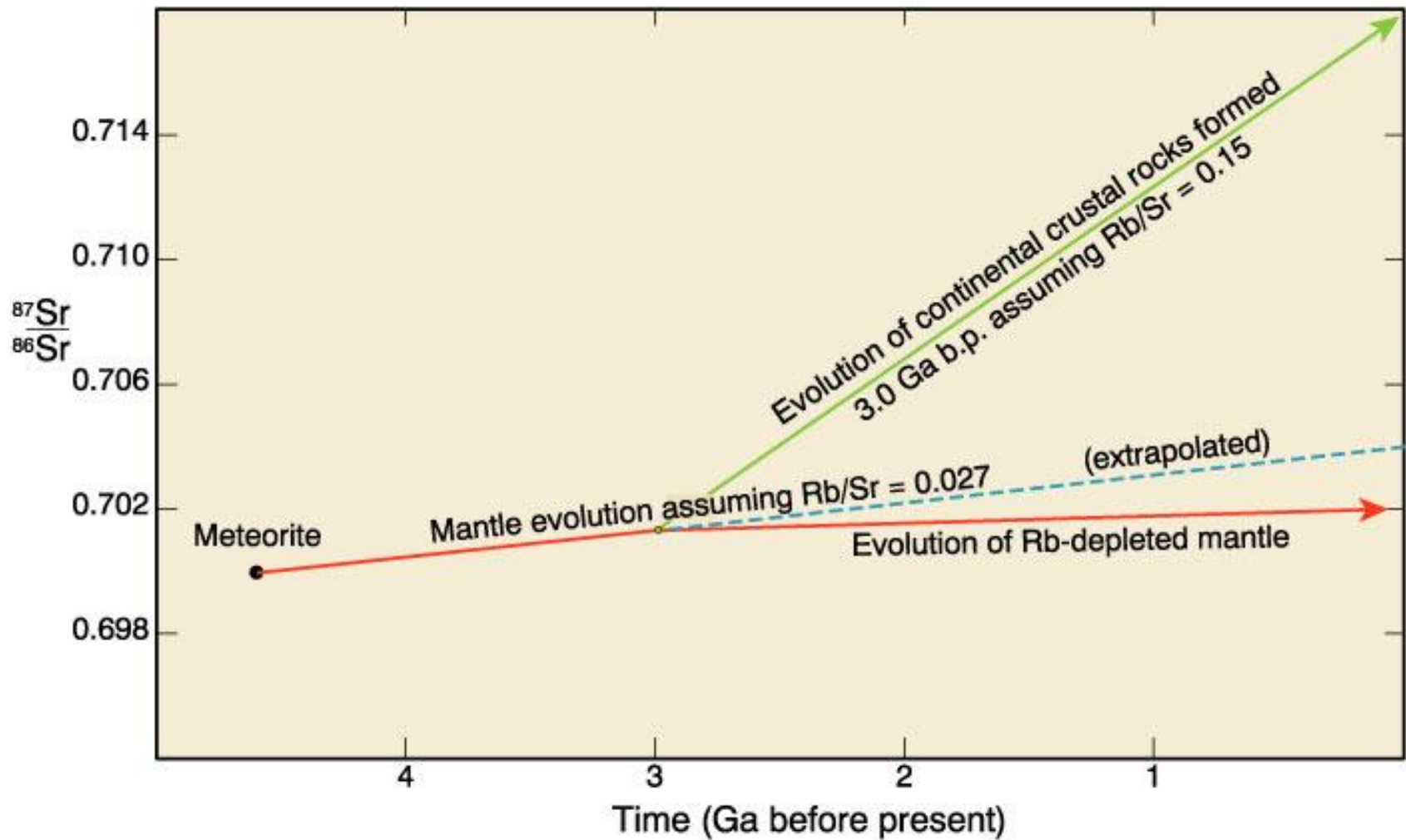
Формирование изохроны: 3



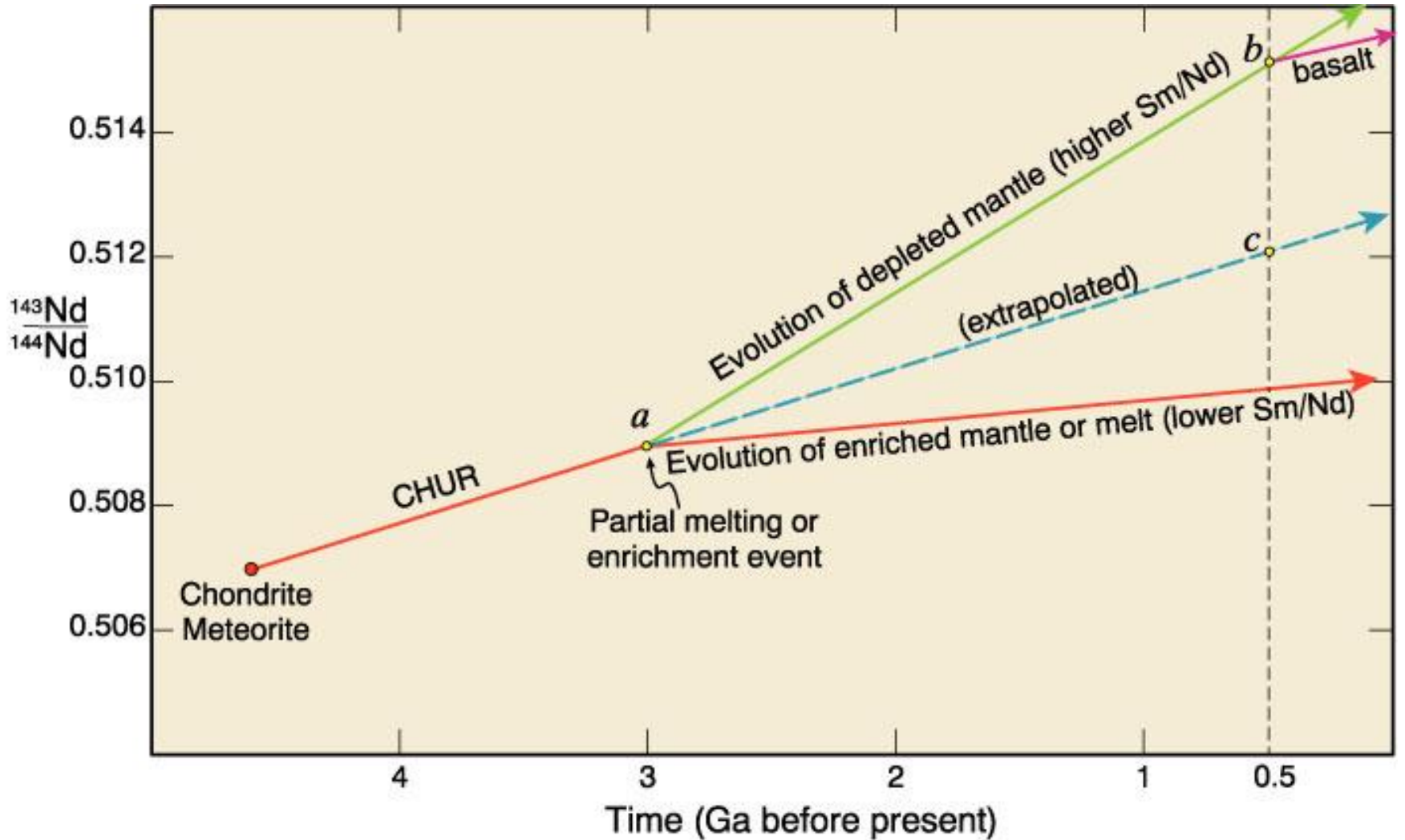
Rb-Sr Isochron, Eagle Peak Pluton, Sierra Nevada Batholith



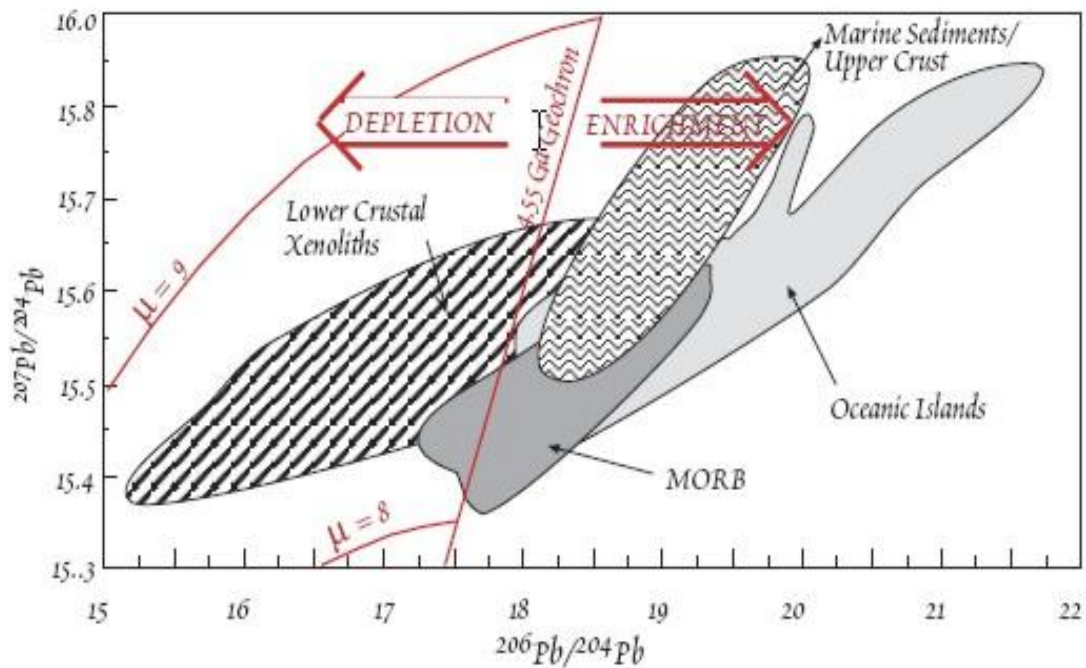
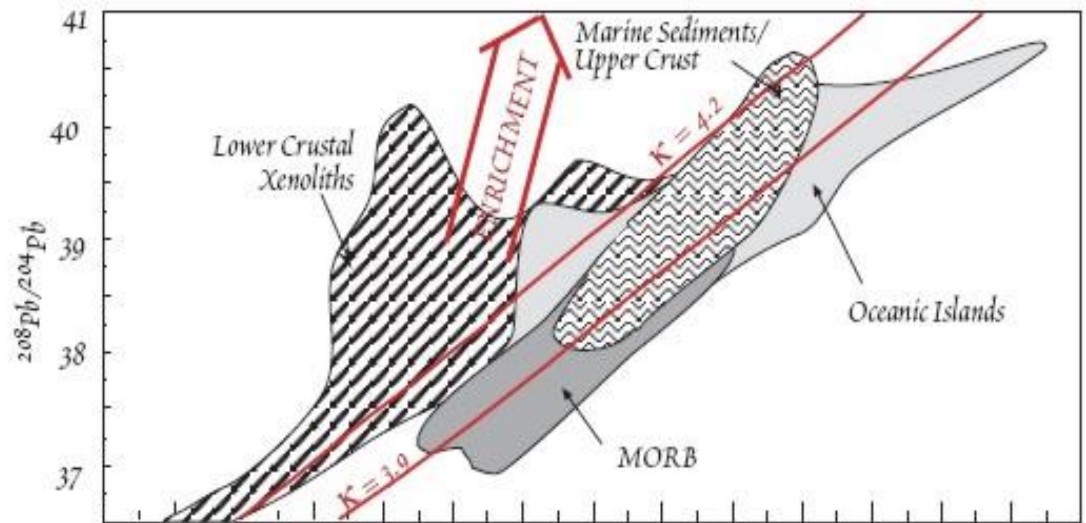
Эволюция изотопного состава Земли



Эволюция изотопного состава Земли

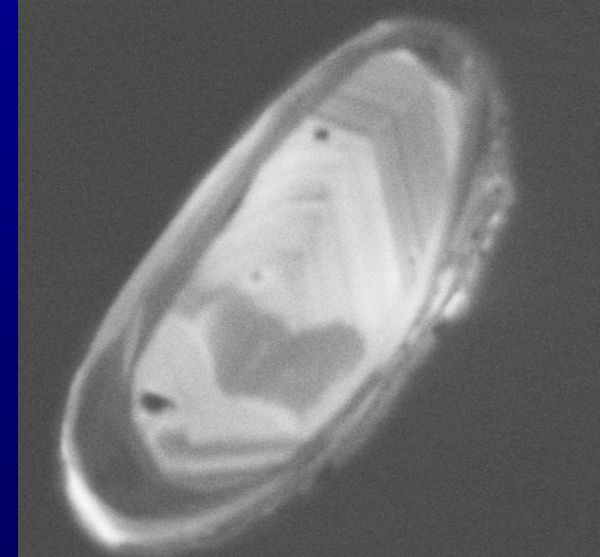
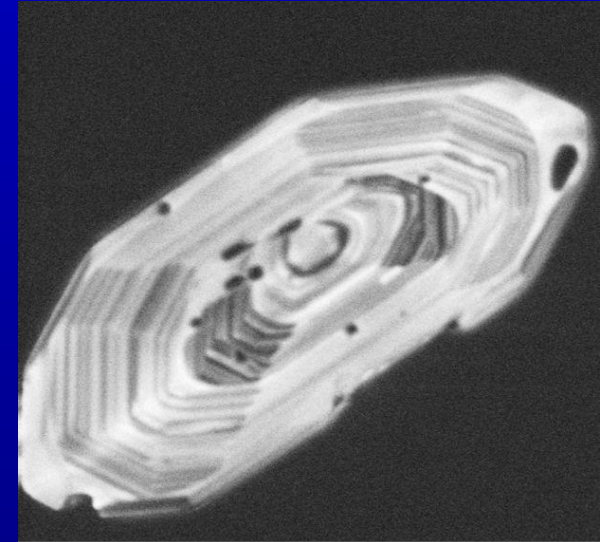
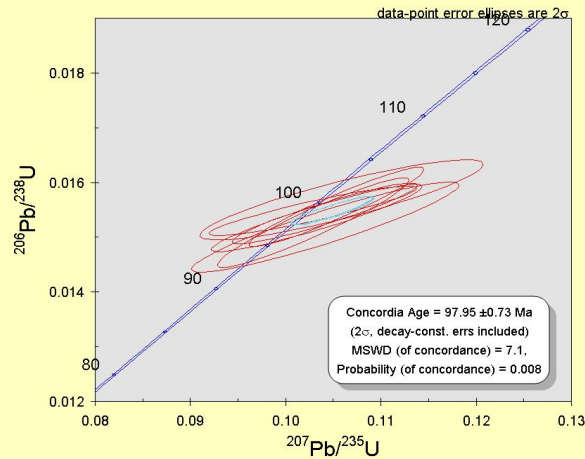
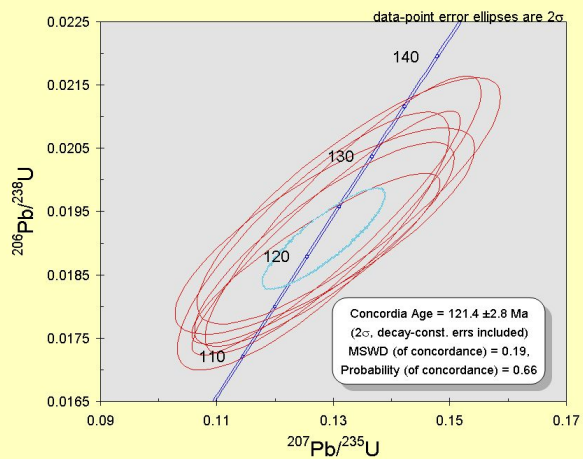
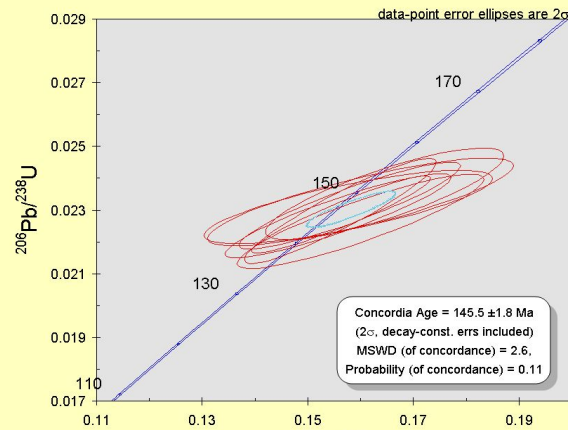
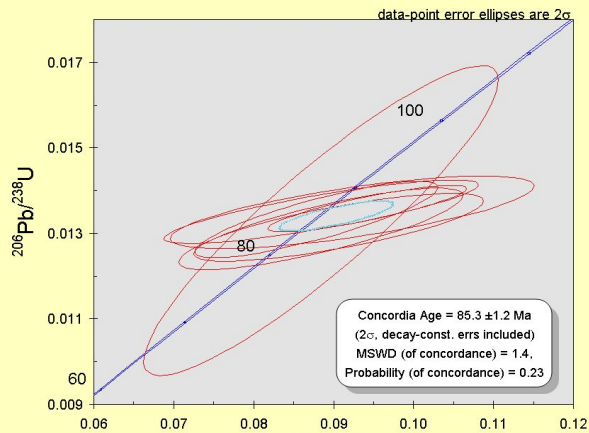


U-Pb-Th система



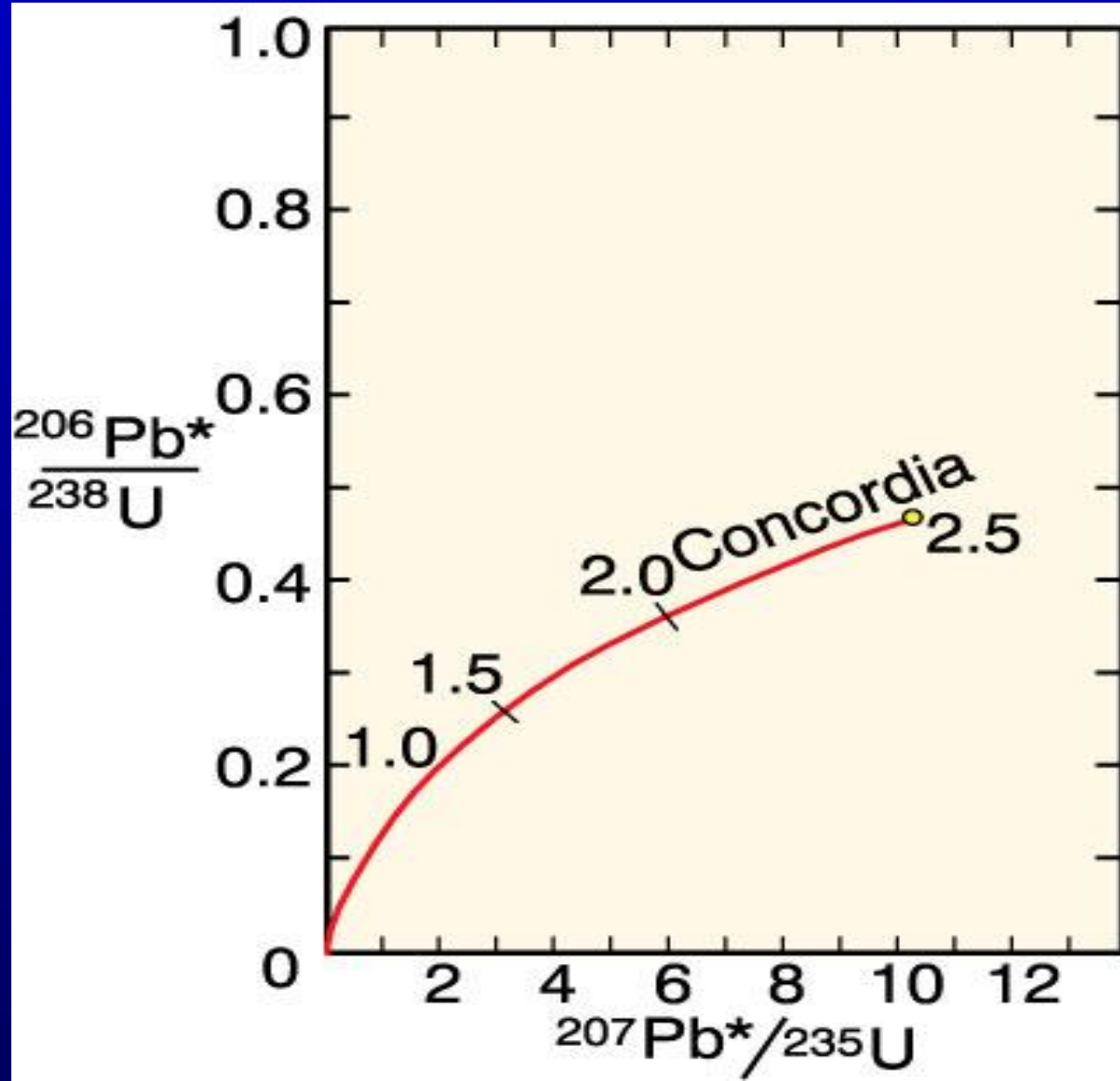
U-Pb-Th система

Цирконовая геохронология



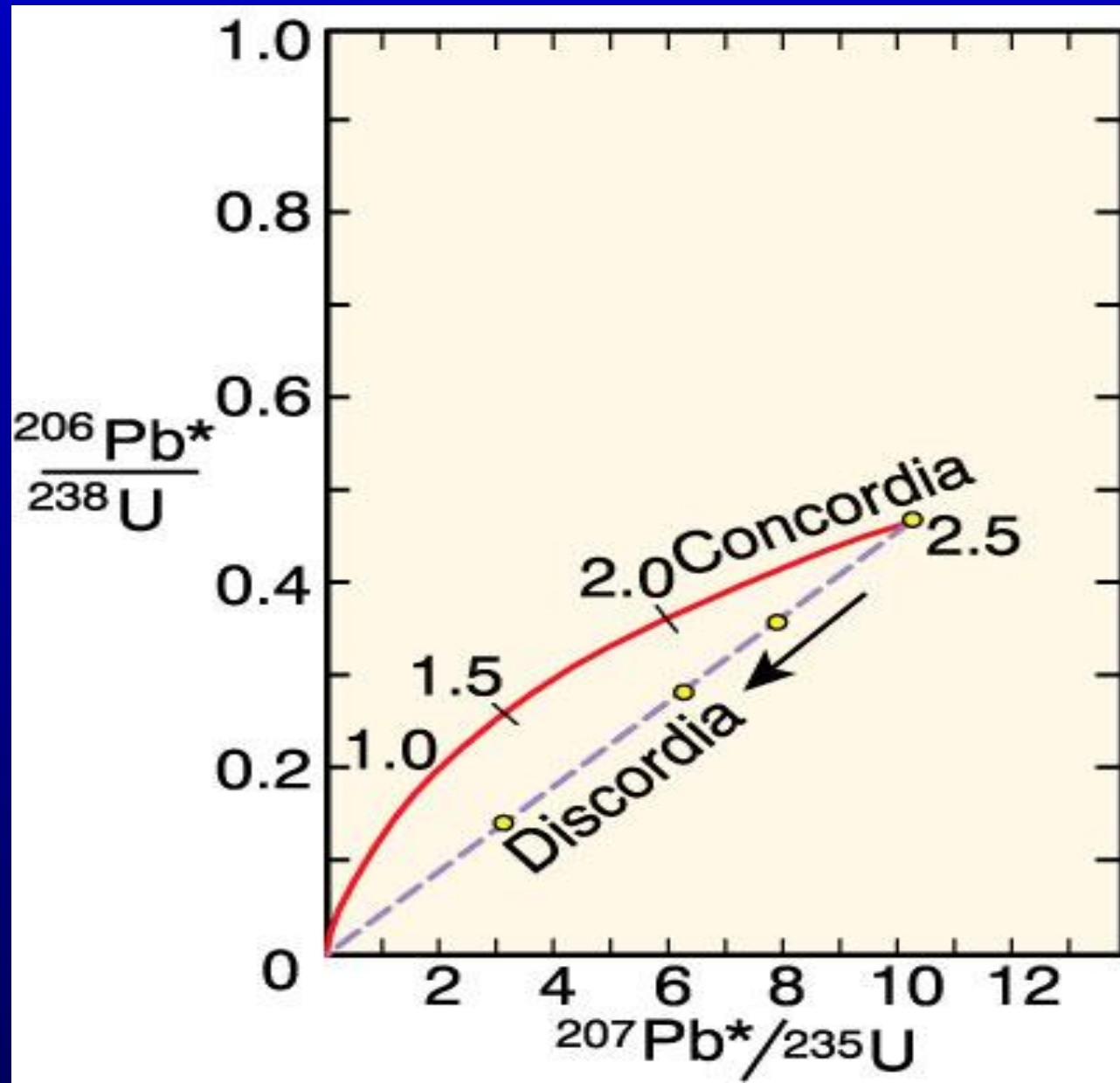
U-Pb-Th система

Конкордия



U-Pb-Th система

Дискордия



U-Pb-Th система

Дискордия

