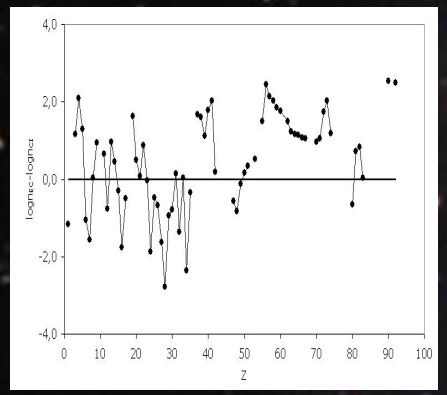
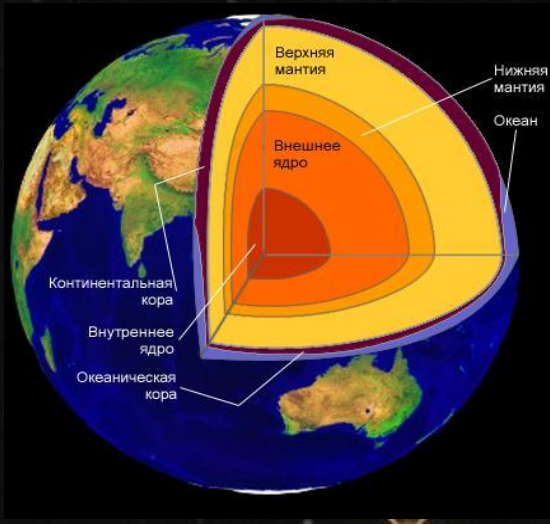


ОСНОВИ ГЕОХІМІЇ

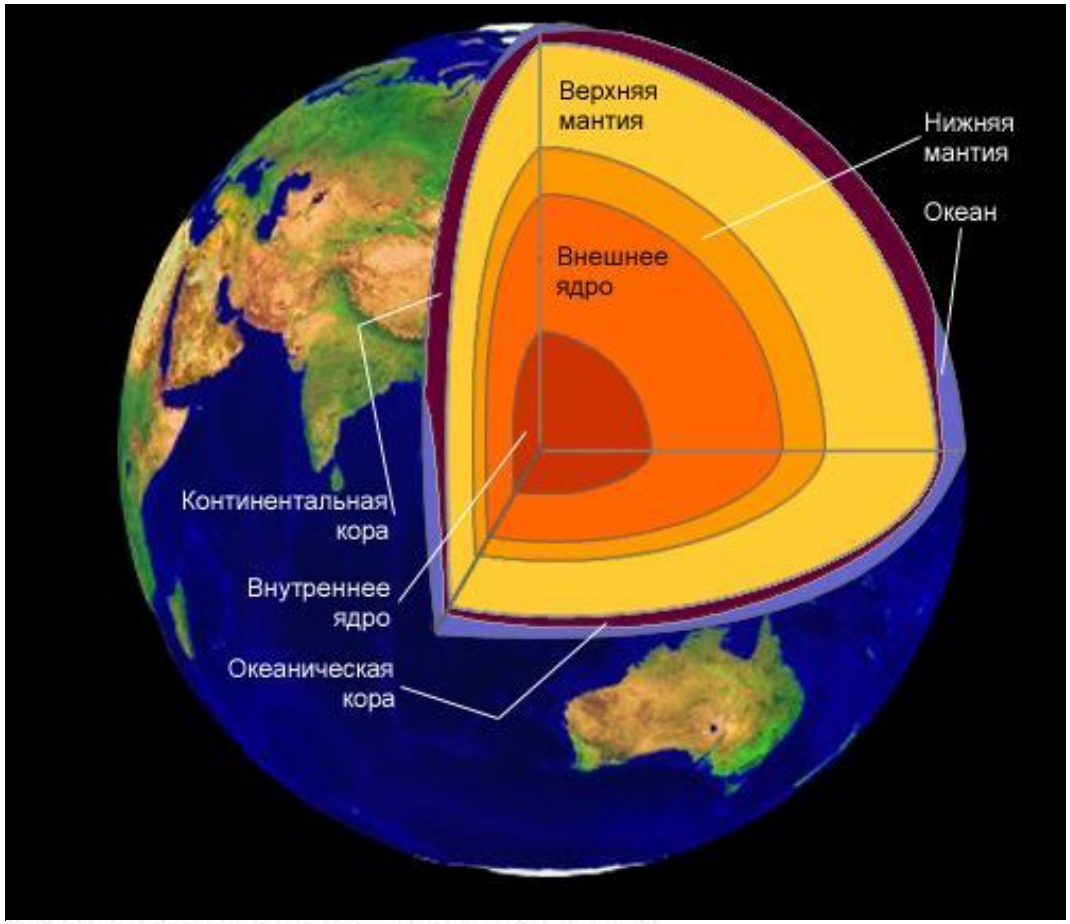
С. Є. Шнюков

Лекція **13**

Загальна геохімічна характеристика планети Земля та її геосфер:



Мантія та ядро Землі



Мантія Землі

Відношення щільностей
Кора/Земля=2,8/5,5

Параметри Землі та її оболонок

Геосфери	Потужність, км	Щільність, г/см^3	Маса, 10^{25} г	Частка від маси Землі, %
Атмосфера	-	-	0.00052	0.000087
Гідросфера	3,75	1,02	0.141	0.024
Земна кора	~17	2,8	2.85	0.48
Мантія	2883	4,5	406.8	68.1
Ядро	3473	11,0	187.6	31.4
Земля в цілому	6378	5,515	597.4	100.0

Мантія Землі

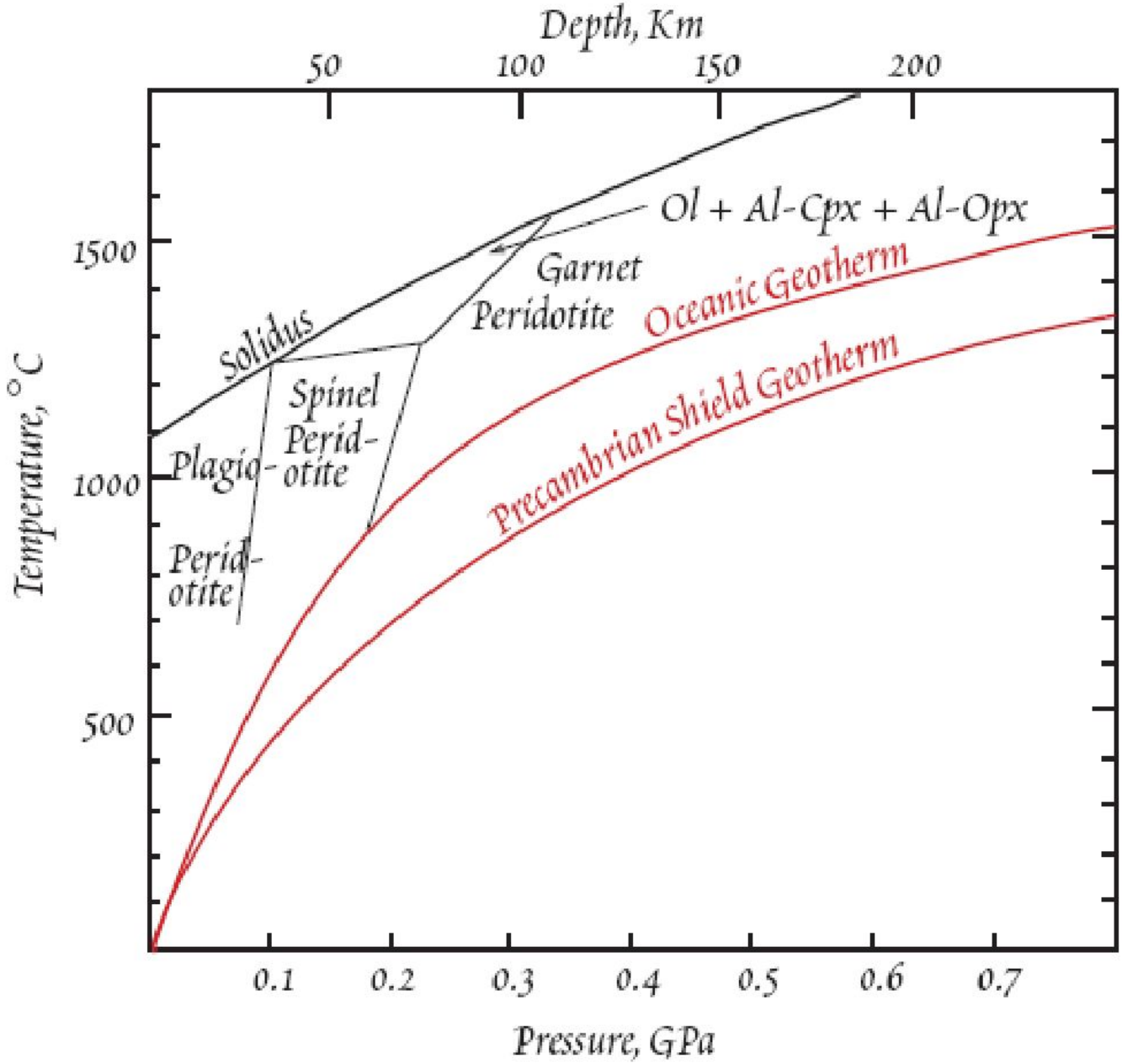


Figure 11.6. Upper mantle phase diagram.

Мантія Землі

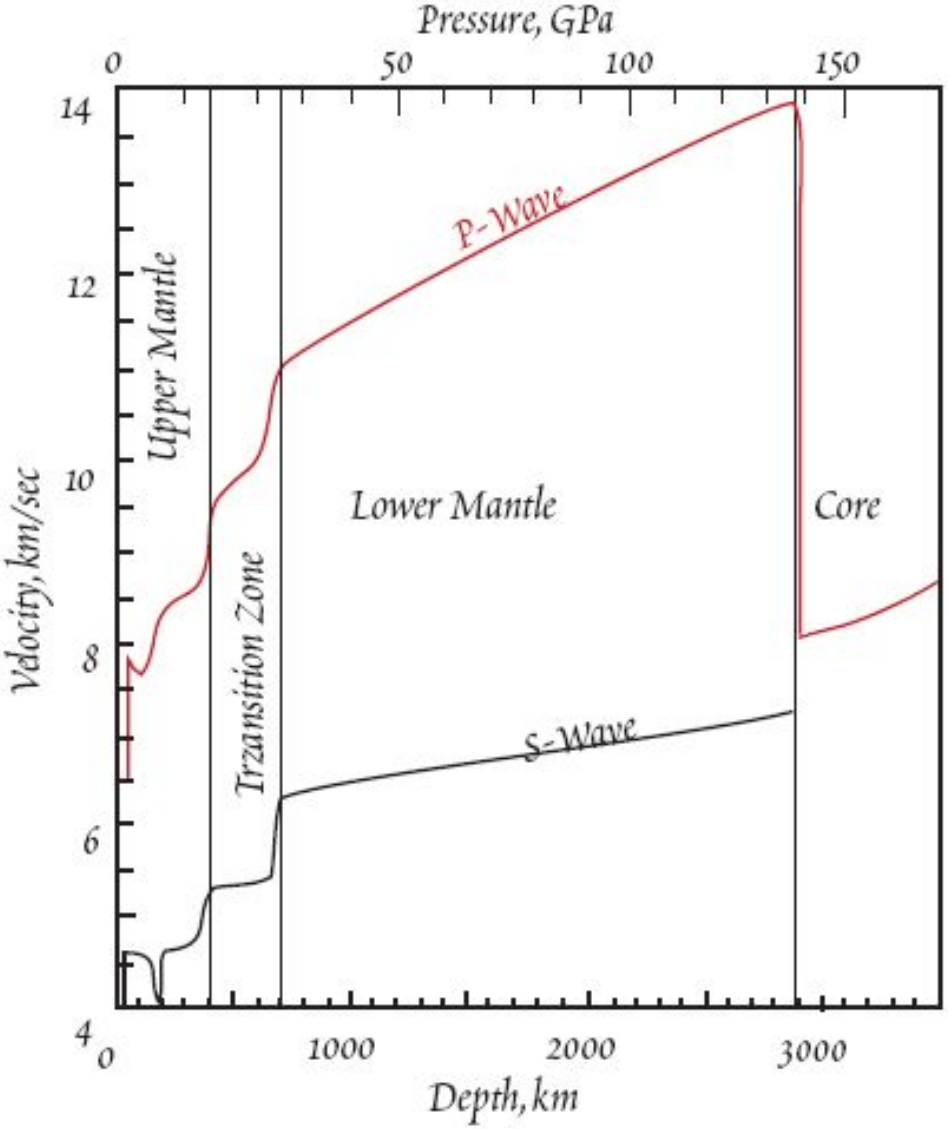
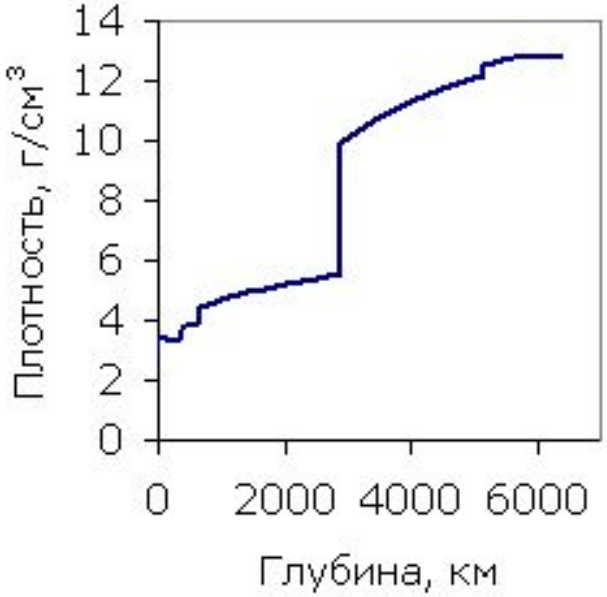


Figure 11.3. Mantle seismic velocities.

Мантія Землі

Відношення щільностей Кора/Земля=2,8/5,5

Поліморфізм головних фаз земної речовини, зміна складу: Si, K, Na – Fe,Mg



Глубина от кровли верхней мантии, км	Минеральные фазы, тип структуры	Плотность при нулевом давлении, г/см³
	Оливин	3.38
Около 400	Шпинелевая структура	3.66
Около 650	Структура плюмбата стронция	3.99
Около 1050	Перовскитовая структура + структура феррита кальция + ильменитовая структура + стишовит + периклаз + вюстит	4.27

Мантія Землі

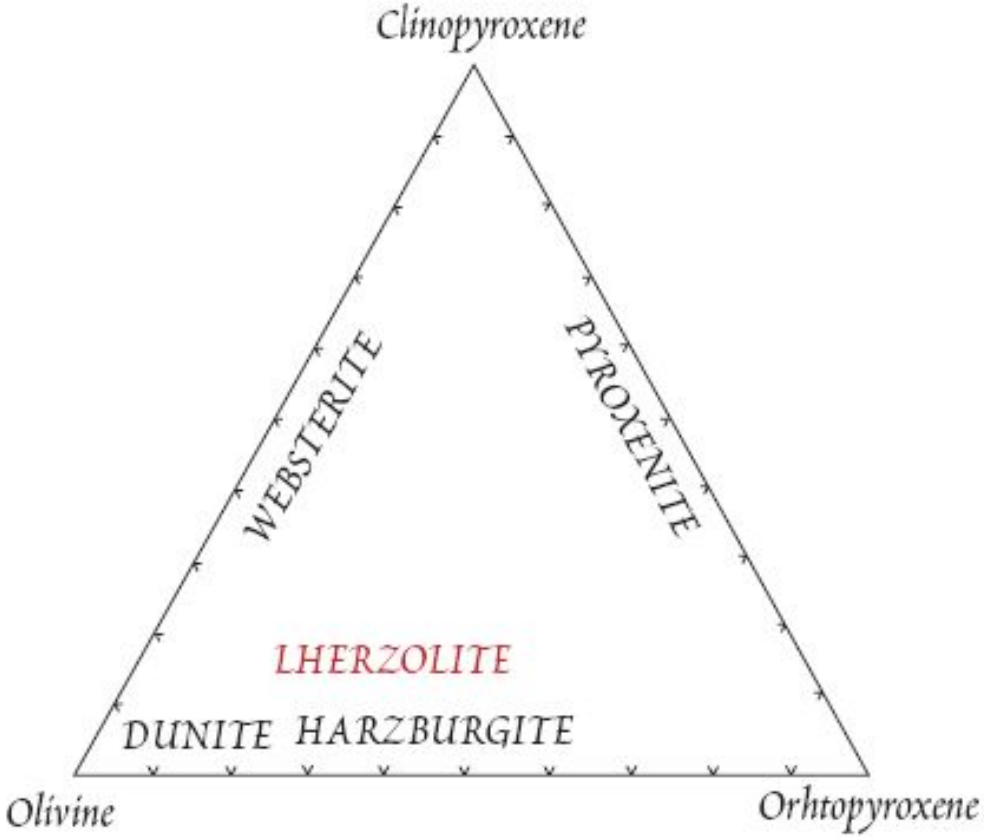


Figure 11.1. Ultramafic rock nomenclature.

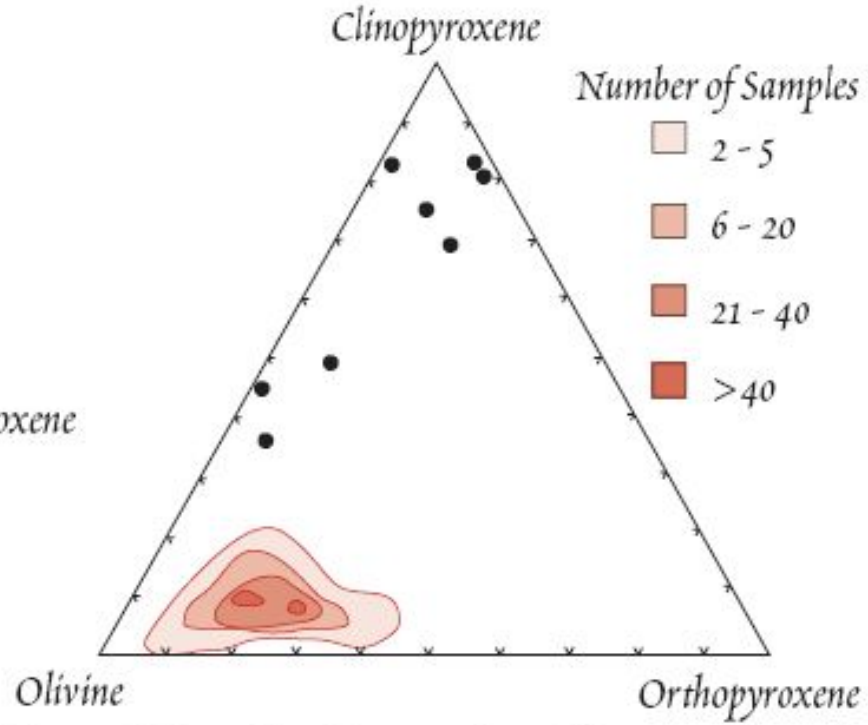


Figure 11.2. Abundances of modal mineralogy in xenoliths from Kilbourne Hole, NM.

Мантія Землі

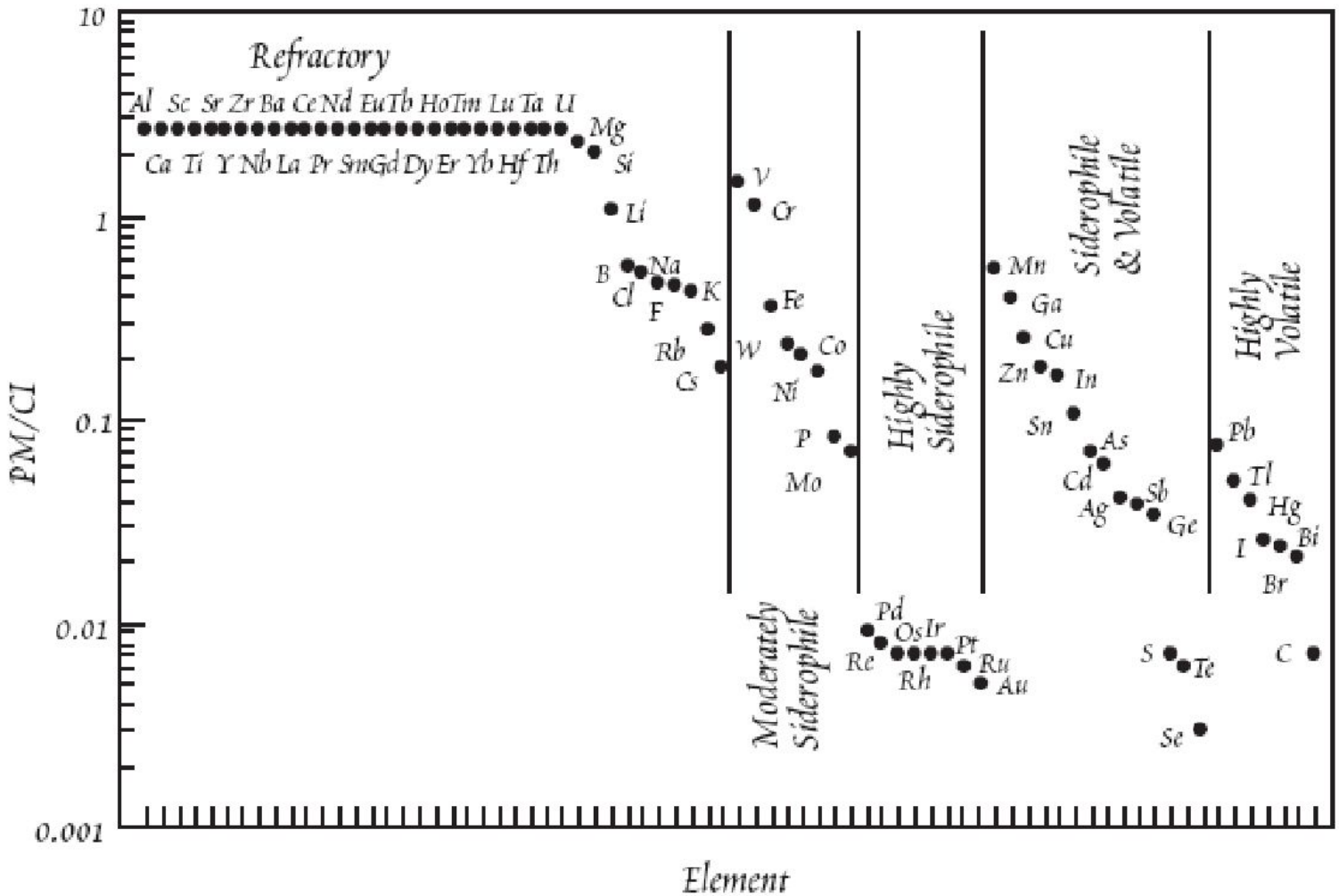
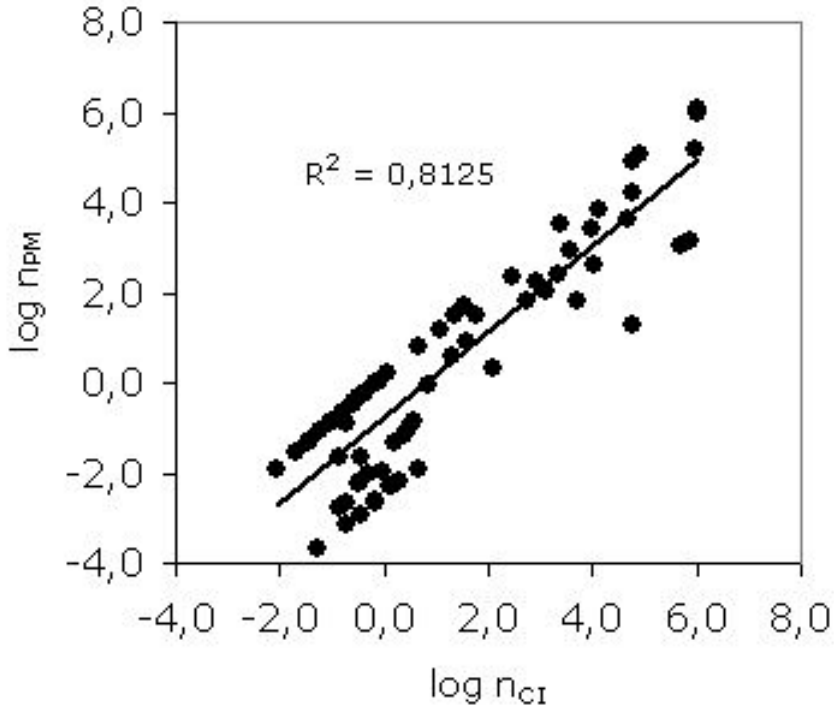
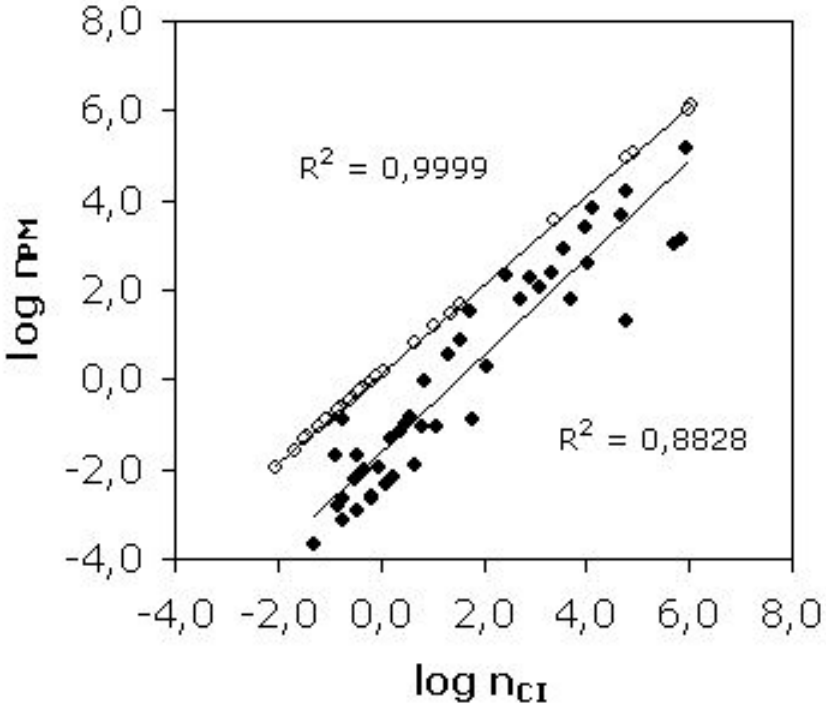


Figure 11.10. Abundances of the elements in the Primitive Mantle compared to CI chondrites.

Мантія Землі





Соотношения распространенности химических элементов (число атомов на 10^6 атомов Si) в примитивной мантии Земли (n_{PM}) (McDonough, Sun, 1995) и в углистых (CI) хондритах (n_{CI}) (Anders, Grevesse, 1989)

[Ярошевский]

Мантія Землі

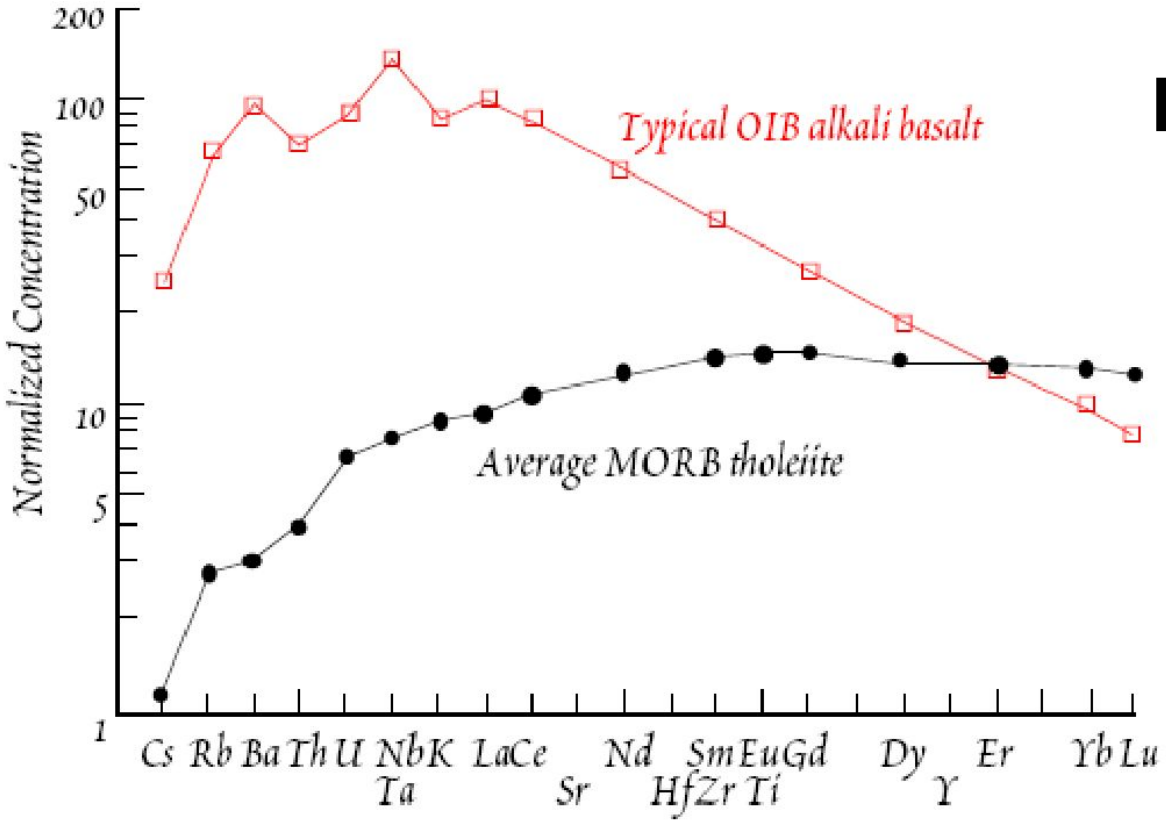


Figure 11.18. MORB tholeiite and OIB alkali basalt are compared in an extended rare earth plot or 'spider diagram' in which the elements are ordered with compatibility increasing to the right. Data are normalized to "primitive mantle" values. After Sun (1980).

MORB source through a OIB-source upper mantle which only rarely melts.

Мантія Землі

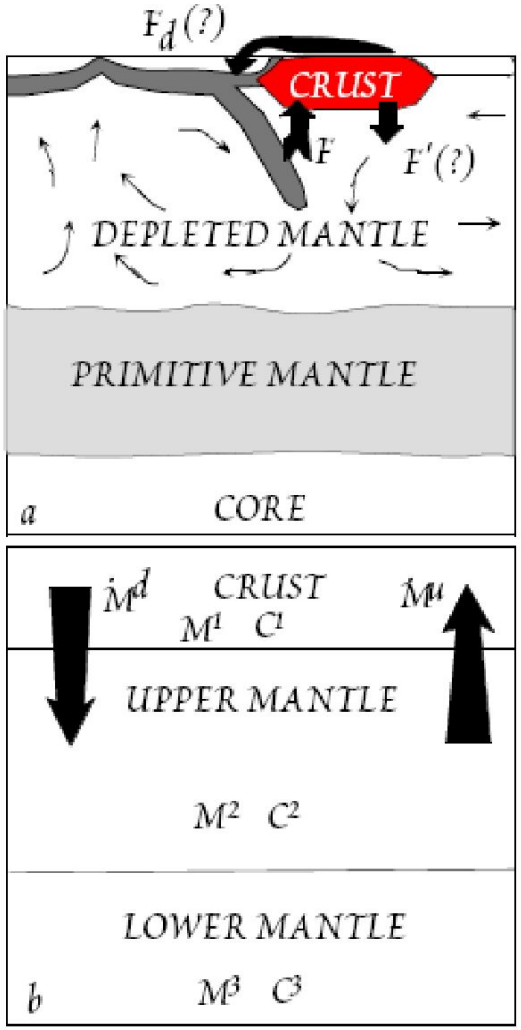


Figure 11.21. The three reservoir model of the mantle. The depleted mantle is the source of MORB and has ε_{Nd} = +10, the lower mantle is primitive and has bulk Earth characteristics, e.g., ε_{Nd} = 0.

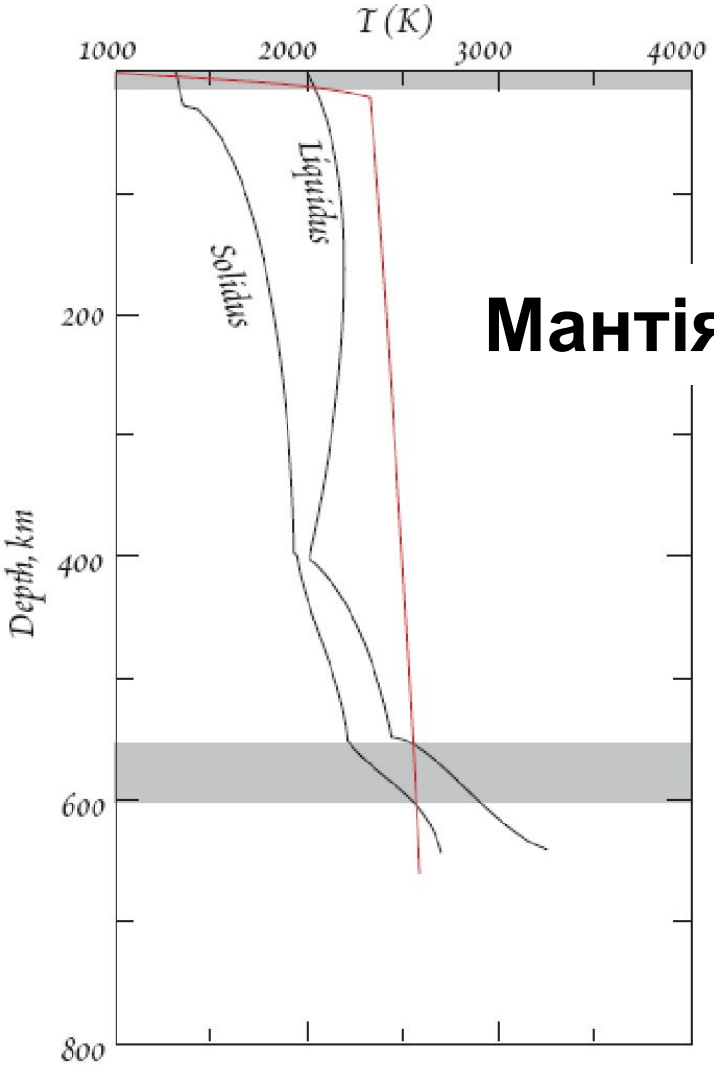
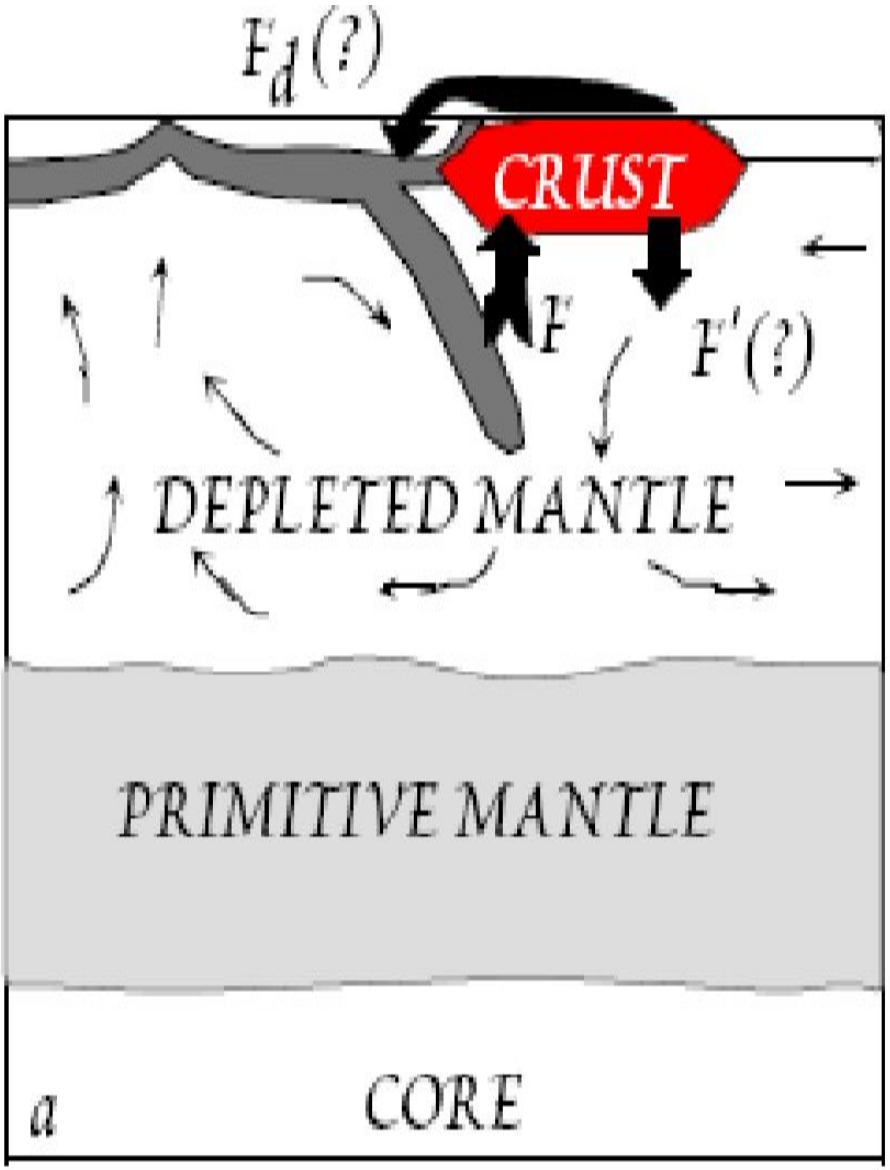
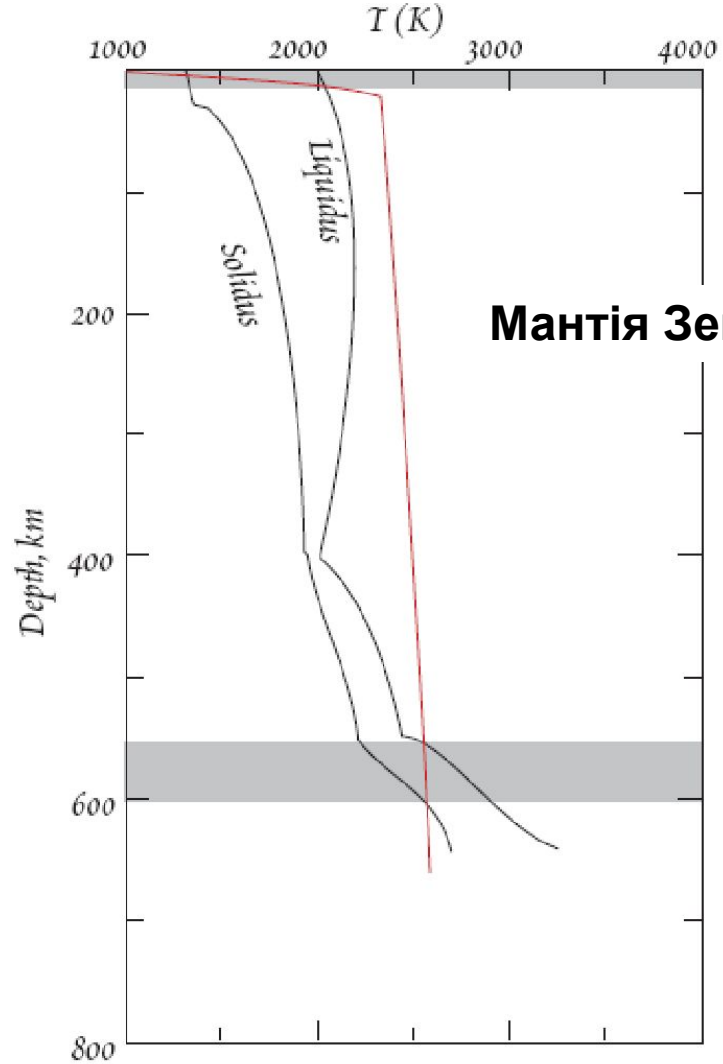


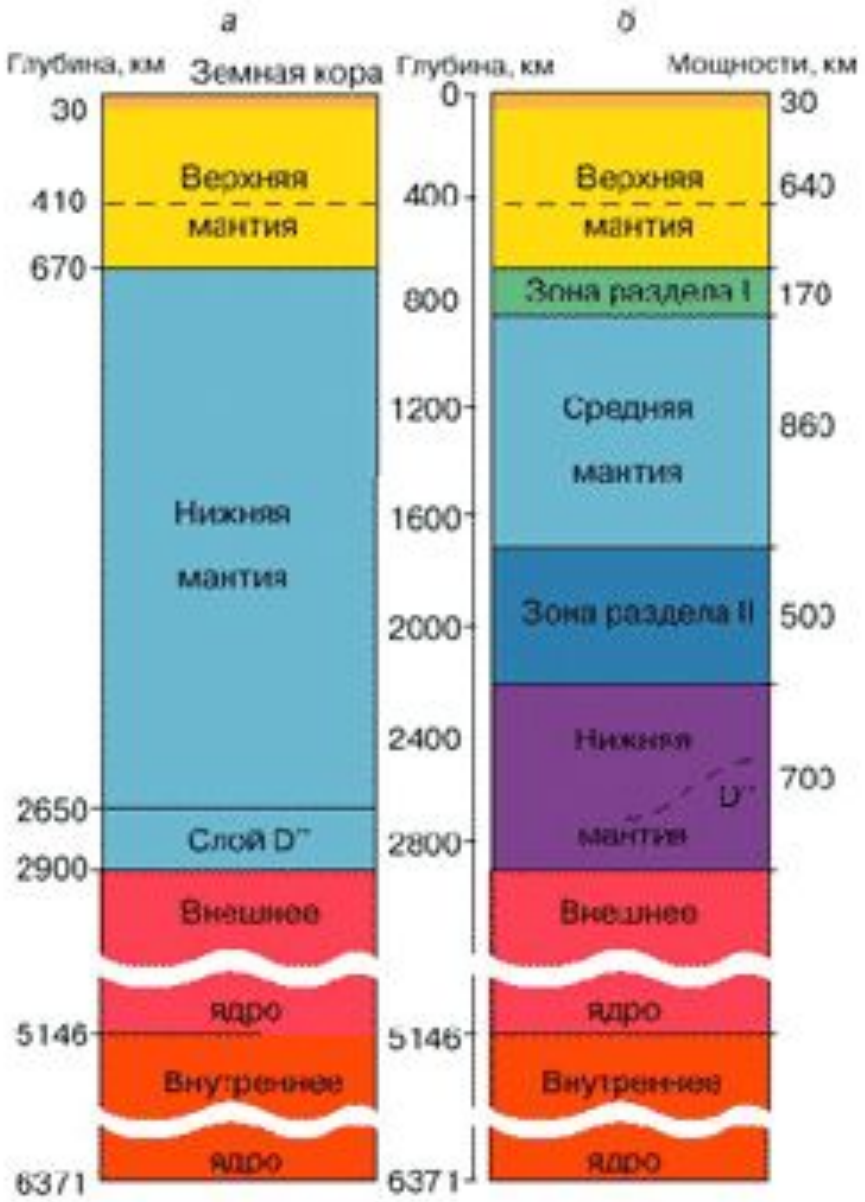
Figure 11.12. Solidus, liquidus and thermal gradient in a terrestrial magma ocean. Crystallization occurs in the gray regions where temperature is between the solidus and liquidus. This occurs at the very top where temperatures are not adiabatic and at the bottom, where the solidus temperature exceeds the adiabatic temperature.





Мантія Землі

Figure 11.12. Solidus, liquidus and thermal gradient in a terrestrial magma ocean. Crystallization occurs in the gray regions where temperature is between the solidus and liquidus. This occurs at the very top where temperatures are not adiabatic and at the bottom, where the solidus temperature exceeds the adiabatic temperature.



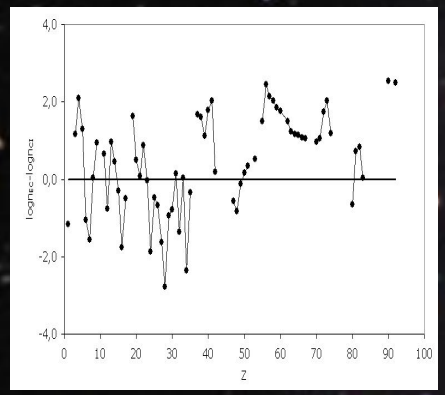
Мантія Землі

Модели строения Земли:

а - традиционная модель, распространенная в настоящее время;

б - новая модель, основанная на анализе сейсмотомографических карт и данных о сейсмических границах.

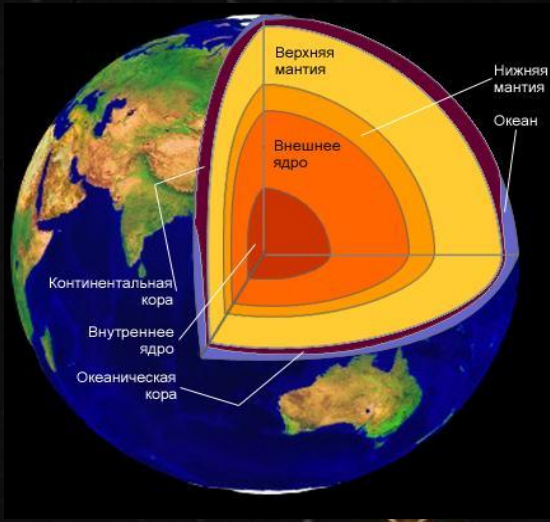
P.S.: Мощности могут варьировать в пределах до 10%.



ОСНОВИ ГЕОХІМІЇ

С. Є. Шнюков

Лекції **14-16**

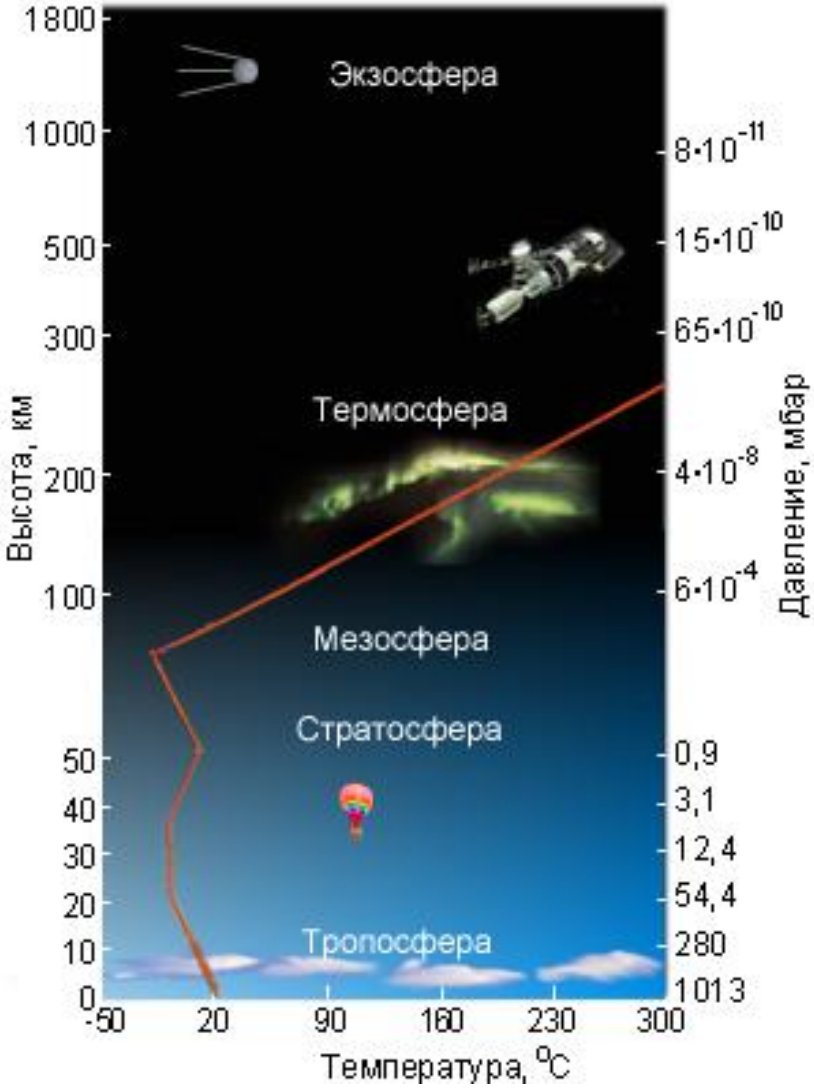


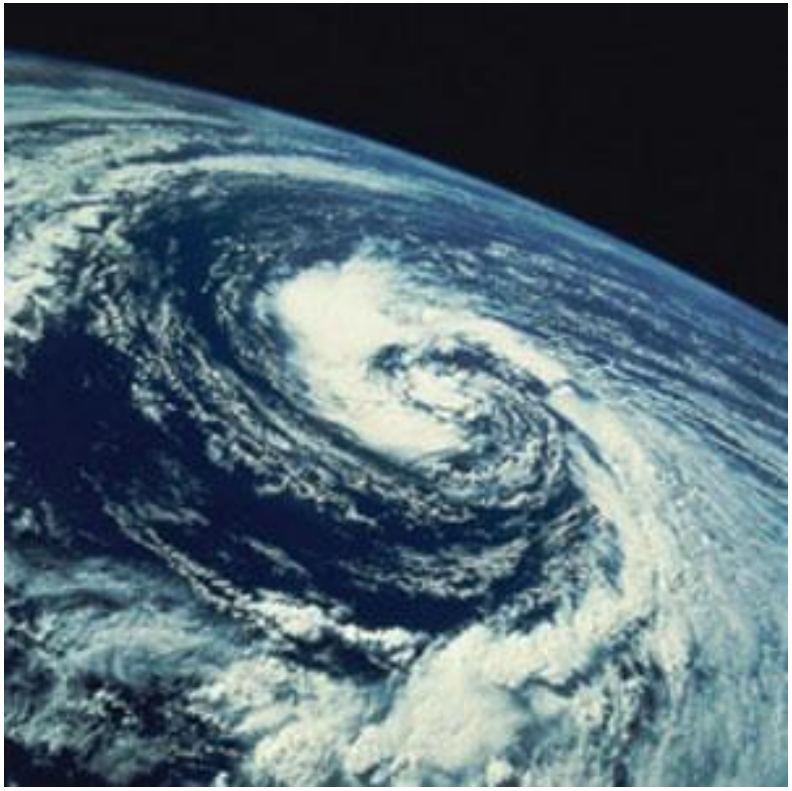
Загальна геохімічна характеристика планети Земля та її геосфер:

Гідро-, атмо-, біо- та техносфери Землі

Атмосфера

4. Наявність потужної атмосфери





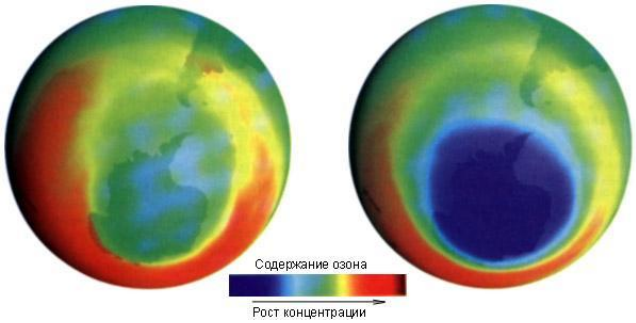
Основные составляющие *атмосферы Земли* – азот и кислород. Остальные газы: водяной пар, углекислота, неон, метан, водород и другие – составляют около 1 %. Давление атмосферы на уровне моря – 1 атм = 101325 Па = 760 мм рт. ст.

Головні особливості Землі як планети:

4. Наявність потужної атмосфери

Поглощение электро-магнитного излучения атмосферой.

Земная атмосфера не пропускает жесткое коротковолновое излучение. Одним из важнейших газов, поглощающих ультрафиолетовые лучи, является озон. Из-за ухудшения экологической обстановки, прежде всего, из-за выброса в атмосферу фреона и других активных веществ, его количество резко уменьшилось, над Антарктидой и некоторыми другими районами Земли образовались *озоновые дыры*. Справедливости ради заметим, что существует другое мнение, заключающееся в том, что озоновые дыры – одно из проявлений солнечной активности.

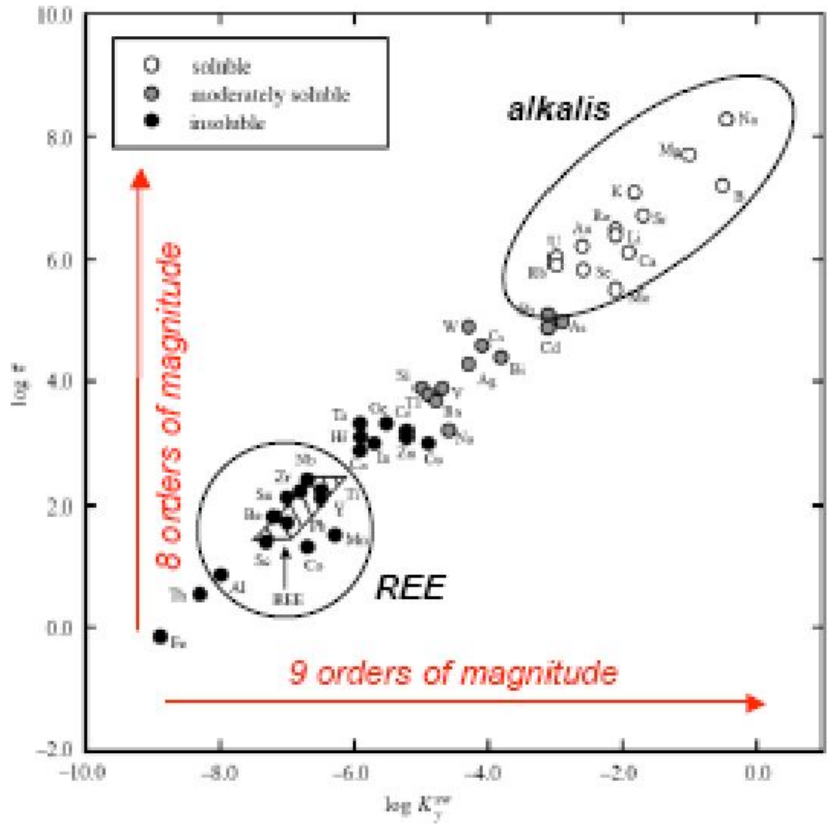


Головні особливості Землі як планети:

5. Наявність гідросфери

Жидкая оболочка Земли, которая занимает 361 млн. км2 или 70,8 % поверхности Земли, называется *гидросферой*. В океанах Земли сосредоточено 97 % всех запасов воды (около 10^{21} кг). Часть воды находится в виде льда и снега в полярных шапках, а также в атмосфере. Средняя глубина Мирового океана – 3 900 м, максимальная глубина – 11 000 м (Марианский желоб в Тихом океане).

Weathering & Solubility



The partition coefficient for some element *y* between **seawater** (*SW*) and the **upper crust** (*UC*) is:

$$K_y = X_y^{SW} / X_y^{UC}$$

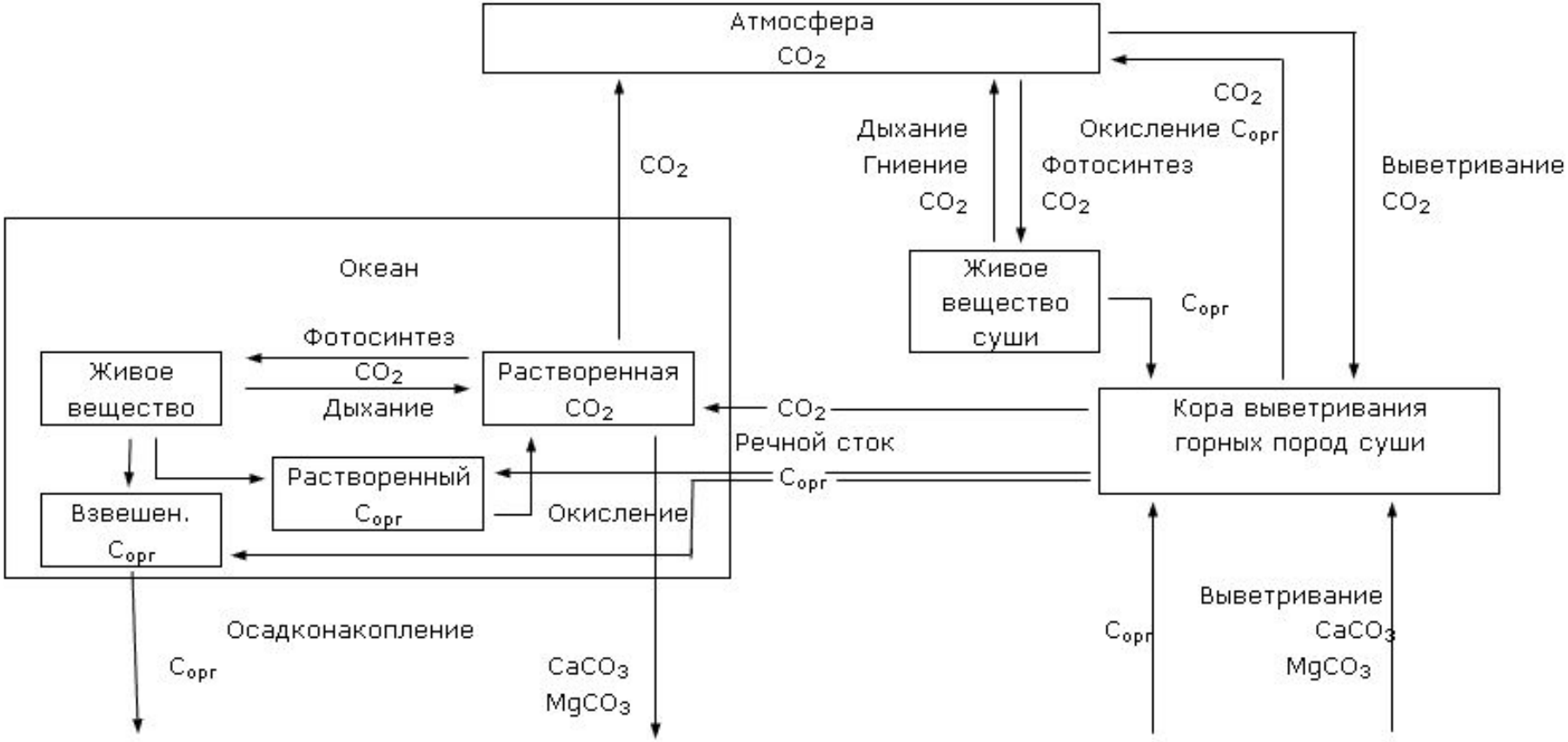
The residence time τ of an element in the ocean is a function of the mass of element *y* in the oceans (M_y) and the annual mean flux of element *y* through the oceanic reservoir (F_y):

$$\tau_y = M_y / F_y$$

- Elemental fractionation occurs during weathering:
  - Elements with **high solubilities** in natural waters (e.g. Na, Mg, K, Sr) have a greater potential to be fractionated during sedimentary processing (i.e. they will not be representative of their source composition).
  - A number of elements have very **low solubilities** in waters (e.g. REE) and their concentrations in sedimentary rocks provide robust estimates of the average composition of their source regions.

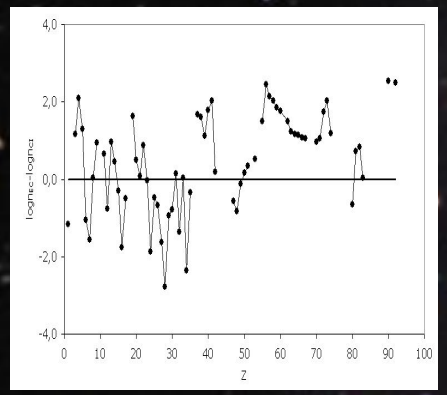
Determine averages of the composition of insoluble elements in fine-grained clastic rocks or glacial deposits and use them to infer upper crust composition.

Біосфера



Замкнута частина круговорота углерода в биосфере

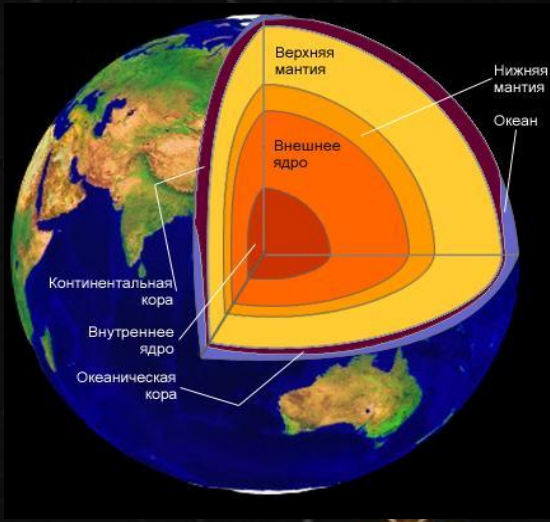
[Ярошевский]



ОСНОВИ ГЕОХІМІЇ

С. Є. Шнюков

Лекції **17**

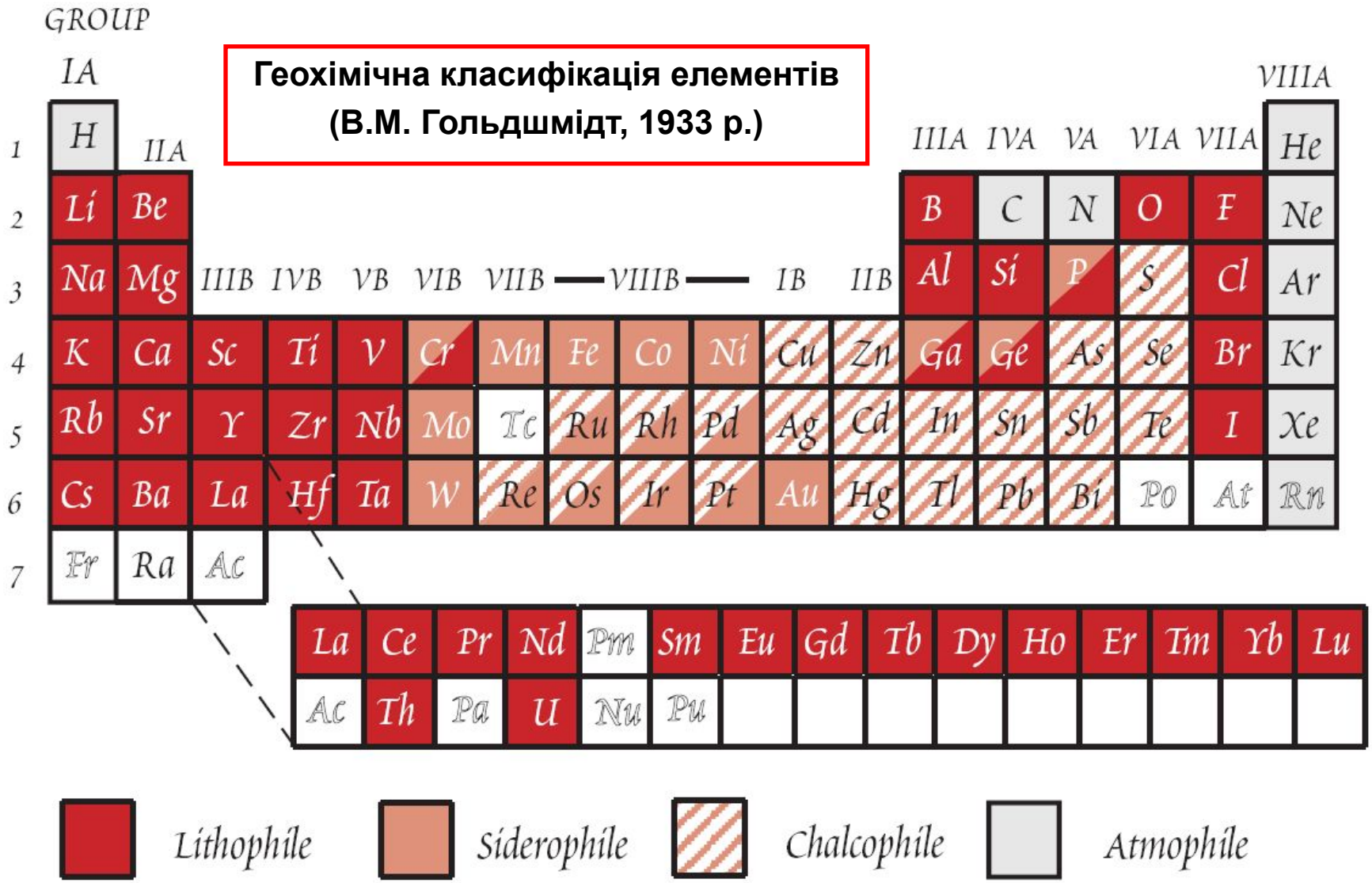


Фактори, які контролюють розподіл хімічних елементів в геосферах Землі:

Головні поняття
та засоби, що використовуються
в дослідженні розподілу елементів

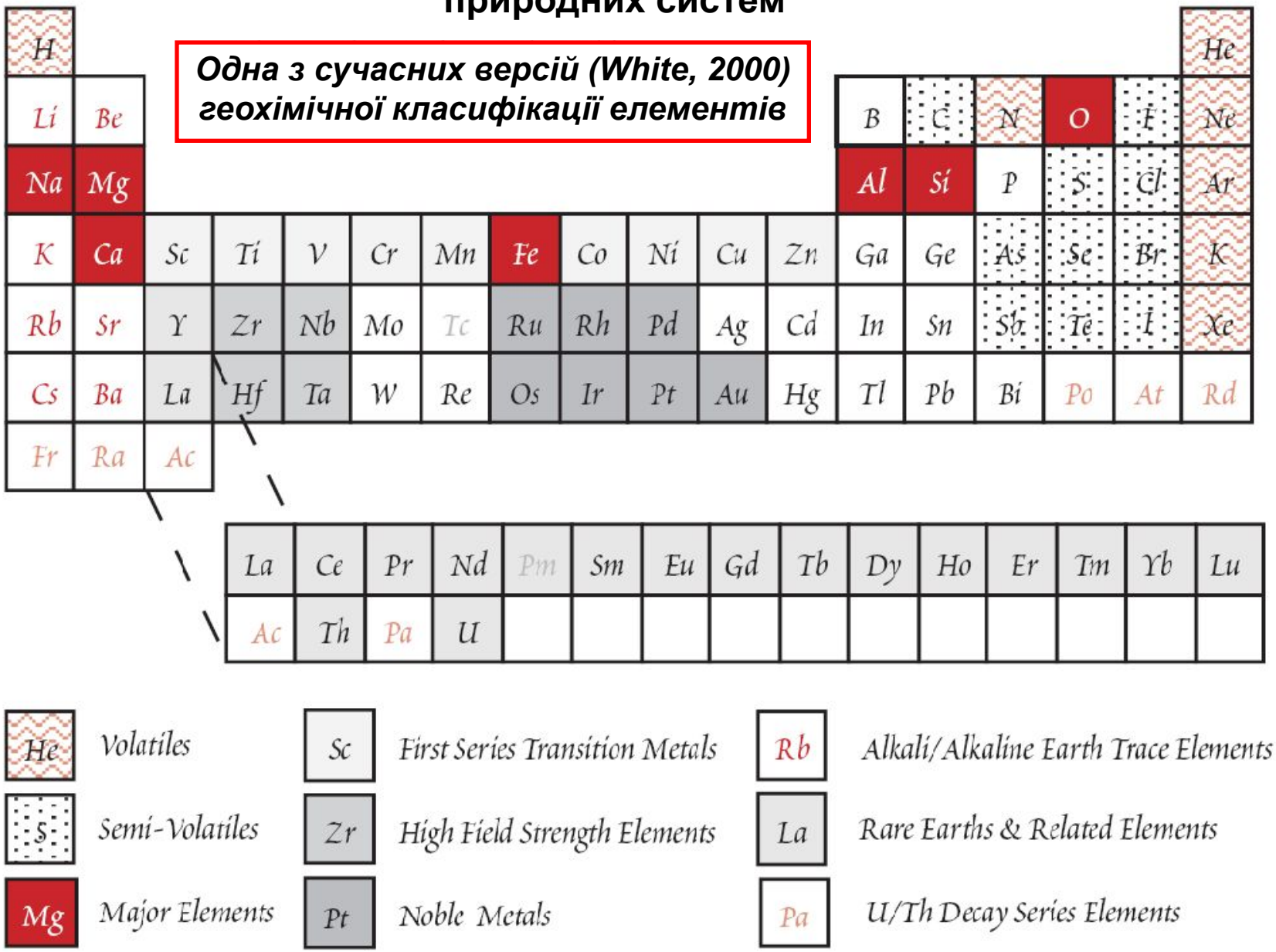
Поняття про макро- та мікроелементи (макро- та мікрокомпоненти) природних систем

Геохімічна класифікація елементів (В.М. Гольдшмідт, 1933 р.)

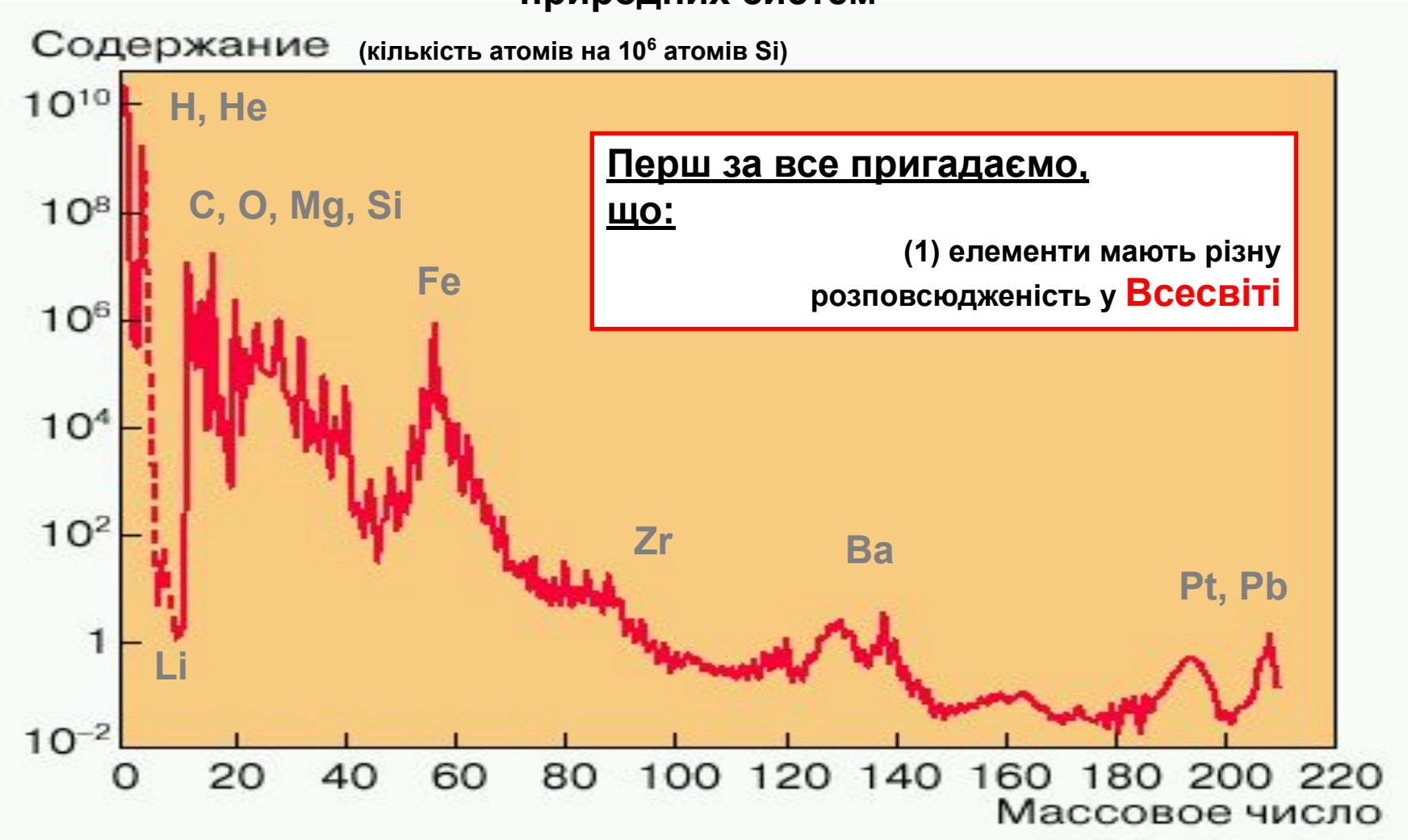


Поняття про макро- та мікроелементи (макро- та мікрокомпоненти) природних систем

Одна з сучасних версій (White, 2000) геохімічної класифікації елементів

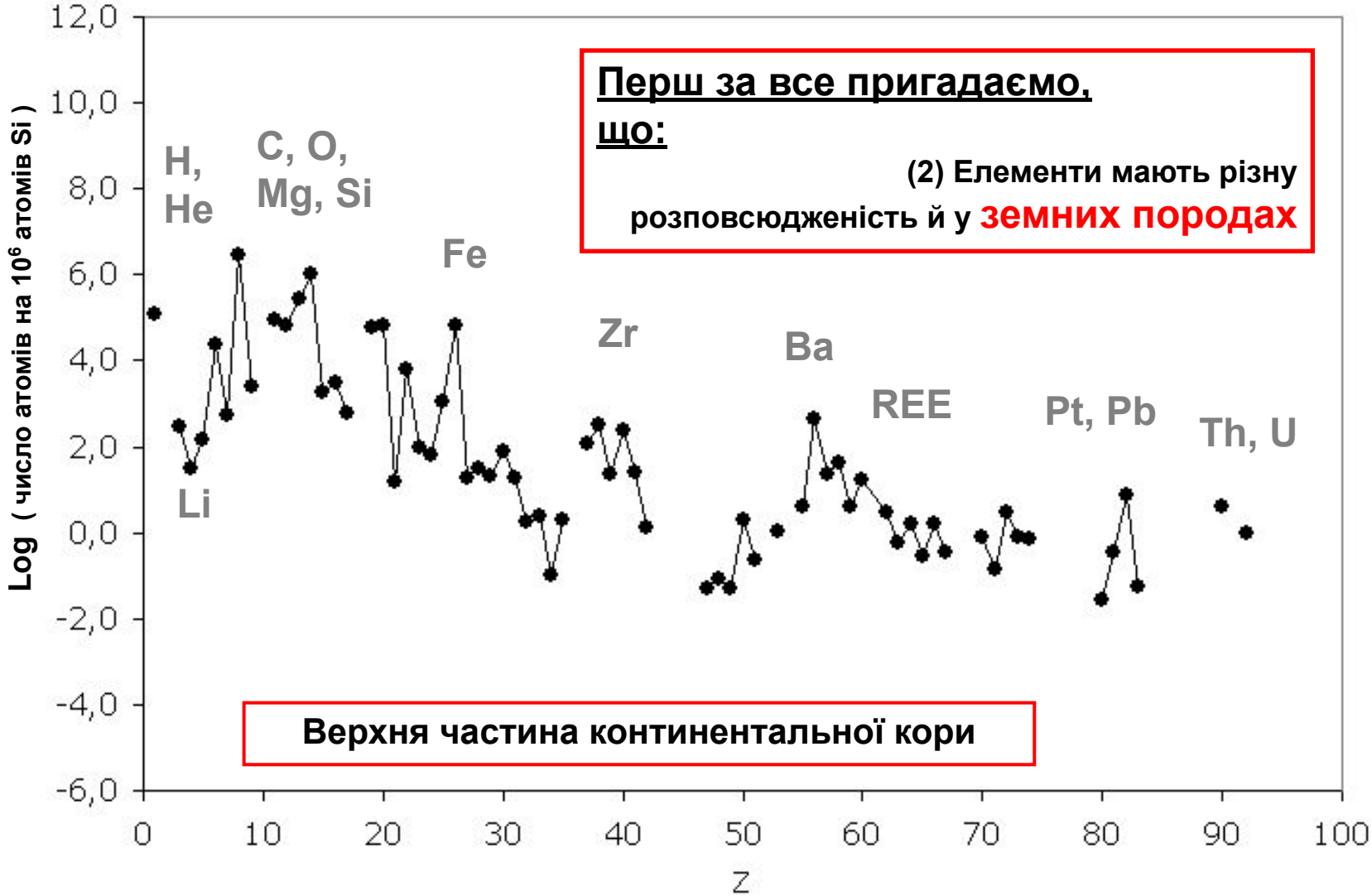


Поняття про макро- та мікроелементи (макро- та мікрокомпоненти) природних систем



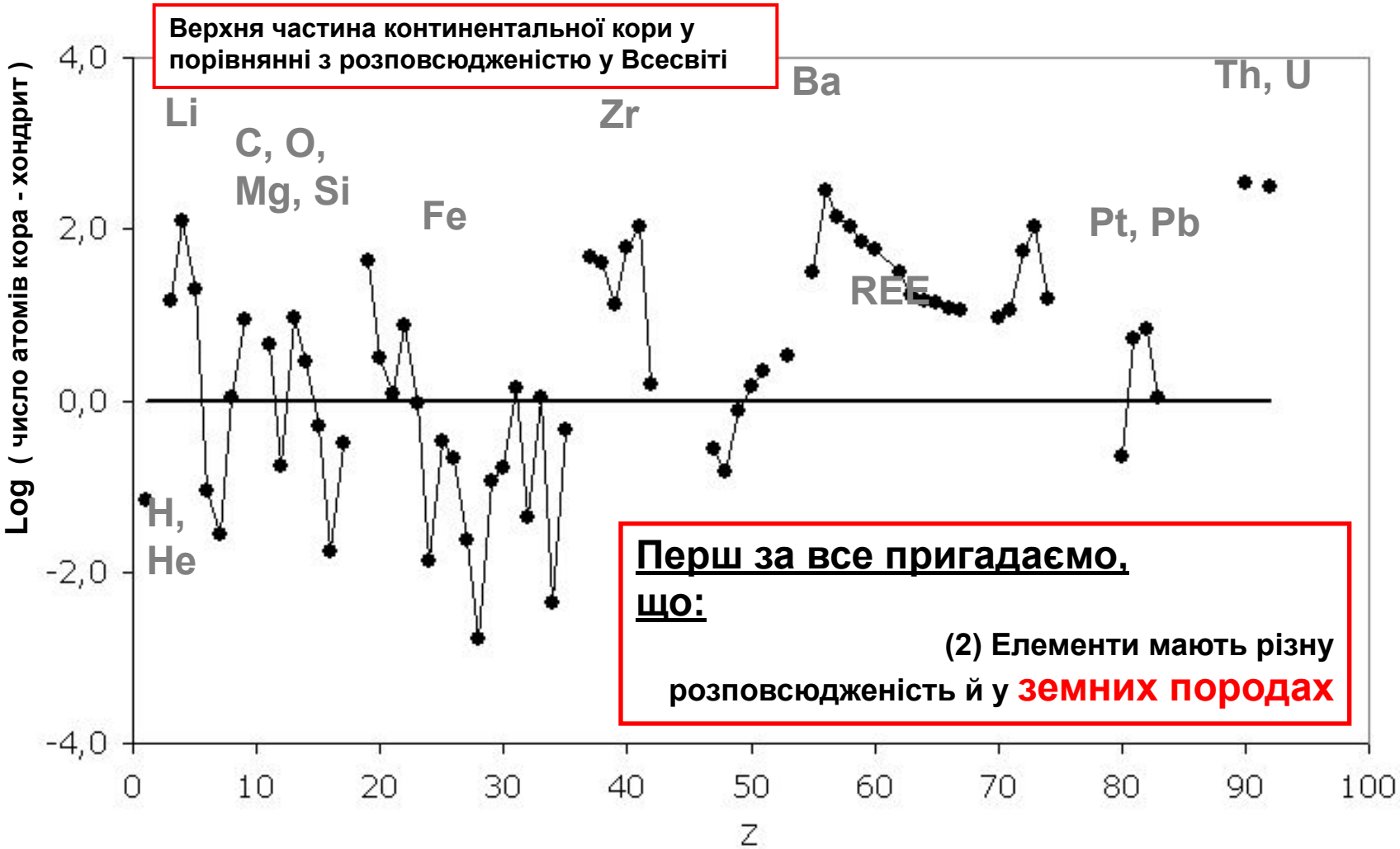
Так, для Сонця, кам'яних метеоритів (хондритів) та загалом для Всесвіту встановлено максімуми H, He та закономірне зниження розповсюдженості з зростанням Z.

Поняття про макро- та мікроелементи (макро- та мікрокомпоненти) природних систем



Зауважимо, що для верхньої континентальної кори загалом картина схожа, але є й суттєві відхилення.

Поняття про макро- та мікроелементи (макро- та мікрокомпоненти) природних систем

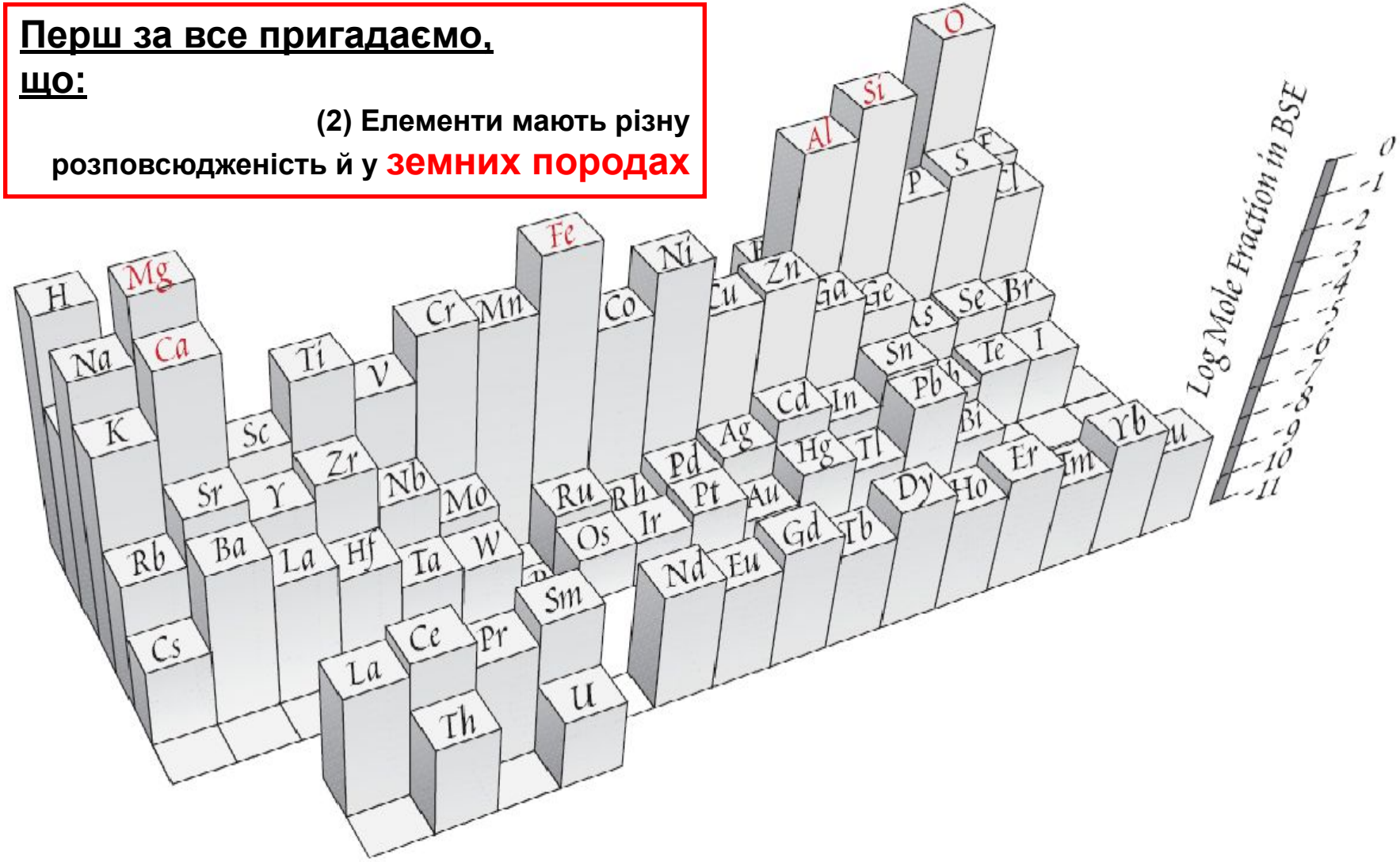


Ці суттєві відхилення для верхньої континентальної кори добре помітні при порівнянні її складу з вмістом елементів у хондритах (~ Всесвіт ~ Сонце)

Поняття про макро- та мікроелементи (макро- та мікрокомпоненти) природних систем

<u>Перш за все пригадаємо, що:</u>

(2) Елементи мають різну розповсюдженість й у земних породах



Треба зауважити, що обсяги груп <u>“major elements”</u> та <u>“trace elements”</u> змінюються в залежності від геологічних утворень, що розглядаються геохімією (верхня кора, мантія, ядро, граніти, базальти тощо).

Поняття про макро- та мікроелементи (макро- та мікрокомпоненти) природних систем

<u>Перш за все пригадаємо, що:</u>

(2) Елементи мають різну розповсюдженість й у земних породах

Треба зауважити, що обсяги груп <u>“major elements”</u> та <u>“trace elements”</u> змінюються в залежності від геологічних утворень, що розглядаються геохімією (верхня кора, мантія, ядро, граніти, базальти тощо).

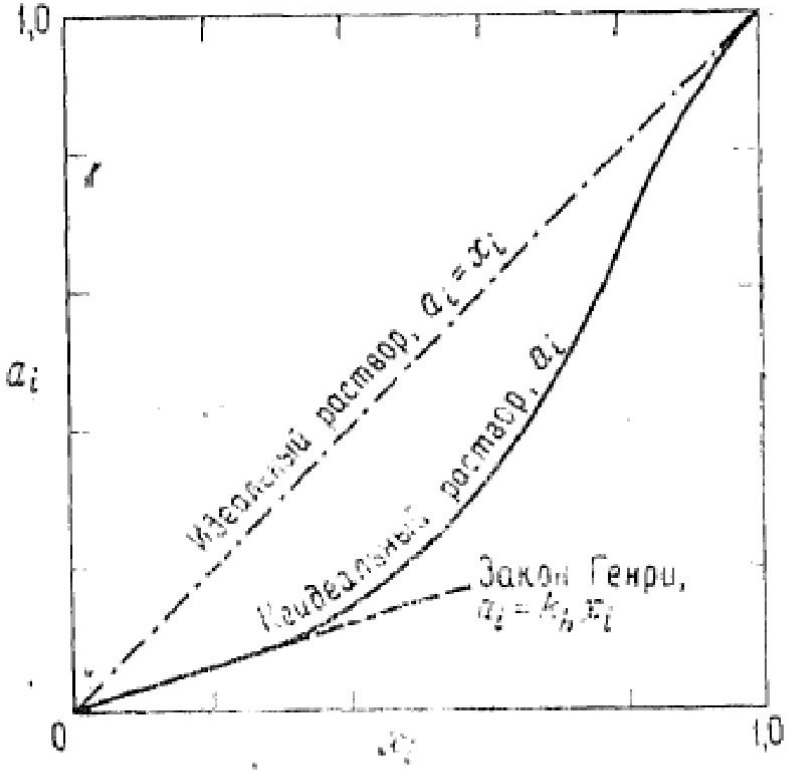


Рис. 7.1. Пример соотношения активность/состав для компонента i, ведущего себя в растворе неидеально, но подчиняющегося закону Генри в ограниченном диапазоне концентраций. Идеальное поведение показано для сравнения. Активность отложена по ординате.

Коефіцієнти розподілу елементів

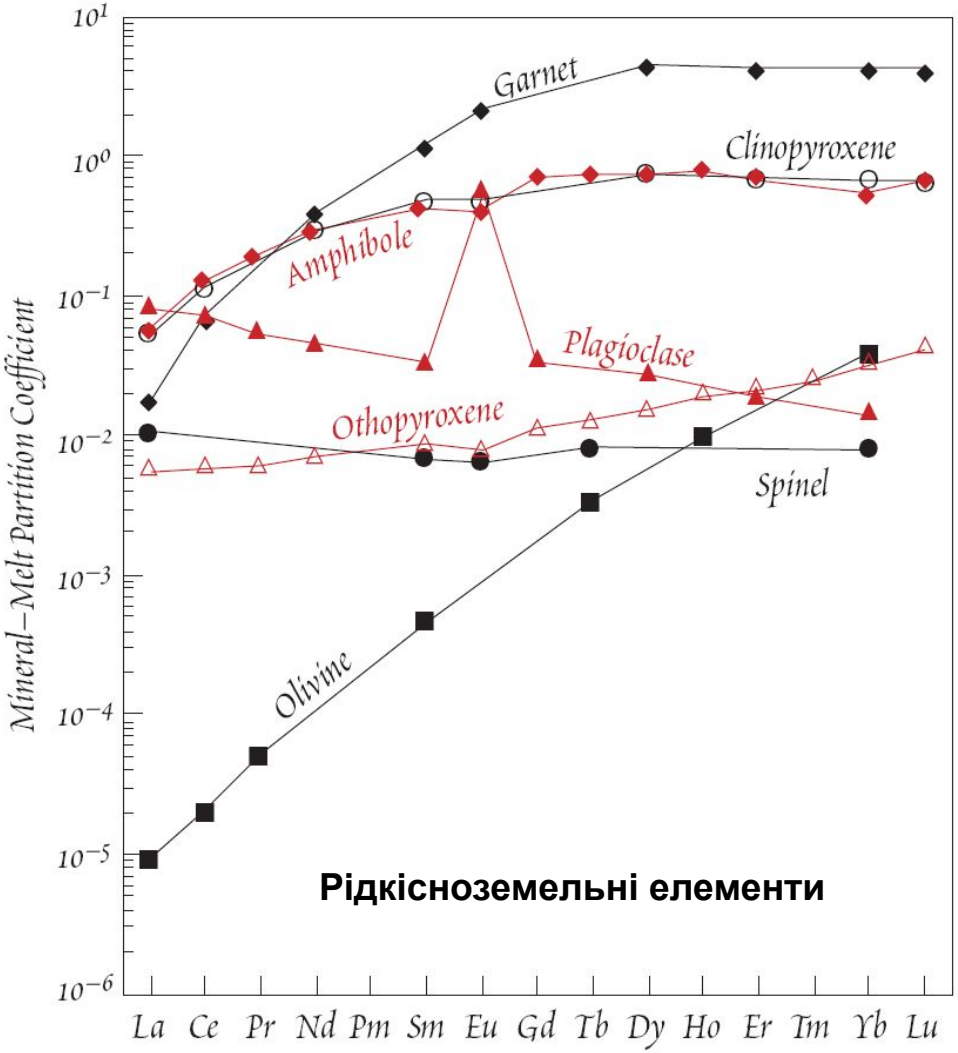
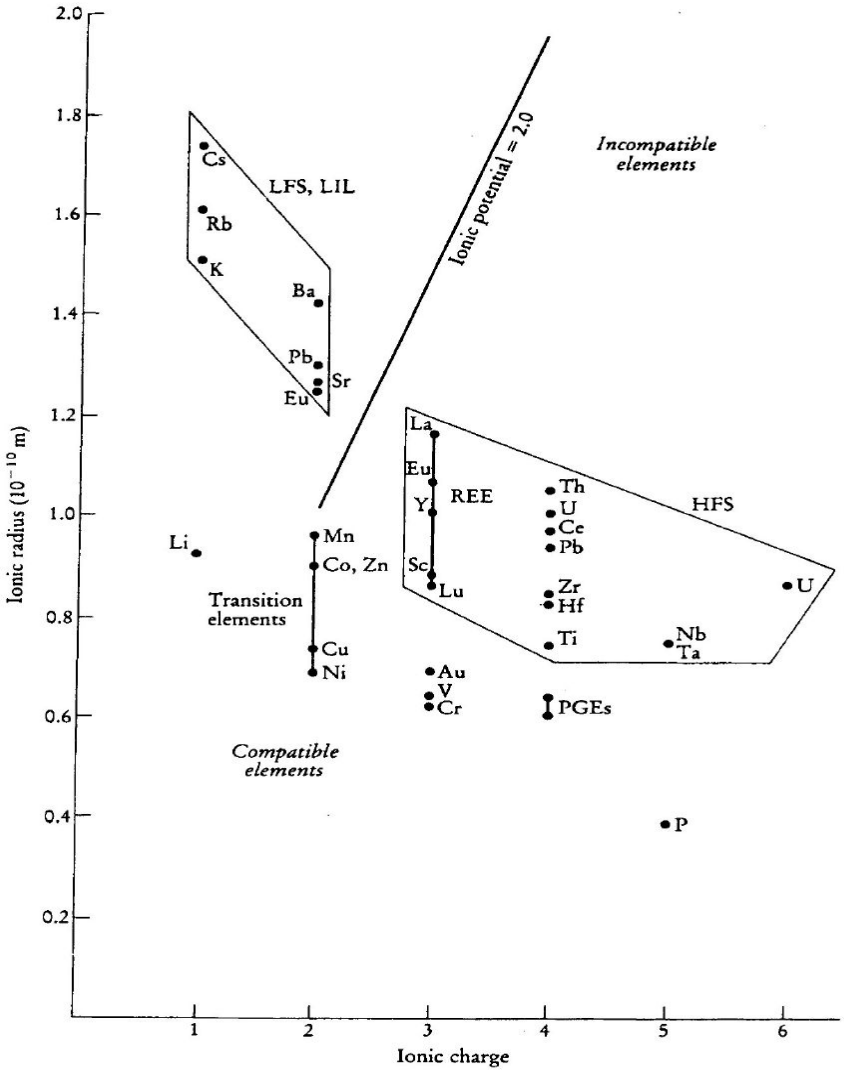


Figure 7.15. Rare earth mineral–melt partition coefficients for mafic magmas. Data from Table 7.5.

$$D_i^{s/\ell} = \frac{C_i^s}{C_i^\ell}$$

$$\boxed{D_i^{\alpha/\beta} = \frac{C_i^\alpha}{C_i^\beta}}$$

Коефіцієнти розподілу елементів



Plot of ionic radiius vs ionic charge for trace elements of geological interest. An ionic potential (charge/size ratio) of 2.0 subdivides the incompatible elements into low field strength (LFS) elements, also known as large ion lithophile elements (LIL) and high field strength elements (HFS). Compatible elements are placed towards the bottom, left-hand corner of the diagram. The ionic radii are from Shannon (1976) and are quoted for eight-fold coordination to allow a comparison between elements. Some of the first transition series metals (transition elements) and the PGE elements, are quoted for six-fold coordination.

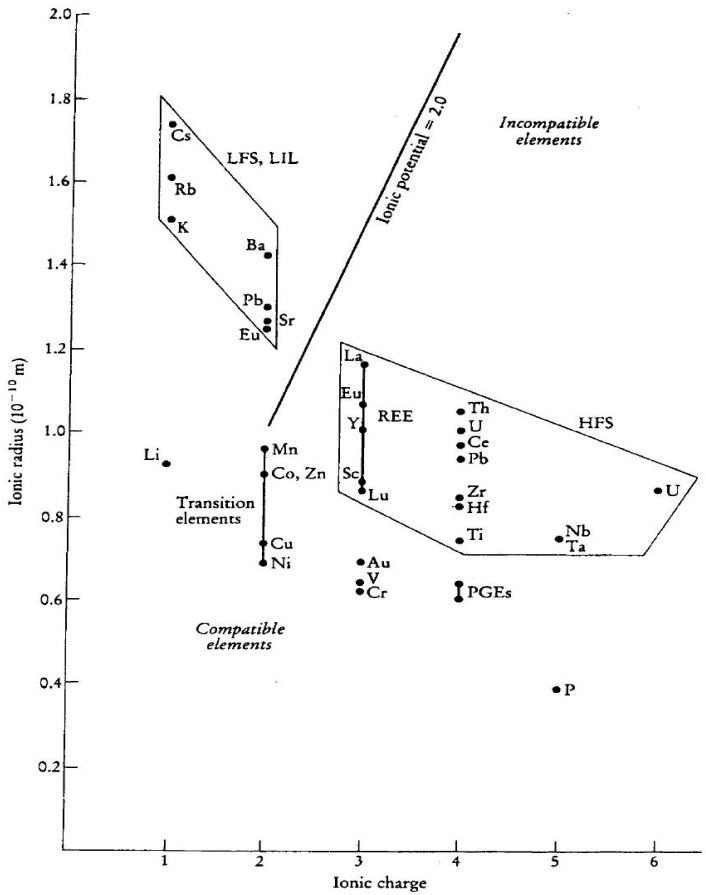
$$D_i^{s/\ell} = \frac{C_i^s}{C_i^\ell}$$

$$\boxed{D_i^{\alpha/\beta} = \frac{C_i^\alpha}{C_i^\beta}}$$

Коефіцієнти розподілу елементів

Комбінований коефіцієнт розподілу елементів:

$\bar{k} = \alpha^a k^a + \alpha^b k^b + \alpha^c k^c + \ldots + \alpha^n k^n$, где α^i — массовая доля данного минерала с коэффициентом распределения k^i.



$$D_i^{\alpha/\beta} = \frac{C_i^{\alpha}}{C_i^{\beta}}$$

$$D_i^{s/\ell} = \frac{C_i^{s}}{C_i^{\ell}}$$

Нормалізація (нормування) концентрацій: рідкісноземельні елементи

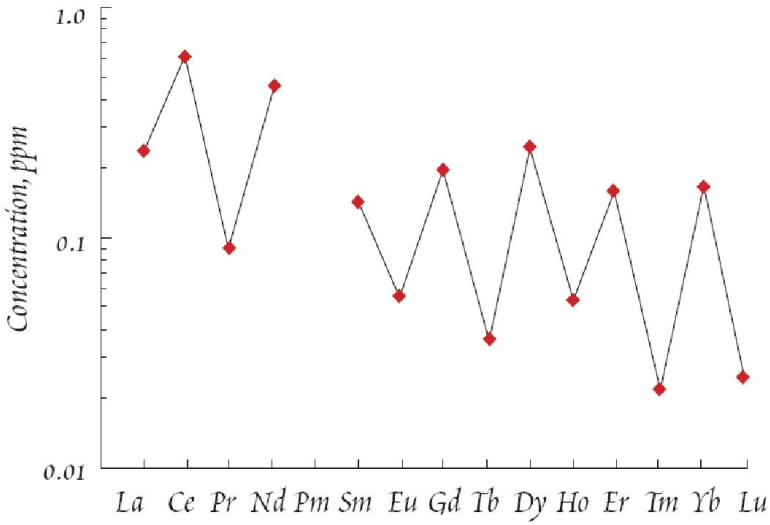


Figure 7.6. Concentrations of the rare earths in the carbonaceous chondritic meteorite Orgueil.

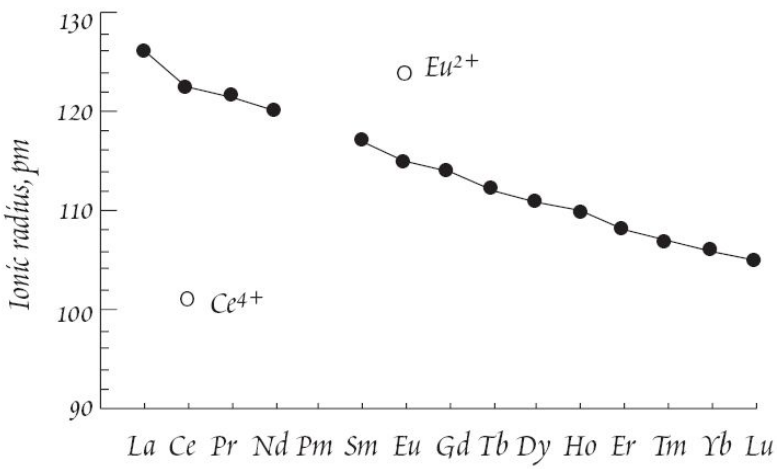
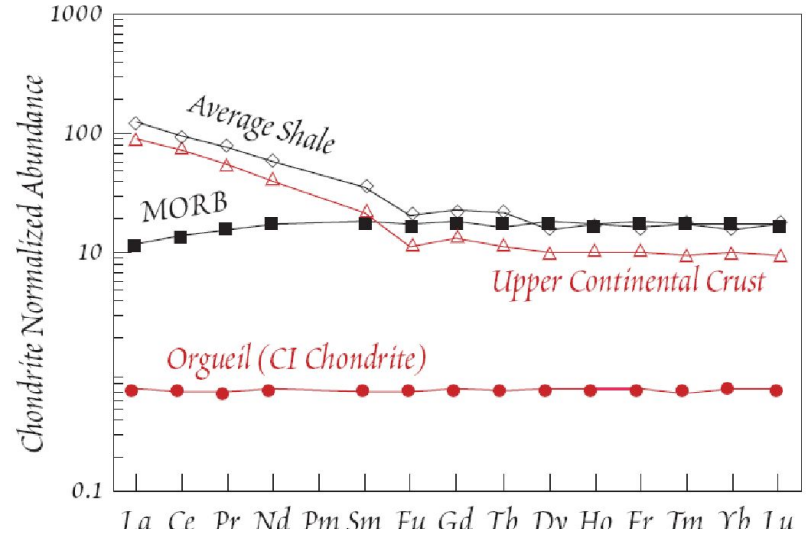


Figure 7.5. Ionic radii of the lanthanide rare earth elements (3+ state except where noted). Promethium (Pm) has no isotope with a half-life longer than 5 years.



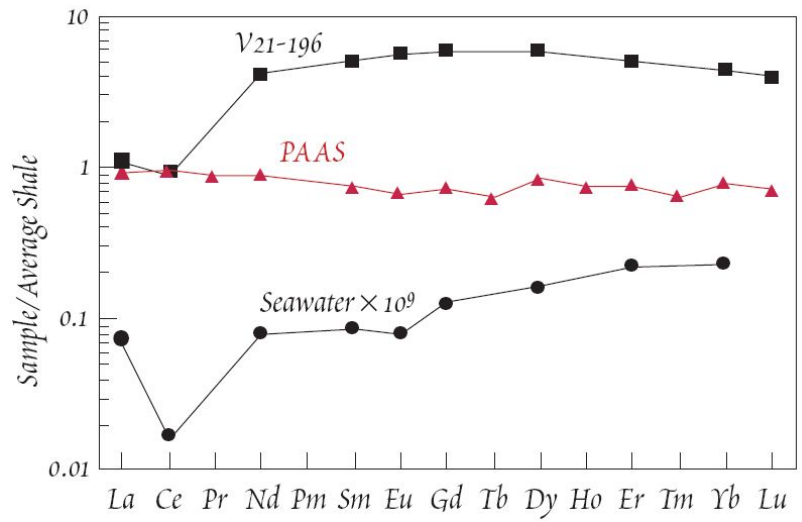


Figure 7.8. Shale-normalized REE earth patterns of a Pacific pelagic sediment (V21-196; Ben Othman et al., 1989), the Post-Archean shale composite (McLennan, 1989), and typical seawater (Elderfield and Greaves, 1982). Both the pelagic sediment and seawater display a negative Ce anomaly, a consequence of Ce being in the +4 oxidation state.

Нормалізація (нормування) концентрацій: рідкісноземельні елементи

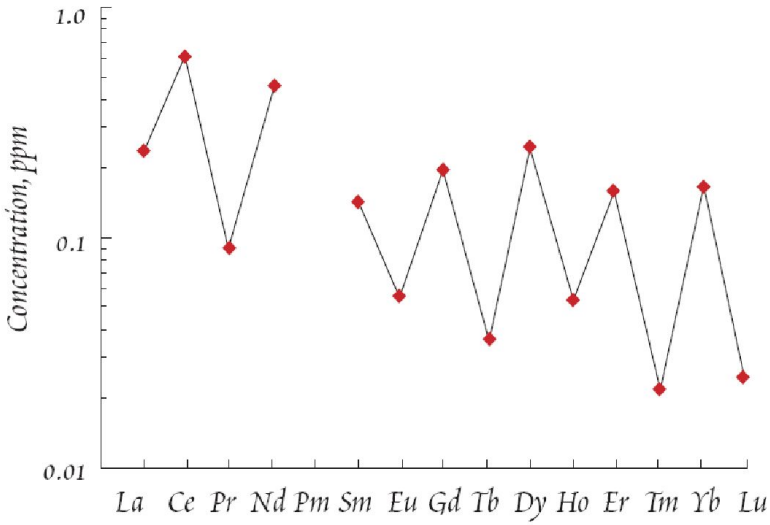


Figure 7.6. Concentrations of the rare earths in the carbonaceous chondritic meteorite Orgueil.

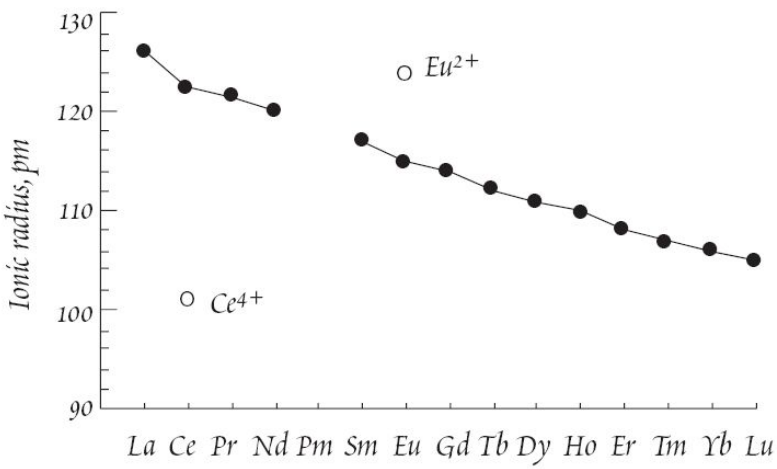


Figure 7.5. Ionic radii of the lanthanide rare earth elements (3+ state except where noted). Promethium (Pm) has no isotope with a half-life longer than 5 years.

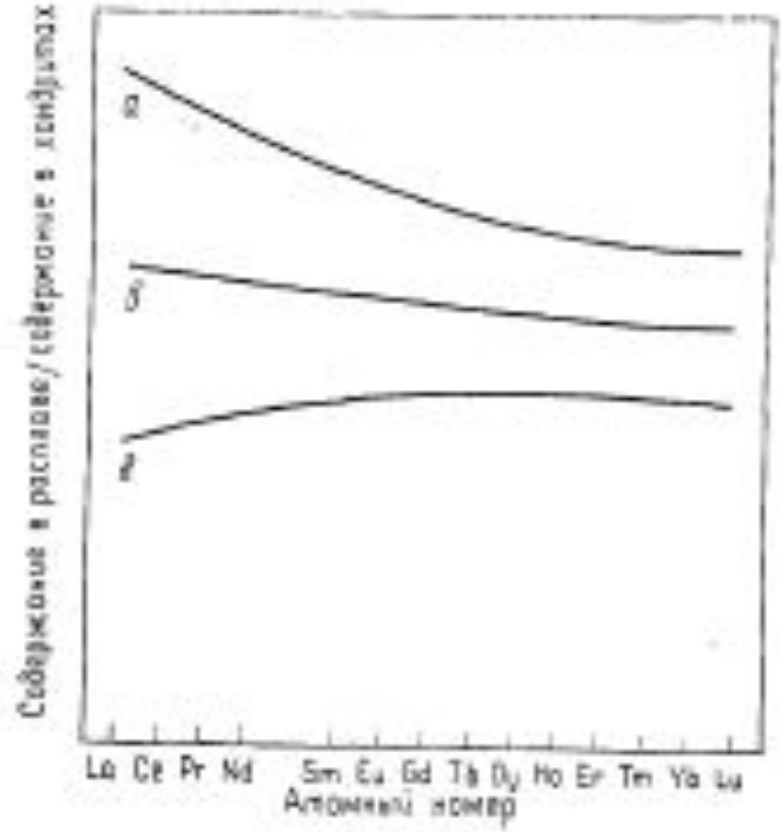


Рис. 6.12. Схематический график нормированных по хондритам концентраций р. з. э. в расплавах на последовательных стадиях фракционного плавления оливин-клинопироксен-плагиоклазового источника. Показаны спектры для первой порции расплава (*а*) и последующих фракций расплава (*б* и *в*) (см. текст).

Періодична система та геохімічна класифікація хімічних элементів:

Рідкісноземельні елементи

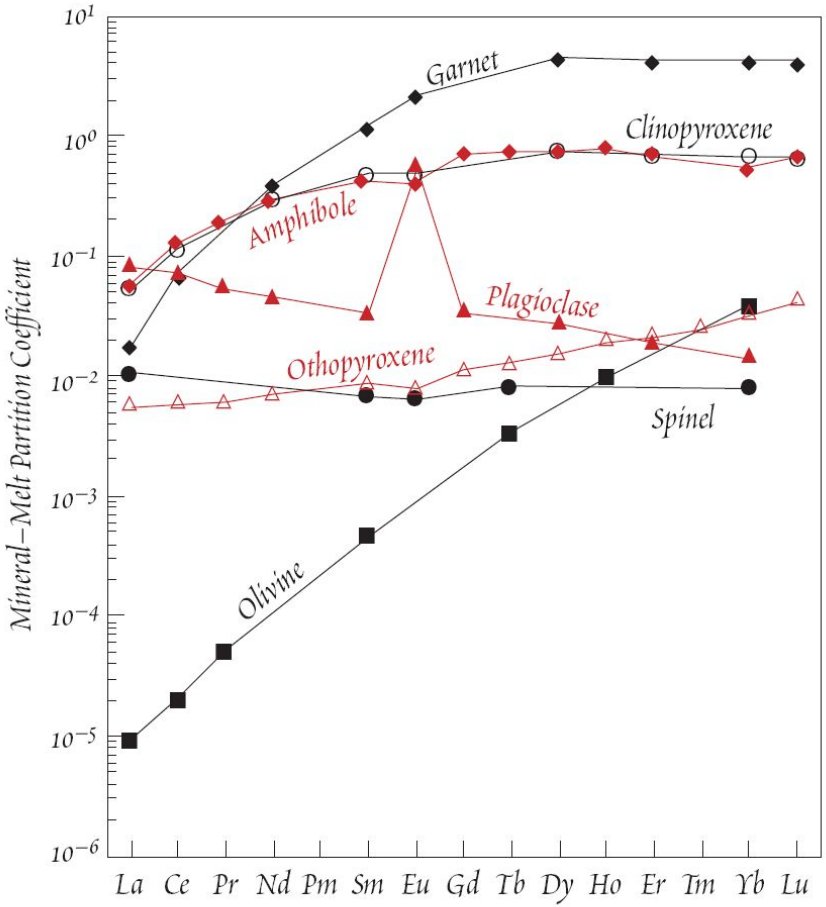
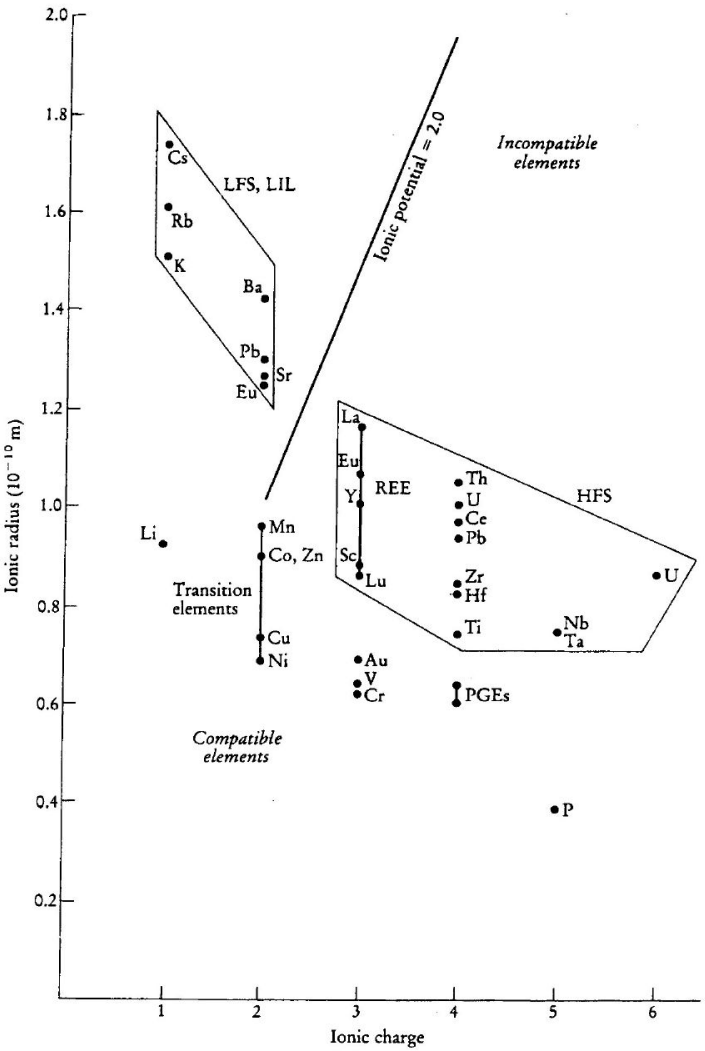


Figure 7.15. Rare earth mineral–melt partition coefficients for mafic magmas. Data from Table 7.5.

$$D_i^{s/\ell} = \frac{C_i^s}{C_i^\ell}$$

$$\boxed{D_i^{\alpha/\beta} = \frac{C_i^\alpha}{C_i^\beta}}$$

Геохімічна класифікація хімічних элементів



Plot of ionic radiius vs ionic charge for trace elements of geological interest. An ionic potential (charge/size ratio) of 2.0 subdivides the incompatible elements into low field strength (LFS) elements, also known as large ion lithophile elements (LIL) and high field strength elements (HFS). Compatible elements are placed towards the bottom, left-hand corner of the diagram. The ionic radii are from Shannon (1976) and are quoted for eight-fold coordination to allow a comparison between elements. Some of the first transition series metals (transition elements) and the PGE elements, are quoted for six-fold coordination.

$$D_i^{s/\ell} = \frac{C_i^s}{C_i^\ell}$$

$$\boxed{D_i^{\alpha/\beta} = \frac{C_i^\alpha}{C_i^\beta}}$$