



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Χημική Ωκεανογραφία

Ενότητα 1: Χημική σύσταση της θάλασσας

Εμμανουήλ Δασενάκης  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Χημείας

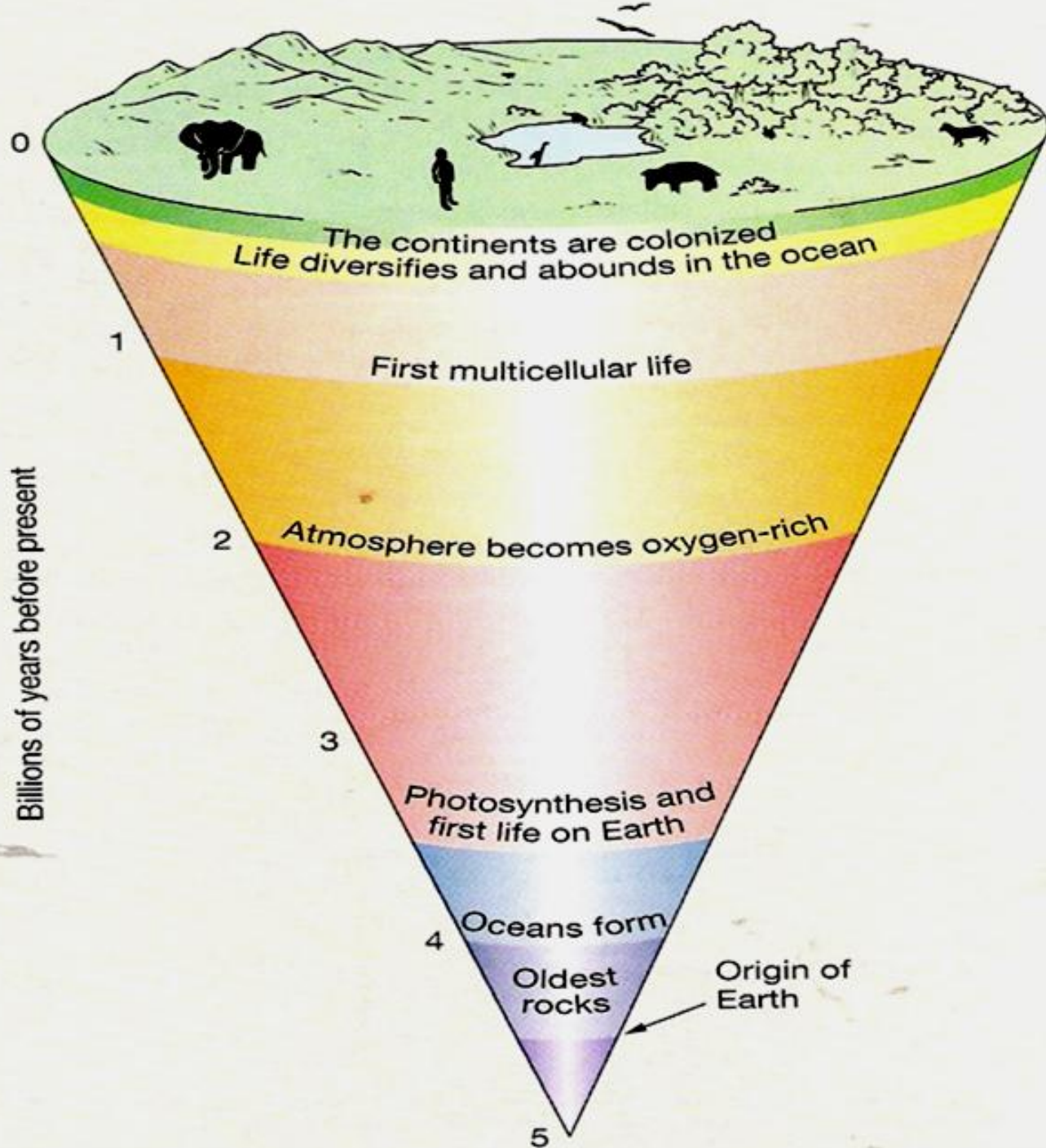
An aerial photograph of the ocean, showing deep blue water with small whitecaps. The horizon is visible in the middle of the frame, and the sky is a clear, light blue. The text is overlaid on the image.

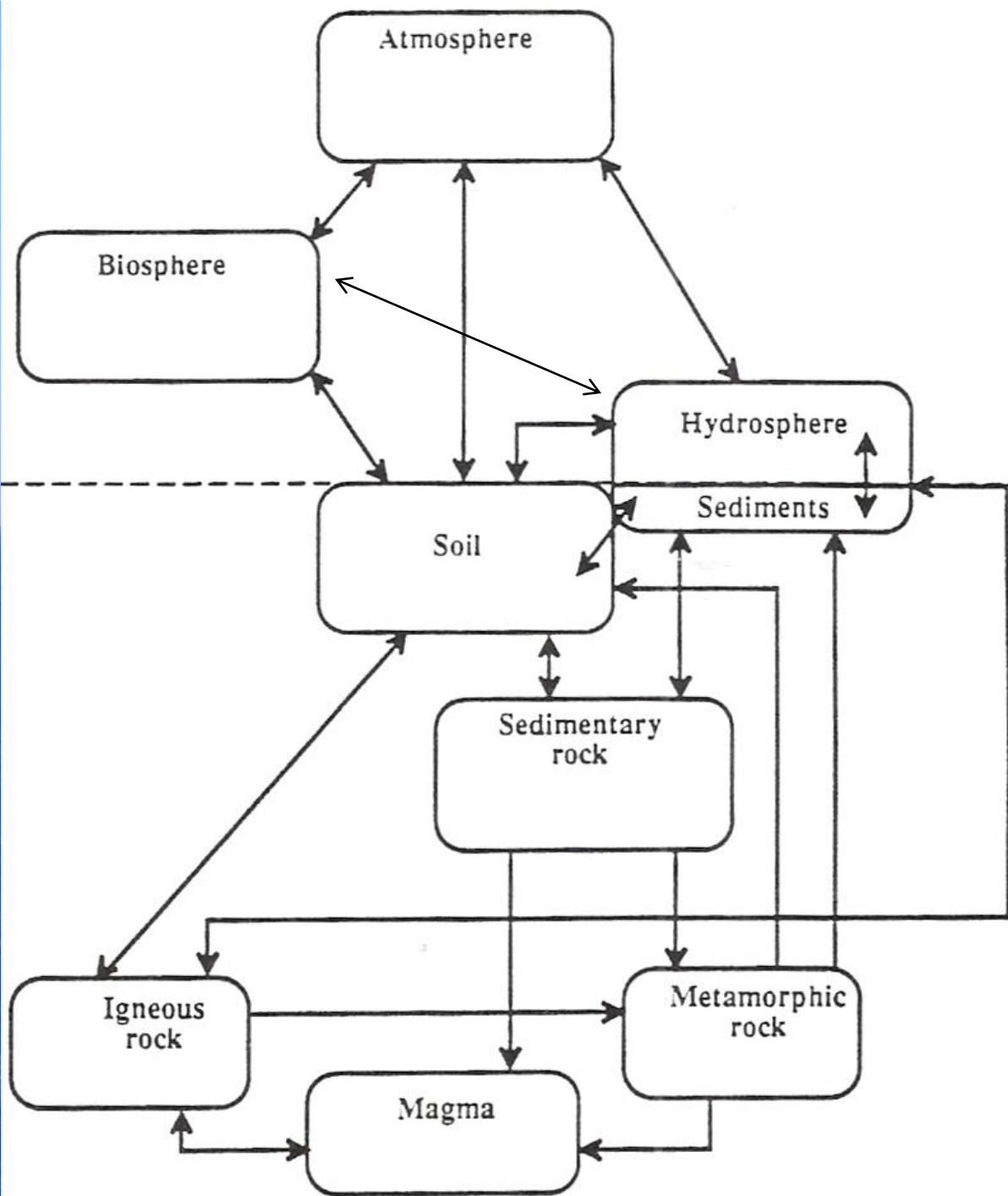
**Marine chemistry**

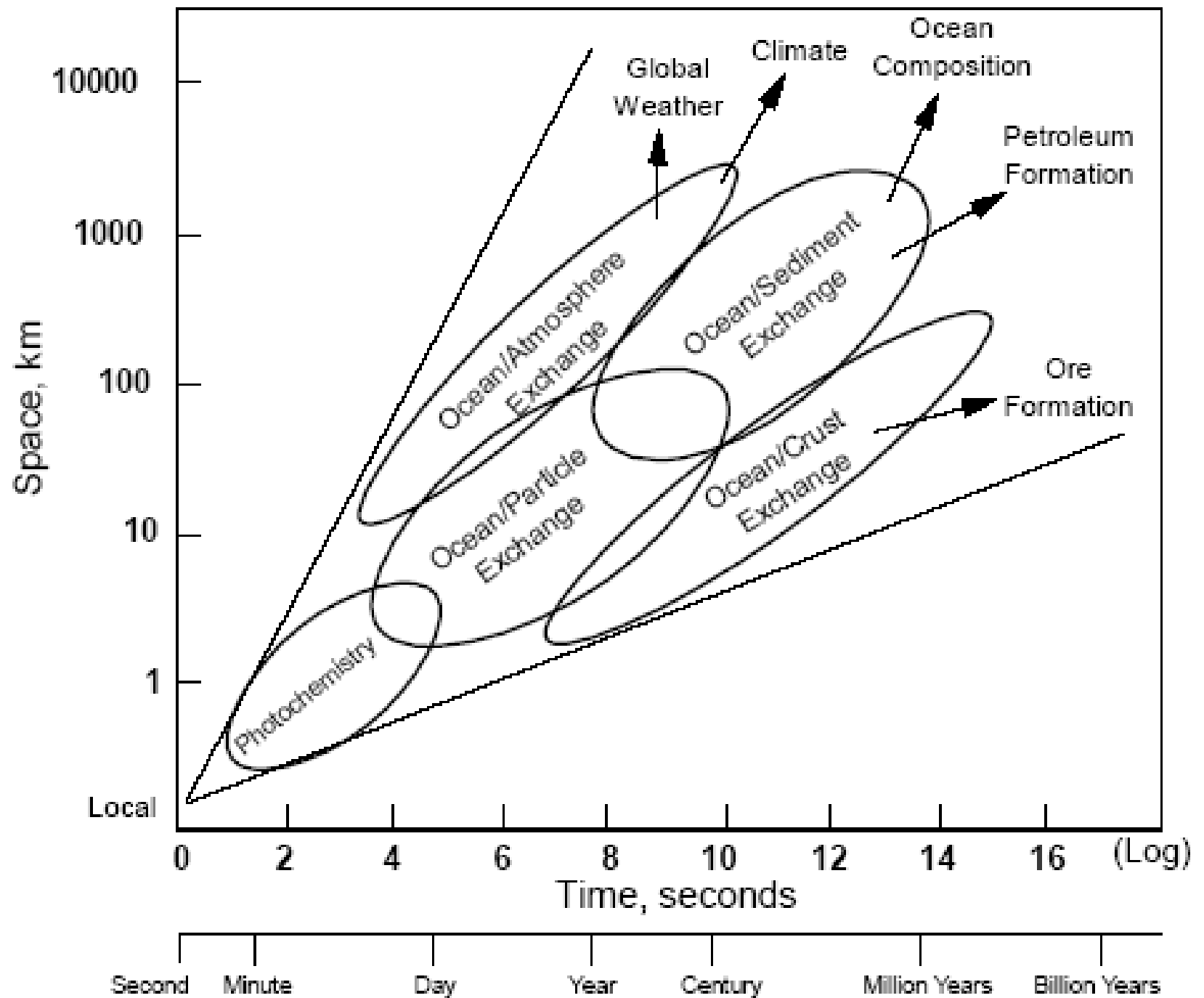
**Ocean composition**

**Marcet, Sillen etc**





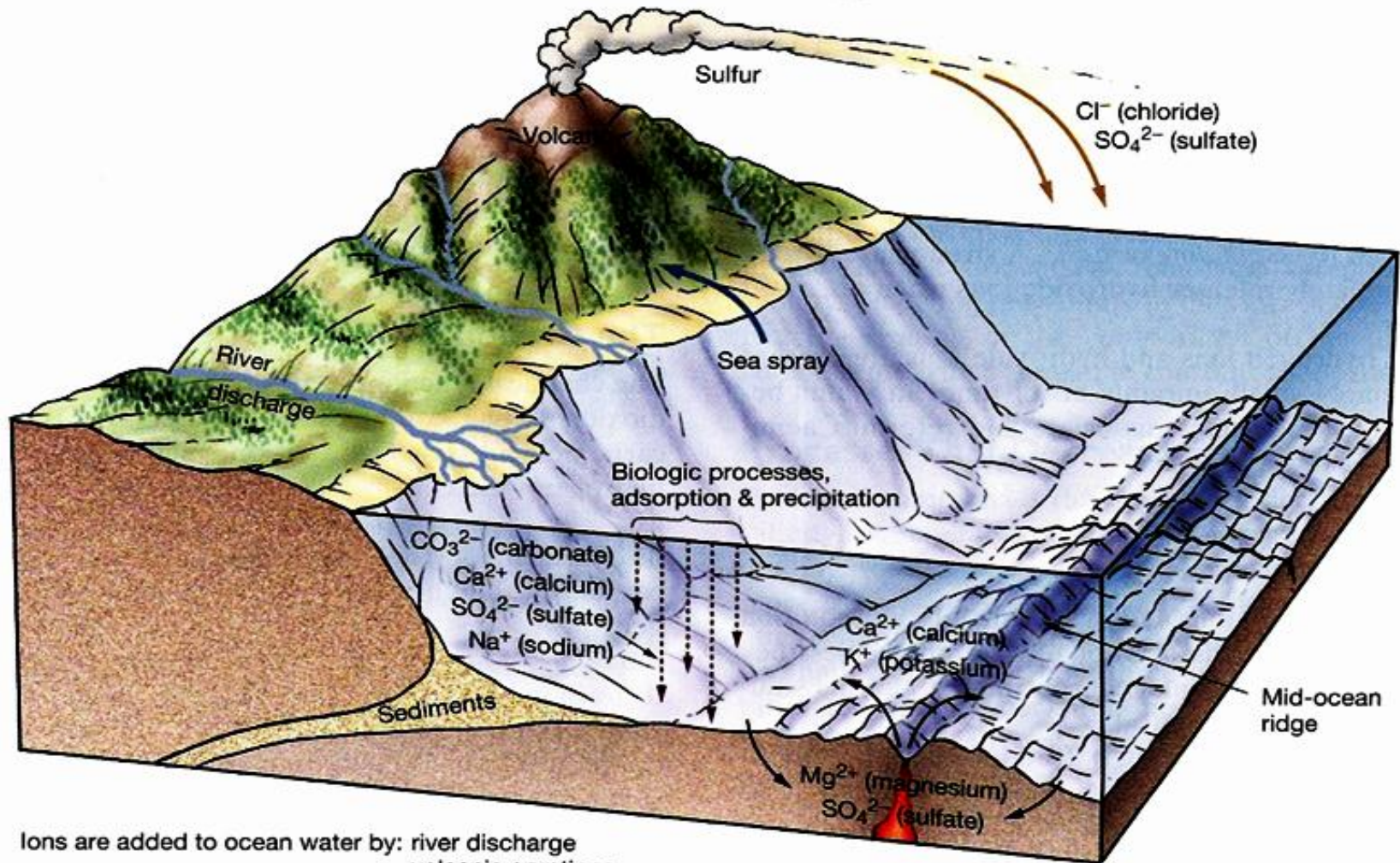




<b>Ion</b>	<b>Concentration / mg dm<sup>-3</sup></b>	<b>% by mass of the total dissolved solids</b>	<b>Concentration / mol dm<sup>-3</sup></b>
Chloride, Cl <sup>-</sup>	19 000	55.04	0.535
Sodium, Na <sup>+</sup>	10 500	30.42	0.457
Sulfate(VI), SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2 655	7.69	0.028
Magnesium, Mg <sup>2+</sup>	1 350	3.91	0.056
Calcium, Ca <sup>2+</sup>	400	1.16	0.010
Potassium, K <sup>+</sup>	380	1.10	0.009 7
Carbonate, CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	140	0.41	0.002 3
Bromide, Br <sup>-</sup>	65	0.19	0.000 81
Borate, BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	20	0.06	0.000 34
Silicate, SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	8	0.02	0.000 11
Strontium, Sr <sup>2+</sup>	8	0.02	0.000 09
Fluoride, F <sup>-</sup>	1	0.003	0.000 05



# The Chemical Mass Balance for Seawater



Ions are added to ocean water by: river discharge  
volcanic eruptions  
hydrothermal activity at the mid-ocean ridge

Ions are removed from ocean water by: adsorption and precipitation  
sea spray  
biologic processes  
hydrothermal activity at the mid-ocean ridge

Sources:

Rivers  
Hydrothermal  
Wind/Rain  
Pore water flux

Sinks:

Sediment Burial  
Hydrothermal  
Volatilization/Sea-spray

$$d[C]_{sw} / dt = F_{atm} + F_{riv.} + F_{pf} - F_{sed} - F_{vol} \pm F_{hydro}$$

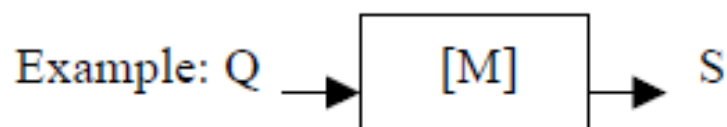
In the early days of chemical oceanography it was thought that, because of the long residence times involved, the major ion composition of seawater had been approximately constant over geological time and that chemical equilibrium might explain that composition. With the growth of the field of paleoceanography, it has become clear that there have probably been significant excursions in the composition of the ocean-atmosphere system (Berner et al., 1983; Berner, 1991) and that a kinetic or dynamic flux balance model is more appropriate for describing the ocean over geological time scales.





**Residence Time ( $\tau$ )** The residence time (also called turnover time) is defined as the ratio of the dissolved mass in a reservoir divided by the mass flux in or out of the reservoir. For example, using a simple model with one source and one sink,  $\tau$  can be thought of as the time it would take to fill the reservoir if the source ( $Q$ ) remained constant and the sink was zero (or vice-versa).

$$\tau = \text{mass} / \text{input or removal flux} = M / Q = M / S$$



$Q$  = input rate (e.g., moles  $\text{yr}^{-1}$ )

$S$  = output rate (e.g., moles  $\text{yr}^{-1}$ )

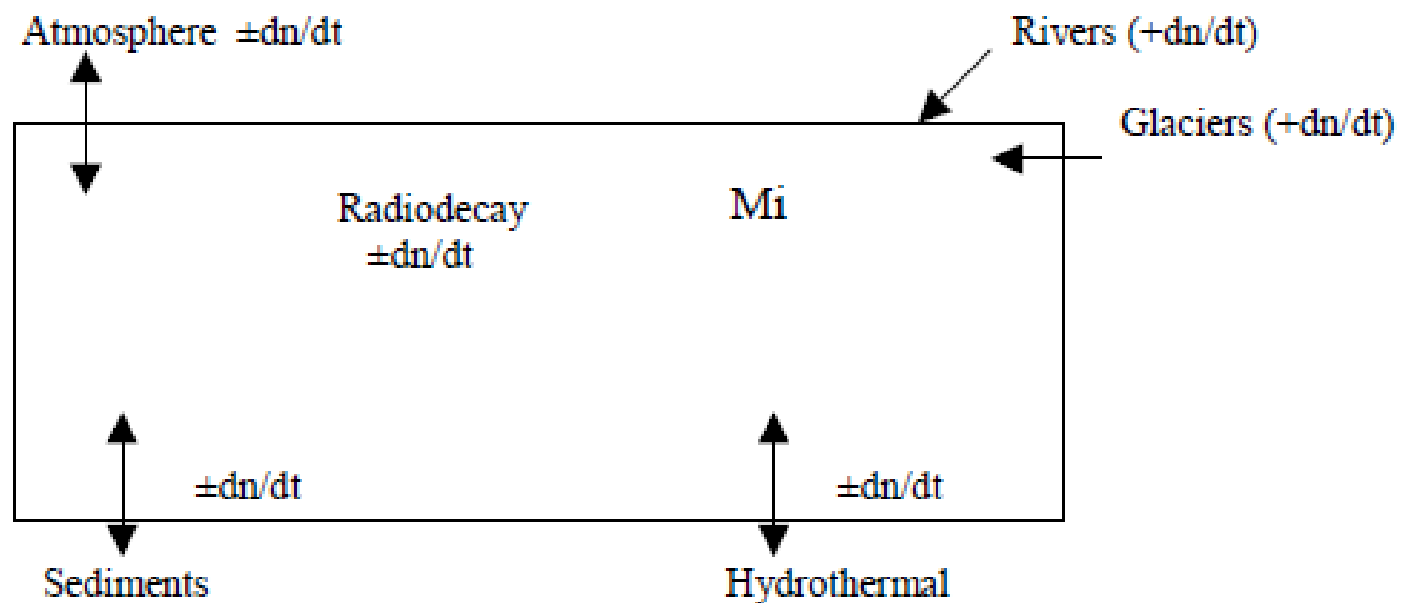
$[M]$  = total dissolved mass in the box (moles)

Από το Na ( $2.6 \times 10^8$  yr) έως το Al (100 yr)

- Οι μεγαλύτεροι χρόνοι αντιστοιχούν στα αλκάλια και τις αλκαλικές γαίες.
- Ενδιάμεσοι χρόνοι ( $10^3 - 10^4$  yr) Zn, Mn, Co, Cu.
- Οι μικρότεροι χρόνοι ( $10 - 10^3$  yr) για Al, Ti, Cr, Fe. Χρόνοι μικρότεροι από την ανάμειξη των θαλασσίων μαζών για 2 λόγους.
  - 1) Σωματιδιακή κατάσταση, 2) Ταχεία υδρόλυση και σωματιδιακή παγίδευση.







At steady state the dissolved concentration ( $M_i$ ) does not change with time:

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{ocean}} = \sum \frac{dn_i}{dt}$$

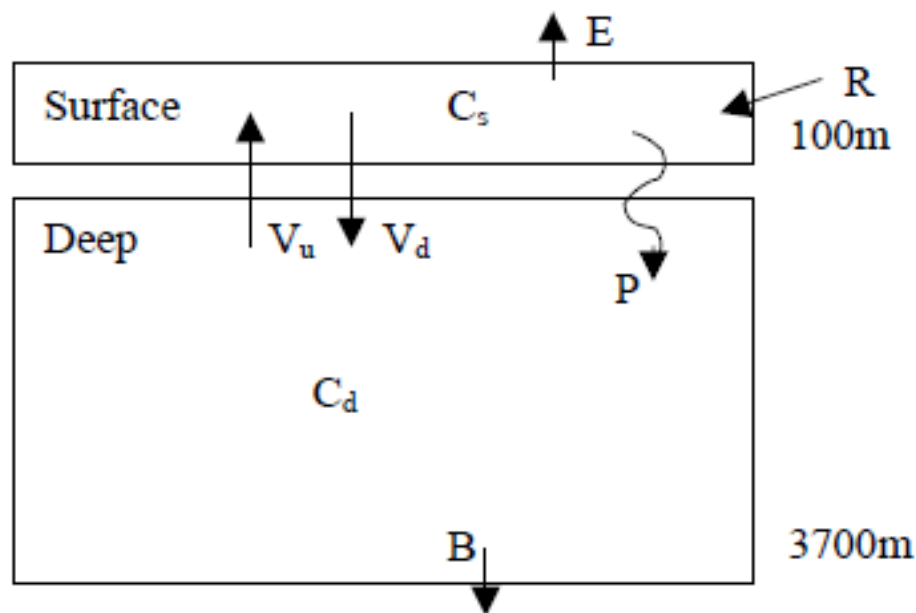
At steady state the sum of the sources  $\sum \left(\frac{dn_i}{dt}\right)_{\text{sources}}$  must equal the sum of the sinks  $\sum \left(\frac{dn_i}{dt}\right)_{\text{sinks}}$ .

For most elements the main sources are from continents via the atmosphere and river. Removal to the sediments is a main sink for most elements. Hydrothermal processes can be both sources and sinks depending on the element. The following balance is a good approximation for most elements in the ocean:

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{\text{ocean}} = F_{\text{atmosphere}} + F_{\text{rivers}} - F_{\text{sediments}} \pm F_{\text{hydrothermal}}$$

If we assume steady state then the change with time is zero or  $dM_i / dt = 0$ .





$V$  = ocean volume ( $1.349 \times 10^{18} \text{ m}^3$ )  
 $V_{u/d}$  = water exchange, ( $\text{m}^3 \text{ yr}^{-1}$ )  
 $R$  = river inflow ( $3.74 \times 10^{13} \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ )  
 $C$  = concentration ( $\text{mol m}^{-3}$ )  
 $P$  = particle flux ( $\text{mol yr}^{-1}$ )  
 $B$  = burial flux ( $\text{mol yr}^{-1}$ )  
 $E$  = Net evaporation ( $3.74 \times 10^{13} \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ )

1. First we can write the water conservation balances:

$$E = R \text{ river inflow equals net evaporation}$$

$$V_u = V_d = V_{\text{mix}} \text{ upwelling and downwelling exchanges are equal}$$

2. The mass balance for an element in the surface layer is:

$$V_{\text{mix}} \{d[C_{\text{surf}}]/dt\} = R [C_{\text{river}}] - V_{\text{mix}} ([C_s] - [C_d]) - P$$

3. The mass balance for the deep layer is:

$$V_{\text{mix}} \{d[C_{\text{deep}}]/dt\} = V_{\text{mix}} ([C_s] - [C_d]) + P - B$$

4. At steady state we have:

$$d[C]/dt = 0 \text{ and } R[C_{\text{river}}] = B$$

## Characteristic Data for the Ocean

<i>Volume</i>	Total	V	$1349.3 \times 10^6 \text{ km}^3$
	Surface ocean (<200m)	$V_s$	$69.6 \times 10^6 \text{ km}^3$
	Deep Ocean	$V_d$	$1279.7 \times 10^6 \text{ km}^3$
<i>Area</i>	Surface Ocean	A	$362.0 \times 10^6 \text{ km}^2$
	At 200m	$A_{200}$	$335.2 \times 10^6 \text{ km}^2$
<i>Mean Depth</i>	Total	$h = V/A$	3,727 m
	Surface Ocean	$h_s = V_s/A$	192 m
	Deep Ocean	$h_d = V_d/A_{200}$	3,818 m
<i>River Inflow</i>		R	$37,400 \text{ km}^3 \text{ yr}^{-1}$

## An input-output balance for major seawater ions and alkalinity.

Component In Seawater	Concentration (mmol/kg)	Ocean Inventory ( $10^{15}$ mol)	River Input ( $10^{12}$ mol/y)	Atmospheric Cycling ( $10^{12}$ mol/y)	Ion Exchange ( $10^{12}$ mol/y)	Hydrothermal Activity ( $10^{12}$ mol/y)	Carbonate Deposition ( $10^{12}$ mol/y)
Cl	545	710	10.0	-10.0		?	
Na	468	608	11.8	-9.3	-1.9	?	
Mg	53	69	8.0	-0.5	-1.2	-7.8	
SO <sub>4</sub>	28	37	3.7	-0.5		-3.8	
K	10	13	3.2	-0.1	-0.4	+1.3 (-4.0)	
Ca	10	133	17.1	-0.1	-2.6	+3.1 (+2.0)	-24.7
Alk	2.4	3.1	47.8		-0.5	-0.4	-49.4
$\Sigma\text{CO}_2$	2.3	3.0	43.7			+0.5	-49.4

Numbers in parentheses under hydrothermal activity refer to low temperature basalt weathering.

Such box models are used to determine the rates of transfer between reservoirs and transformations within a reservoir.

Advantages are:

1. It is easy to conceptualize where material is coming from and where it is going.
2. Provide an overview of fluxes, reservoir sizes, and turnover or residence times ( $\tau$ ).
3. They provide the basis for more detailed quantitative models.
4. They help identify gaps in knowledge.

Disadvantages are:

1. The analysis is superficial and over-simplified.
2. Little or no insight is gained into what goes on inside the reservoirs or into the nature of the fluxes between them.
3. They usually assume homogeneous average distributions within reservoirs.
4. They can easily give a false impression of certainty, even if all the individual fluxes have solid estimates. Remember, a model is an imitation of reality.





First some basic definitions related to models in general and box models in particular.

- **Model** – A simplified or idealized description of a particular system or process that is put forward as a basis for calculations, predictions or further investigation. A model should contain only those elements of reality that are needed to solve the problem. A model is an imitation of reality that stresses those aspects that are assumed to be important and omits all properties considered nonessential.
- **Parameter** – A quantity that is constant in a particular case considered, but which varies in different cases.
- **Variable** – A quantity or force that, throughout a mathematical calculation or investigation, is assumed to vary or be capable of varying in value.
- **Closure** – Closure in a modeling sense usually means having the number of unknowns equal the number of equations. Often, closure is achieved by making simplifying assumptions.
- **Reservoir or Box (M)** – The amount of material contained by a defined physical regime, such as the atmosphere, the surface ocean or the lithosphere. The sizes of the reservoirs are determined by the scale of the analysis as well as the homogeneity of the spatial distribution. The units are usually in mass or moles.



- **Flux (F)** – Amount of material transferred from one reservoir to another per unit time.
- **Source (Q)** – A flux of material into a reservoir.
- **Sink (S)** – A flux of material out of a reservoir
- **Budget** – A balance equation of all sources and sinks for a given reservoir.
- **Residence Time or Turnover Time ( $\tau$ )** – The ratio of the content of a reservoir ( $M$ ) divided by the sum of its sources ( $\Sigma Q$ ) or the sum of its sinks ( $\Sigma S$ ). Thus,  $\tau = M/\Sigma Q$  or  $\tau = M/\Sigma S$ .
- **Cycle** – A system consisting of two or more connected reservoirs where a large fraction of the material is transferred through the system in a cyclic fashion.  
Budgets and cycles can be considered over a wide range of spatial scales from local to global.
  
- **Steady State** – When the sources and sinks are in balance and do not change with time.
- **Closed System** – When all the material cycles within the system
- **Open System** – When material exchanges with components outside the system.



**Goldschmidt** (1933) proposed that a general reaction of the following type controlled the composition of the atmosphere, ocean and sediments. He suggested that for each liter of seawater, about 600 grams of igneous rock had reacted with about 1 kg of volatile substances from inside the earth (e.g.,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}_2$ ) to form seawater, 600 grams of sediments and 3 liters of atmosphere.

This one-way weathering type reaction was written as:

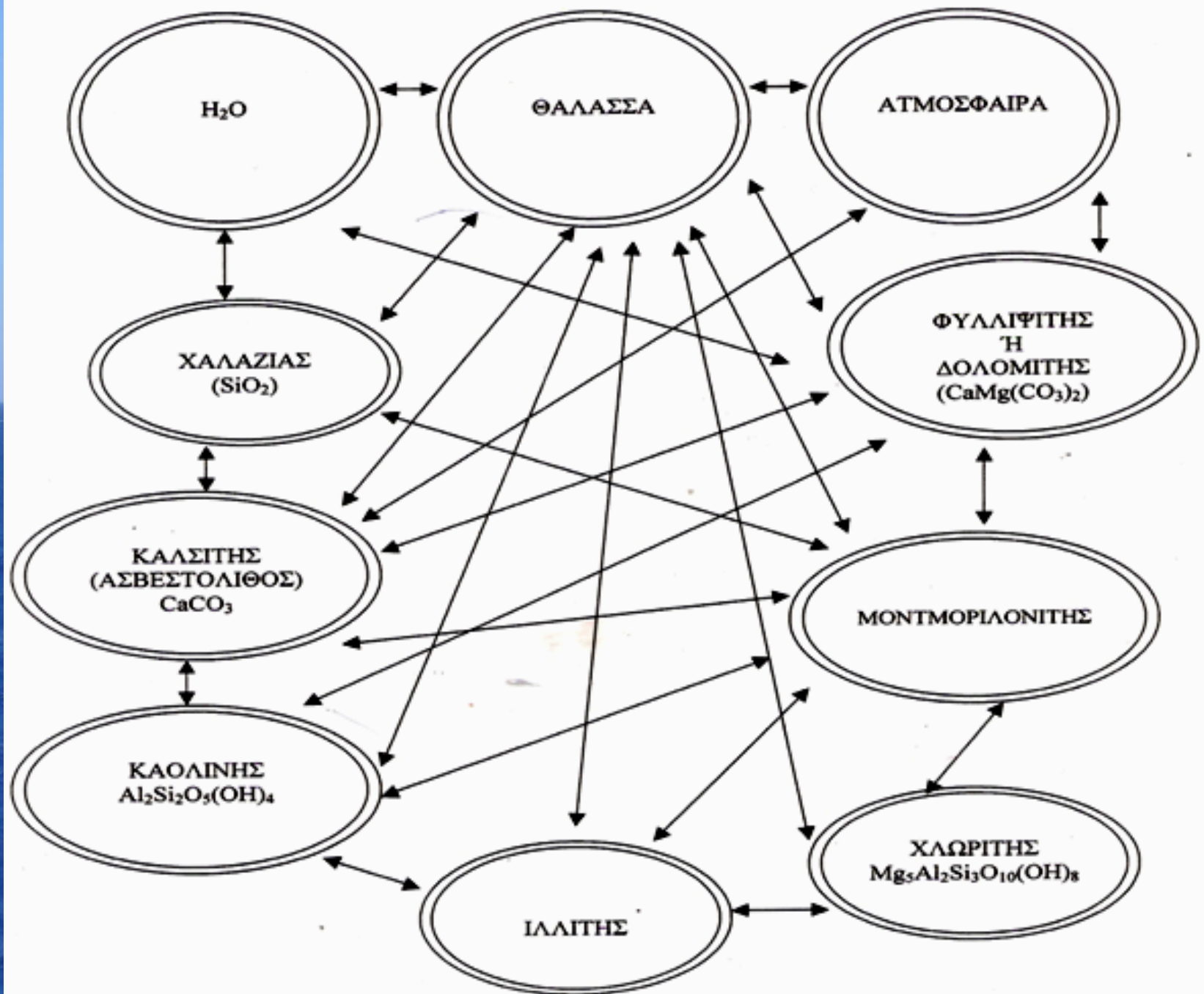
igneous rock (0.6kg) + volatiles (1kg)  $\rightleftharpoons$  seawater (1L) + sediments (0.6kg) + air (3L)

**Lars Gunnar Sillén** a Swedish inorganic chemist who specialized in solution chemistry in 1959 proposed that the ionic composition of seawater might be controlled by equilibrium reactions between the dissolved ions and various minerals occurring in marine sediments. Sillén (1961) argued that Goldschmidt's reaction could go both directions. The reverse reaction would be called “reverse weathering” and it happens in the ocean.

Sillén's ocean model was composed of nine components:  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CO}_2$ , which represent acid volatiles from inside the earth, and  $\text{KOH}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{MgO}$  and  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , which corresponded to the bases of the rocks. The ocean was treated as one giant acid-base titration. Sillén argued that if the ocean contained an assemblage of nine phases in equilibrium with each other, then the chemistry of seawater and atmosphere (including seawater pH and atmospheric  $P_{\text{CO}_2}$ ) would be fixed by knowing the value for two independent variables. He argued that these were temperature and  $\text{Cl}^-$ . The value of temperature would fix the equilibrium constants and  $\text{Cl}^-$  does not enter into any chemical reactions and is thus conservative.

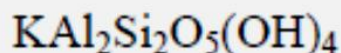


# ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

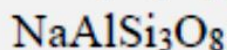


1. Igneous rocks – The ultimate source of most cations and silicate dissolved in rivers and the ocean is igneous rocks, which are made of minerals like feldspar, mica and quartz.

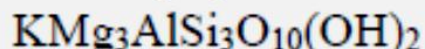
Potassium Feldspar



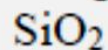
Sodium Feldspar



Biotite Mica

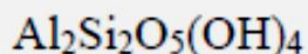


Quartz



2. Clay minerals – Clay minerals are formed when igneous rocks weather. It's the main constituent of fine-grained ( $< 63\mu$ ) particles in mud. They are less rich in cations compare to the source material.

Kaolinite

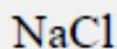


Illite

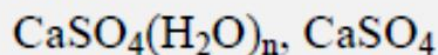


3. Authigenic Minerals – Minerals that precipitate from solution at the Earth surface temperature and pressure. These are the evaporite minerals that form in places like the Dead Sea and the Great Salt lake; minerals that form in anoxic sediments; and minerals that make up shells of plants and animals that live in the ocean and fresh waters.

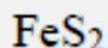
Halite



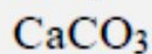
Gypsum and Anhydrite



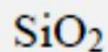
Pyrite



Calcite and Aragonite



Opal



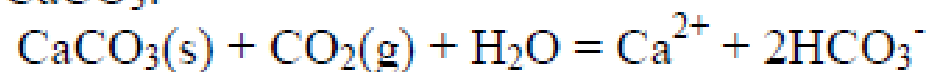
In general, the weathering reaction on continents can be written as **congruent** or **incongruent** reactions. In congruent reactions the total mineral goes into solution. In incongruent reactions the initial mineral is leached and modified and converted into a secondary mineral.

General weathering reactions that create the chemistry observed in rivers involve  $\text{CO}_2$  reaction in soils with sedimentary and igneous rocks or  $\text{O}_2$  reaction with reduced compounds. There are primarily three categories of weathering reactions

- (a) Those between  $\text{CO}_2$  and  $\text{CaCO}_3$  and
- (b) Those between  $\text{CO}_2$  and aluminosilicate rocks
- (c) Oxidation of reduced compounds like organic matter or pyrite.

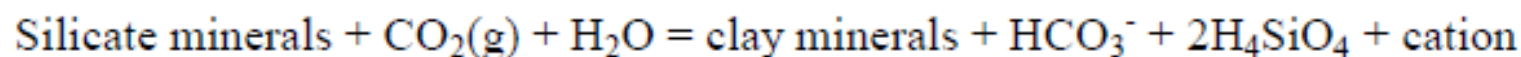


Weathering of  $\text{CaCO}_3$  is considered a congruent reaction.  $\text{CO}_2$  in soils reacts with water to form  $\text{H}^+$  that dissolves  $\text{CaCO}_3$ :

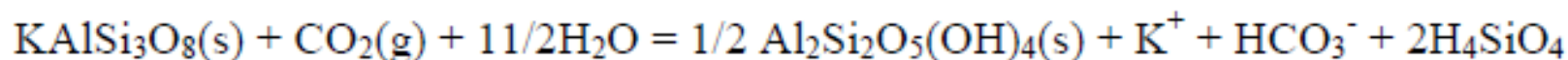




Weathering of aluminosilicate minerals to clay minerals are examples of incongruent reactions.  $\text{CO}_2$  in soils reacts with aluminosilicate rocks to form clay minerals:



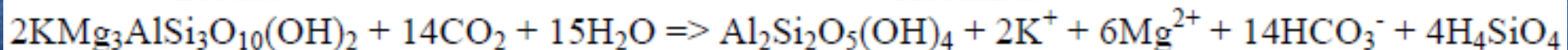
For example, the weathering of the potassium feldspar mineral called orthoclase ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{s})$ ) to the clay mineral called kaolinite ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4(\text{s})$ ) is an important reaction in soils from humid climates.



Similarly weathering of: Biotite mica => kaolinite

Biotite

Kaolinite



There is a myriad of aluminosilicate reactions involving all the major cations. You can see that in general, during weathering, a structured aluminosilicate (feldspar) is converted into a cation-poor, degraded aluminosilicate (clay), cations and silicic acid go into solution,  $\text{CO}_2(\text{g})$  is consumed and  $\text{HCO}_3^-$  is produced. The bicarbonate concentration released is equivalent to the cations released according to the stoichiometry of the reaction. Notice that both the carbonate and silicate reactions consume  $\text{CO}_2$  and produce bicarbonate,  $\text{HCO}_3^-$ , and cations in solution.

**Group Ia: (Cl<sup>-</sup>)** For chloride, the main sink over geological time is evaporite deposits. The deposition of evaporites is controlled by tectonics, which controls the geometry of marginal seas that become evaporite basins. There are no significant evaporites forming today, and the balance for Cl is probably not at steady state. However, the residence time is so large (~100 My) that an imbalance between inputs and removals would have little influence over time scales of tens of millions of years. Seawater cycling through aerosols is also an important sink for Cl.



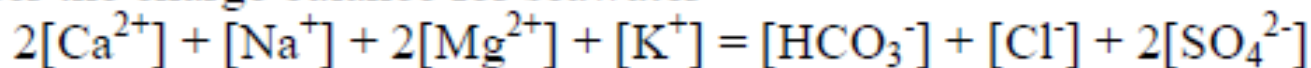
**Group Ib: (Mg, SO<sub>4</sub>, K)** For these elements, the main input is from rivers and the main sink is by hydrothermal circulation through ocean crust.

The dominant control is the hydrothermal circulation rate ( $V_{\text{hydro}}$ ), which is driven by tectonic activity. We can do the calculation backwards by assuming that the composition of seawater and river water is known. Potassium is added to seawater by hydrothermal circulation as well as river inflow. The dominant sink is less clear but appears to be low temperature scavenging by basalts on the flanks of mid-ocean ridges during low-temperature alteration.

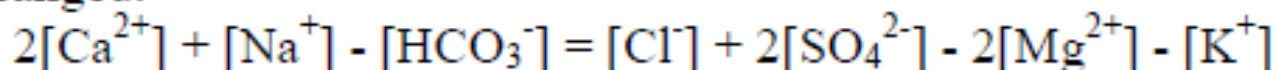


**Group II (Ca, Na)** (e.g. the remaining cations with long residence times)

Consider the charge balance for seawater



or rearranged:



This side is controlled by tectonics (see above)

Therefore this sum is also controlled by tectonics

The controls on the relative proportions of elements on the left hand side are complicated but include:

- a) Ca/Na ion exchange in estuaries
- b) Ca/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> regulation by calcium carbonate equilibria

**Group III (nutrients (Si, P, C, N) and trace metals)**

The main balance is input by rivers and removal as biological debris to sediments. The sediment removal is in the form of a fraction of the biologically produced particulate material that escapes remineralization.



				Development of Plants and Animals				
Eon	Era	Period	Epoch					
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	0.01	Humans develop  "Age of Mammals"			
			Pleistocene	1.6				
			Pliocene	5.3				
		Tertiary	Miocene	23.7				
			Oligocene	36.6				
			Eocene	57.8				
			Paleocene	65.0				
			Mesozoic	Cretaceous		144	"Age of Reptiles"	Extinction of dinosaurs and many other species First flowering plants First birds Dinosaurs dominant
				Jurassic		208		
	Triassic	245						
	Paleozoic	Carboniferous	Permian	286	"Age of Amphibians"	Extinction of trilobites and many other marine animals First reptiles Large coal swamps Amphibians abundant		
			Pennsylvanian	320				
			Mississippian	360				
		Devonian	408	"Age of Fishes"	First insect fossils Fishes dominant First land plants			
			Silurian			438		
			Ordovician			505		
			Cambrian			570		
	Proterozoic	2500	Collectively called Precambrian, this period comprises about 87% of the geologic time scale		First multicelled organisms			
Archean	3800				First one-celled organisms			
Hadean	4600				Age of oldest rocks Origin of Earth			



## Tracers of Past Change in Ocean Chemistry, Circulation, and Biological Processes.

- How has the Chemistry of the Ocean Changed in the past?
- Are our assumptions about a “steady state” ocean correct?
- What was the role of the ocean in past climate change?
- How does ocean circulation and biology control/react to global changes?

To answer these questions, paleoceanographers, turn to ocean sediments to study the record of past ocean chemistry. The oldest marine sediments in the ocean are about 200 million years old, so reconstruction of past climates and environments using Ocean Drilling Cores can reveal information with respect to the past 200 million years. Older marine deposits (records of billions of years old) are exposed on land and may also be used.



Αρχή του Marcet: Ο λόγος της συγκέντρωσης των κυριότερων συστατικών του θαλάσσιου νερού παραμένει χρονικά και τοπικά σχεδόν σταθερός μολονότι είναι δυνατόν να ποικίλλει ευρύτατα το ολικό περιεχόμενο ποσό αλάτων στο θαλάσσιο νερό από τόπου σε τόπο. Οι περιπτώσεις όπου η αρχή αυτή μπορεί να μην ισχύει είναι περιοχές που καλύπτουν πολύ μικρό ποσοστό στο σύνολο των ωκεανών αλλά που σε τοπικό επίπεδο και σε οικολογική διάσταση είναι πολύ σημαντικές.

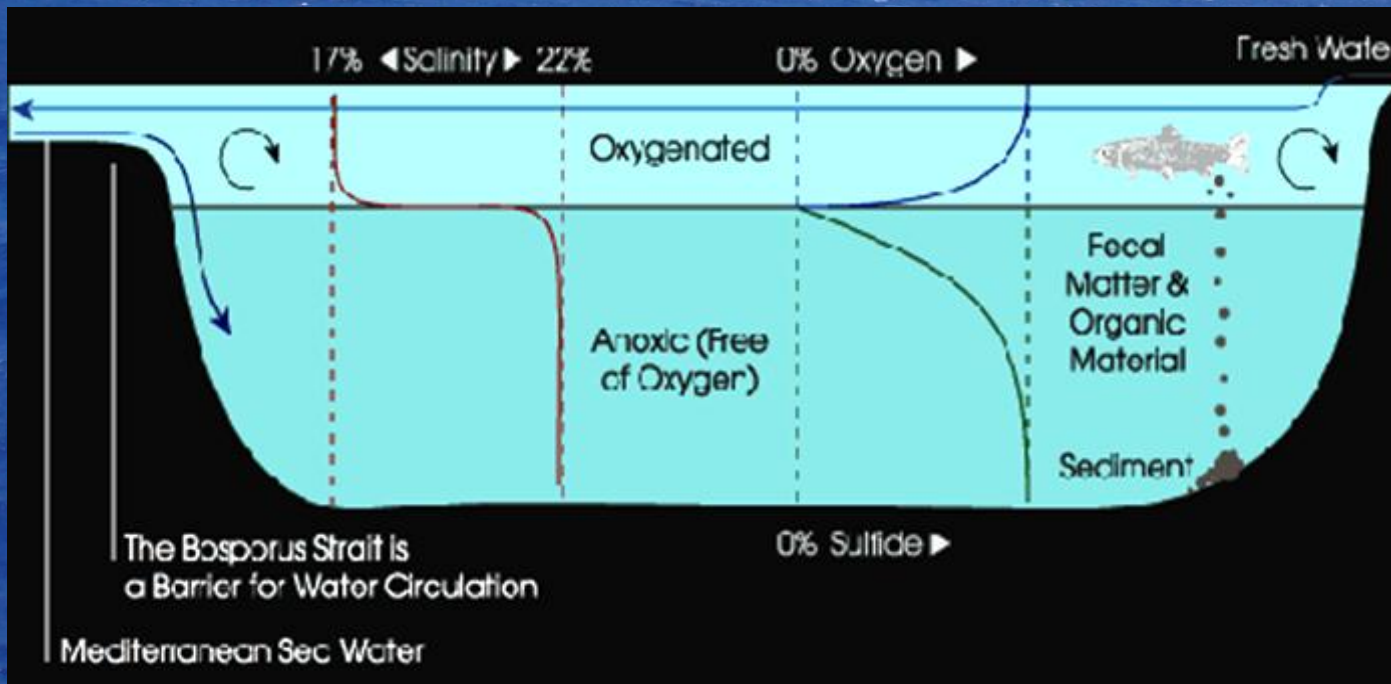




## Περιπτώσεις παραβίασεως της αρχής του Marquet

Ανοξικές λεκάνες και γενικά τμήματα δύσκολα αεριζόμενων βυθών όπως τα Νορβηγικά φιόρδς, η Μαύρη Θάλασσα κ.λπ. Εκεί οι απαιτήσεις σε οξυγόνο για τη διάσπαση και οξείδωση της οργανικής ύλης ξεπερνούν τις δυνατότητες του περιεχομένου διαλυμένου οξυγόνου με αποτέλεσμα να ελαττώνεται σημαντικά το δυναμικό οξειδοαναγωγής.

Τέτοιες συνθήκες είναι ιδανικές για την ανάπτυξη των αναερόβιων βακτηριδίων που υπάρχουν στις αποθέσεις και τα οποία μετατρέπουν τα θειικά σε θειούχα ελαττώνοντας έτσι σημαντικά το λόγο  $SO_4^- : Cl^-$  κάτω από 0,1400 που είναι το φυσιολογικό. Τμήμα των θειούχων απομακρύνεται στις περιπτώσεις αυτές με τη δημιουργία δυσδιάλυτων θειούχων ενώσεων.

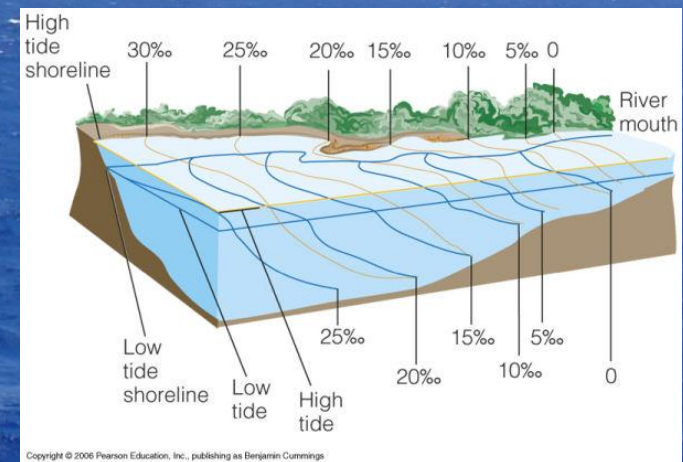


α. Κλειστές θάλασσες και περιοχές εκβολής ποταμών (μυχοί κόλπων, «δέλτα» ποταμών, κ.λπ.). Εκεί εμφανίζεται διαταραγμένη η αλατότητα από την προσθήκη γλυκού νερού και ταυτόχρονα διαταραγμένα τα ποσοστά, κυρίως των ανιόντων, τα οποία προστίθενται από τον ποταμό. Σημειωτέον ότι μολονότι σπάνια το σύνολο της ιονικής συγκεντρώσεως ξεπερνά τα 200 mg/ℓ, για τους περισσότερους ποταμούς η σύσταση των μεταφερομένων αλάτων σαφώς ποικίλει πολύ από περιπτώσεως σε περίπτωση. Αυτό εκφράζεται συνήθως με απεικονίσεις της μεταβολής-διαταραχής του λόγου των συγκεντρώσεων διαφόρων ιόντων όπως:  $\text{SO}_4^- : \text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^- : \text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+ : \text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+} : \text{Na}^+$  ή  $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$  κ.λπ.

The composition of average seawater and river water in  $\text{mmol kg}^{-1}$ .

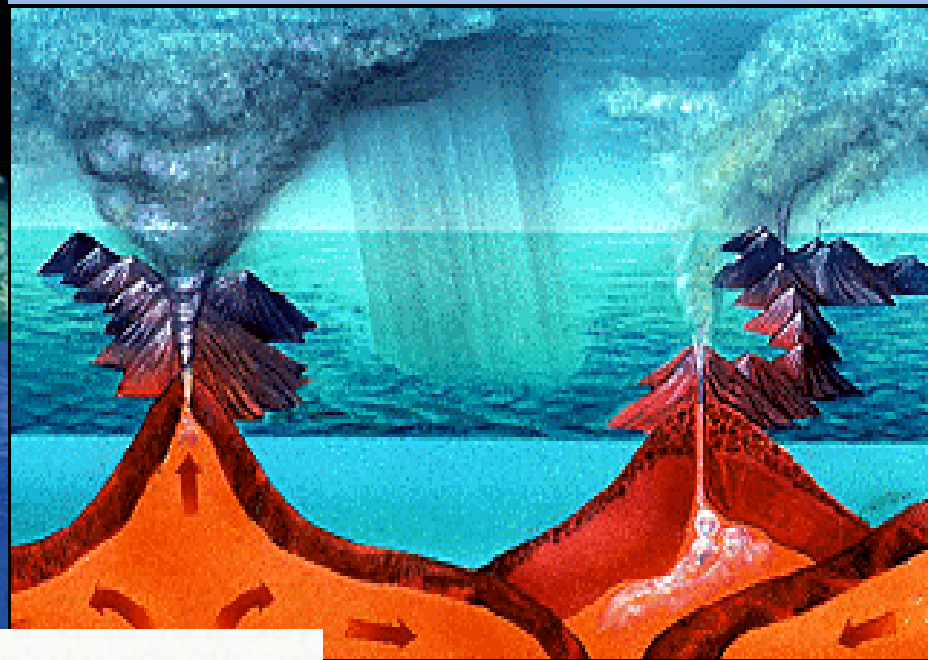
Element	Seawater ( $\text{mmol kg}^{-1}$ )	River water ( $\text{mmol kg}^{-1}$ )
Na	468.0	0.26
Mg	53.1	0.17
Ca	10.3	0.38
K	10.2	0.07
Sr	0.09	----
Cl	546.0	0.22
$\text{SO}_4$	28.2	0.11
$\text{HCO}_3$	2.39	0.96
Br	0.84	----
	Mainly $\text{Na}^+$ and $\text{Cl}^-$	Mainly $\text{Ca}^{2+}$ and $\text{HCO}_3^-$

	$\text{Na/K}$	$\text{Mg/Ca}$	$\text{Na/Ca}$	$(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{HCO}_3$
Oceans	45.6	5.22	45.9	26.64
Rivers	6.0	0.42	0.8	0.59



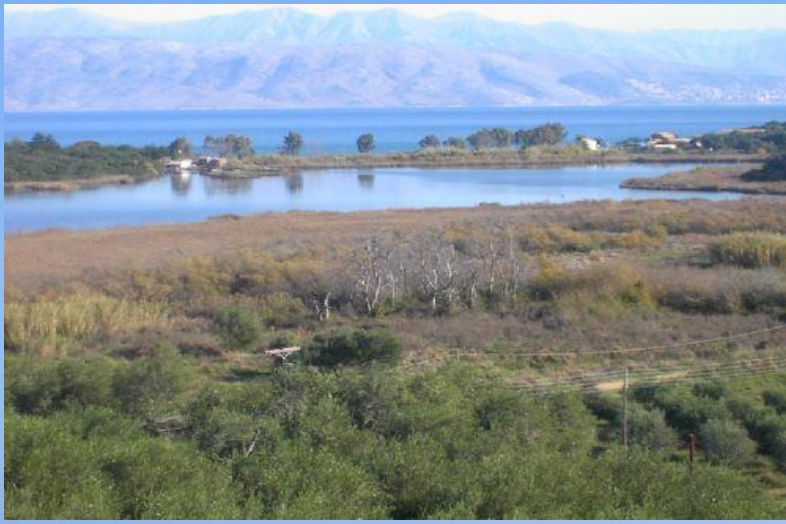


Περιοχές υποθαλάσσιας αναβλύσεως αλμυρού νερού. Όπως θα αναφερθεί και στην ενότητα περί της αλατότητας, σε μερικές περιοχές όπως η Ερυθρά Θάλασσα, παρατηρείται σε βάθη 2.000 m περίπου μία ανάβλυση αλμυρού νερού με σαφώς διαταραγμένα ποσοστά στοιχείων. Ανάμιξη –έστω και μικρή– του νερού αυτού με το υπερκείμενο διαταράσσει τις στοιχειομετρικές αναλογίες του δεύτερου.



Περιοχές υποθαλάσσιων ηφαιστειών. Το εκχεόμενο στο νερό μάγμα προκαλεί αύξηση των περιεχομένων πυριτικών και ενδεχομένως του φθορίου.

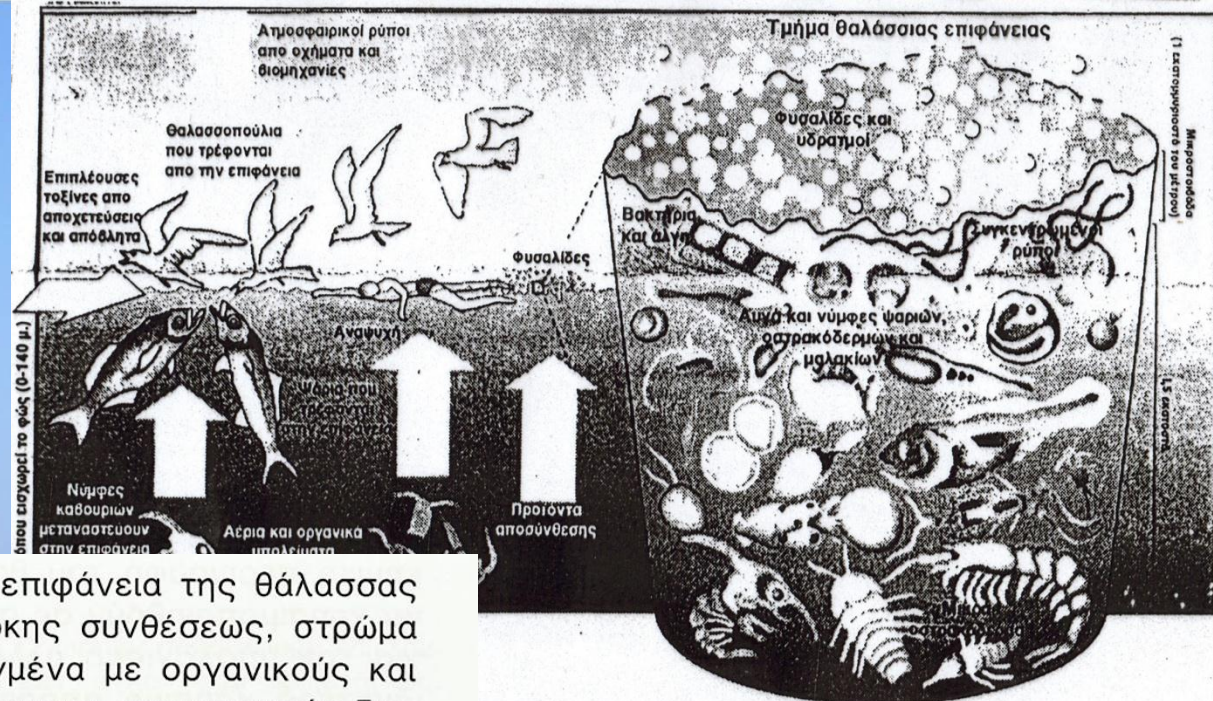




Αβαθείς ή αποκλεισμένες περιοχές, όπου μπορεί να προκύψει ανωμαλία στο περιεχόμενο του  $\text{CO}_2$  με άμεση επίδραση την καταβύθιση ή αναδιάλυση ανθρακικών αποθέσεων με επακόλουθη διατάραξη της σχέσεως  $\text{Ca} : \text{Cl}$  και ενδεχομένως και  $\text{Mg} : \text{Cl}$  ή  $\text{Sr} : \text{Cl}$ .

Αβαθείς, αποκοπτόμενες περιοχές. Εκεί όπου μία γεωλογική ιδιορρυθμία στο βυθό μπορεί με παλίρροιες, κύματα ή ανέμους να αποκόπτει περιοδικά ένα τμήμα θάλασσας, εάν οι καιρικές συνθήκες ευνοούν παρουσιάζεται καθίζηση αλάτων και συμπύκνωση λόγω εξατμίσεως με τελικά προϊόντα, εβαπορίτες, καρναλίτη ( $\text{KCl} \cdot \text{Mg} - \text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) κατά προτεραιότητα, και άλλα χλωριούχα άλατα. Τα θειικά άλατα δεν διατηρούνται γιατί η ταυτόχρονη κατανάλωση του οξυγόνου (για οξείδωση της οργανικής ύλης) δημιουργεί ανοξικές συνθήκες, και παραγωγή υδροθείου το οποίο και φεύγει από το σύστημα στην ατμόσφαιρα. Επάνοδος του νερού της θάλασσας και μερική αναδιάλυση συστατικών διαταράσσει τις στοιχειομετρικές αναλογίες.

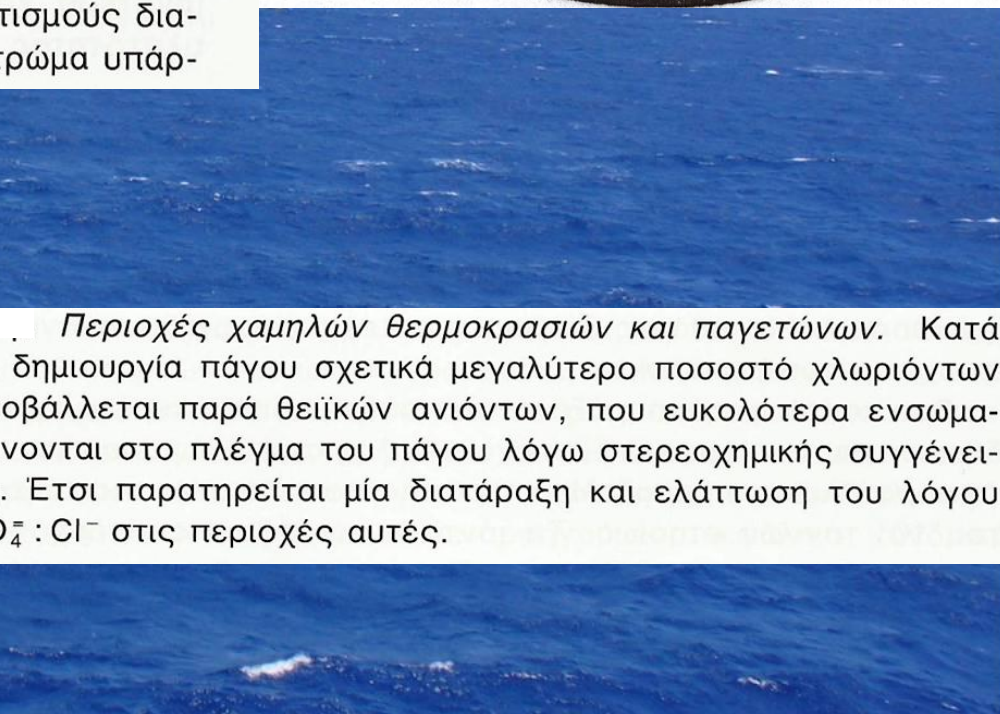




**Επιφάνεια της θάλασσας.** Στην επιφάνεια της θάλασσας δημιουργείται ένα λεπτότατο, πολύπλοκης συνθέσεως, στρώμα που αποτελείται από μέταλλα συμπλεγμένα με οργανικούς και ανόργανους υποκαταστάτες και πολύπλοκους σχηματισμούς διαφόρων αλάτων. Το μονομοριακό αυτό επιφανειακό στρώμα υπάρ-



Περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών και παγετώνων. Κατά τη δημιουργία πάγου σχετικά μεγαλύτερο ποσοστό χλωριόντων αποβάλλεται παρά θειϊκών ανιόντων, που ευκολότερα ενσωματώνονται στο πλέγμα του πάγου λόγω στερεοχημικής συγγένειας. Έτσι παρατηρείται μία διατάραξη και ελάττωση του λόγου  $SO_4^- : Cl^-$  στις περιοχές αυτές.





# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Μ.Σκούλλος Χημική Ωκεανογραφία
- K. Turekian : Oceans
- R.C.Sharma, M.Vatal : Oceanography for Geographers
- H.V.Thurman, A.P.Trujillo: Essentials of Oceanography
- M.Grant Gross: Oceanography, A view of the earth
- P.Weyl : Oceanography



Τέλος

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα



# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση διαθέσιμη εδώ <http://eclass.uoa.gr/courses/CHEM162/>



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Μιχαήλ Σκούλλος, Εμμανουήλ Δασενάκης 2015. Μιχαήλ Σκούλλος, Εμμανουήλ Δασενάκης. «Χημική Ωκεανογραφία. Ενότητα 1: Χημική σύσταση της θάλασσας». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/NOC83/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.





# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## **Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες**

Εικόνα 1: Copyrighted.

Εικόνα 2: Copyrighted.

Εικόνα 3: Copyrighted.

Εικόνα 4: The chemical mass balance for seawater. Copyrighted.

<http://image.slidesharecdn.com/seanseawater-130328063645-phpapp02/95/sea-and-seawater-39-638.jpg?cb=1364452705>

Εικόνα 5: Seawater concentration/residence time diagram. Copyrighted.

Εικόνα 6: Μηχανισμοί σταθεροποίησης. Copyrighted.

Εικόνα 7: Development of plants and animals. Copyrighted.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

Εικόνες 8-9: Copyrighted.

Εικόνα 10: Black sea diagram. Copyrighted.

<http://38ccda.medialib.glogster.com/media/1d02c02a026b330c63bc04a1dc832161938ddc472dd576fdfa3a55dba68656dc/black-sea-diagram-sml.jpg>

Εικόνα 11: Salt wedge estuaries. Copyrighted.

[http://3.bp.blogspot.com/\\_zvEdYgFQQM/S5ynIUG7xTI/AAAAAAAAAAtA/juXfbmefzao/s400/ESTUARY+5.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_zvEdYgFQQM/S5ynIUG7xTI/AAAAAAAAAAtA/juXfbmefzao/s400/ESTUARY+5.jpg)

Εικόνα 12: A hydrothermal vent along the Juan de Fuca Ridge. Copyrighted.

<https://microbewiki.kenyon.edu/images/d/d4/Hydrothermal-vent.jpg>





# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

Εικόνα 13: Υποθαλάσσια ηφαίστεια. Copyrighted. <http://yami-ashdod.ort.org.il/wp-content/uploads/2014/10/%D7%94%D7%AA%D7%94%D7%95%D7%95%D7%AA-%D7%94%D7%90%D7%95%D7%A7%D7%99%D7%99%D7%A0%D7%95%D7%A1%D7%99%D7%9D.pdf>

Εικόνες 14-15: Copyrighted.

Εικόνα 16: Copyrighted.

Εικόνα 17: Sea ice in the process of forming. Copyrighted.  
<http://photos1.blogger.com/blogger2/4777/2669/1600/15.jpg>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Πίνακες

Πίνακας 1: Copyrighted.

Πίνακας 2: Characteristic data for the ocean. Copyrighted.

Πίνακας 3: An input-output balance of major seawater ions and alkalinity.

Copyrighted. [http://ocean.stanford.edu/courses/bomc/chem/lecture\\_12.pdf](http://ocean.stanford.edu/courses/bomc/chem/lecture_12.pdf)

Πίνακας 4: The composition of average seawater and river water in mmol kg<sup>-1</sup>.

Copyrighted. [http://ocean.stanford.edu/courses/bomc/chem/lecture\\_12.pdf](http://ocean.stanford.edu/courses/bomc/chem/lecture_12.pdf)

