



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Γεωχημεία

Ενότητα 2: Γεωχημικές διεργασίες στην επιφάνεια  
της γης

Αριάδνη Αργυράκη

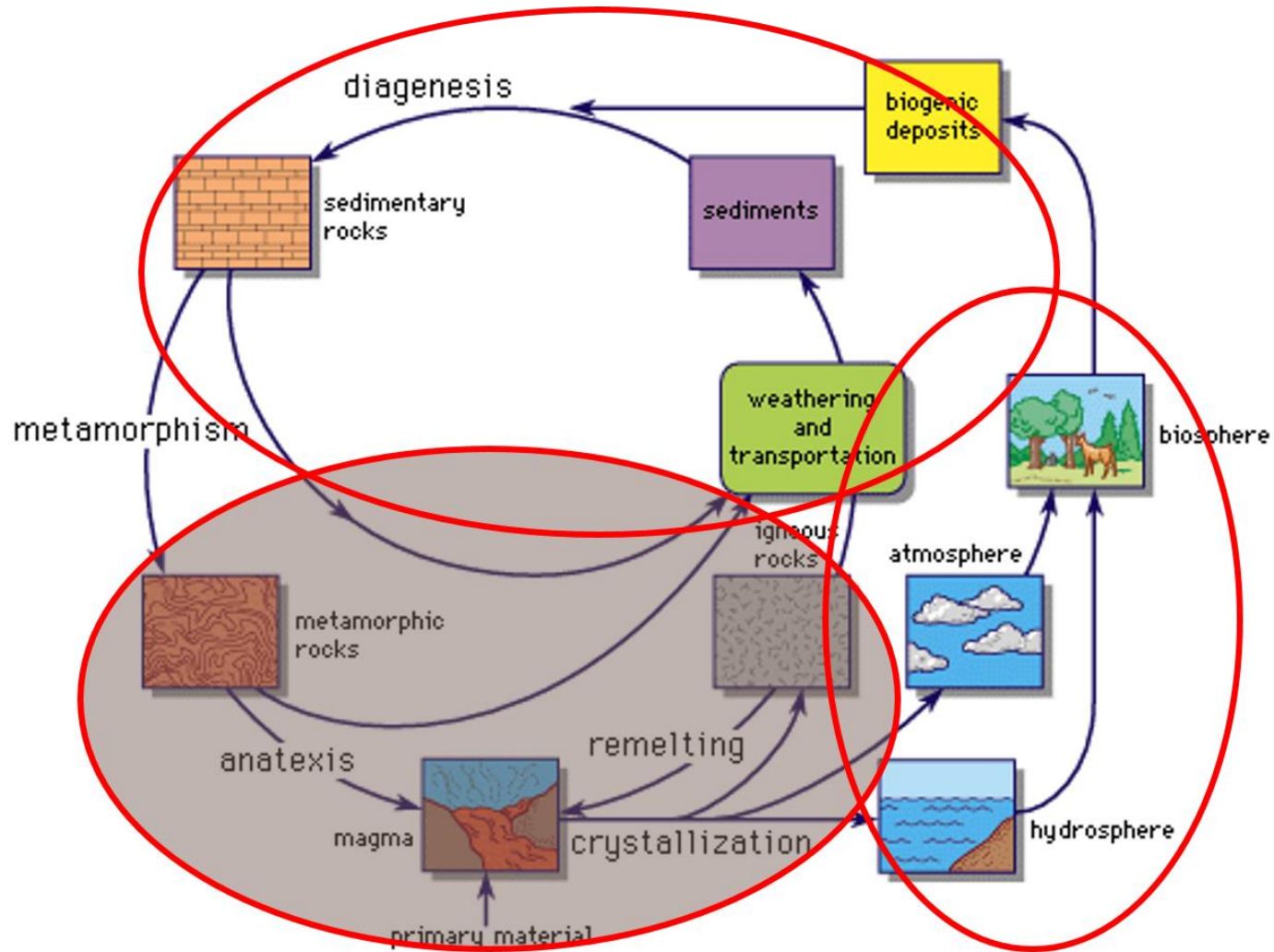
Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

# Γεωχημικές διεργασίες στην επιφάνεια της γης

Γεωχημικές διεργασίες επιφάνειας

# Γεωλογικός (Γεωχημικός) κύκλος



1

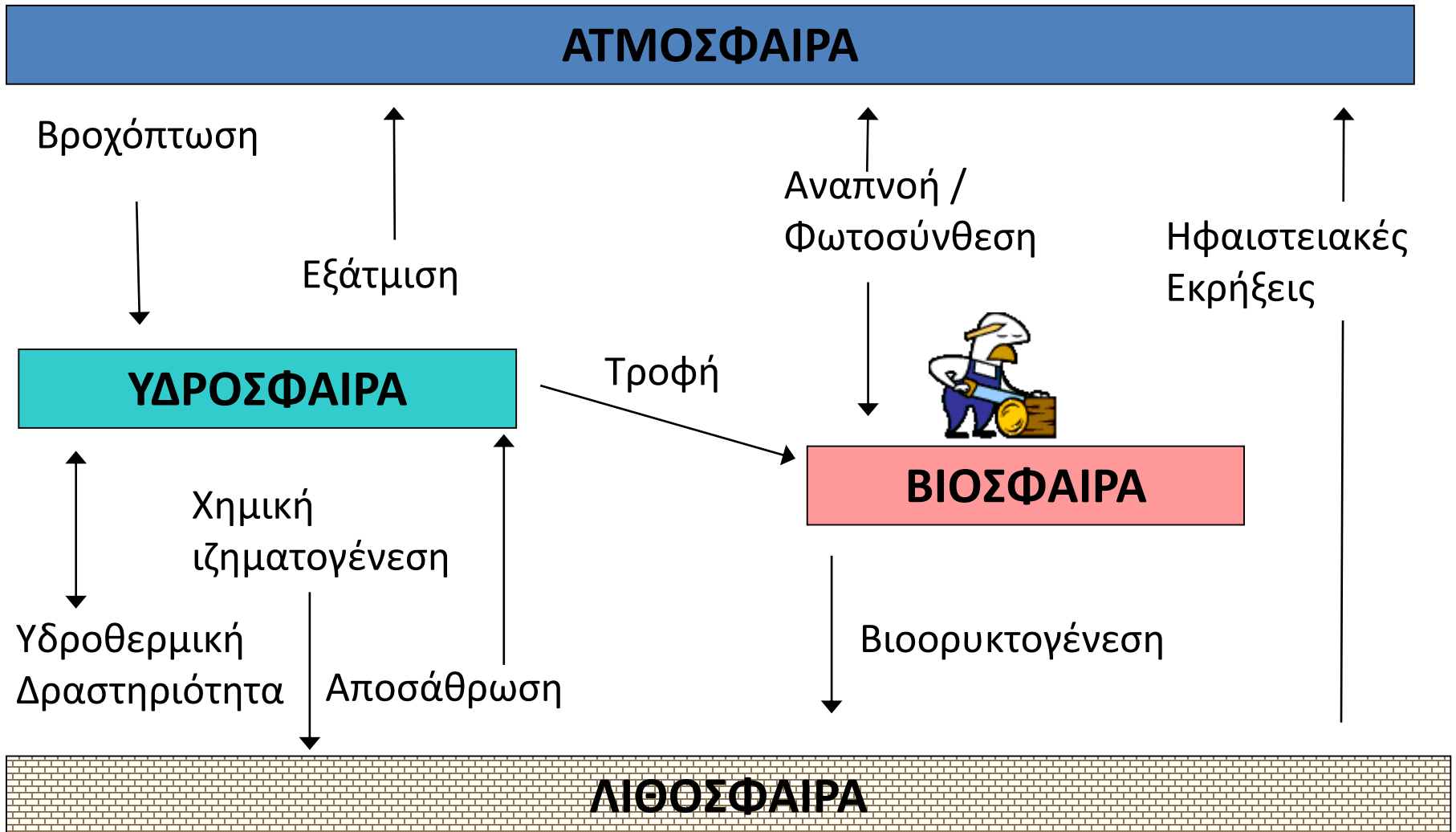
©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

# Περιεχόμενα ενότητας

1. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
2. ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ
3. ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ
4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ
5. ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΡΥΚΤΩΝ
6. ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ



# ΓΗΙΝΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

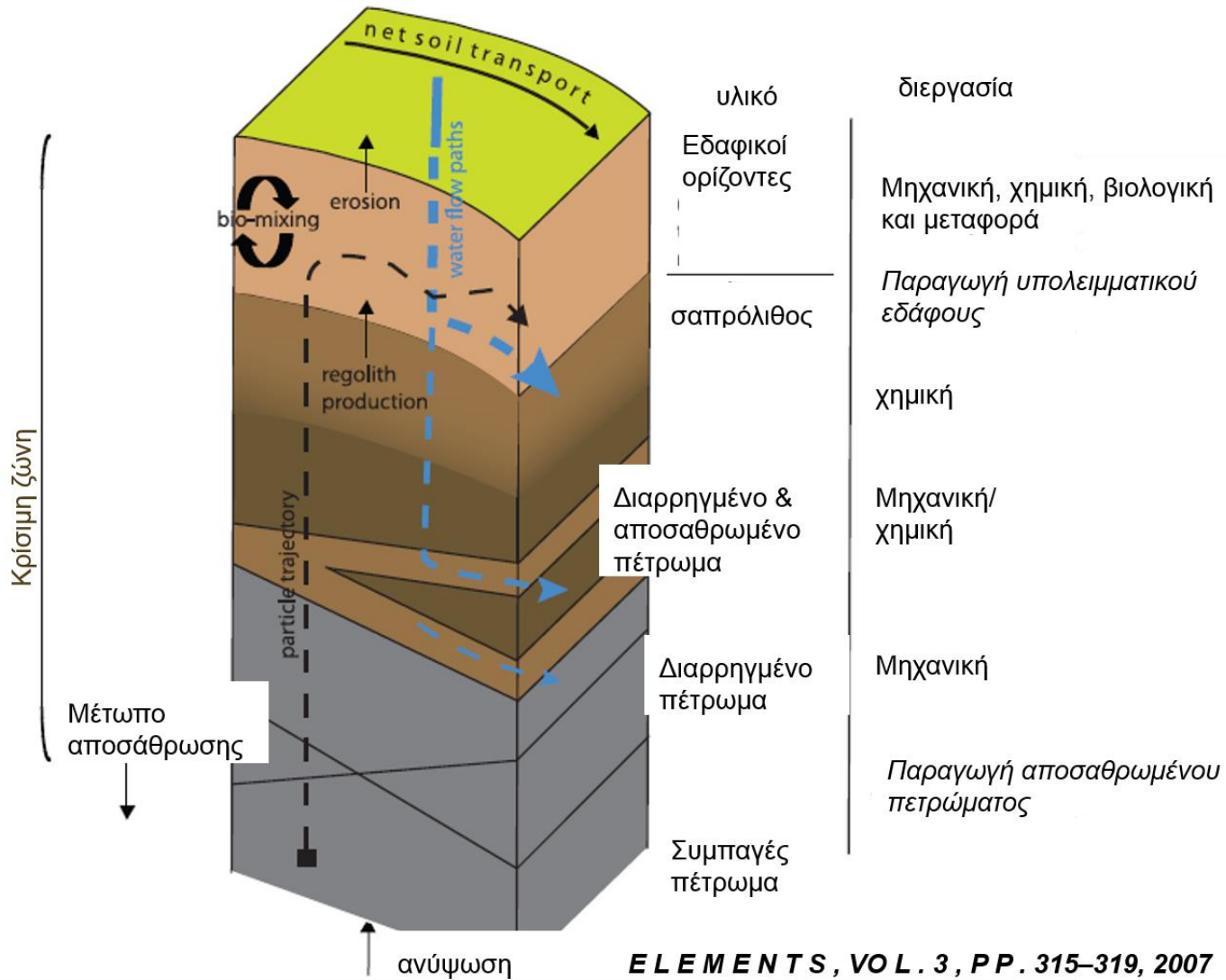


# ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ

- Η διάσπαση και εξαλλοίωση υλικών κοντά στην επιφάνεια της γης
- Συνδυασμός δράσης ανόργανων διεργασιών και οργανικής δραστηριότητας
- Κυρίαρχος παράγοντας το νερό
- Οδηγεί σε διάβρωση, ιζηματογένεση, σχηματισμό εδάφους
- Φυσική αποσάθρωση: Η μηχανική διάσπαση των υλικών → αύξηση της ειδικής επιφάνειας κόκκων υλικών (λόγος εμβαδού εκτεθειμένης επιφάνειας/ συνολικό όγκο)
- Χημική αποσάθρωση: Αντιδράσεις μεταξύ αέριας-υγρής-στερεάς φάσης στην επιφάνεια → καθορίζει τη σύσταση των επιφανειακών και υπόγειων νερών



# Η ΚΡΙΣΙΜΗ ΖΩΝΗ



2

ELEMENTS, VOL. 3, PP. 315-319, 2007

# ΦΥΣΙΚΗ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ

- Εκφόρτιση βαθέων πετρωμάτων στην επιφάνεια → διαστολή → Διάρρηξη κατά μήκος κρυστάλλων/κόκκων
- Διεύρυνση ρωγμών με είσοδο νερού → σημασία κλίματος: ψυχρό και υγρό με δράση πάγου, θερμό και ξηρό με δράση αλάτων
- Δράση έμβιου κόσμου: ρίζες φυτών, σκώληκες κ.α. ζώα → ανάμιξη υλικού και διεύρυνση ρωγμών
- Δράση βαρύτητας → κατάρρευση τεμαχίων
- Δράση πάγου, νερού και ανέμου → μεταφορά υλικών





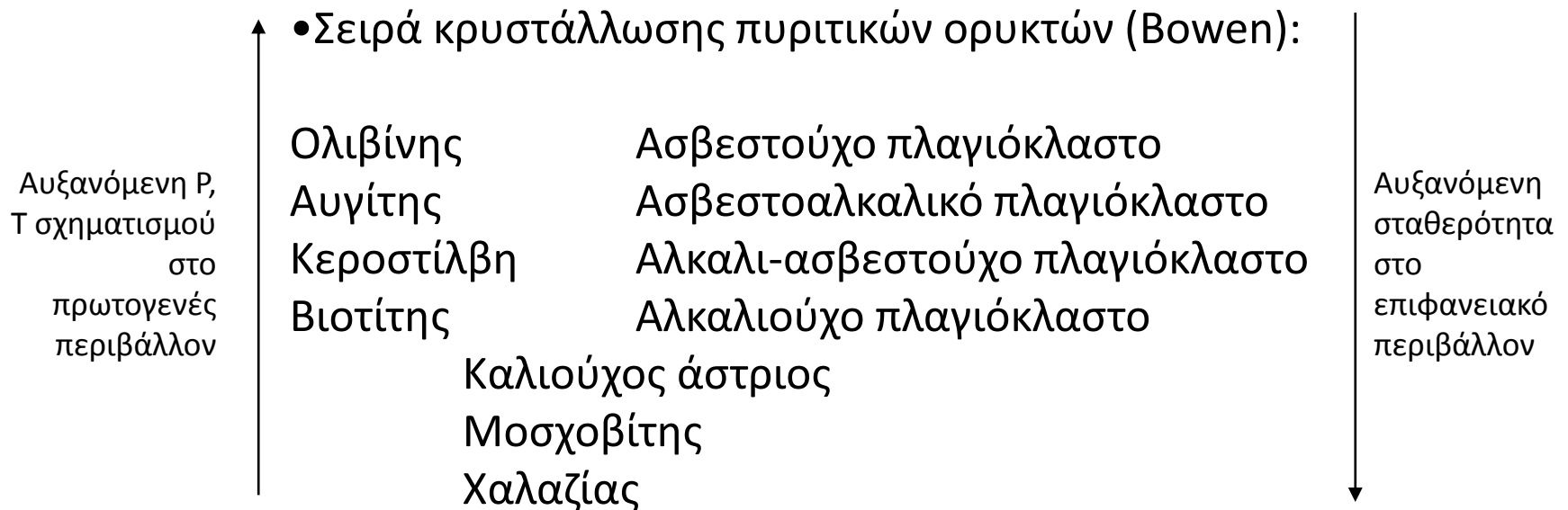
# ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ

- **Κλίμα:** Σημασία βροχόπτωσης στον έλεγχο της ποσότητας διαθέσιμου νερού για αντιδράσεις, σημασία θερμοκρασίας στην ταχύτητα των αντιδράσεων, στο ποσοστό εξάτμισης, στον τύπο της βλάστησης και την αποσύνθεση της οργανικής ύλης
- **Ανάγλυφο και υδρογραφικό δίκτυο:** Επικράτηση φυσικής αποσάθρωσης σε περιοχές έντονου ανάγλυφου και χημικής αποσάθρωσης σε επίπεδες περιοχές
- **Διαπερατότητα πετρωμάτων:** Κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια και είναι πιο επιρρεπή στην αποσάθρωση από λεπτοκοκκώδη εκρηξιγενή κρυσταλλικά πετρώματα
- **Ορυκτολογική σύσταση πετρωμάτων:** Διαφορές στην σχετική ανθεκτικότητα των ορυκτών



# ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΥΡΙΤΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ

- Αποσάθρωση πρωτογενών ορυκτών: Ανθεκτικότητα αντιστρόφως ανάλογη της P και T σχηματισμού



# ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ (Goldich, 1938)

Αυξανόμενη  
σταθερότητα  
στο  
επιφανειακό  
περιβάλλον  
(ανθεκτικότητα  
στην  
αποσάθρωση)

**Αλίτης**

**Γύψος/ ανυδρίτης**

**Σιδηροπυρίτης**

**Ασβεστίτης**

**Δολομίτης**

**Ηφαιστειακό γυαλί**

**Σειρά πυριτικών**

**Μοντμοριλλονίτης**

**Καολινίτης**

**Αιματίτης/ γκαιτίτης/ γιψίτης**



# ΚΥΡΙΑΡΧΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ

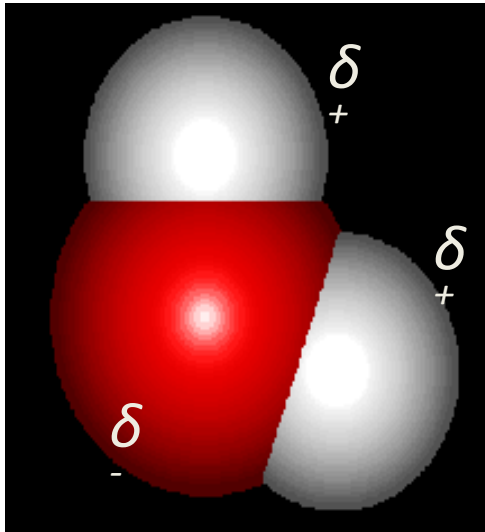
- **Νερό (H<sub>2</sub>O)** με δράση ασθενούς οξέος ή βάσεως
- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)**: Αντιδρά με το νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$



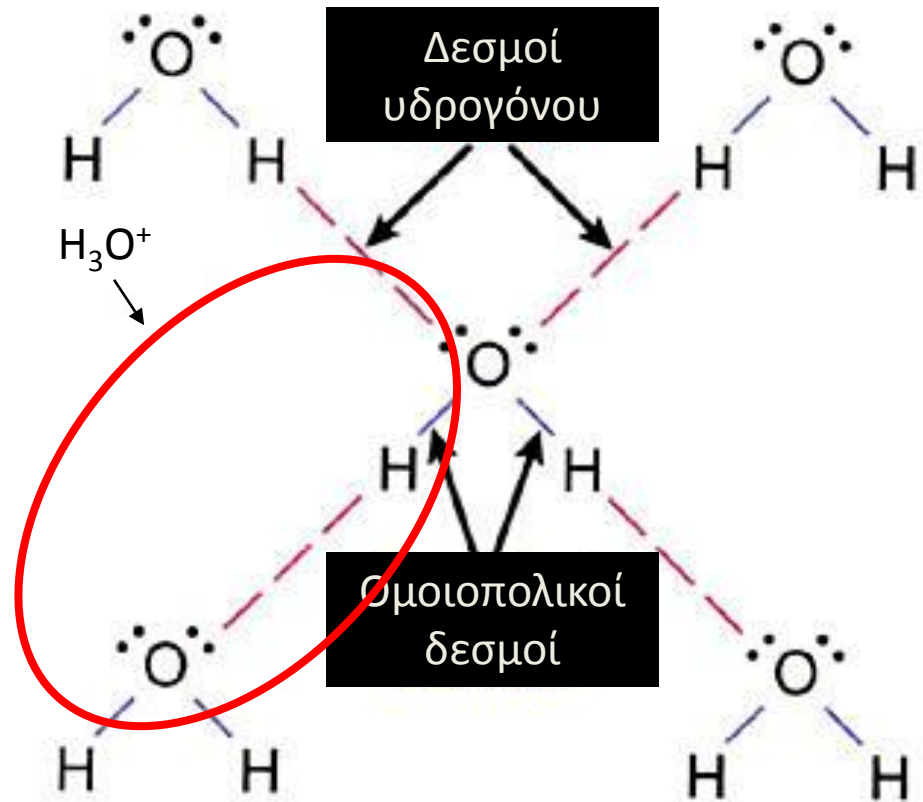
- **Οργανικά οξέα (π.χ. HCOOH)**: συμπλοκοποιούν πολλά από τα στοιχεία που απελευθερώνονται
- **Οξυγόνο (O<sub>2</sub>)** με οξειδωτική δράση σε Fe<sup>2+</sup> και S<sup>2-</sup>



# ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ



Διαφορά ηλεκτραρνητικότητας  
H & O  $\rightarrow$  Διπολικά μόρια  $\rightarrow$   
Δεσμοί υδρογόνου  $\rightarrow$   
Διαλυτική ικανότητα νερού



# ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ (1)

## 1.Οξείδωση (απώλεια ηλεκτρονίων):

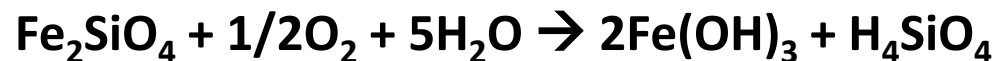
- Με δράση του ελεύθερου οξυγόνου σε ορυκτά που περιέχουν στοιχεία αναγωγικού σθένους, κυρίως Fe, S.
- Αργές αντιδράσεις στο επιφανειακό περιβάλλον.
- Διαλυτική δράση νερού.
- Μεταβολισμός ζώντων οργανισμών → οξείδωση οργανικού C με παραγωγή CO<sub>2</sub>

• Παραδείγματα:



σιδηροπυρίτης

αιματίτης



φαϋαλίτης

γκαιτίτης



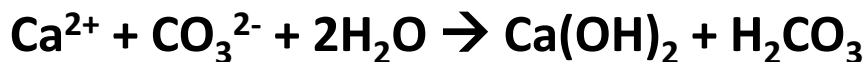
# ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ (2)

2. **Απλή διάλυση:** Τέλεια διάλυση υδατοδιαλυτών ορυκτών π.χ. αλίτης, γύψος, ανυδρίτης κατά την οποία τα ιόντα των στοιχείων που απαρτίζουν τα ορυκτά ελευθερώνονται στο διάλυμα



### 3. Υδρόλυση:

- Παρόμοια με διάλυση αλλά με πρόσθετη αντίδραση του νερού με τα ελευθερωμένα ιόντα
- Συνήθως παραγωγή ασθενούς οξέος και μετρίως ισχυρών αλκαλίων (αύξηση pH)



# ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ (3)

## 4. Όξινη υδρόλυση:

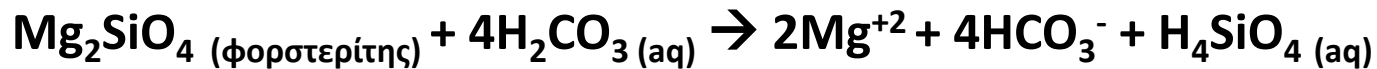
- Παρόμοια με απλή υδρόλυση αλλά με παρουσία οξέων
  - στο επιφανειακό περιβάλλον κυρίως οργανικών από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης
  - Ισχυρότερα οξέα σε περιβάλλον υδροθερμικών διαλυμάτων
- Για απλοποίηση των αντιδράσεων πηγή οξύτητας θεωρείται το ανθρακικό οξύ
- Φυσική διεργασία εξουδετέρωσης του νερού αποσάθρωσης που συνήθως είναι όξινο λόγω ανθρωπογενών επιδράσεων



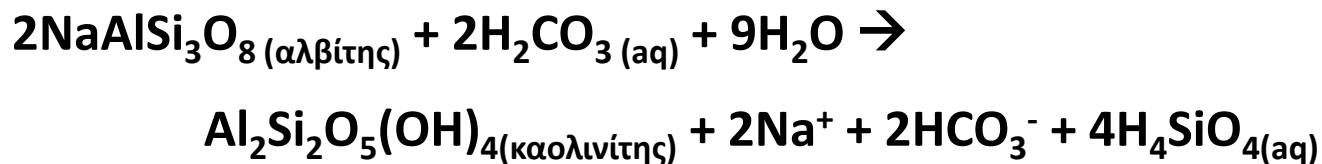


# Τύποι όξινης υδρόλυσης

1) Σύμπτωτη υδρόλυση (congruent): χωρίς στερεό υπόλειμμα



2) Ασύμπτωτη υδρόλυση (incongruent): με στερεό υπόλειμμα – νέο αργιλοπυριτικό ορυκτό (συνήθης υδρόλυση πυριτικών ορυκτών)



# ΑΣΥΜΠΤΩΤΗ ΟΞΙΝΗ ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΠΥΡΙΤΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Ο κύριος μηχανισμός χημικής αποσάθρωσης των πρωτογενών πυριτικών ορυκτών είναι η **ασύμπτωτη όξινη υδρόλυση**.

Προϊόντα τέτοιων αντιδράσεων είναι τα δευτερογενή αργιλικά ορυκτά (στερεό υπόλειμμα) και διαλυμένα ιόντα.



# ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ ΤΟΥΣ

ΟΡΥΚΤΟ	ΣΥΣΤΑΣΗ	ΠΕΤΡΩΜΑ ΣΥΝΗΘΟΥΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΟΡΥΚΤΟΥ	ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ
Ολιβίνης	$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_4$	Πυριγενές	Οξείδωση Fe Σύμπτωτη διάλυση με οξέα
Πυρόξενοι	$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	Πυριγενές	Οξείδωση Fe Σύμπτωτη διάλυση με οξέα
Αμφίβολοι	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Πυριγενές Μεταμορφωμένο	Οξείδωση Fe Σύμπτωτη διάλυση με οξέα
Πλαγιόκλαστα	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	Πυριγενές Μεταμορφωμένο	Ασύμπτωτη διάλυση με οξέα
Κ-άστριος	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	Πυριγενές Μεταμορφωμένο	Ασύμπτωτη διάλυση με οξέα
Βιοτίτης	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	Πυριγενές Μεταμορφωμένο	Οξείδωση Fe Ασύμπτωτη διάλυση με οξέα

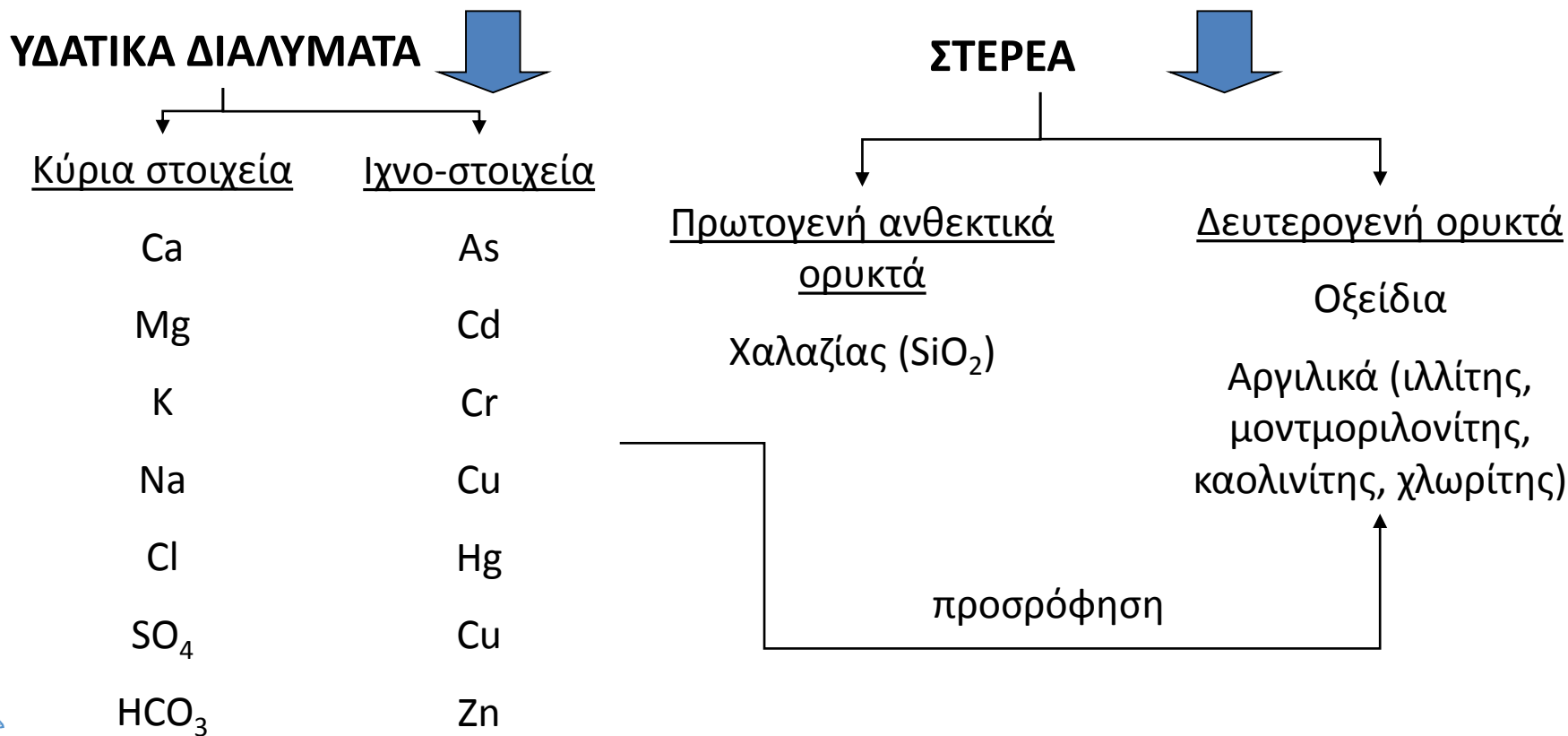
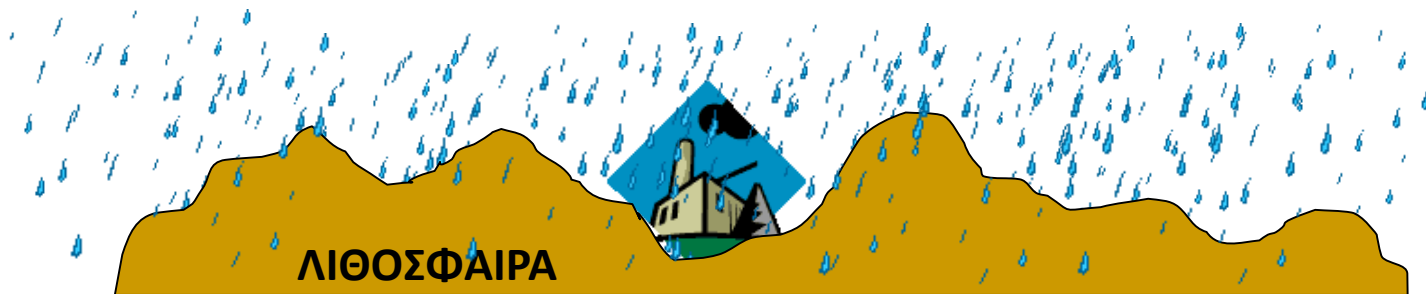


# ΣΥΝΗΘΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ

ΟΡΥΚΤΟ	ΣΥΣΤΑΣΗ	ΠΕΤΡΩΜΑ ΣΥΝΗΘΟΥΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΟΡΥΚΤΟΥ	ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ
Μοσχοβίτης	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	Μεταμορφωμένο	Ασύμπτωτη διάλυση με οξέα
Ηφαιστειακό γυαλί	Ca, Mg, Na, K, Al, Fe – πυρίτιο	Πυριγενές	Ασύμπτωτη διάλυση με οξέα
Χαλαζίας	$SiO_2$	Πυριγενές Μεταμορφωμένο Ιζηματογενές	Ανθεκτικός στην αποσάθρωση
Ασβεστίτης	$CaCO_3$	Ιζηματογενές	Σύμπτωτη διάλυση με οξέα
Δολομίτης	$CaMg(CO_3)_2$	Ιζηματογενές	Σύμπτωτη διάλυση με οξέα
Σιδηροπυρίτης	$FeS_2$	Ιζηματογενές	Οξείδωση Fe, S
Γύψος	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Ιζηματογενές	Απλή διάλυση
Ανυδρίτης	$CaSO_4$	Ιζηματογενές	Απλή διάλυση
Αλίτης	NaCl	Ιζηματογενές	Απλή διάλυση



# ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ



# ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ

- **Ευδιάλυτα συστατικά:** - Απελευθερώνονται και απομακρύνονται σε μορφή ιόντων στο διάλυμα κατά την αποσύνθεση των πρωτογενών ορυκτών. Γενικά αντανακλούν τη σύσταση των μητρικών πετρωμάτων → εμπλουτισμός σε Ca, Mg παρουσία βασικών πετρωμάτων, K, Na παρουσία όξινων πετρωμάτων. Είναι δυνατό να καθιζάνουν ή να παραμένουν διαλυμένα ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.
- **Αδιάλυτα δευτερογενή ορυκτά:** Προϊόντα οξείδωσης ή ασύμπτωτης υδρόλυσης, συνήθως λεπτόκοκκα (μέγεθος κόκκων < 2μm) περιλαμβάνουν αργιλικά ορυκτά, οξείδια Fe, Al, δευτερογενή μεταλλικά ορυκτά και goosan (σιδηρούν κάλυμμα).
- **Υπολειμματικά πρωτογενή ορυκτά:** Διαλύονται βραδέως, εμπλουτίζονται και αναμιγνύονται με τα νέα ορυκτά της αποσάθρωσης. Περιλαμβάνουν μέταλλα & μεταλλικά ορυκτά π.χ. χρυσός, λευκόχρυσος, κασσιτερίτης, χρωμίτης ή μη μεταλλικά π.χ. χαλαζίας, τουρμαλίνης, ζirkόνιο κλπ.

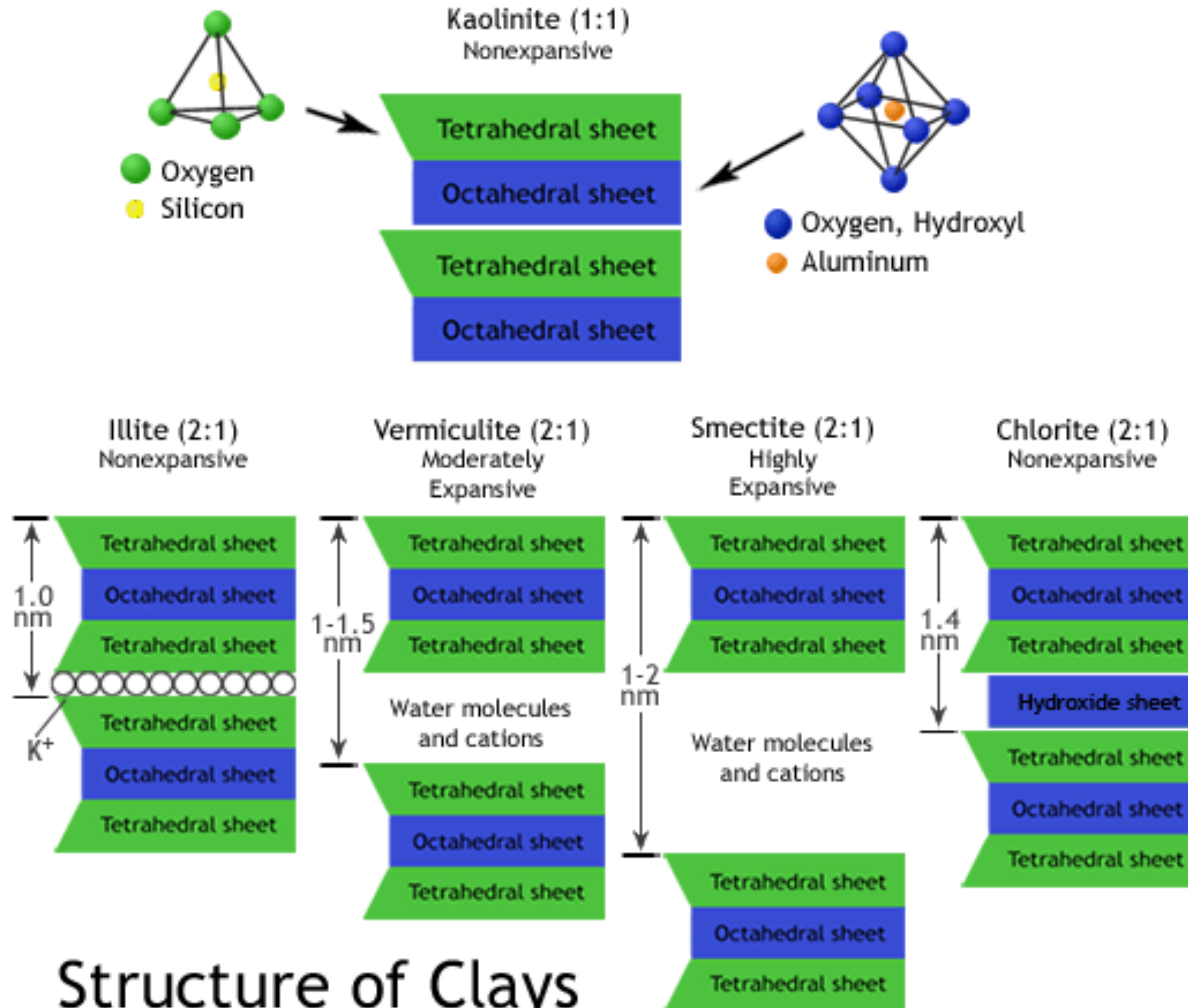


# ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ

- Στρωματοειδής δομή, περιέχουν Si, Al, Mg, O
- Αντικατάσταση Si, Al, Mg από ελεύθερα ιόντα
- Τετραεδρική δομή με O διατεταγμένα γύρω από Si ή οκταεδρική δομή με O διατεταγμένα γύρω από Mg, Al
- T-O με επανάληψη τετραέδρων-οκταέδρων (καολινίτης) ή T-O-T με εναλλαγή 2 τετράεδρα 1 οκτάεδρο (μοντμοριλλονίτης)
- Συχνή αντικατάσταση ιόντων στις οκταεδρικές θέσεις (π.χ.  $Al^{+3}$  από  $Mg^{+2}$  στον μοντμοριλλονίτη) → περίσσια φορτίου → εξισορρόπηση με εισαγωγή ιόντων μεταξύ των στρωμάτων (π.χ.  $Ca^{+2}$ )



# ΔΟΜΗ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

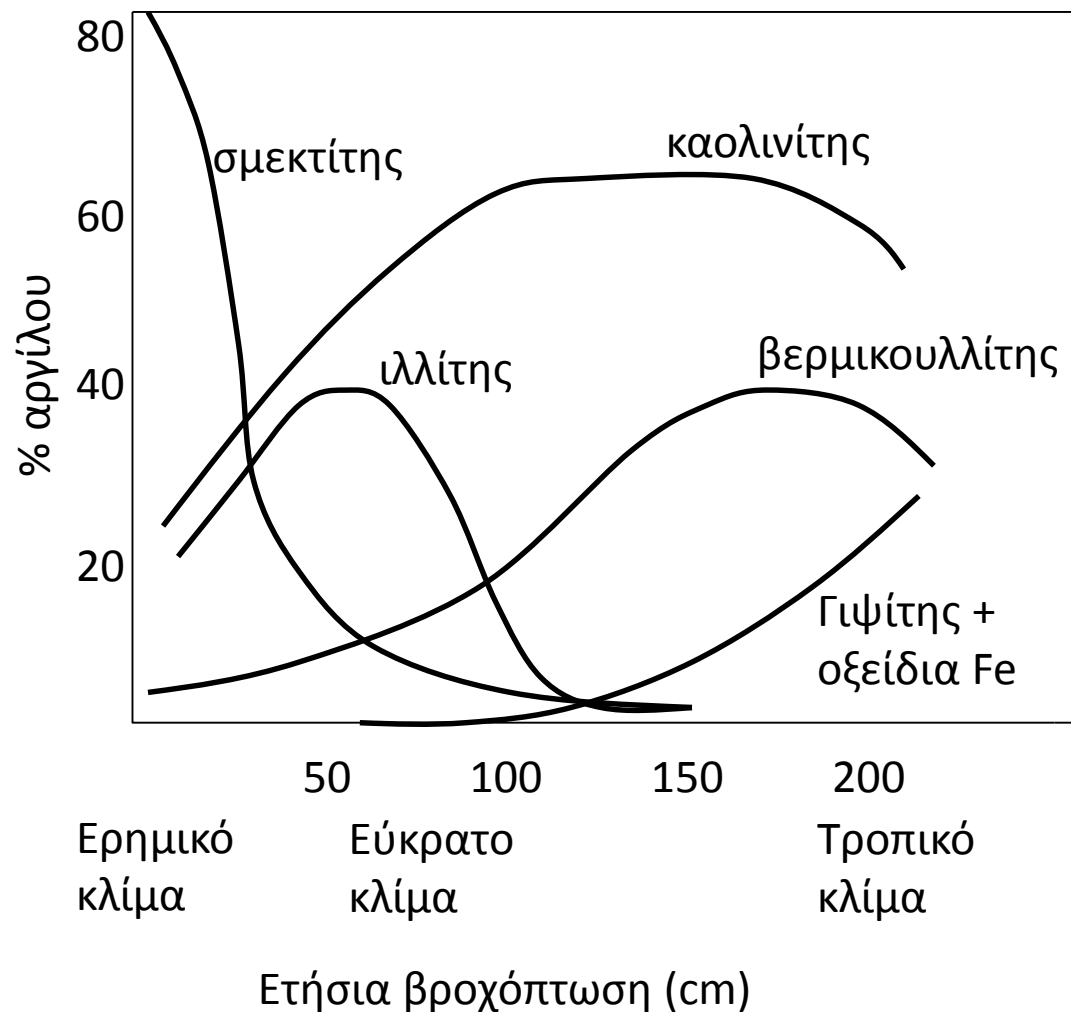


3



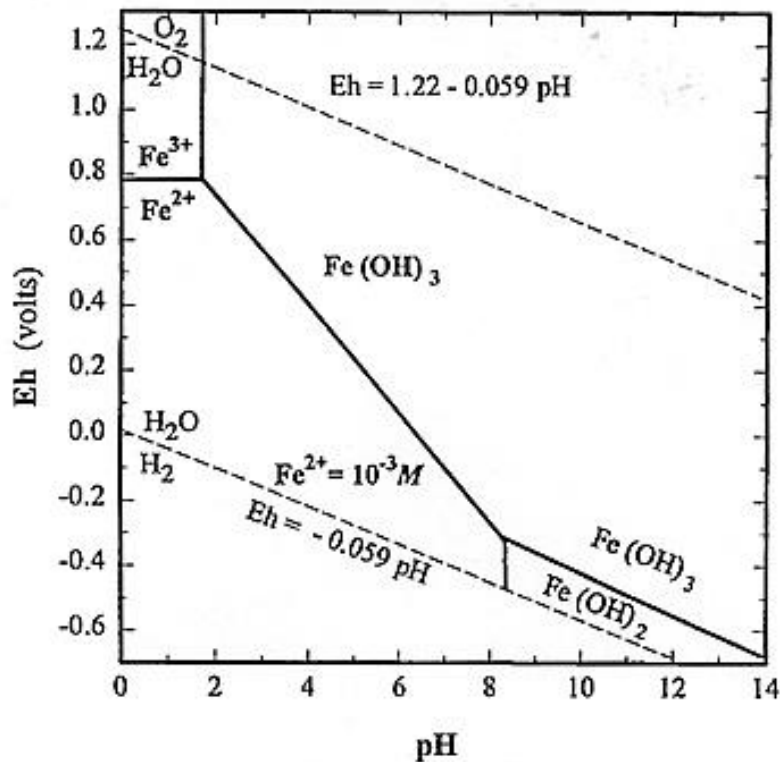


# ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΚΛΙΜΑ

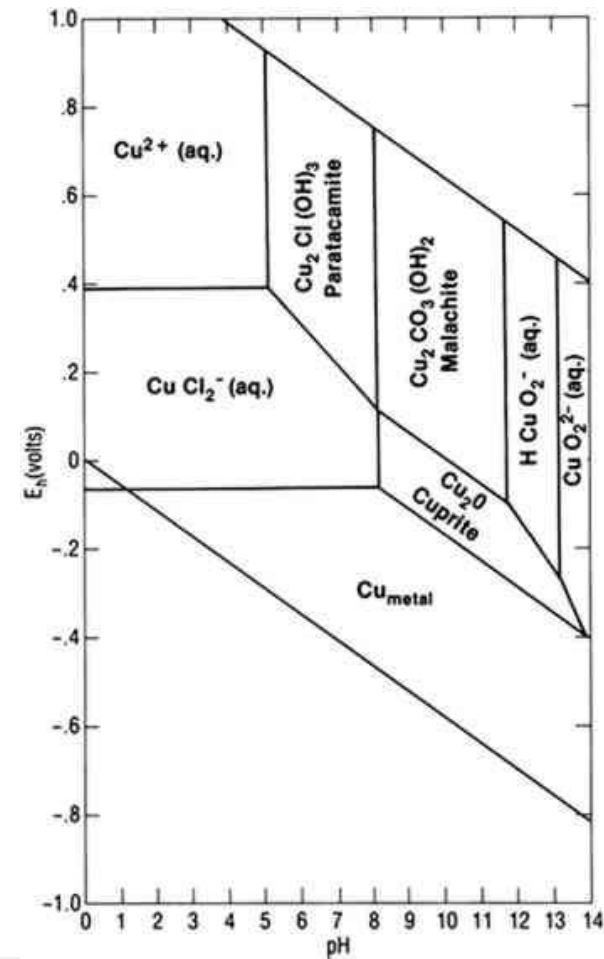


# ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΑΠΟ ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

- Το είδος του ορυκτού καθορίζεται από τις συνθήκες pH, Eh, P, συγκέντρωσης του μετάλλου



5



6



# ΣΙΔΗΡΟΥΝ ΚΑΛΥΜΜΑ

- Ένυδρα οξείδια Fe
- Προέρχονται από οξείδωση θειούχων (σιδηροπυρίτη, μαρκασίτη, μαγνητοπυρίτη, αρσеноπυρίτη) και ανθρακικών (σιδηρίτη, αγκερίτη) ορυκτών
- Σταθερά σε επαφή με όξινα θειικά διαλύματα
- Κύρια ορυκτά λειμονίτης, χαλαζίας, δευτερογενές SiO<sub>2</sub> + παραπληρωματικά ορυκτά ανάλογα με τη σύσταση του μητρικού πετρώματος
- Περιβαλλοντική σημασία: Ικανότητα προσρόφησης μετάλλων → σημασία στην διασπορά ρύπων στο περιβάλλον
- Σημασία στην έρευνα κοιτασμάτων → Οδηγός για τον εντοπισμό μεταλλοφορίας μικτών θειούχων



# 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.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Αριάδνη Αργυράκη 2015. Αριάδνη Αργυράκη. «Γεωχημεία. Γεωχημικές διεργασίες στην επιφάνεια της γης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL2/>.



# 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 (1/1)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

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

Εικόνα 1: Γεωλογικός (Γεωχημικός) κύκλος. Copyright Encyclopedia Britannica.  
Σύνδεσμος: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/108636/chemical-element>. Πηγή: [www.britannica.com](http://www.britannica.com)

Εικόνα 2: Κρίσιμη ζώνη. Copyrighted. Πηγή: ELEMENTS, VOL. 3, PP. 315-319,2007.

Εικόνα 3: Structure of Clays. Copyrighted. Πηγή: Josh Lory for [www.soilsurvey.org](http://www.soilsurvey.org).

Εικόνα 4: Copyrighted.

Εικόνα 5: Copyrighted.

Εικόνα 6: Copyrighted.

