

ΜΕΡΟΣ

A

# Χημεία του περιβάλλοντος της επιφάνειας της Γης

# 1. Πετρώματα και ορυκτά

Οι διεργασίες της αποσάθρωσης δρούν στα πετρώματα του φλοιού της γης που είναι εκτεθειμένα στην επιφάνεια, επιφέροντας αλλοιώσεις στη δομή και στα χαρακτηριστικά τους. Αυτές οι διεργασίες μπορεί να είναι φυσικές, χημικές ή βιολογικές και τα προϊόντα της αποσάθρωσης μπορεί να είναι καινούργια ορυκτά, αλλοιωμένα ορυκτά ή ευδιάλυτα συστατικά που απελευθερώνονται στο περιβάλλον.

Οι κυρίαρχοι τύποι ορυκτών σε αυτά τα πετρώματα είναι τα πυριτικά, που χαρακτηρίζουν επίσης και τα περισσότερα εδάφη. Στον Πίνακα 1.1 δίνονται τα χημικά στοιχεία στον φλοιό της γης που έχουν μια μέση συγκέντρωση μεγαλύτερη από 1%, μαζί με την αντίστοιχη περιεκτικότητά τους στα εδάφη. Οι συντελεστές εμπλουτισμού, περίπου 1 για τα O, Si και Al δείχνουν τη σημασία των αργιλοπυριτικών ορυκτών στο έδαφος. Τιμές <1 δείχνουν απώλεια αυτών των στοιχείων από το έδαφος σαν αποτέλεσμα της αποσάθρωσης.

**Πίνακας 1.1** Μέσες συγκέντρωσεις των στοιχείων στο φλοιό της Γης και στα εδάφη και ο συντελεστής εμπλουτισμού τους στο έδαφος (αναλογία εδάφους:φλοιού).

Στοιχείο	Μέση συγκέντρωση στο φλοιό (%)*	Μέση συγκέντρωση στο έδαφος (%)*	Αναλογία έδαφος:φλοιός
Οξυγόνο	46,5	49	1,05
Πυρίτιο	27,8	32	1,16
Αργίλιο	8,1	7,1	0,88
Σίδηρος	5,1	3,8	0,75
Ασβέστιο	3,6	1,4	0,39
Νάτριο	2,8	0,6	0,21
Κάλιο	2,6	0,8	0,31
Μαγνήσιο	2,1	0,5	0,24

\*Τιμές από W.L. Lindsay (1979) *Soil Chemical Equilibria*, σελ. 7-8. John Wiley & Sons, New York.

Τα πετρώματα ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες: πυριγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωμένα.

Τα **πυριγενή πετρώματα** σχηματίζονται από το μάγμα μέσα στο φλοιό της γης και περιέχουν κρυστάλλους. Τα ηφαιστειακά πετρώματα σχηματίζονται όταν το μάγμα εξέρχεται γρήγορα στην επιφάνεια και ψύχεται, δίνοντας ένα λεπτόκοκκο υλικό (π.χ. ανδεσίτης, βασάλτης, ρυδόλιθος). Τα πλουτωνικά πετρώματα ψύχονται αργά καθ' οδόν προς την επιφάνεια και είναι αδρόκοκκα (π.χ. γάββρος, γρανίτης).

Τα **ιζηματογενή πετρώματα** σχηματίζονται από τα προϊόντα αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων ή από βιογενείς διεργασίες. Παραδείγματα αποτελούν ο φαμμίτης (χαλαζιακή άμμος), ο αργιλικός σχιστόλιθος και ο πηλόλιθος (άργιλοι), ο ασβεστόλιθος (ανθρακικό ασβέστιο, βιολογικής προέλευσης από κελύφη και σκελετούς θαλάσσιων οργανισμών), τα κροκαλοπαγή (κροκάλες ποικιλής ορυκτολογικής σύστασης). Σε κάθε περίπτωση τα συστατικά αποτέθηκαν με την ιζηματογένεση και με την πάροδο του χρόνου συμπαγοποιήθηκαν για να σχηματίσουν πέτρωμα.

Τα **μεταμορφωμένα πετρώματα** σχηματίζονται από ανακρυστάλλωση σαν αποτέλεσμα υψηλών θερμοκρασιών ή/και υψηλών πιεσεών που έδρασαν σε πυριγενή ή ιζηματογενή πετρώματα. Αυτά είναι πιο ανθεκτικά στην αποσάθρωση πετρώματα. Παραδείγματος χάριν, ο χαλαζίτης σχηματίζεται από τον φαμμίτη, ο σχιστόλιθος από τον αργιλικό σχιστόλιθο και τον πηλόλιθο, το μάρμαρο από τον ασβεστόλιθο.

Τα **μη-συμπαγοποιημένα υλικά** είναι μερικώς αποσαθρωμένα πετρώματα που έχουν μεταφερθεί με διάφορους τρόπους και έχουν αποτελθεί στην επιφάνεια της γης. Οι πιο σημαντικές ομάδες είναι:

- Παγετώδεις αποθέσεις, προερχόμενες από τη δράση των πάγων
- Άλλουβιακές αποθέσεις από το νερό
- Αιολικές αποθέσεις από τη δράση του ανέμου

Τα πετρώματα από τα οποία προέρχονται καθορίζουν και τη σύστασή τους καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

## Πρωτογενή πυριτικά ορυκτά

Τα πρωτογενή ορυκτά που απαντούν στην επιφάνεια της γης είναι εκείνα που επιβιώνουν από τη διάθρωση των πετρωμάτων και των μη συμπαγοποιημένων υλικών, συνεχίζοντας να υπάρχουν σε μια σχετικά αμετάβλητη μορφή. Διακρίνονται από τα δευτερογενή ορυκτά, τα οποία σχηματίζονται με διάφορες επιφανειακές χημικές διεργασίες. Τα περισσότερα πρωτογενή ορυκτά είναι πυριτικές ενώσεις (Πίνακας 1.2.) με βάση το τετράεδρο  $\text{SiO}_4^{4-}$  (Σχήμα 3.1.), αλλά σε μερικές περιπτώσεις το άτομο του πυριτίου μπορεί να αντικατασταθεί από το αργίλιο με τη διαδικασία της ισόμορφης αντικατάστασης (βλ.

## Κεφάλαιο 1 Πετρώματα και ορυκτά

Κεφάλαιο 3), προκαλώντας μια διαταραχή της ισορροπίας του σθένους, το οποίο εξουδετερώνεται από κατιόντα, όπως  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  και  $Fe^{2+}$ .

Τα τετράεδρα του πυριτίου συνδέονται μεταξύ τους με κοινά άτομα οξυγόνου σχηματίζοντας διαφορετικές δομές πυριτικών ενώσεων με διαφορετική αντοχή στη διάβρωση:

- Στις τεκτοπυριτικές δομές κάθε τετράεδρο  $SiO_4$  μοιράζεται όλα του τα οξυγόνα με γειτονικά τετράεδρα. Αυτή η διάταξη παρατηρείται σε όλες τις μορφές του διοξειδίου του πυριτίου (χαλαζίας, τριδυμίτης, χριστοβαλίτης), στους αστρίους και τους ζεδλιθους. Η βασική μονάδα της δομής αυτής είναι το  $(SiO_4)^0$ .
- Οι φυλλοπυριτικές δομές, όπως οι μαρμαρυγίες, σχηματίζονται από τετράεδρα πυριτίου που μοιράζονται τρία οξυγόνα με γειτονικά τετράεδρα. Η βασική μονάδα της δομής αυτής είναι το  $(Si_2O_5)^2-$ .
- Οι ινοπυριτικές δομές αποτελούνται από τετράεδρα ενώμενα σε ατέρμονες αλυσίδες. Τέτοια διάταξη έχουν οι αμφίβολοι, με διπλές αλυσίδες τετραέδρων που μοιράζονται δύο ή τρία άτομα οξυγόνου, και οι πυρόξενοι, με απλές αλυσίδες τετραέδρων τα οποία μοιράζονται δύο άτομα οξυγόνου. Η βασική μονάδα είναι το  $(Si_4O_{11})^6-$  για τις διπλές αλυσίδες και το  $(SiO_3)^2-$  για τις απλές αλυσίδες.
- Οι νησοπυριτικές δομές (ή ορθοπυριτικά), όπως ο ολιβίνης, αποτελούνται από μεμονωμένα τετράεδρα πυριτίου. Η βασική μονάδα της δομής αυτής είναι το  $(SiO_4)^4-$ .

Όσο κατεβαίνουμε στον κατάλογο του Πίνακα 1.2., οι πυριτικές ενώσεις διαβρώνονται ευκολότερα, δεδομένου ότι λιγότεροι δεσμοί Si-O πρέπει να σπάσουν για να απελευθερώσουν το πυριτικό άλας. Ο χαλαζίας και οι άστριοι ειδικά, καθώς και ο μοσχοβίτης στις εύκρατες περιοχές, είναι συνήθη ορυκτά του αδρομερούς κοκκομετρικού κλάσματος (0,002-2 mm) πολλών εδαφών και ιζημάτων (βλ. Κεφάλαιο 16). Ο βιοτίτης (ο πιο συνηθισμένος μαρμαρυγίας των πυριγενών πετρωμάτων), οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι και ο ολιβίνης είναι πολύ ευκολότερο να αποσαθρωθούν. Αυτά τα ορυκτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες Fe και Mg έναντι του χαλαζία, των αστρίων και του μοσχοβίτη και είναι γνωστά ως σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά.

## Μη-πυριτικά ορυκτά

Παραδείγματα σημαντικών μη-πυριτικών ορυκτών δίνονται στον Πίνακα 1.3.

## Δευτερογενή ορυκτά

Τα δευτερογενή ορυκτά σχηματίζονται από την αλλοίωση ενός πρωτογενούς ορυκτού ή από την αντίδραση μεταξύ διαλυτών συστατικών που απελευθερώνονται από ένα πρωτογενές ορυκτό, τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους προς σχηματισμό ενός νέου ορυκτού. Οι κύριοι τύποι δευτερογενών ορυκτών είναι τα αργιλοπυριτικά ορυκτά της αργίλου, τα ένυδρα οξειδία και τα χωρίς ταξινομημένη διάταξη (άμορφα) αργιλοπυριτικά. Οι πρώτες δύο ομάδες ορυκτών εξετάζονται χωριστά στα Κεφάλαια 3 και 4.

Τα άμορφα αργιλοπυριτικά έχουν μελετηθεί λιγότερο από τα υπόλοιπα δευτερογενή ορυκτά. Έχουν μικρό μέγεθος κόκκων χωρίς συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή και πολύ μεγάλο εμβαδόν επιφάνειας, που τα καθιστά ιδιαίτερα δραστικά. Έχουν και σταθερό αρνητικό σθένος, που προκύπτει από την ισόμορφη αντικατάσταση στα τετραεδρικά φύλλα του Si, και μεταβλητό σθένος, εξαρτώμενο από το pH, παρόμοιο με εκείνο που εμφανίζεται στις ακμές της αργίλου και στις επιφάνειες των ένυδρων οξειδίων. Τα δύο κύρια ορυκτά αυτής της ομάδας, αλλοφανής και ιμογκολίτης, βρίσκονται στα πιο πρόσφατα εδάφη και στα εδάφη ηφαιστειακής προέλευσης.

**Πίνακας 1.2 Δομές των συνηθισμένων πρωτογενών πυριτικών ορυκτών.**

Χαλαζίας	$SiO_2$
Αστριοί	
Μικροκλινής	$KAISi_3O_8$
Αλβίτης	$NaAlSi_3O_8$
Ανορθίτης	$CaAlSi_2O_8$
Μαρμαρυγίες	
Μοσχοβίτης	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
Βιοτίτης	$K(Mg, Fe)_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
Αμφίβολοι	
Κεροστίλβη	$(Na, Ca)_2(Mg, Fe, Al)_5(Si, Al)_8O_{22}(OH)_2$
Πυρόξενοι	
Ενστατίτης	$MgSiO_3$
Αυγίτης	$Ca(Mg, Fe, Al)(Si, Al)_2O_6$
Ολιβίνης	$(Mg, Fe)_2SiO_4$

**Πίνακας 1.3 Δομές μερικών συνηθισμένων μη-πυριτικών ορυκτών.**

Ανθρακικά	
Ασβεστίτης	$CaCO_3$
Δολομίτης	$MgCO_3 \cdot CaCO_3$
Σουλφίδια (θειούχα)	
Σιδηροπυρίτης	$FeS_2$
Γαληνίτης	$PbS$
Σφαλερίτης	$ZnS$
Οξείδια	
Χαλαζίας	$SiO_2$
Αψιπτής	$Fe_2O_3$
Ρουτίλιο	$TiO_2$
Φωσφορικά	
Απατίτης	$Ca_5(PO_4)_3(OH)$
Θειικά (ανυδρίτης)	
Γύψος	$CaSO_4$
Βαρύτης	$BaSO_4$
Αλίδια (αλογονούχα)	
Αλίτης	$NaCl$
Φθορίτης	$CaF_2$

## 2. Διεργασίες αποσάθρωσης

Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε πετρώματα και ορυκτά και επιφέρουν αλλαγές στη σύσταση και στα χαρακτηριστικά τους είναι ευρέως γνωστές ως αποσάθρωση. Οι διεργασίες αποσάθρωσης μπορεί να είναι φυσικές, χημικές ή βιολογικές.

### Φυσική αποσάθρωση

Αρχικά, επικρατεί η φυσική διάβρωση (αποσάθρωση) προκαλώντας κατακερματισμό του πετρώματος με μείωση του κοκκομετρικού μεγέθους και αύξηση του εμβαδού επιφάνειας, χωρίς καμμία χημική αλλαγή. Η αποσάθρωση προκαλείται από διάφορες αιτίες:

- Τριβή του πετρώματος λόγω της επίδρασης του πάγου, του νερού και του αέρα, που οδηγεί σε φυσική διάσπαση (θραύση).
- Η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας και οι κύκλοι "σχηματισμός-τήξη" του πάγου δημιουργούν σημαντικές πιέσεις, οι οποίες προκαλούν τη διάσπαση των πετρωμάτων κατά μήκος των γραμμών αδυναμίας.
- Η κρυστάλλωση ορισμένων αλάτων προκαλεί διόγκωση στις ρωγμές και στις σχισμές, ασκώντας πίεση στο πέτρωμα.
- Οι ρίζες των φυτών έχουν την τάση να διεισδύουν στις υπάρχουσες σχισμές και στα κανάλια των πετρωμάτων και μπορούν έτσι να ασκήσουν σημαντική πίεση.

Το σημείο-κλειδί της φυσικής αποσάθρωσης είναι ότι αυξάνει το εμβαδόν της επιφάνειας του πετρώματος που είναι διαθέσιμη για επίθεση από διάφορες χημικές και βιολογικές διεργασίες αποσάθρωσης.

### Μεταφορά των μερικώς αποσαθρωμένων πετρωμάτων

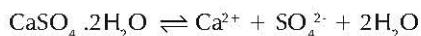
Μερικώς αποσαθρωμένα πετρώματα που θραύστηκαν από φυσικές διεργασίες αποσαθρώνονται περαιτέρω με χημικές δεργασίες *in situ* ή μπορούν να μεταφερθούν με διάφορα μέσα και να αποτελούν αλλού. Τα κυριότερα μέσα μεταφοράς φαίνονται στον Πίνακα 2.1

### Χημική αποσάθρωση

Πρόκειται για την αντιδραση μεταξύ των φυσικών νερών και των ορυκτών των πετρωμάτων που προκαλεί μερική ή πλήρη διάλυση του πετρώματος και το σχηματισμό ενός νέου ορυκτού. Διακρίνουμε διαφόρους τύπους αντιδράσεων:

#### Διάλυση - Τα διαλυτά ορυκτά διαλύονται στο νερό

Ορυκτά, όπως η γύψος ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), είναι ιδιαίτερα διαλυτά και για το λόγο αυτό παραμένουν μόνο στις ξηρές και ημιαγονες περιοχές, όπου η ύπαρξη νερού είναι περιορισμένη. Στις εύκρατες και στις τροπικές περιοχές υπάρχει αρκετό νερό για να προκαλέσει τη διάλυση και την απώλεια της γύψου:



Ο χαλαζίας είναι πολύ λιγότερο διαλυτός από τη γύψο, αλλά ακόμη και αυτός είναι ένα ελαφρώς διαλυτό ορυκτό:



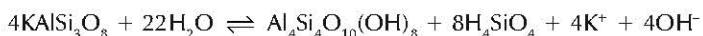
Η παραπάνω αντιδραση χαρακτηρίζεται από την απώλεια του διαλυτού πυριτικού οξείου. Στις εύκρατες περιοχές, υπάρχει ανεπάρκεια νερού και, δεδομένου ότι η αποσάθρωση έχει προχωρήσει κατά τη διάρκεια ενός σχετικά σύντομου χρόνου από την τελευταία εποχή των παγετώνων, δεν έχει προκληθεί σημαντική απώλεια πυριτίου, έτσι ο χαλαζίας είναι το κυρίαρχο ορυκτό στο αδρομερές ίλασμα πολλών εδαφών. Αντίθετα, στις υγρές τροπικές περιοχές, ο κατά πολύ μεγαλύτερος δύκος νερού που περνά μέσα από έδαφος για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και η υψηλότερη θερμοκρασία έχουν προκαλέσει σημαντική, αν όχι ολικήρωτική, απώλεια του πυριτίου.

**Πίνακας 2.1** Διεργασίες μεταφοράς αποσαθρωμένων πετρωμάτων.

Πάγος	Τριβή	Ποταμο-παγετώδης απόθεση	Νερό	Άλλουβιακές αποθέσεις	Λιμναίες αποθέσεις	Παράλιες αποθέσεις	Άνεμος	Βαρύτητα	Κολλούβιακές αποθέσεις	Υλικά
Παγετώδης στιβάδα	Μετακίνηση και απόθεση από παγετώνες Λείανση από παγετώνες, περιέχει γωνιώδεις πέτρες	Απόθεση από τηγμένο νερό πάγου με πέτρες ταξινομημένες ως ένα βαθμό και στρογγυλεμένες από τη δράση νερού	Αποθέσεις από ρέον νερό σε ρυάκια και ποτάμια με ταξινόμηση κοκκομετρίας και πυκνότητας, περιέχει στρογγυλεμένες πέτρες	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Τριβή	Μετακίνηση και απόθεση από παγετώνες Λείανση από παγετώνες, περιέχει γωνιώδεις πέτρες	Απόθεση από τηγμένο νερό πάγου με πέτρες ταξινομημένες ως ένα βαθμό και στρογγυλεμένες από τη δράση νερού	Αποθέσεις από ρέον νερό σε ρυάκια και ποτάμια με ταξινόμηση κοκκομετρίας και πυκνότητας, περιέχει στρογγυλεμένες πέτρες	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Ποταμο-παγετώδης απόθεση	Απόθεση από τηγμένο νερό πάγου με πέτρες ταξινομημένες ως ένα βαθμό και στρογγυλεμένες από τη δράση νερού	Απόθεση από τηγμένο νερό σε ρυάκια και ποτάμια με ταξινόμηση κοκκομετρίας και πυκνότητας, περιέχει στρογγυλεμένες πέτρες	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Πάγος	Μετακίνηση και απόθεση από παγετώνες Λείανση από παγετώνες, περιέχει γωνιώδεις πέτρες	Απόθεση από τηγμένο νερό πάγου με πέτρες ταξινομημένες ως ένα βαθμό και στρογγυλεμένες από τη δράση νερού	Αποθέσεις από ρέον νερό σε ρυάκια και ποτάμια με ταξινόμηση κοκκομετρίας και πυκνότητας, περιέχει στρογγυλεμένες πέτρες	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Άλλουβιακές αποθέσεις	Μετακίνηση και απόθεση από παγετώνες Λείανση από παγετώνες, περιέχει γωνιώδεις πέτρες	Απόθεση από τηγμένο νερό σε ρυάκια και ποτάμια με ταξινόμηση κοκκομετρίας και πυκνότητας, περιέχει στρογγυλεμένες πέτρες	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Λιμναίες αποθέσεις	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Παράλιες αποθέσεις	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Ιζήματα αποτελημένα σε λιμναία νερά Αποθέσεις από τη δράση κυμάτων, συνήθως άμμοι	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Άνεμος	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Βαρύτητα	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				
Κολλούβιακές αποθέσεις	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποθέσεις, π.χ. άμμοι ερήμων, loess (αιολικός σχηματισμός)	Αιολικές αποτελημένες στη βάση πλαγιών - από υγρό χώμα που γλιστρά πάνω σε παγωμένο υπόβαθρο - κατωφέρεια ή αργή κίνηση εδάφους σε μια κατωφέρεια				

## Κεφάλαιο 2 Διεργασίες αποσάθρωσης

Διαφορετική έκπλυση ευδιάλυτων ιόντων από τα πετρώματα μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό ενός νέου ορυκτού. Πραδείγματος χάριν, η απώλεια ιόντων καλίου, υδροξυλίων και πυριτικού οξέος από τους αστρίους έχει σαν συνέπεια τη μετατροπή τους σε καολινίτη:

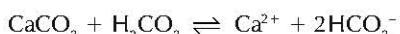


Άστριος

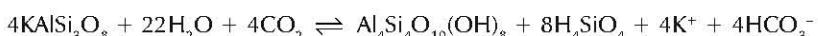
Καολινίτης

‘Οξινη υδοόλυνση - επίδοση ανθρακικού οξέος στα οουκτά

Το νερό που επιδρά στα πετρώματα και στα ορυκτά βρίσκεται σε ισορροπία με το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας που διαλύεται για να σχηματίσει ανθρακικό οξύ. Το καθαρό νερό της βροχής έχει pH περίπου 5,7 (βλ. Κεφάλαιο 11) ενώ το νερό των πόρων στα εδάφη μπορεί να εκτεθεί σε αέρα που παρουσιάζει υψηλότερη μερική πίεση CO<sub>2</sub> απ' δ', τι η ελεύθερη ατμόσφαιρα και έτσι το νερό των πόρων μπορεί να γίνει πιο όξινο. Η επιδραση αυτών των ασθενών ανθρακικών οξέων στα ορυκτά συχνά αποτελεί και τη σημαντικότερη αποσαθρωτική διεργασία. Πραδείγματος χάριν, η όξινη υδρόλυση του ανθρακικού αισβεστίου δίνει ασβέστιο και διττανθρακικά ιόντα.



Η δίνη υδρούση του πρωτογενούς μικροκλινικού αστρίου οδηγεί στην απελευθέρωση μερικών ευδιάλυτων συστατικών (πυριτικό οξύ, ιόντα καλίου και διττανθρακικά ιόντα) και στην αλλοίωση της στρεψής φάσης σε καολινίτη (σύγκρινε με την αντιδραση διαλυτοποίησης παραπάνω):

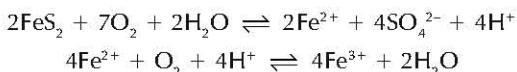


Άστοιος

Καολινίτης

*Οξείδωση - επίδοση του οξυγόνου στα οουκτά*

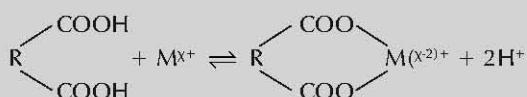
Για τα στοιχεία εκείνα τα οποία μπορεί να βρίσκονται με περισσότερα από ένα σθένη, η οξειδωση μπορεί να αποτελεί μια σημαντική αντιδραση χημικής αποσάθρωσης (βλ. Κεφάλαιο 12). Ο σίδηρος και το μαγγάνιο είναι τα πιο σημαντικά στοιχεία που παρουσιάζουν αυτήν τη συμπεριφορά. Πραδείγματος χάριν, ο σίδηρος στα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά βρίσκεται σε μορφή Fe(II) και οξειδώνεται σε Fe(III) όταν απελευθερώνεται από το ορυκτό. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στην ισορροπία του φορτίου και, κατά συνέπεια, θα πρέπει να φύγουν κάποια άλλα ιόντα. Ο σχηματισμός του οξειδίου του σιδήρου μπορεί να προκαλέσει φυσικές διαταραχές στο ορυκτό. Ορυκτά που σχηματίζονται σε αναερόβια περιβάλλοντα, όπως ο σιδηροπυρίτης (FeS), οξειδώνονται όταν εκτεθούν στον αέρα:



## Βιολογική αποσάθρωση

Μόλις οι βιολογικές διεργασίες αρχίζουν, μια νέα σειρά σημαντικών αντιδράσεων μπορεί να συμβεί λόγω της απελευθέρωσης οργανικών ενώσεων από αποικίες οργανισμών και ριζικά συστήματα. Αυτές οι ενώσεις συχνά είναι οργανικά οξέα που μπορεί να επιπρέψουν το pH του περιβάλλοντός τους και να σηματίσουν χηλικές ενώσεις με τα κατιόντα των ορυκτών.

**Σηματισμός γηλικών ενόδωσεων - Σηματισμός σταθεούν συμπλόκου μεταξύ ενός μεταλλικού ιόντος και ενός οογανικού μοιον**



Η διεργασία της συμπλοκοπόίησης αναφέρεται στο Κεφάλαιο 10. Τα οργανικά οξέα που απελευθερώνονται από λειχήνες, φύκι, αποξηραμένα χόρτα και ριζικά συστήματα προκαλούν απώλεια μεταλλικών ιόντων από τα ορυκτά λόγω της αυξημένης διαλυτότητας πολλών μεταλλικών ιόντων σε χαμηλό pH (βλ. Κεφάλαιο 9). Αυτά τα ιόντα μπορούν κατόπιν να συμπλοκοποιηθούν από το οργανικό μέριο, το οποίο συχνά δρα έτσι ώστε να τα διατηρήσει στο διάλυμα, επιτρέποντάς τα να εκπλυσθούν από το αποσαθρούμενο πέτρωμα.

**Συνέπειες της αποσάθρωσης και αποσαθρωσιμότητα των ορυκτών**

Εξαιτίας του ότι τα ορυκτά παρουσιάζουν ποικιλή αποσαθρωσιμότητα (δηλ. επιδεκτικότητα στην αποσαθρωση), τα ορυκτολογικά είδη που βρίσκονται στο περιβάλλον της επιφάνειας της γης αντανακλούν τη φύση του μικροπεριβάλλοντός τους. Έτσι, ευκόλως αποσαθρούμενα ορυκτά, όπως τα αλογονούχα και τα θειικά, διατηρούνται μόνο σε ξηρά περιβάλλοντα. Στα υψηλής αποσαθρωσιμότητας τροπικά περιβάλλοντα, οι υψηλές θερμοκρασίες και η βροχή οδηγούν στην απώλεια όλων εκτός από τα πιο ανθεκτικά ορυκτά, όπως τα σιδηροξειδία και ο καολίνιτης. Τα περισσότερα πυριτικά έχουν χαθεί από την αργή έκπλυση του πυριτικού οξεούς. Σε εύκρατα περιβάλλοντα τα πυριτικά διατηρούνται και αποτελούν τα κύρια ορυκτά στην επιφάνεια της γης.