

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΑΛΙΚΗ ΑΛΕΞΟΥΛΗ – ΛΕΙΒΑΔΙΤΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.

ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ



ΑΘΗΝΑ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1. Η ΓΗ ΣΑΝ ΠΛΑΝΗΤΗΣ	10
1.1. Το ηλιακό σύστημα	10
1.2. ΓΕΝΙΚΗ ΟΨΗ ΤΗΣ ΓΗΣ	12
1.3. ΠΕΔΙΟ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ.....	17
1.4. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ.....	20
1.5. ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	23
1.6. Η ΓΗ ΚΑΙ Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ.....	26
1.7. ΚΛΙΜΑ.....	37
1.8. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	38
2. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΓΗΣ.....	40
2.1. Ο πυρήνας.....	40
2.2. Ο μανδύας.....	41
2.3. Φλοιός.....	42
2.4. Ζώνες της Γης	43
3. ΤΟ ΓΗΙΝΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ	44
3.1. Ισοστασία	45
3.2. Μεταβολές του γήινου αναγλύφου.....	47
4. ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ-ΔΙΑΒΡΩΣΗ-ΑΠΟΓΥΜΝΩΣΗ.....	49
4.1. Αποσάθρωση.....	50
4.2. Χημική αποσάθρωση	52
4.3. Μηχανική αποσάθρωση	55

4.4.	Αποσάθρωση από βιολογικούς παράγοντες	57
4.5.	Η σημασία της αποσάθρωσης στη δημιουργία κοιτασμάτων	59
4.6.	Η επίδραση του κλίματος, του είδους πετρώματος και του χρόνου στην αποσάθρωση	60
4.7.	Επίδραση των ατμοσφαιρικών παραγόντων στα δομικά υλικά.....	61
4.8.	Έδαφος.....	63
4.9.	Διάβρωση	64
5.	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΜΑΖΩΝ	66
6.	ΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ.....	72
6.1.	Διαπερατότητα.....	74
6.2.	Πορώδες.....	75
6.3.	Υδροφόροι ορίζοντες	76
6.4.	Η προέλευση του υπόγειου νερού	78
6.5.	Επίδραση του θαλασσινού νερού στο παράκτιο γλυκό νερό.....	78
6.6.	Πηγάδια.....	80
6.7.	Πηγές.....	80
6.8.	Η σημασία των υπόγειων νερών στον πετρολογικό κύκλο	83
7.	ΚΑΡΣΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	85
7.1.	Καρστικές μορφές	87
7.2.	Καρστικά σπήλαια.....	90
7.3.	Καρστικός κύκλος.....	91
8.	ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ	93
8.1.	Η σπουδαιότητα των Ποταμών.....	93
8.2.	Ροή των ποταμών.....	94
8.3.	Διάβρωση και απόθεση από τους ποταμούς - Καταρράκτες.....	99
8.4.	Μαϊάνδροι.....	99
8.5.	Πεδία πλημμύρας	103
8.6.	Παράγοντες που επιτείνουν τους κινδύνους από τις πλημμύρες.....	104
8.7.	Αλλουβιακές πεδιάδες.....	105
8.8.	Δέλτα	106
8.9.	Υδρογραφικό σύστημα	107
8.10.	Εκσκαφή των κοιλάδων	109
8.11.	Οι ποταμοί και οι κοιλάδες τους.....	110
8.12.	Ταξινόμηση των ποταμών.....	111
8.13.	Ισοστατική εξισορρόπηση της απογύμνωσης	113

8.14.	Διακοπή της απογύμνωσης.....	113
9.	ΠΑΓΕΤΩΔΗΣ ΔΡΑΣΗ	116
9.15.	Παγετώδης διάβρωση.....	118
9.16.	Αίτια δημιουργίας παγετώνων-Παγετικό κλίμα	121
10.	ΑΙΟΛΙΚΗ ΔΡΑΣΗ.....	123
10.1.	Αιολική διάβρωση	124
10.2.	Αιολικές αποθέσεις	126
10.3.	Ερημοποίηση.....	128
11.	ΩΚΕΑΝΟΙ.....	131
11.1.	Θαλάσσια ρεύματα και παλίρροιες	133
11.2.	Κύματα	137
12.	ΑΚΤΕΣ.....	142
12.3.	Η διάβρωση και η απόθεση ως παράγοντες διαμόρφωσης των ακτών.	144
13.	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	155
13.1.	Επίδραση του ανθρώπου στις ακτές.....	155
13.2.	Προστασία ακτών από τη διάβρωση	155
13.3.	Επιπτώσεις από τη δημιουργία φραγμάτων και αρδευτικών διωρύγων.....	157
13.4.	Φυσικοί κίνδυνοι στην Ελλάδα.....	159
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	163
	ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ	161

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ζωή του ανθρώπου πάνω στη γη είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φυσικό του περιβάλλον. Δέχεται την επίδραση του περιβάλλοντός του, αλλά επιδρά και αυτός στο περιβάλλον του και το διαμορφώνει. Η επίδραση του περιβάλλοντος είναι ποικίλη και είναι δύσκολο να καθοριστεί με ακρίβεια. Μεγάλη σημασία, όμως, έχουν τα γεωλογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής.

Στην επιφάνεια της γης οι άνθρωποι είναι διεσπαρμένοι. Αλλού παρατηρείται μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού και αλλού μικρότερη. Οι βασικότεροι παράγοντες που καθορίζουν την κατανομή και την πυκνότητα είναι τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, το κλίμα και ο ορυκτός πλούτος.

Μια περιοχή που κατοικείται επί πολλές γενεές ανθρώπων έχει αποτυπωμένα, σαφώς, τα ίχνη της ζωής και του χαρακτήρα των ανθρώπων. Το περιβάλλον δημιουργεί συνθήκες ανάπτυξης ενός ορισμένου τρόπου ζωής και ο άνθρωπος στη συνέχεια το διαμορφώνει με διάφορα έργα, μεταβάλλοντας την μορφολογία, ακόμη και το κλίμα της περιοχής.

Η επίδραση της εσωτερικής κατασκευής του φλοιού είναι περισσότερο έμμεση παρά άμεση. Η μορφή του τοπίου είναι αποτέλεσμα, κατά μεγάλο μέρος, της εσωτερικής κατασκευής και των γεωλογικών διεργασιών, όπως είναι οι ανυψώσεις, τα βυθίσματα και οι πτυχώσεις.

Ο στερεός φλοιός, μας εξασφαλίζει δομικούς λίθους, έδαφος, μέταλλα, κάρβουνο, αλάτι, σταθερή ή ασταθή θεμελίωση και δημιουργεί μικρότερες ή μεγαλύτερες δυσκολίες για τις οδικές συνδέσεις. Έχει λίγες ή πολλές πηγές νερού, πόσιμου ή μη, θερμές πηγές ή μεταλλικά νερά. Η ροή των ποταμών εξασφαλίζει υδροδυναμική ενέργεια και καθορίζει αν ένας ποταμός είναι ή όχι πλωτός.

Με λίγα λόγια, η εσωτερική δομή της γης είναι ο βασικός παράγοντας που εξασφαλίζει καλή ζωή στον άνθρωπο και γενικά είναι ένας καθοριστικός παράγοντας στην ιστορία της ανθρωπότητας. Η μορφολογία συντελεί στον διαχωρισμό των φυλών, των εθνών και βοηθά στην διαμόρφωση των ηθών και εθίμων. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι έχει σχέση με την πολιτική και την στρατιωτική δράση.

Οι τύποι των πετρωμάτων επιδρούν στην πολιτιστική ανάπτυξη των ανθρώπων μιας περιοχής. Στη δημιουργία των μαρμάρινων αριστουργημάτων που δημιουργήθηκαν στην αρχαιότητα, συνετέλεσαν και τα πετρώματα που υπάρχουν άφθονα στην περιοχή.

Προκειμένου να επιλύσουμε βασικά προβλήματα για τη ζωή του ανθρώπου, πρέπει να γνωρίζουμε τη γεωλογία, τη μορφολογία και γενικά το φυσικό μας περιβάλλον.

Η μελέτη της γεωλογίας μιας περιοχής και η γνώση της προέλευσης των διαφόρων ορυκτών είναι πολύ χρήσιμη για την εκτίμηση του ορυκτού πλούτου. Η γεωμορφολογία καθορίζει την κατανομή και τους τύπους των πηγών, την ποιότητα και την ποσότητα του νερού. Επιδρά στην οικονομία, καθορίζοντας τις δραστηριότητες των κατοίκων (κυνήγι, ψάρεμα, γεωργία, αμπελουργία, δασοκομία, μεταλλεία, βιομηχανία). Επίσης, επιδρά στην κατανομή και στην πυκνότητα του πληθυσμού και καθορίζει τη διαμόρφωση των περιοχών και την αρχιτεκτονική δομή. Η μορφολογία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των μεταφορών (θαλασσιών, χερσαίων κλπ.).

Πολύ βασικός παράγοντας για τη ζωή του ανθρώπου, αλλά και την γεωμορφολογική εξέλιξη της γήινης επιφάνειας, είναι το κλίμα. Οι ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη οικισμών και πόλεων, αλλά σπουδαιότερο κριτήριο αποτελεί η γεωλογική τους δομή. Έτσι, βλέπουμε ότι κατοικούνται περιοχές με πολύ δυσμενείς κλιματικές συνθήκες είτε γιατί έχουν πλούσιο υπέδαφος είτε γιατί παρέχουν προϋποθέσεις για την ανάπτυξη μιας ορισμένης οικονομικής δραστηριότητας.

Η μορφολογία και το είδος των εδαφών επιδρούν στη βλάστηση και την ευφορία των περιοχών και η γνώση τους μας βοηθά στην εξεύρεση τρόπων καλύτερης εκμετάλλευσης του φυτικού δυναμικού.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, η επέμβαση του ανθρώπου στο περιβάλλον γίνεται συνεχώς εντονότερη. Δημιουργούνται φράγματα σε εκατοντάδες κοιλάδων για παραγωγή ενέργειας ή για άρδευση. Διαμορφώνονται οι ακτές, κατασκευάζονται λιμάνια, λαμβάνονται μέτρα για τον έλεγχο των πλημμυρών, γίνονται δρόμοι και τέλος ένας τεράστιος αριθμός τεχνικών έργων έχουν κατασκευαστεί ή κατασκευάζονται κάθε χρόνο με βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον, που πολλές φορές ήταν δύσκολο να προβλεφθούν ή είχαν υποβαθμιστεί. Τα πολύπλοκα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από την παρέμβαση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στις φυσικές διεργασίες, μπορεί να προκαλέσουν πλήρη μεταβολή του φυσικού περιβάλλοντος. Για τους λόγους

αυτούς, η μελέτη του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα των επιπτώσεων στον τομέα των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, αλλά και αντίστροφα, είναι επιτακτική.

Η Περιβαλλοντολογική Γεωλογία αποτελεί εφαρμογή των γεωλογικών επιστημών στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Βασικό ρόλο στη μελέτη του περιβάλλοντος κατέχει η γεωμορφολογία, γιατί αυτή καθορίζει κατά ένα μεγάλο μέρος το είδος των έργων που πρόκειται να εκτελεστούν ή εκτελέστηκαν και τα προβλήματα που θα προκύψουν. Ένα πρόγραμμα γεωμορφολογικής ανάλυσης, το οποίο περιλαμβάνει τοπογραφική, λιθολογική και πεδολογική μελέτη μας δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τα έργα που μπορούν να εκτελεστούν και για να προβλέψουμε τις μεταβολές και τους κινδύνους που θα προκύψουν.

Πληροφορίες για την επιφάνεια της Γης παρέχονται από πολλές επιστήμες, τη γεωλογία, τη γεωφυσική, την τοπογραφία, την αστρονομία κλπ. Καμιά, όμως, από όλες αυτές δεν μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα από τις άλλες. Είναι φανερό για κάποιον που παρατηρεί τα κύματα να δρουν στην ακτή, τα ποτάμια να μεταφέρουν ιζήματα κλπ, ότι η επιφάνεια της Γης συνεχώς μεταβάλλεται και ότι ο ρυθμός των μεταβολών ποικίλει τόσο από θέση σε θέση, όσο και στο χρόνο. Υπάρχει, λοιπόν, μια ιστορική θεώρηση.

Η δομή, τα υλικά, οι διεργασίες και η ιστορία των μεταβολών των γεωμορφών, είναι τα τέσσερα ουσιώδη συστατικά της μελέτης της φύσης και της προέλευσης της σύγχρονης επιφάνειας.

Η ύπαρξη της ζωής στη Γη και οι μεταβολές της επιφάνειας, οφείλονται πιθανώς στο μέγεθος του πλανήτη, στη θέση του στο ηλιακό σύστημα και τις κινήσεις του μέσα σ' αυτό.

Αν η Γη ήταν πολύ μικρότερη, θα έχανε την ατμόσφαιρά της γιατί οι δυνάμεις της βαρύτητας θα ήταν πολύ μικρές και έτσι τα αέρια θα διασκορπίζονταν στο διάστημα. Αν πάλι ήταν πολύ μεγαλύτερη, οι δυνάμεις βαρύτητας θα ήταν πολύ ισχυρότερες, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ατμόσφαιρα, νερό, έδαφος αλλά ούτε και ζωή.

Οι μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας από -80°C έως $+100^{\circ}\text{C}$ είναι ένας άλλος παράγοντας που ευνοεί την ύπαρξη της ζωής. Οι μεταβολές αυτές ελέγχονται τόσο από την ατμόσφαιρα, όσο και από την ταχύτητα περιστροφής της Γης.

Το εσωτερικό της Γης, μοιάζει με μια πυρηνική θερμική μηχανή που παράγει μια συγκεκριμένη και σταθερή ποσότητα θερμότητας. Αν η παραγωγή ενέργειας ήταν μικρότερη, τότε όλες οι γεωλογικές διεργασίες θα ήταν ασθενέστερες και βραδύτερες. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα π.χ. τα ηφαίστεια να μην εκπέμπουν ατμούς και άλλα αέρια, από τα οποία δημιουργήθηκαν η ατμόσφαιρα και οι ωκεανοί. Πιθανώς ο σίδηρος να μην είχε διαχωριστεί

και να μην υπήρχε το υγρό τμήμα του πυρήνα, με συνέπεια να μην είχε αναπτυχθεί το μαγνητικό πεδίο. Η επιφάνεια της Γης θα έμοιαζε με αυτή της Σελήνης και θα ήταν ένας πλανήτης χωρίς ζωή. Αντίθετα, αν το εσωτερικό της Γης ήταν μια ταχύτερη θερμική μηχανή, τότε οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις θα ήταν πολύ έντονες, η ατμόσφαιρα θα αποτελούνταν από πυκνά αέρια και πυκνή σκόνη και θα τη συντάραζαν βίαιες ηλεκτρικές καταιγίδες. Πιθανώς η Γη είχε τέτοια επιφάνεια παλιότερα, αλλά τώρα με μια ενδιάμεση ταχύτητα παραγωγής ενέργειας, ενδιάμεσες θερμοκρασίες, το συγκεκριμένο μέγεθος και θέση στο ηλιακό μας σύστημα καθιστά δυνατές τις γεωλογικές και ατμοσφαιρικές διεργασίες που προκαλούν μεταβολές στο φυσικό μας περιβάλλον. Επίσης, δημιουργεί συνθήκες κατάλληλες για την ύπαρξη ζωής.

Στα πιο κάτω κεφάλαια θα εξετάσουμε σε συντομία τη δράση των εξωγενών παραγόντων και την επίδρασή τους στη διαμόρφωση του γήινου ανάγλυφου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωλογία μελετά την ιστορία της Γης, τον τρόπο γένεσης, την κατασκευή και την εξέλιξή της και γενικά τα διάφορα στάδια που πέρασε από την εποχή που δημιουργήθηκε ο πρώτος στερεός φλοιός έως σήμερα. Η γεωλογία έχει ένα πολύ πλατύ πεδίο έρευνας και, όπως είναι φυσικό, αποτελείται από πολλούς ειδικούς κλάδους.

Η Γενική Γεωλογία χωρίζεται:

- α) Στη Δυναμική Γεωλογία που εξετάζει τις ενδογενείς και εξωγενείς δυνάμεις που επέδρασαν στις μεταβολές του στερεού φλοιού και
- β) Στην Τεκτονική Γεωλογία που εξετάζει τις κινήσεις του φλοιού και τις διάφορες παραμορφώσεις των πετρωμάτων, όπως είναι οι πτυχώσεις, οι διαρρήξεις και οι παραμορφώσεις.

Η Ιστορική Γεωλογία ή Στρωματογραφία μελετά την αλληλοδιαδοχή και την ηλικία των στρωμάτων.

Η Εφαρμοσμένη Γεωλογία αποτελεί την εφαρμογή της γεωλογίας για πρακτικούς σκοπούς.

Η Φυσική Γεωλογία ασχολείται με τον μηχανισμό εξέλιξης της Γης, με τα αποτελέσματα και τον σχηματισμό των διαφόρων μορφών ανάγλυφου της επιφάνειας που συνεχώς μεταβάλλονται από εξωγενείς ή ενδογενείς δυνάμεις, δίνοντας γένεση σε άλλες μορφές.

Προκειμένου να μελετήσουμε και να κατανοήσουμε τις διεργασίες που συντελούνται τόσο στο εσωτερικό της Γης από την επίδραση των ενδογενών δυνάμεων, όσο και στην επιφάνειά της από την επίδραση των εξωγενών δυνάμεων, πρέπει να την θεωρήσουμε και να την εξετάσουμε σαν μέρος του αστρικού μας συστήματος, γιατί μετά από όσα αναφέραμε πιο πάνω, αντιλαμβανόμαστε ότι οι λειτουργίες και οι ισορροπίες που συμβαίνουν στη Γη, βασίζονται σε λεπτές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ πολλών παραγόντων που δρουν και επηρεάζουν τις λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα.

1. Η ΓΗ ΣΑΝ ΠΛΑΝΗΤΗΣ

1.1. Το ηλιακό σύστημα

Σύμφωνα με τις ενδείξεις που υπάρχουν, το σύμπαν δημιουργήθηκε πριν από 13 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου σαν ένα ιδιαίτερα πυκνό και θερμό σύννεφο από ύλη, το οποίο διαμορφώθηκε τελικά όπως το ξέρουμε σήμερα:

Δισεκατομμύρια γαλαξίες με δισεκατομμύρια άστρα ο καθένας, μέσα σε έναν χώρο διαμέτρου περίπου 10^{23} km ή 10^{10} έτη φωτός. Το σύμπαν αποτελείται κυρίως από H και He και η μέση του πυκνότητα είναι 10^{-28} g/cm³.

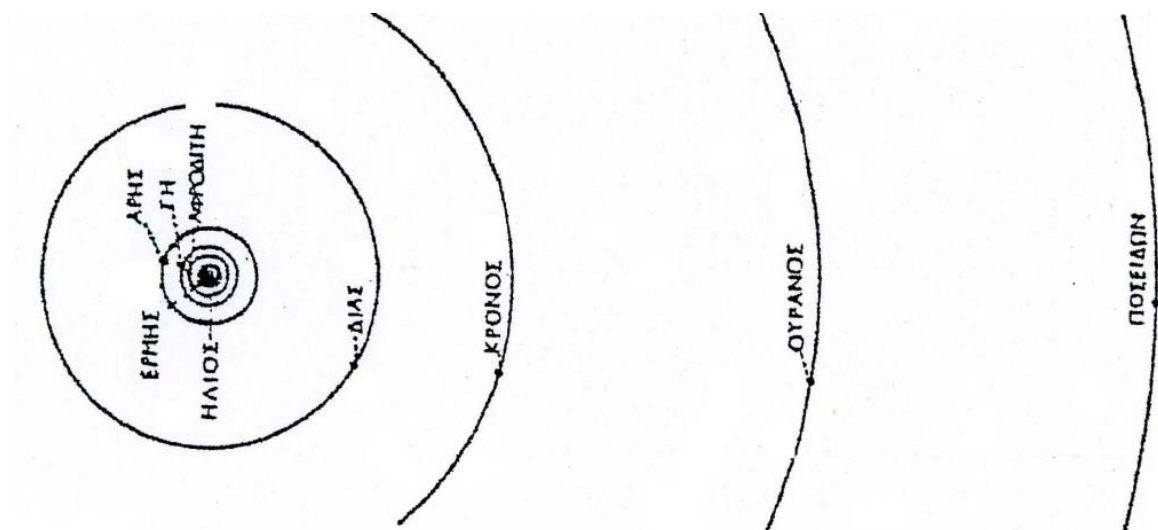
Ο ήλιος είναι ένα από τα πιο τυπικά άστρα και μαζί με όλο το ηλιακό σύστημα φαίνεται ότι δημιουργήθηκε πριν από 5-δισεκατομμύρια-χρόνια περίπου. Το ηλιακό σύστημα, εκτός από τον ήλιο, αποτελείται από 8 πλανήτες, 32 δορυφόρους, πολλούς αστεροειδείς και πολλούς κομήτες και μετεωρίτες. Μέχρι πρόσφατα (καλοκαίρι 2006) στους πλανήτες εντάσσονταν και ο Πλούτωνας που βρίσκεται στη μακρινότερη απόσταση από τον Ήλιο και είναι μικρότερος από τη σελήνη, και με νεότερες έρευνες κατετάγει στους πλανήτες νάνους. Στο εξωτερικό τμήμα του ηλιακού μας συστήματος διαπιστώθηκε με τα νέα τηλεσκόπια ότι κινούνται πολλά μικρά σώματα παραπλήσιου μεγέθους που δεν μπορεί να θεωρηθούν πλανήτες.

Ο ήλιος περιέχει σχεδόν το σύνολο της ύλης του συστήματος, κάτι λιγότερο από το 999‰. Η μεγάλη αυτή μάζα του ηλίου που αποτελείται βασικά από υδρογόνο και ήλιο, αντιστοιχεί σε 2×10^{27} τόνους και είναι η ουσιαστική δύναμη που ελέγχει τις κινήσεις των άλλων μελών του συστήματος. Οι πλανήτες και οι αστεροειδείς κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές στο ίδιο περίπου επίπεδο όλοι, σύμφωνα με τους νόμους του Κέπλερ.

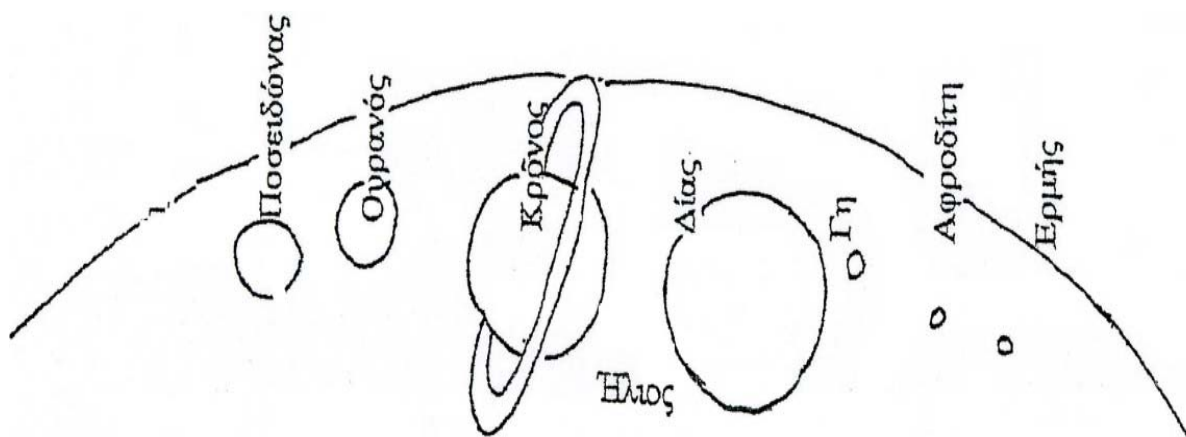
Μέσα στο ηλιακό σύστημα, το διαπλανητικό κενό είναι μεγάλο. Οι διαστάσεις των πλανητών συγκριτικά με τις αποστάσεις τους είναι πολύ μικρές. Για να έχουμε καλύτερη αντίληψη των μεγεθών αυτών, μπορούμε να κάνουμε μια σμίκρυνση κατά 10 δισεκατομμύρια (δηλαδή 10×10^9). Τότε, ο Ήλιος θα έχει διάμετρο 7cm, η Γη 1,2 mm και θα απέχει 15 m από τον Ήλιο των 7 εκατοστών. Ο Δίας, που είναι ο μεγαλύτερος πλανήτης, θα έχει διάμετρο 1,5 cm και θα απέχει 80 m.

Το διαστρικό κενό είναι ακόμα πιο μεγάλο. Στην ίδια κλίμακα, το κοντινότερο άστρο στη γη, ο Σείριος, (που έχει σχεδόν τη μέση απόσταση των άστρων στο γαλαξία μας), θα απέχει 4.000 km, δηλαδή σχεδόν όσο απέχει η Ισλανδία ή η Αντίς Αμπέμπα από την Αθήνα. Στην ίδια κλίμακα, η διάμετρος του γαλαξία θα είναι σχεδόν όσο απέχει η γη από τον Ήλιο.

Οι πλανήτες όσον αφορά τις ιδιότητές τους, χωρίζονται σε γήινους που είναι οι πρώτοι τέσσερις και στους μεγάλους πλανήτες που είναι οι επόμενοι τέσσερις. Οι γήινοι πλανήτες είναι μικροί και με μεγάλη πυκνότητα. Αν λάβουμε υπόψη μας το γεγονός ότι στο εσωτερικό έχουμε μεγαλύτερη πυκνότητα εξαιτίας των μεγάλων πιέσεων που δέχονται σε σχέση με τη διάμετρο τους και κάνουμε την απαραίτητη αναγωγή, θα βρούμε ότι οι πυκνότητες είναι όλες περίπου ίσες και μάλιστα λίγο μεγαλύτερες από την πυκνότητα που έχουν τα επιφανειακά πετρώματα της γης.



Σχ. 1. Στο σχήμα φαίνεται η θέση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο.



Σχ. 2. Στο σχήμα φαίνεται το μέγεθος των πλανητών σε σχέση με τον Ήλιο.

Οι μεγάλοι πλανήτες είναι μεγάλοι σε μέγεθος αλλά με μικρή πυκνότητα, γύρω στο 1 gr/cm^3 . Ο Κρόνος μάλιστα έχει πυκνότητα 0.7 gr/cm^3 , που σημαίνει ότι επιπλέει στο νερό. Η σύνθεση των πλανητών αυτών είναι πολύ διαφορετική. Έχουν πολύ υδρογόνο και ήλιο, αλλά θα πρέπει να έχουν και αρκετό σίδηρο και άλλα πετρώδη υλικά σαν και αυτά των γήινων πλανητών. Κατά πάσα πιθανότητα δεν έχουν σαφή διαχωρισμό μεταξύ του στερεού-υγρού πλανήτη και της ατμόσφαιράς τους. Ο Κρόνος χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη δακτυλίων, που αποτελούν στο ισημερινό επίπεδο ένα πολύ λεπτό στρώμα (η εκτίμηση είναι από 10 cm έως 10 km) από κρυστάλλους σκόνης με περίβλημα πάγου. Τελευταία (Μάρτιος 1977) ανακαλύφθηκε ότι και ο Ουρανός έχει αντίστοιχους δακτυλίους.

1.2. ΓΕΝΙΚΗ ΟΨΗ ΤΗΣ ΓΗΣ

Ιστορικό

Οι άνθρωποι από την αρχαιότητα πίστευαν ότι η Γη ήταν ένας μεγάλος κυκλικός δίσκος με ορισμένη ακτίνα, ακίνητος στη μέση του σύμπαντος. Στην εποχή του Όμηρου πίστευαν ότι στη μέση αυτού του δίσκου υψωνόταν ο Όλυμπος, ο οποίος περιβαλλόταν από ωκεανό. Ο Ησίοδος πίστευε ότι ο δίσκος αυτός βρισκόταν ανάμεσα στον ουράνιο θόλο και τον Άδη. Στη συνέχεια, μέτρησαν και την απόσταση με το πέσιμο του άκμονα του Ήφαιστου.

Πρώτος φαίνεται ότι μίλησε για τη σφαιρικότητα της Γης ο Πυθαγόρας, που πιθανόν να το διδάχθηκε αυτό από τους Βαβυλώνιους ή του Αιγυπτίους. Τη δημοσίευση, όμως, την έκανε πρώτος ο Παρμενίδης (540-470 π.Χ.). Αργότερα, ο Αριστοτέλης (384-322 π.Χ.) αποδεικνύει τη σφαιρικότητα της Γης με τις σεληνιακές εκλείψεις, γιατί μόνο μια σφαίρα ρίχνει κυκλική σκιά σε μια επιφάνεια. Υπολόγισε μάλιστα και το μήκος ενός μέγιστου κύκλου και το βρήκε ίσο με «τεσσαράκοντα μυριάδας σταδίων», δηλ. 74.000 km. Ο Δικαίαρχος (350-290 π.Χ.), μαθητής του Αριστοτέλη, υπολόγισε το μήκος σε 55.500 χλμ., αλλά ακόμη πιο ακριβής είναι η μέτρηση του Ερατοσθένη (276-195 π.Χ.), ο οποίος τον υπολόγισε σε 40.500.000 m. Οι σύγχρονες γεωδαιτικές μετρήσεις δίνουν 40.076.594m.

Σχήμα και μέγεθος της Γης

Η Γη είναι ένας από τους 8 πλανήτες του Ηλιακού συστήματος. Μπορούμε να την θεωρήσουμε σαν ξεχωριστό πλανήτη, γιατί έχει ζωή και ιδιαίτερες ιδιότητες. Απέχει από τον

Ήλιο 150.000.000 km. Με πρώτη προσέγγιση το σχήμα της Γης, χωρίς να λάβουμε υπόψη τις επιφανειακές ανωμαλίες, είναι σφαιρικό με διάμετρο 12.600 km και με περιφέρεια 40.075 km. Η ολική έκταση της επιφάνειάς της είναι $504 \cdot 10^6 \text{ km}^2$.

Προσεκτικότερη μελέτη δείχνει ότι είναι **ελλειψοειδές από περιστροφή**. Αυτό συμβαίνει, γιατί η Γη έχει κάποια πλαστικότητα και κατά την περιστροφή της παίρνει σχήμα πεπλατυσμένο στους πόλους και εξογκωμένο στον ισημερινό. Το σχήμα αυτό, με μεγάλη ακρίβεια είναι ελλειψοειδές από περιστροφή. Το γήινο ελλειψοειδές έχει μεγάλο ημιάξονα $a=6.378.140 \text{ m}$ και μικρό $b=6.355.140 \text{ m}$. Η διαφορά των δύο ημιαξόνων είναι 23 km. Σαν Γη αναφοράς παίρνουμε το γήινο ελλειψοειδές με ομογενή μάζα και ημιάξονες ίσους με αυτούς της πραγματικής Γης.

Η επιφάνεια της Γης αποτελείται από ξηρά και θάλασσα. Η ξηρά και οι πυθμένες των ωκεανών παρουσιάζουν έντονο ανάγλυφο με θετικές και αρνητικές αποκλίσεις από την στάθμη της θάλασσας. Για το λόγο αυτό σε περιπτώσεις που χρειαζόμαστε μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων, για να έχουμε ένα πιο τελειοποιημένο μοντέλο με τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες και λιγότερες ανωμαλίες, χρησιμοποιούμε το γεωειδές.

Γεωειδές είναι μια **ισοδυναμική** επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της Γης, που αντιστοιχεί στην επιφάνεια της μέσης στάθμης της θάλασσας, διορθωμένη από τις επιδράσεις της θερμοκρασίας, των ρευμάτων κλπ. και που θεωρούμε ότι προεκτείνεται και στην ξηρά. κάτω από τις οροσειρές.

Κινήσεις της Γης

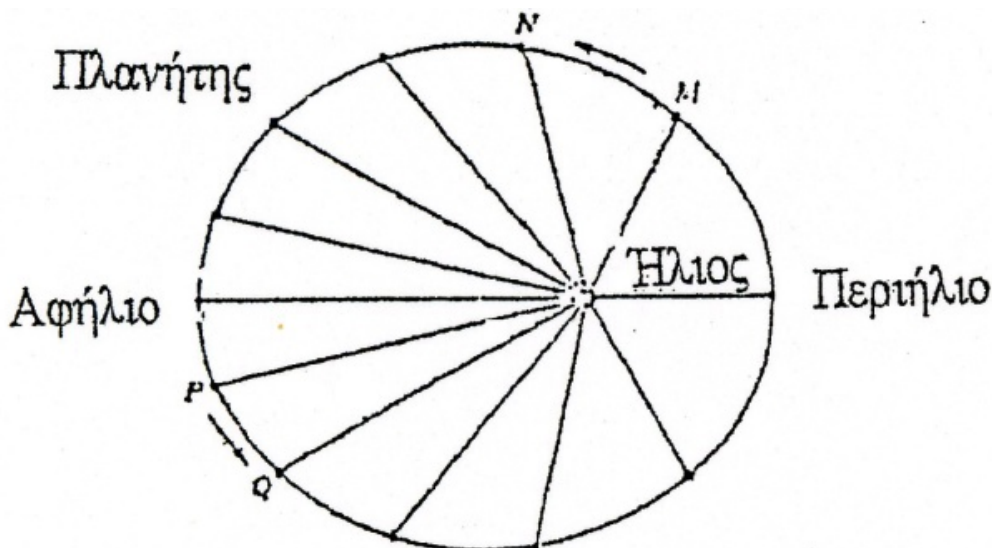
Οι κινήσεις της Γης επηρεάζουν πάρα πολύ τις βασικές αρχές πάνω στις οποίες στηρίζονται ορισμένες επιστήμες της Γης, όπως π.χ. η γεωδαισία, η γεωφυσική, η ωκεανογραφία κλπ. Μπορούμε να κατατάξουμε τις κινήσεις της Γης σε δύο βασικές κατηγορίες: την περιφορά γύρω από τον Ήλιο και την περιστροφή γύρω από τον άξονά της.

α. Περιφορά γύρω από τον Ήλιο:

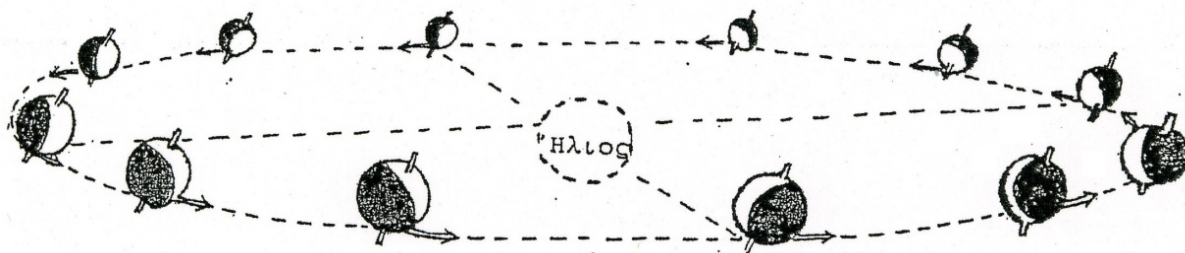
Είναι γνωστό από τον πρώτο Νόμο του Kepler (1571-1630) ότι η γη περιστρέφεται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Ήλιο, που βρίσκεται σε μια από τις εστίες. Η ελλειπτική αυτή τροχιά δεν απέχει και πολύ από το να είναι κυκλική, μια που η επιπλάτυνσή της είναι μόνον $e=0.017$. Εάν θεωρήσουμε, με πρώτη προσέγγιση, την τροχιά σαν κυκλική, τότε η ακτίνα της θα ήταν περίπου $150 \times 10^6 \text{ km}$. Η Γη βρίσκεται στην κοντινότερη απόσταση από τον Ήλιο στις 3 Ιανουαρίου κάθε χρόνου και η θέση αυτή λέγεται περιήλιο (απέχει $146,4 \times 10^6 \text{ km}$

από τον Ήλιο), ενώ στην μακρινότερη απόσταση, στο αφήλιο, βρίσκεται στις 4 Ιουλίου (απέχει $151,2 \times 10^6$ km από τον Ήλιο).

Ο δεύτερος νόμος του Kepler ορίζει ότι η Γη κατά την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο διαγράφει 12 ελλειπτικούς τομείς, που έχουν ίσες επιφάνειες. Η μέση τροχιακή ταχύτητα περιφοράς της γύρω από τον Ήλιο είναι 107 km/h ή 29,6 m/sec.



Σχ. 3 Η Γη στο αφήλιο στις 4 Ιουλίου και στο περιήλιο στις 3 Ιανουαρίου. Η Γη στους 12 μήνες διαγράφει 12 ίσα εμβαδά.



Σχ. 4 Οι διαφορετικές θέσεις της Γης γύρω από τον Ήλιο κατά τη διάρκεια ενός χρόνου.

β. Περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της

Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της μπορεί να περιγραφεί με δύο τρόπους, δηλαδή είτε ότι είναι αντίθετη από τη φορά του ρολογιού, είτε προς την ανατολή (από Δ προς Α). Ο άξονας περιστροφής της Γης σχηματίζει γωνία $23^{\circ} 26'$ με το επίπεδο ελλειπτικής, η οποία διατηρείται σταθερή κατά την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο. Η ηλιακή ακτινοβολία

που δέχεται ένας τόπος πάνω στη Γη μεταβάλλεται κατά την περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο, προκαλώντας την εναλλαγή των εποχών.

Η περίοδος περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της είναι 1 στροφή το ημερονύκτιο. Αυτό δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής της έννοιας του χρόνου, την οποία οι άνθρωποι από τα παλιά χρόνια προσπάθησαν να αξιοποιήσουν.

Ο χρόνος που χρειάζεται η Γη για να γυρίσει γύρω από τον ήλιο ορίζει τον ηλιακό χρόνο (ηλιακή ημέρα) που μετράμε με τα ρολόγια μας, ενώ ο χρόνος που χρειάζεται ένας αστέρας για να ξαναπεράσει από το μεσημβρινό ενός τόπου ορίζει τον αστρικό χρόνο.

Οι δύο χρόνοι δεν είναι ίδιοι. Η αστρική μέρα είναι μικρότερη από την ηλιακή κατά 4 min. Αυτό συμβαίνει γιατί η Γη, συγχρόνως με την περιστροφή της, περιφέρεται και γύρω από τον Ήλιο, διανύοντας μια ορισμένη απόσταση.

Η γραμμική ταχύτητα περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος ϕ , ενώ όπως είναι φυσικό η γωνιακή της ταχύτητα παραμένει η ίδια για όλα τα σημεία. Έτσι, στον ισημερινό έχουμε γραμμική ταχύτητα γύρω στα 465 m/sec, στον Πόλο η γραμμική ταχύτητα μηδενίζεται, ενώ στο πλάτος των 40° (περίπου της Ελλάδος) φθάνει τα 357 m/sec.

Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της προκαλεί το γνωστό από τη Φυσική φαινόμενο Coriolis, που το έχουμε έντονο στις θαλάσσιες παλίρροιες, και στη βλητική. Κλασσική έμεινε η περίπτωση του τηλεβόλου «Μεγάλη Μπέρθα» στον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, του οποίου το βλήμα στην απόσταση των 113 km απέκλινε από το στόχο του κατά 1,6 km.

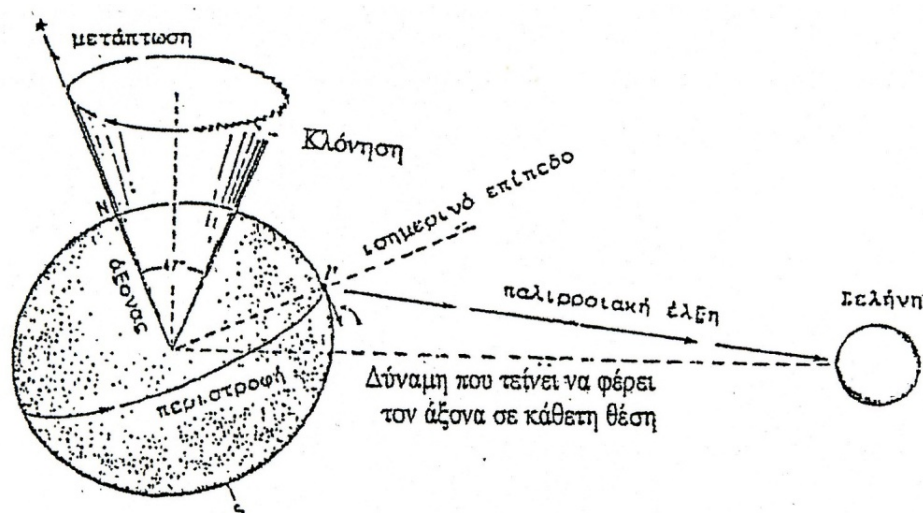
Αποδείξεις της στροφής της γης γύρω από τον άξονά της έχουμε πολλές από την καθημερινή μας εμπειρία, με προεξέχουσα περίπτωση το γνωστό Εκκρεμές του Foucault (Παρίσι, 1851), καθώς και την εμπειρία από την κατακόρυφη πτώση των σωμάτων, όπου έχουμε απόκλιση πάντα προς την ανατολή, εκτός της περίπτωσης που ένα σώμα ρίχνεται κάθετα προς τα πάνω σε έναν από τους πόλους.

γ. Κίνηση του Πόλου. Μετάπτωση. Κλόνηση.

Το γεγονός ότι η Γη δεν είναι ένα ομογενές αυστηρά γεωμετρικό σώμα ούτε απόλυτα στερεό καθώς και άλλες δυναμικές δράσεις που εξασκούνται πάνω της, προκαλούν την κίνηση του Πόλου, η οποία μπορεί να παρατηρηθεί με αστρονομικές μεθόδους και να εκφραστεί ως προς έναν μέσο Πόλο αναφοράς (γεωγραφικός πόλος).

Φαινόμενα που ενδιαφέρουν άμεσα την ανθρωπότητα, σαν τους σεισμούς, βρίσκονται σήμερα στο δρόμο της μελέτης και του συσχετισμού τους με την κίνηση του Πόλου.

Η **επιπλάτυνση** της Γης είναι η κύρια αιτία για άλλες συστηματικές κινήσεις της Γης που συνδέονται με τις βασικές κινήσεις της που περιγράφηκαν προηγούμενα δηλαδή με την περιστροφή γύρω από τον ήλιο και την στροφή γύρω από τον άξονά της.



Σχ. 5. Η γεωμετρία της παλιρροϊκής έλξης της Σελήνης και τα παραγόμενα φαινόμενα της μετάπτωσης και κλόνισης.

Η μετάπτωση οφείλεται στο φυσικό γεγονός, ότι η Γη περιστρεφόμενη αντιστέκεται σε κάθε δύναμη που προσπαθεί να της αλλάξει τη γωνία κλίσεως του άξονά της, όπως είναι η παλιρροϊκή έλξη που εξασκεί η Σελήνη πάνω στη Γη, με αποτέλεσμα να «σέρνει» τον άξονα στροφής έτσι ώστε να διαγράφει μια κωνική μορφή στο χώρο. Η φορά της μεταπτώσεως είναι αντίθετη από τη φορά στροφής της Γης και παρ' όλο που φαίνεται στο σχήμα 5 ότι η γωνία του κώνου που διαγράφεται λόγω της μεταπτώσεως είναι 47° , στην πραγματικότητα η μετάπτωση είναι πολύ μικρή γύρω στα 50,2 δευτερόλεπτα τόξου το χρόνο, που σημαίνει πως για να διαγραφεί όλος ο κώνος (πλήρης περιστροφή) απαιτούνται 25.800 χρόνια.

Εκείνος που μελέτησε πρώτος το φαινόμενο της μεταπτώσεως ήταν Έλληνας, ο Ίππαρχος το 120 π.Χ., συγκρίνοντας παλιότερες παρατηρήσεις. Από το παραπάνω σχήμα, βλέπουμε πως ο αστέρας που υλοποιεί σήμερα τη διεύθυνση του Βόρειου Πόλου είναι ο Πολικός, όμως σε 12.000 σχεδόν χρόνια δεν θα είναι πια ο Πολικός αλλά ο Βέγας.

Οι δυνάμεις που προκαλούν την μετάπτωση δεν εφαρμόζονται σταθερά, με αποτέλεσμα η μετάπτωση να μην είναι ομαλή αλλά να παρουσιάζει «κλονισμούς». Η τροχιά που προκαλείται από την μετάπτωση είναι σαν κυματοειδής και το φαινόμενο λέγεται κλόνιση.

Η κλόνιση μεταβάλλεται με αρκετά πολύπλοκο τρόπο και θεωρείται σαν μια διόρθωση της τάξεως του ενός δευτερολέπτου τόξου, που πρέπει να επιβληθεί στην μετάπτωση που είναι γύρω στα 50,2 δευτερόλεπτα το χρόνο.

Τέλος, από όσα είπαμε πιο πάνω τρία χαρακτηριστικά των κινήσεων της Γης μπορούν να θεωρηθούν σπουδαία:

- α) Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της.
- β) Η σταθερή κλίση του άξονα περιστροφής της Γης ως προς το ελλειπτικό επίπεδο.
- γ) Ο σχεδόν σταθερός προσανατολισμός του άξονα περιστροφής ως προς τους αστέρες.

1.3. ΠΕΔΙΟ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Όλα τα σώματα στο σύμπαν έλκουν το ένα το άλλο. Η ελκτική αυτή δύναμη είναι η βαρύτητα. Το πεδίο βαρύτητας της Γης είναι ο χώρος μέσα στον οποίο κάθε σώμα δέχεται την επίδραση της ελκτικής δύναμης της Γης. Η δύναμη με την οποία δύο σώματα έλκονται μεταξύ τους καθορίζεται από τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα και είναι ανάλογη με το γινόμενο των μαζών τους και αντίστροφη προς το τετράγωνο της αποστάσεως που τα χωρίζει.

$$F = \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

Έτσι, αν σκεφθούμε πως η μάζα της Γης, M , είναι πολύ μεγάλη, 2.1027 τόνοι, σε σχέση με τη μάζα m ενός σώματος που βρίσκεται στην επιφάνειά της, βλέπουμε ότι η δύναμη που ασκείται από αυτήν είναι πολύ μεγάλη.

Κάθε σώμα στη Γη έχει βάρος. Το βάρος του είναι η δύναμη που ενεργεί σ' αυτό από την έλξη της Γης. Αν θεωρήσουμε το σώμα σαν μια μάζα M_1 , η δύναμη δηλ. το βάρος του είναι η έλξη πάνω σ' αυτό ενός άλλου σώματος M_2 που είναι ολόκληρη η Γη και βρίσκεται σε απόσταση ίση με την ακτίνα της r .

Από το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα έχουμε

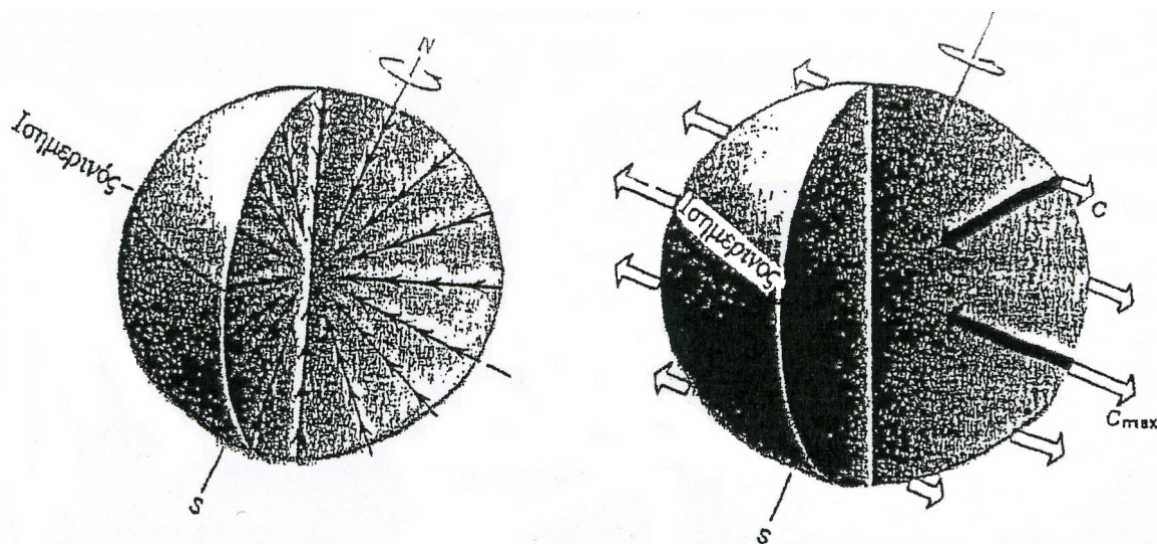
$$F = m_1 \cdot g \quad g = \text{επιτάχυνση της βαρύτητας}$$

Άρα, η ελκτική δύναμη που ασκείται ανά μονάδα μάζας είναι ίση με την επιτάχυνση. Συνήθως μιλάμε για «επιτάχυνση» ή «ένταση» της βαρύτητας παρά για δύναμη.

Η μελέτη του πεδίου βαρύτητας της Γης εντοπίζεται κυρίως με τη μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας g και βοηθά τις μελέτες για τον προσδιορισμό του μεγέθους, του σχήματος της Γης, καθώς και της πυκνότητας των πετρωμάτων που είναι το αντικείμενο πολλών επιστημών.

Οι κεντρόφυγες δυνάμεις οφείλονται στην περιστροφή της Γης και δρουν κατά διεύθυνση κάθετη προς τον άξονα περιστροφής. Οι κεντρόφυγες δυνάμεις έχουν τη μέγιστη τιμή στον ισημερινό και μηδενίζονται στους πόλους, με αποτέλεσμα τη διόγκωση στον ισημερινό και την επιπλάτυνση στους πόλους.

Η επιτάχυνση της βαρύτητας g στην επιφάνεια της Γης είναι $g=980 \text{ cm/sec}^2$ ή 980 gal . Μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος κατά $+2,5\%$ περίπου. Η κανονική μεταβολή της βαρύτητας με το γεωγραφικό πλάτος οφείλεται σε δύο λόγους: α) στην περιστροφή της Γης και β) στην απόκλιση του σχήματος της Γης από το κανονικό σχήμα σφαίρας. Εκτός όμως από αυτή τη μεταβολή έχουμε μεταβολές με το ύψος, με τη μορφολογία του εδάφους και με τη θέση της Σελήνης και του Ήλιου.



Σχ. 6. Οι δυνάμεις βαρύτητας σημειώνονται με μαύρα βέλη και οι κεντρόφυγες δυνάμεις με λευκά βέλη. (φωτ. από R. Flint & B. Skinner, 1975)

Για να μπορέσουν οι μετρήσεις βαρύτητας να είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους, θα πρέπει να μπορούν να συγκριθούν με αντίστοιχες τιμές αναφοράς. Δηλαδή αν μπορούσαμε προς στιγμή να φανταστούμε πως η Γη είναι ένα τέλειο ελλειψοειδές εκ περιστροφής όπου σε κάθε σημείο του μπορούμε να υπολογίσουμε μαθηματικά την ένταση της βαρύτητας που προκαλεί αυτό το γεωμετρικό σώμα και που στην περίπτωση αυτή λέγεται κανονική βαρύτητα, τότε συγκρίνοντας την πραγματική τιμή του g που μετράμε με τα εκκρεμή ή τα βαρυτόμετρα σε σημεία της φυσικής επιφανείας της Γης (που αντιστοιχούν σε σημεία του ελλειψοειδούς), με την κανονική βαρύτητα μπορούμε να συντάξουμε χάρτες του πεδίου βαρύτητας, στους οποίους σχεδιάζουμε καμπύλες που συνδέουν σημεία με την ίδια τιμή του g (ισοβαρείς καμπύλες).

Άλλοι χάρτες αυτής της οικογένειας είναι οι χάρτες που απεικονίζουν τις διαφορές υψομέτρου των σημείων του γεωειδούς που συνδέεται άμεσα με το πεδίο βαρύτητας, από τα αντίστοιχα σημεία του ελλειψοειδούς.

Μετρήσεις βαρύτητας μπορούν να γίνουν με μεγάλη ευκολία στην ξηρά και με περισσότερη δυσκολία πάνω στη θάλασσα και στο βυθό της, καθώς και στον αέρα. Όπως είναι ευνόητο, η Γη δεν έχει καλυφθεί ολόκληρη από μετρήσεις βαρύτητας, κυρίως λόγω των δυσκολιών να μετρήσουμε στη θάλασσα, που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γήινης επιφάνειας. Τις κυριότερες εφαρμογές των μετρήσεων βαρύτητας ή βαρυτομετρίας, όπως λέγεται, τις συναντάμε στη γεωδαισία και στην εφαρμοσμένη γεωφυσική.

Όργανα μέτρησης της βαρύτητας

Το πιο γνωστό όργανο για την απόλυτη μέτρηση του g , είναι το εκκρεμές. Το εκκρεμές μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για σχετικές μετρήσεις βαρύτητας, δηλαδή για παρατηρήσεις διαφορών στην τιμή της βαρύτητας από ένα σημείο σε άλλο.

Σήμερα έχουν κατασκευαστεί όργανα μετρήσεως της απόλυτης τιμής του, βασιζόμενα στο χρόνο που χρειάζεται μια μικρή μάζα να πέσει κατακόρυφα, σαν s' έναν σωλήνα σταθερού μήκους. Οι ακρίβειες στη μέτρηση του g έχουν φθάσει σήμερα στην τάξη του mgal , δηλαδή 10^{-6}gal ή 10^{-3}mgal .

1.4. ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

Η Γη συμπεριφέρεται σαν ένας τεράστιος μαγνήτης. Απόδειξη της ύπαρξης του γήινου μαγνητικού πεδίου είναι η μαγνητική πυξίδα. Η μαγνητική βελόνα της προσανατολίζεται παράλληλα προς τις δυναμικές γραμμές του γήινου μαγνητικού πεδίου και δείχνει πάντα το βορρά. Μερικά ορυκτά είναι φυσικοί μαγνήτες και αν αναρτηθούν με όμοιο τρόπο όπως η μαγνητική βελόνα, ώστε να μπορούν να κινηθούν ελεύθερα, συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο με αυτή. Η φυσική μαγνήτιση του μαγνητίτη και η μαγνητική δύναμη της Γης ανακαλύφθηκαν από τους Κινέζους πριν 4.000 χρόνια. Από πολύ παλιά, επίσης, ήταν γνωστός ο μαγνητισμός και στο δυτικό ημισφαίριο. Η λέξη μαγνήτης μάλιστα προέρχεται από το «Μαγνήτη λίθο» δηλ. πέτρα της Μαγνησίας, από την ομώνυμη περιοχή της Θεσσαλίας όπου οι αρχαίοι Έλληνες ανακάλυψαν μαγνητίτη.

Το μαγνητικό πεδίο που περιβάλλει τη Γη μοιάζει με αυτό που σχηματίζεται γύρω από ένα μαγνητικό δίπολο, όταν ρίξουμε τριγύρω του ρινίσματα σιδήρου. Αυτά ακολουθούν τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Τα σημεία από τα οποία φεύγουν και καταλήγουν οι δυναμικές γραμμές, ονομάζονται πόλοι και ο χώρος που εκτείνονται μαγνητικό πεδίο.

Η Γη λοιπόν περιβάλλεται από ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο έχει δημιουργηθεί από ένα δίπολο που βρίσκεται στο κέντρο της Γης. Ο μεγάλος άξονας του διπόλου λέγεται μαγνητικός άξονας της Γης και όταν τον προεκτείνουμε κόβει την επιφάνεια της Γης σε δύο σημεία που λέγονται μαγνητικοί πόλοι. Οι μαγνητικοί πόλοι δεν συμπίπτουν με τους γεωγραφικούς και έχουν γεωγραφικές συντεταγμένες, ο μιν βόρειος μαγνητικός πόλος $\varphi=75^\circ$ N και $\lambda=101^\circ$ W, ο δε νότιος μαγνητικός πόλος $\varphi=67^\circ$ S και $\lambda=143^\circ$ E. Παρατηρούμε ότι οι μαγνητικοί πόλοι δεν βρίσκονται ο ένας στους αντίποδες του άλλου και αυτό σημαίνει ότι ο μαγνητικός άξονας της Γης δεν περνάει από το κέντρο της.

Εάν παρατηρήσουμε τη μαγνητική βελόνα της πυξίδας, βλέπουμε ότι δεν δείχνει ακριβώς το βόρειο πόλο, αλλά σχηματίζει γωνία με αυτόν. Τη γωνία αυτή ονομάζουμε απόκλιση. Επίσης η μαγνητική βελόνα σχηματίζει γωνία και με το οριζόντιο επίπεδο, το εφαιπτόμενο στη δυναμική γραμμή του τόπου. Τη γωνία αυτή ονομάζουμε έγκλιση. Η έγκλιση και η απόκλιση διαφέρουν από τόπο σε τόπο και αυτό δείχνει ότι η διεύθυνση των δυναμικών γραμμών και η ένταση του μαγνητικού πεδίου ποικίλουν επίσης από τόπο σε τόπο.

Πηγή του γήινου μαγνητισμού

Τόσο γρήγορες μεταβολές όμως, μόνο σε ένα υγρό μπορεί να συμβούν και αυτό συνηγορεί για τη θεωρία του δυναμό.

Ο προσδιορισμός της θέσης του Μαγνητικού πόλου σε διάφορες εποχές στην ιστορία της Γης, στηρίζονται στη μαγνήτιση των πετρωμάτων που λέγεται παλαιομαγνητισμός. Οι παλαιομαγνητικές μέθοδοι στηρίζονται στην ιδιότητα που έχουν τα μαγνητικά ορυκτά να προσανατολίζονται παράλληλα προς το Γήινο μαγνητικό πεδίο. Κάθε μαγνητικό ορυκτό έχει ένα σημείο Curie, θερμοκρασία πάνω από την οποία ο μαγνητισμός καταστρέφεται. Όταν ψύχεται κάθε μαγνητικό ορυκτό κάτω από το σημείο Curie, αποκτά μαγνήτιση και προσανατολίζεται παράλληλα προς το Γήινο μαγνητικό πεδίο. Μελετώντας τα μαγνητικά ορυκτά που βρίσκονται στα διάφορα εκρηξιγενή ή ιζηματογενή πετρώματα και τα αγγεία, βρίσκουμε τα χαρακτηριστικά που είχε το μαγνητικό πεδίο την εποχή που ψύχθηκαν. Με τη μέθοδο αυτή, διαπιστώθηκε ότι υπήρχε εποχή που οι πόλοι ήταν ανεστραμμένοι και στη θέση που είναι σήμερα ο βόρειος μαγνητικός πόλος ήταν κάποτε ο νότιος. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 4 εκατομμυρίων χρόνων διαπιστώθηκαν 9 περίοδοι τέτοιων αναστροφών.

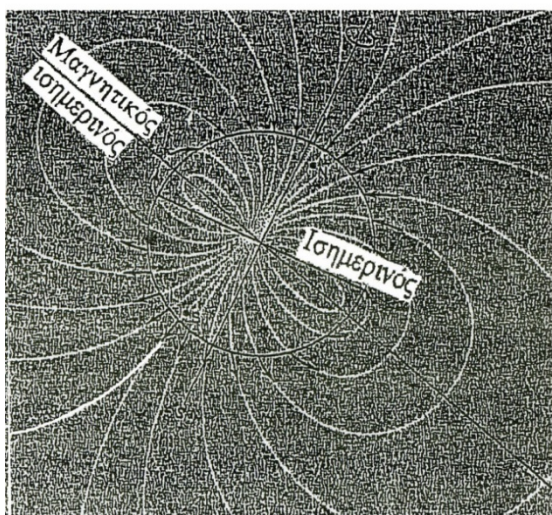
Η έκταση και το σχήμα του Γήινου μαγνητικού πεδίου

Παρατηρήσεις και μετρήσεις του σχήματος και της έκτασης του μαγνητικού πεδίου έδειξαν ότι δεν είναι συμμετρικό, αλλά έχει ένα αψιοειδές σχήμα (Σχ. 7). Οι δυναμικές γραμμές είναι συμπιεσμένες προς την πλευρά του Ήλιου και η εξωτερική τους επιφάνεια απέχει 10 γήινες ακτίνες από την επιφάνεια της Γης, ενώ στη σκιερή είναι πολύ πιο εκτεταμένο και δεν προσδιορίζεται η εξωτερική του επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει γιατί ηλιακοί άνεμοι φέρνουν σωματίδια από τον Ήλιο, προσκρούουν στην εξωτερική επιφάνεια του μαγνητικού πεδίου που λέγεται μαγνητόσφαιρα και την συμπιέζουν, πράγμα που δεν συμβαίνει στην αντίθετη πλευρά όπου το μαγνητικό πεδίο αναπτύσσεται πολύ περισσότερο.

Όργανα μετρήσεως του μαγνητικού πεδίου και η έντασή του

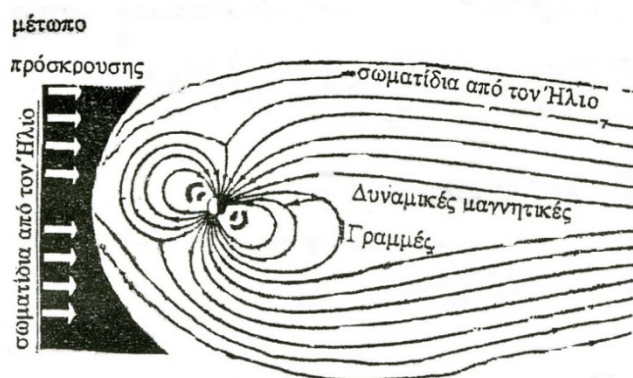
Υπάρχουν όργανα που μετράνε τη διεύθυνση και την ένταση του μαγνητικού πεδίου και λέγονται μαγνητόμετρα. Είδη μαγνητομέτρων έχουμε στις κλασσικές μορφές δίπολου ή γαλβανομέτρου ή σε πιο εξελιγμένα μαγνητόμετρα πρωτονίου, των οποίων η αρχή στηρίζεται στη μετάπτωση του σπιν του πρωτονίου.

Μετρήσεις της διεύθυνσεως και εντάσεως του μαγνητικού πεδίου γίνονται σε περίπου 90 σταθερούς μαγνητικούς σταθμούς σ' όλο τον κόσμο. Επιπρόσθετα, γίνονται μετρήσεις πυκνώσεως με απλά μαγνητόμετρα, από τις οποίες κατασκευάζονται μαγνητικοί χάρτες.



Σχ. 7

Σχ. 7. Οι δυναμικές γραμμές που σχηματίζει το μαγνητικό πεδίο της Γης και η θέση του μαγνητικού διπόλου σε σχέση με τον άξονα περιστροφής. (φωτ. από R. Flint & B. Skinner, 1975).



Σχ. 8

Σχ. 8. Τομή του γήινου μαγνητικού πεδίου. Ρεύμα από ιονισμένα σωματίδια από τον ήλιο παραμορφώνουν το μαγνητικό πεδίο και δημιουργείται ένα μέτωπο πρόσκρουσης. (φωτ. από R. Flint & B. Skinner, 1975)

Μονάδα μετρήσεως του μαγνητικού πεδίου είναι το oersted. Μαγνητικό πεδίο ενός oersted αντιστοιχεί σε δύναμη ενός dyn ανά cm ανά μονάδα μαγνητικής μάζας. Στην επιφάνεια της Γης έχουμε ένα μαγνητικό πεδίο κατά μέσο όρο 0,50 oersted. Ένα μέγιστο 0,7 oersted εμφανίζεται στον Νότιο μαγνητικό πόλο, ενώ ένα δεύτερο μέγιστο 0,6 oersted στο βόρειο μαγνητικό πόλο. Στο μαγνητικό ισημερινό έχουμε γύρω στα 0,25 oersted.

Μια άλλη μονάδα μετρήσεως του μαγνητικού πεδίου είναι το γάμμα (gamma). 1 oersted αντιστοιχεί σε 100.000 gamma ή $1 \gamma = 10^{-5}$ oersted. Το μαγνητικό πεδίο δεν είναι σταθερό, αλλά μεταβάλλεται με το χρόνο κατά διεύθυνση γύρω στα $\pm 5'$ και κατά ένταση γύρω στα $\pm 5\gamma$.

1.5. ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ενέργεια που φθάνει στην επιφάνεια της Γης προέρχεται κυρίως από τρεις πηγές:

- 1) Την ακτινοβολία που φθάνει στη Γη και προέρχεται κυρίως από τον Ήλιο.
- 2) Την κινητική ενέργεια που προέρχεται από την περιστροφή της Σελήνης της Γης και του Ήλιου και εμφανίζεται σαν παλίρροιες και 3) Την ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης.



Σχ. 9. Η ηλιακή ενέργεια φθάνει στη Γη με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. (Hamblin, K., 1978).

Τα ποσά θερμότητας που δέχεται η Γη από τις τρεις αυτές πηγές ανά εικοσιτετράωρο είναι τα ακόλουθα:

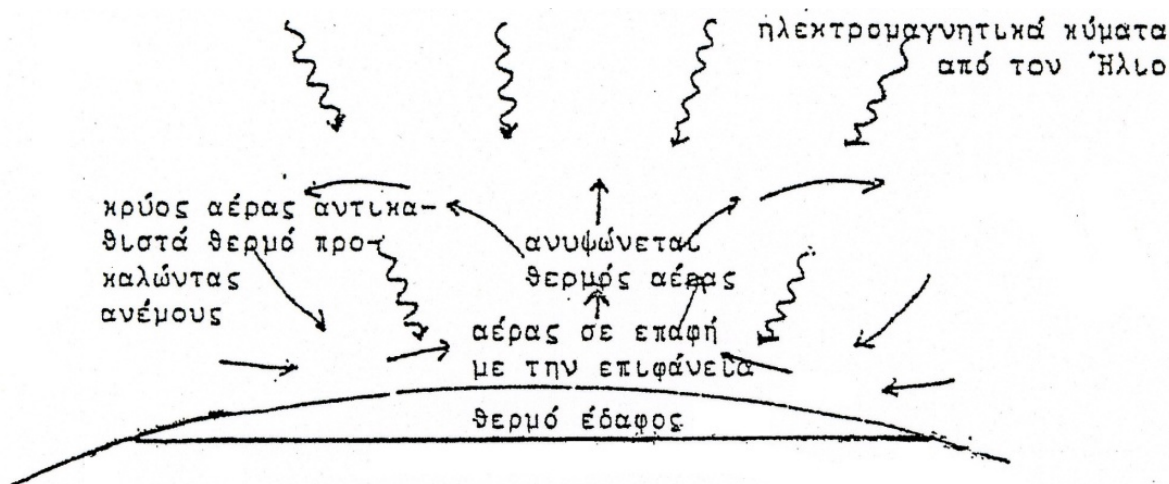
- Ηλιακή ενέργεια $37,00 \times 10^{17}$ cal.
- Ενέργεια προερχόμενη από το εσωτερικό της Γης $6,6 \times 10^{17}$ cal.
- Παλίρροιες $0,6 \times 10^{17}$ cal.

Όπως βλέπουμε από τις τιμές, κύρια πηγή ενέργειας είναι ο Ήλιος.

Από την ακτινοβολία που δέχεται η Γη, 40% ανακλάται στο διάστημα χωρίς καμιά μεταβολή. Ήταν η ανακλώμενη ακτινοβολία, που είδαν οι αστροναύτες, όταν από τη Σελήνη αντίκρισαν τη Γη. Το υπόλοιπο 60% απορροφάται ένα μέρος από την ατμόσφαιρα και μετατρέπεται σε θερμότητα και ένα άλλο μέρος από την ξηρά και τη θάλασσα. Η ενέργεια

αυτή που απορροφάται από τη θάλασσα θερμαίνει το νερό και προκαλεί εξάτμιση, οι ατμοί σχηματίζουν τα σύννεφα και αυτά τη βροχή και τα χιόνια. Η ενέργεια που απορροφάται από την ξηρά θερμαίνει σταδιακά τον αέρα με επαγωγή και προκαλεί ανέμους και αυτοί με τη σειρά τους κύματα κλπ. Έτσι, ο κυριότερος παράγοντας αποσαθρώσεως και διαβρώσεως που δρα στην επιφάνεια της Γης είναι η ενέργεια που παράγεται από τον Ήλιο. Η ποσότητα ενεργείας που δέχεται η Γη με αυτή που εκπέμπει στο διάστημα θα πρέπει να είναι ίση, γιατί η θερμοκρασία της Γης ούτε ελαττώνεται ούτε αυξάνει.

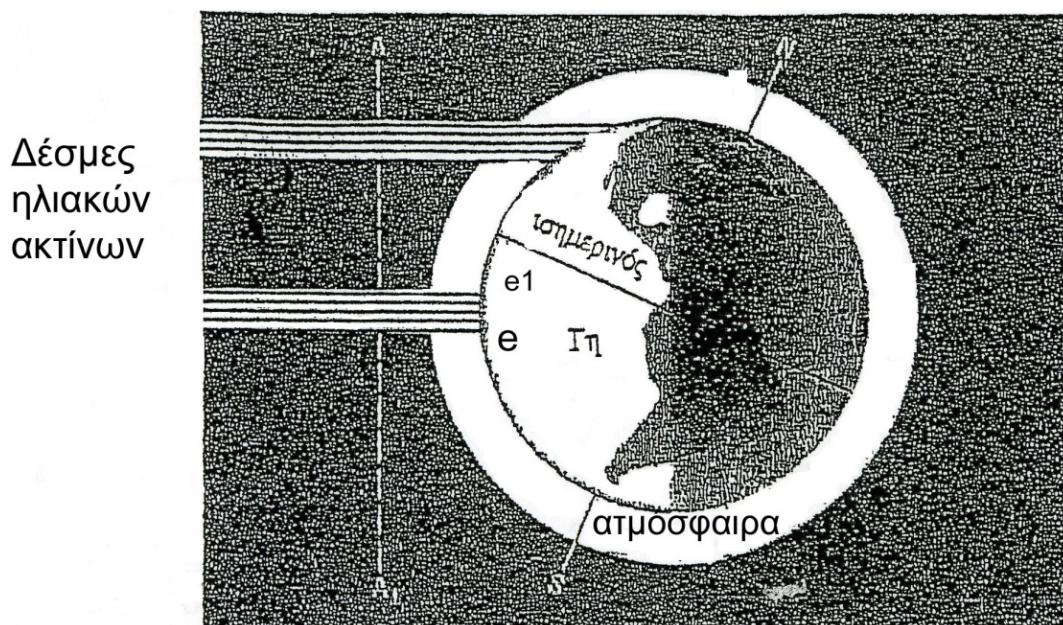
Η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στη Γη, κατά ένα μέρος χρησιμεύει για τη θέρμανση της ατμόσφαιρας. Μεγάλο μέρος ενέργειας απορροφάται από την ξηρά και τη θάλασσα, προκαλώντας εξάτμιση του νερού και δημιουργία νεφών.



Σχ 10. Η ενέργεια που φθάνει στη Γη προέρχεται από τρεις πηγές. Δύο βρίσκονται έξω από τη Γη και μια στο εσωτερικό της. Η ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μεγάλου μήκους κύματος διαφεύγει στο διάστημα. (Hamblin, K., 1978).

Η κατανομή της ενέργειας που δέχεται η επιφάνεια της Γης δεν είναι η ίδια σε όλη τη Γη, αλλά μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Γενικά, στη διάρκεια του χρόνου οι περιοχές του ισημερινού δέχονται περισσότερη ενέργεια από τις πολικές, ενώ η εκπεμπόμενη ενέργεια δεν διαφέρει πολύ με το πλάτος. Έτσι, έχουμε κέρδος ενέργειας στα χαμηλά πλάτη και απώλεια στα μεγάλα.

Αν θεωρήσουμε μια μέση απόσταση Ήλιου-Γης, τότε η Γη δέχεται ενέργεια $2 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ (για την ακρίβεια $1,94 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$). Η μονάδα $1 \text{ cal/cm}^2 = 1 \text{ Ig}$ (langley). Έχουμε $1,94 \text{ Ig/min}$, που ισοδυναμεί με ισχύ $1,4 \text{ Kw/m}^2$ περίπου, για ολόκληρη δε την επιφάνεια της Γης η ισχύ της ηλιακής ενέργειας φθάνει σε $175 \times 10^{12} \text{ Kw}$.



Σχ. 11. Η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στη γήινη επιφάνεια ποικίλλει με το γεωγραφικό πλάτος. Η ακτινοβολία που διασχίζει το επίπεδο AA_1 ανέρχεται σε $2,88 \times 10^3 \text{ cal/24h}$. Οι ακτίνες που περνούν κάθε cm^2 του AA_1 προσπίπτουν σε ένα cm^2 στη γήινη επιφάνεια, αν οι ακτίνες είναι κάθετες ee_1 . Επειδή όμως η γήινη επιφάνεια είναι κυρτή, σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη διαχέονται σε μεγαλύτερη επιφάνεια pp_1 . (Hamblin, K., 1978).

Το ηλιακό φάσμα, όπως ξέρουμε, περιλαμβάνει ακτινοβολίες διαφόρων μηκών κύματος. Το 50% της ηλιακής ενέργειας ανήκει στο υπέρυθρο τμήμα μεγάλου μήκους κύματος ($\lambda > 0,7\mu$) το 41% ανήκει στην ορατή περιοχή του φάσματος ($0,4\mu < \lambda < 0,7\mu$) και μόνο το 9% ανήκει στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας και των ακτίνων X ($\lambda < 0,4\mu$).

Όπως αναφέραμε πιο πάνω, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από τη Γη και την ατμόσφαιρα και ένα άλλο ανακλάται στο διάστημα. Η επιφάνεια του εδάφους επειδή θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία που απορροφά, γίνεται πηγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Συνήθως, η Γη θεωρείται, σαν πράσινο σώμα που απορροφά και εκπέμπει ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος). Το ποσό της επανεκπεμπόμενης ακτινοβολίας δι' ανακλάσεως λέγεται albedo (αλμπέντο).

Μια ποσότητα περίπου 32% από αυτό, είναι σε μικρό μήκος κύματος ($\lambda < 0,7\mu$) και το υπόλοιπο 68% σε μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το albedo είναι διαφορετικό για κάθε περιοχή π.χ. για δασικές περιοχές είναι 25-30%, χιόνι 45-90%, σκούρο έδαφος 5-15%, έρημοι 25-30%, σύννεφα 5-85%. Οι υδάτινες επιφάνειες ανακλούν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά 2-58% και τη διάχυτη κατά 17% περίπου.

1.6. Η ΓΗ ΚΑΙ Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ

Ατμόσφαιρα είναι η αεριώδης μάζα η οποία περιβάλλει τη Γη, αποτελεί ένα σώμα με αυτή και μετέχει σε όλες τις κινήσεις της Γης .

Το ύψος στο οποίο φθάνει η ατμόσφαιρα, θεωρητικά είναι αυτό στο οποίο η δύναμη της βαρύτητας αντισταθμίζεται στη διαφυγή των μορίων των αερίων προς το κοσμικό διάστημα. Θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν, ότι η ατμόσφαιρα της Γης μπορεί να εκτείνεται πάνω από τους πόλους μέχρι το ύψος των 28.000 Km και πάνω από τον ισημερινό έως 42.000 Km.

Το ύψος όμως που η ατμόσφαιρα γίνεται αισθητή με διάφορα φαινόμενα που συμβαίνουν μέσα σ' αυτή, είναι κατά πολύ μικρότερο και δεν υπερβαίνει τα 3.000km. Η πυκνότητα του αέρα μεταβάλλεται με το ύψος. Έτσι, η πυκνότητα του αέρα στην επιφάνεια του εδάφους είναι $1,3 \times 10^{-3} \text{ gr/cm}^3$, σε ύψος 20 km είναι $0,9 \cdot 10^{-4} \text{ gr/cm}^3$ και σε ύψος 300 km είναι $6,7 \times 10^{-27} \text{ gr/cm}^3$. Στα εξώτατα στρώματα φαίνεται ότι αναμιγνύεται βαθμηδόν με το ενδοπλανητικό διάστημα, το οποίο δεν είναι απολύτως κενό, αλλά περιέχει άτομα και μόρια διαφόρων αερίων. Η γήινη ατμόσφαιρα λοιπόν μπορεί να θεωρηθεί σαν μια τοπική πύκνωση της ενδοπλανητικής ατμόσφαιρας.

Από θεωρητικούς υπολογισμούς, το 50% περίπου του συνόλου της μάζας της ατμόσφαιρας (δηλ. $5,26 \times 10^{21} \text{ gr}$) περιλαμβάνεται σε ένα στρώμα που εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι ύψους 5 km. Τα 75% σε ένα στρώμα ύψους 10 km, τα 95% σε ένα στρώμα ύψους 20 km, ενώ το 99% της ατμόσφαιρας περιλαμβάνεται στο στρώμα που φθάνει τα 40km από την επιφάνεια.

Η σύνθεση της ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα της γης στα κατώτερα στρώματα δηλ. μέχρι ύψους 25 km περίπου, αποτελείται: α) από ξηρό αέρα, β) από υδρατμούς και γ) από αιωρήματα διαφόρου προελεύσεως (aerosols).

Όπως φαίνεται στον πίνακα, τα βασικά αέρια που αποτελούν τον ατμοσφαιρικό αέρα είναι το άζωτο και το οξυγόνο που καταλαμβάνουν το 99% του όγκου, ενώ τα υπόλοιπα παρουσιάζουν αναλογίες μικρότερες του 1%.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

Αέρια		Περιεκτικότητα επί τοις 100% κατά όγκο)
Άζωτο	N	78,08
Οξυγόνο	O	20,95
Αργό	Ar	0,93
Διοξ. Άνθρακα	CO ₂	0,03
Νέο	Ne	18,18.10 ⁻⁴
Ήλιο	He	5,24.10 ⁻⁴
Μεθάνιο	CH ₄	2,2.10 ⁻⁴
Κρυπτό	Kr	1,14.10 ⁻⁴
Οξειδ. Αζώτου	N ₂ O	(0,05±0,1).10 ⁻⁴
Υδρογόνο	H ₂	0,5.10 ⁻⁴
Ξένο	Xe	(0,0,087).10 ⁻⁴
Όζον	O ₃	(0,0,07).10 ⁻⁴ και (1-3).10 ⁻⁴

α) Ξηρός αέρας. Η σύνθεση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι η αναφερόμενη στον πίνακα Ι και είναι περίπου σταθερή σε κάθε σημείο πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η σύσταση είναι η ίδια πάνω από ξηρές, θάλασσες, δασοσκεπείς ή ερημικές περιοχές, πεδινές ή ορεινές κατοικημένες ή όχι, ισημερινές ή πολικές. Αυτό οφείλεται στις έντονες αναμίξεις της ατμόσφαιρας, εξαιτίας των ανέμων και των ρευμάτων.

Η σύνθεση της ατμόσφαιρας παραμένει η ίδια σε αναλογίες μέχρι του ύψους των 80 Km με εξαίρεση το διοξείδιο του άνθρακα και το όζον, γι' αυτό και η περιοχή αυτή της ατμόσφαιρας καλείται ομοιόσφαιρα, ενώ η περιοχή που βρίσκεται πάνω από αυτήν ετερόσφαιρα.

Υψηλότερα από το τμήμα αυτό, επικρατεί το ατομικό υδρογόνο (H⁺) και η περιοχή αυτή ονομάζεται πρωτονιόσφαιρα.

Η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα μεταβάλλεται ελαφρά με το χρόνο και τον τόπο π.χ. η περιεκτικότητά του είναι μικρότερη την ημέρα από τη νύκτα και το καλοκαίρι και το φθινόπωρο από το χειμώνα.

Επίσης, παρατηρείται μεγαλύτερη ποσότητα CO₂ πάνω από ηπείρους από ότι πάνω από ωκεανούς, γιατί το αέριο αυτό απορροφάται από το θαλασσινό νερό και αποτίθεται στους πυθμένες των ωκεανών. Κοντά σε πυκνοκατοικημένες βιομηχανικές περιοχές, η περιεκτικότητα σε CO₂ είναι πολύ μεγάλη και φθάνει έως 0,05%.

Το διοξείδιο του άνθρακος προέρχεται από διάφορες καύσεις, οξειδώσεις οργανικών ουσιών, αναπνοή ζωικών οργανισμών, διαπνοή φυτών και από ηφαίστεια.

Η σημασία της υπάρξεως CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μεγάλη παρά τη μικρή του αναλογία, γιατί είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών και γιατί απορροφά ακτινοβολία την οποία στη συνέχεια εκπέμπει συμβάλλοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια προοδευτική αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία αποδίδεται στην αυξημένη βιομηχανική δραστηριότητα. Το 1900 η περιεκτικότητα σε CO₂ ήταν 292 cm³/m³, ενώ σήμερα έφθασε στα 330 cm³/m³. Η περιεκτικότητα σε CO₂ κατά το ύψος μέχρι το 20 km δεν παρουσιάζει ουσιώδη μεταβολή, υψηλότερα όμως σημειώνεται πτώση.

Το όζον είναι το άλλο στοιχείο στην περιεκτικότητα του οποίου παρατηρούνται μεταβολές. Όπως και το CO₂, βρίσκεται σε πολύ μικρή αναλογία στον ατμοσφαιρικό αέρα, η σημασία όμως και αυτού για τη ζωή στη Γη είναι πολύ μεγάλη γιατί έχει την ιδιότητα να απορροφά ισχυρά την υπεριώδη ακτινοβολία (λ 2900Å) εμποδίζοντας το καταστρεπτικό αυτό τμήμα του φάσματος για τη ζωή να φθάσει στη γη. Η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση.

Το όζον σχηματίζεται εξαιτίας της διασπάσεως του μοριακού οξυγόνου (O₂) από την υπεριώδη ακτινοβολία.

Η περιεκτικότητα του όζοντος στα κατώτερα στρώματα της ατμοσφαιράς μέχρι ύψους 10 km είναι πολύ μικρή. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται μεταξύ 15-35 km και γι' αυτό η περιοχή αυτή καλείται οζονόσφαιρα και αποτελεί τμήμα της **χημιάσφαιρας**.

Αν θεωρήσουμε ότι το όζον συγκεντρωνόταν με κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεις γύρω από την επιφάνεια της Γης, θα σχημάτιζε ένα στρώμα πάχους μόλις 3 mm.

β) Υδρατμοί: Οι υδρατμοί που περιέχει η γήινη ατμόσφαιρα προέρχονται από την εξάτμιση των υδατίνων επιφανειών και γενικά κάθε υγρής επιφάνειας. Η ποσότητά τους μεταβάλλεται με το χρόνο και από τόπο σε τόπο και κυμαίνεται από 0-4% κατά όγκο. Το ποσοστό τους μας δίνει το δείκτη υγρασίας και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις ατμοσφαιρικές λειτουργίες. Οι υδρατμοί αποτελούν σημαντική πηγή θερμότητας στην ατμόσφαιρα.

γ) Ατμοσφαιρικά αιωρήματα (Aerosols): είναι σωματίδια μικρού μεγέθους 10-20μ., τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Η σύστασή τους είναι ποικίλη από απόψεως χημικής

συστάσεως και χημικών ιδιοτήτων. Έχουν μεγάλη σημασία γιατί αποτελούν πυρήνες συγκεντρώσεως των υδρατμών για τη δημιουργία των νεφών και της βροχής. Επίσης, τα σωματίδια αυτά καθορίζουν το βαθμό θολώσεως της ατμόσφαιρας και το βαθμό ρυπάνσεώς της ιδιαίτερα από τα διάφορα καυσαέρια, καπνό, κονιορτό κλπ.

Τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα, ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε:

α) σωματίδια γήινης προελεύσεως και β) σωματίδια κοσμικής προελεύσεως.

Τα σωματίδια γήινης προελεύσεως είναι:

- Σωματίδια διαφόρων οργανικών ουσιών.
- Σωματίδια που εκτοξεύονται από το εσωτερικό της γης (ηφαίστεια).
- Σωματίδια προερχόμενα από την αποσάθρωση πετρωμάτων.
- Σωματίδια βιομηχανικής προελεύσεως.
- Σωματίδια ραδιενεργά.
- Μόρια χλωριούχου νατρίου κλπ.

Προέλευση του οξυγόνου

Το οξυγόνο εμφανίστηκε στην ατμόσφαιρα της Γης πολύ μετά τα άλλα αέρια δηλ. N, CO₂ και υδρατμούς. Όσον αφορά στην προέλευση του οξυγόνου, υπάρχουν διάφορες θεωρίες από τις οποίες επικρατέστερες είναι οι ακόλουθες.

Κατά την πρώτη, ένα μέρος των υδρατμών ανέβαινε σε ύψη μεγαλύτερα των 60km, όπου διεσπάτο εξαιτίας της ισχυρής υπεριώδους ακτινοβολίας σε H⁺ και O⁻. Τα άτομα του H, ως ελαφρότερα διέφευγαν στο διάστημα, ενώ τα άτομα του O παρέμεναν στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της βαρύτητας.

Κατά τη δεύτερη θεωρία, το οξυγόνο δημιουργήθηκε από τα πρωτογενή φυτά που αναπτύσσονταν χωρίς οξυγόνο, αλλά παρήγαν οξυγόνο κατά τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου.

Αρχή και εξέλιξη της γήινης ατμόσφαιρας

Σύμφωνα με τις κοσμογονικές θεωρίες που επικρατούν σήμερα, θεωρείται ότι η ατμόσφαιρα είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένη με τη γη και η ιστορία της αρχίζει πριν από 4,5 τρισεκατομμύρια χρόνια.

Κατά την πρώτη φάση, η Γη είναι μια υπέρθερμη πυκνή μάζα αερίων μεγάλου πάχους. Τα αέρια είχαν πιθανώς την ίδια σύσταση με τα αέρια που υπήρχαν στον Ήλιο σε διάπυρη κατάσταση και μεγάλο μέρος τους διέφυγε στο διάστημα εξαιτίας των πολύ υψηλών θερμοκρασιών και του σχετικά μικρού μεγέθους της Γης .

Η δεύτερη φάση αρχίζει όταν, εξαιτίας της προοδευτικής ψύξεως της Γης, άρχισε αφενός να σχηματίζεται ο φλοιός και αφετέρου στην ατμόσφαιρα από χημικές διεργασίες άρχισαν να εμφανίζονται υδρατμοί και από πλανητική ύλη, άζωτο και CO₂.

Στην τρίτη φάση της ιστορίας της γήινης ατμόσφαιρας η θερμοκρασία έπεσε τόσο ώστε σχηματίστηκαν σύννεφα, τα οποία με το χρόνο γίνονταν πυκνότερα και χαμηλότερα. Στην αρχή σημειώνονταν λίγες βροχές, αλλά λόγω της υψηλής θερμοκρασίας το νερό εξατμιζόταν αμέσως. Όταν όμως η θερμοκρασία έπεσε κι άλλο, άρχισαν συνεχείς και κατακλυσμαίες βροχές. Τα νερά των βροχών σχημάτισαν τους ποταμούς, τους ωκεανούς, τις θάλασσες και τις λίμνες και άρχισαν να διαβρώνουν τα πετρώματα. Κατά την εποχή αυτή, μεγάλη ποσότητα CO₂ εξαφανίστηκε από την ατμόσφαιρα από διάφορες αιτίες, όπως είναι η απορρόφηση μέρους αυτού, από τα νερά των ωκεανών και η δημιουργία ανθρακικών πετρωμάτων.

Μετά τις κατακλυσμαίες βροχές, το πυκνό στρώμα των νεφών άρχισε να παρουσιάζει ρωγμές, μέσα από τις οποίες έφθανε το ηλιακό φως στην επιφάνεια της Γης, στην οποία δεν είχε εμφανιστεί ακόμη ζωή.

Επακολούθησαν μεγάλες γεωλογικές μεταβολές, εκρήξεις ηφαιστειών, πτυχώσεις του φλοιού, ρήγματα και δημιουργία ιζηματογενών πετρωμάτων. Στην περίοδο αυτή εμφανίστηκε και η ζωή, χωρίς να ξέρουμε το χρόνο και το μηχανισμό της προέλευσής της.

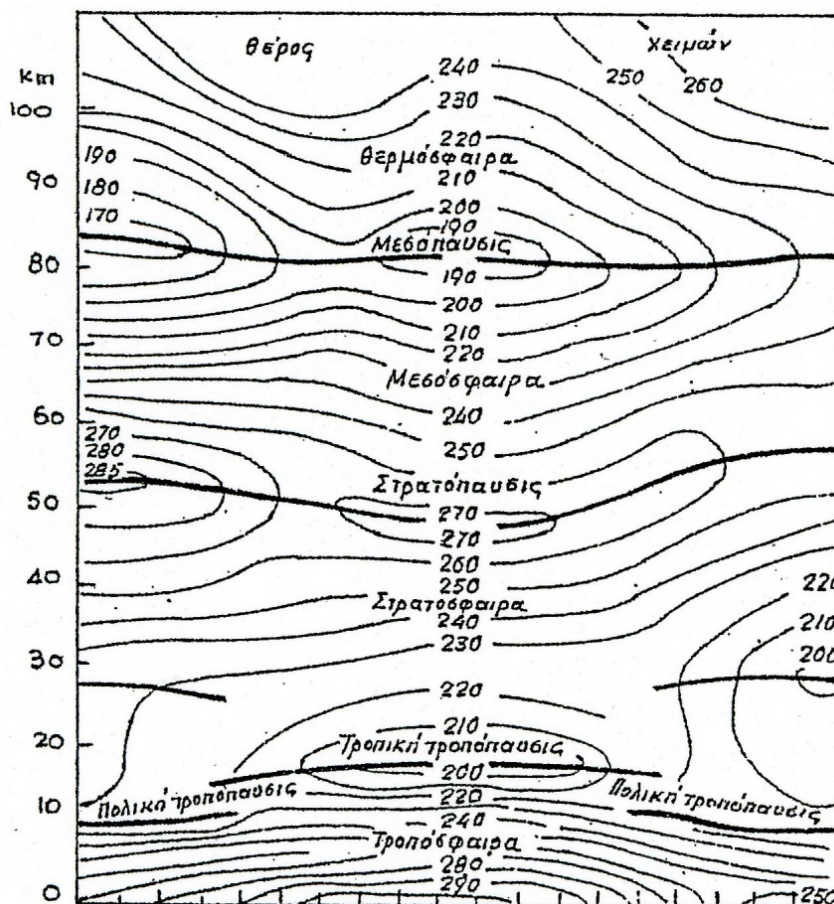
Κατακόρυφη θερμοβαθμίδα

Βρέθηκε ότι η θερμοκρασία μεταβάλλεται με το ύψος. Όσο ανερχόμαστε στην ατμόσφαιρα και απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης, παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία πέφτει κατά 0,65°C ανά 100 μέτρα κατά μέσο όρο. Η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας με το ύψος, ονομάζεται κατακόρυφη θερμοβαθμίδα.

Φυσική διαίρεση της ατμόσφαιρας

Η μελέτη της ατμόσφαιρας παρουσίασε μεγάλο ενδιαφέρον για τον άνθρωπο γιατί εκεί δημιουργούνται και εκδηλώνονται τα διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα που επιδρούν

άμεσα ή έμμεσα στη ζωή μας και καθορίζουν και το κλίμα των περιοχών. Η μελέτη της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας μας βοήθησε να διαιρέσουμε την ατμόσφαιρα σε διάφορα τμήματα (Σχ. 12).



Σχ. 12. Μέση μεσημβρινή τομή της ατμόσφαιρας. (από Καραπιπέρη, 1964).

Από την επιφάνεια της Γης και μέχρι ενός μέσου ύψους 11-12 km, παρατηρείται μια πτώση της θερμοκρασίας κατά $0,65^{\circ}\text{C}$ με το ύψος. Το τμήμα αυτό της ατμόσφαιρας ονομάζεται Τροπόσφαιρα. Πάνω από την Τροπόσφαιρα ακολουθεί ένα άλλο τμήμα που ονομάζεται Στρατόσφαιρα. Η διαχωριστική επιφάνεια ή ζώνη ανάμεσα στα δύο αυτά τμήματα ονομάζεται τροπόπαυση. Η τροπόπαυση στις ισημερινές περιοχές βρίσκεται σε ύψος 17-18 km, στις εύκρατες σε 11-12 km και στις πολικές 7-8 km. Στις εύκρατες περιοχές παρατηρούνται 2 τροπόπαυσεις, η μια πάνω από την άλλη και απέχουν μεταξύ τους 2,5-5 km. Η απόσταση αυτή αυξάνεται το χειμώνα και ελαττώνεται το καλοκαίρι. Πολλοί υποστηρίζουν ότι στα μέσα πλάτη υπάρχει και τρίτη τροπόπαυση.

Η θερμοκρασία της τροπόπαυσης πάνω από τις ισημερινές περιοχές έχει τις μικρότερες τιμές και φθάνει στους -70°C έως -80°C , ενώ πάνω από τις πολικές τους -55°C έως -60°C .

Η τροπόσφαιρα ανάλογα με την τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας που παρουσιάζει, χωρίζεται σε 4 περιοχές:

- α) Την κατώτερη τροπόσφαιρα, η οποία αρχίζει από την επιφάνεια του εδάφους και φθάνει μέχρι ύψους 1-1,5 km.
- β) Τη μεσαία, που βρίσκεται σε ύψος από 1,5 έως 5-6 km.
- γ) Την ανώτερη, σε ύψος από 6 έως 8-9 km.
- δ) Την περιοχή της τροπόπαυσης σε ύψος 9-12 km.

Στρατόσφαιρα: Από την περιοχή της τροπόπαυσης έως του ύψους των 50-55km βρίσκεται η στρατόσφαιρα. Η στρατόσφαιρα χωρίζεται σε δύο περιοχές:

- A) την κατώτερη στρατόσφαιρα, η οποία εκτείνεται από την τροπόσφαιρα μέχρι ύψους 35 km. Στο τμήμα αυτό δεν παρατηρούνται ουσιώδεις μεταβολές της θερμοκρασίας.
- B) την ανώτερη στρατόσφαιρα, από ύψος 35 έως 50-55 km. Στο τμήμα αυτό, η θερμοκρασία αυξάνει και στο ύψος των 50-55 km φθάνει στους 15°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στη μεγάλη συγκέντρωση όζοντος, η οποία παρατηρείται σε ύψος 20-40 km και το οποίο απορροφά ισχυρώς την υπεριώδη ακτινοβολία.

Πάνω από τη στρατόσφαιρα εκτείνεται η μεσόσφαιρα. Η διαχωριστική επιφάνεια στρατόσφαιρας - μεσόσφαιρας ονομάζεται στρατόπαυση.

Μεσόσφαιρα: Η μεσόσφαιρα εκτείνεται από το ύψος 50-55 km έως του ύψους των 80-85 km. Στην περιοχή αυτή, η θερμοκρασία ελαττώνεται και στο ανώτερο ύψος της φθάνει τους -90°C.

Πάνω από τη μεσόσφαιρα εκτείνεται η θερμόσφαιρα. Η διαχωριστική επιφάνεια μεσόσφαιρας και θερμόσφαιρας ονομάζεται μεσόπαυση. Η θερμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από μια συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας που φθάνει στα ανώτερα τμήματά της, 400-500 km, τους 1500°C.

Το εξωτερικό τμήμα της ατμόσφαιρας ονομάζεται εξώσφαιρα.

Η διαχωριστική επιφάνεια θερμόσφαιρας και εξώσφαιρας ονομάζεται **θερμόπαυση**. Στην περιοχή της εξώσφαιρας, η πυκνότητα των αερίων O και H είναι πολύ μικρή και έχουν μεγάλη κινητικότητα. Οι θερμοκρασίες εδώ είναι κινητικές. Η θερμοκρασία ενός σώματος

καθορίζεται από την απορρόφηση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον Ήλιο και από την ακτινοβολία του σώματος αυτού.

Ιονόσφαιρα: Στην ανώτερη ατμόσφαιρα υπάρχει μια περιοχή με μεγάλη αγωγιμότητα, στην οποία ο αριθμός των ιόντων και των ελευθέρων ηλεκτρονίων είναι τόσο μεγάλος, ώστε επηρεάζεται η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Επίσης, ορίζεται σαν περιοχή της ατμόσφαιρας στην οποία ο δείκτης διαθλάσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι διάφορος της μονάδας. Ο όρος εισάχθηκε από τον R.Watson Watt. Την επιβεβαίωση της υπάρξεως της περιοχής αυτής έκανε ο Marconi με τη σύνδεση δια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δύο τόπων που απέιχαν 2000 περίπου μίλια.

Ατμοσφαιρική πίεση: Ο ατμοσφαιρικός αέρας ασκεί πίεση στην επιφάνεια της Γης εξαιτίας της κινητικής ενέργειας των μορίων του, η οποία ονομάζεται ατμοσφαιρική πίεση. Όταν ο αέρας βρίσκεται σε ηρεμία, η κίνηση των μορίων του είναι τυχαία. Η πίεση αυτή είναι στατική ή βαρομετρική πίεση.

Θα μπορούσαμε, με άλλα λόγια, να ορίσουμε την ατμοσφαιρική πίεση σαν την πίεση που δέχεται μια επιφάνεια είτε λόγω της κινητικής ενέργειας του αέρα είτε λόγω του βάρους της αερίου στήλης που υπέρκειται της επιφάνειας. Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με το ύψος. Μεταβάλλεται επίσης ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, με τον τόπο και τον χρόνο.

Υγρασία: Με τον όρο υγρασία εννοούμε το σύνολο των υδρατμών που περιέχεται σε έναν ορισμένο όγκο αέρα. **Σχετική υγρασία** είναι ο λόγος της ποσότητας των υδρατμών που περιέχονται σε δεδομένη στιγμή σε έναν όγκο αέρα προς την μέγιστη ποσότητα των υδρατμών που μπορεί να περιέχει ο αέρας στη συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση.

Θερμοκρασία αέρα

Κύριες πηγές θερμότητας για την ατμόσφαιρα της Γης είναι: 1) ο Ήλιος, 2) το σύνολο των απλανών αστέρων και 3) το εσωτερικό της γης.

Η θερμότητα που προσλαμβάνει η γη από το σύνολο των απλανών αστέρων είναι μηδαμινή, εξαιτίας των τεραστίων αποστάσεων. Επίσης, από το εσωτερικό της Γης στην επιφάνεια υπολογίζεται ότι φθάνει θερμοκρασία περίπου 1°C, λόγω του συντελεστού αγωγιμότητας του στερεού φλοιού. Επομένως σαν μοναδική πηγή θερμότητας παραμένει ο Ήλιος, του οποίου η ακτινοβολία ρυθμίζει αμέσως και εμμέσως τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Αμέσως διότι η ατμόσφαιρα απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται

απ' αυτή και εμμέσως γιατί η ατμόσφαιρα απορροφά την υπέρυθρο ακτινοβολία που αντανακλάται από το έδαφος.

Η θερμοκρασία δεν είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια της Γης αλλά μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο, με το γεωγραφικό πλάτος, κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά την διάρκεια του χρόνου.

Οι θερμομετρικές συνθήκες σ' οποιονδήποτε τόπο στην επιφάνεια της Γης, εξαρτώνται:

Από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο όριο της ατμόσφαιρας και από τις απώλειες που υφίσταται κατά τη διάβαση μέσα από την ατμόσφαιρα από ανακλάσεις, διαχύσεις και απορρόφηση.

- Από την ανακλαστικότητα της επιφάνειας του εδάφους.
- Από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους.
- Από το ισοζύγιο ακτινοβολιών Γης- ατμόσφαιρας – διαστήματος.
- Από τις εναλλαγές θερμότητας κατά τις μεταβολές των καταστάσεων του νερού.
- Από τη μεταφορά θερμότητας από την κίνηση και ανατάραξη του αέρα.
- Από τα ατμοσφαιρικά και θαλάσσια ρεύματα.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούνται εναλλαγές της θερμοκρασίας, με ένα μέγιστο τις μεσημεριανές ώρες και ένα ελάχιστο τα ξημερώματα. Η διαφορά αυτή της θερμοκρασίας λέγεται θερμομετρικό εύρος.

Το θερμομετρικό εύρος είναι ημερήσιο, όταν αφορά στη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός 24ώρου ή ετήσιο στη διαφορά θερμοκρασίας ενός τόπου κατά τη διάρκεια του χρόνου. Το θερμομετρικό εύρος έχει μεγάλη σημασία και από κλιματολογικής πλευράς και από μετεωρολογικής. Εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, τη γεωγραφική θέση, την εποχή, το υψόμετρο κλπ.

Αναστροφές της θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία, όπως είδαμε πιο πάνω, ελαττώνεται με το ύψος. Η θερμοκρασία στην περίπτωση αυτή θεωρείται θετική. Καμιά φορά όμως συμβαίνει το αντίστροφο, δηλ. η θερμοβαθμίδα αυξάνει με το ύψος και τότε θεωρείται αρνητική. Όταν συμβαίνει το φαινόμενο αυτό, τότε λέμε ότι έχουμε αναστροφή θερμοκρασίας.

Το στρώμα του αέρα μέσα στο οποίο συμβαίνει το φαινόμενο αυτό, λέγεται στρώμα αναστροφής. Το ύψος της βάσης του στρώματος αυτού από το έδαφος, ονομάζεται ύψος αναστροφής και η ολική αύξηση της θερμοκρασίας (από τη βάση του στρώματος μέχρι την κορυφή του) μέγεθος αναστροφής.

Η βάση του στρώματος αναστροφής λέγεται πάτωμα και το ανώτερο σημείο οροφή ή ταβάνι του στρώματος αναστροφής. Η απόσταση από το πάτωμα έως το ταβάνι του στρώματος, ονομάζεται πάχος ή βάθος αναστροφής.

Οι αναστροφές θερμοκρασίας είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Το πάχος του στρώματος αναστροφής ποικίλλει από λίγα μέτρα έως 2-3 χιλιόμετρα. Το μέγεθος αναστροφής φθάνει τους 10°C ή και περισσότερο.

Ανάλογα με το ύψος που δημιουργούνται οι αναστροφές, διακρίνονται σε αναστροφές επιφανείας, όταν η αναστροφή αρχίζει από την επιφάνεια της γης και σε αναστροφές ελεύθερης ατμόσφαιρας, όταν εμφανίζονται πάνω από την επιφάνεια και σε ύψη που ποικίλουν.

Οι αναστροφές συμβαίνουν κυρίως όταν τα κατώτερα στρώματα ψύχονται ισχυρά, εξαιτίας έντονης ακτινοβολίας ή όταν μια θερμή μάζα αέρα περάσει πάνω από μια ψυχρότερη.

Ορειογραφικές αναστροφές συμβαίνουν όταν μια περιοχή έχει έντονο ανάγλυφο. Οι άνεμοι που φυσούν με διεύθυνση τους ορεινούς όγκους, κατά την κίνησή τους ακολουθούν τη μορφή του ανάγλυφου. Θερμές μάζες αέρα ανεβαίνουν στην κορυφή, χάνουν θερμότητα από την εκτόνωση των υδρατμών και κατεβαίνουν προς την αντίθετη πλευρά ψυχρότερες με μεγάλη ταχύτητα και εκτοπίζουν τις θερμές μάζες που υπήρχαν. Δημιουργείται τότε αναστροφή της θερμοκρασίας. Υπάρχουν φυσικά και άλλοι παράγοντες που δημιουργούν αναστροφές.

Τα στρώματα αναστροφής είναι πολύ ευσταθή από θερμοδυναμικής πλευράς και εγκλωβίζουν τα στρώματα που βρίσκονται κάτω απ' αυτά, εμποδίζοντας τη δημιουργία ανοδικών ρευμάτων και γενικά την κυκλοφορία του αέρα σ' αυτά.

Η ρύπανση λοιπόν στις περιπτώσεις αναστροφής είναι συνάρτηση της διάρκειας του φαινομένου και της ποσότητας εκπομπής των ρυπαντών. Όταν η διάρκεια είναι μεγάλη εξαιτίας της ευστάθειας των εγκλωβισμένων στρωμάτων, εμποδίζεται η διάχυση και διασπορά των ρυπαντών, με συνέπεια τα στρώματα αέρα που εμπλουτίζονται συνεχώς με καινούργιες ποσότητες ρυπαντών που συνεχίζουν να παράγονται στην πόλη. Στις περιπτώσεις

αυτές και εφόσον προβλέπεται παράταση του μετεωρολογικού αυτού φαινομένου, είναι απαραίτητα τα μέτρα περιορισμού ή και διακοπής των δραστηριοτήτων, ώστε να μην επιβαρύνεται άλλο η ατμόσφαιρα μέχρι της αποκατάστασής της φυσιολογικής καταστάσεως. Οι αναστροφές χωρίζονται σε **πραγματικές** και **ψευδοαναστροφές**.

Μόλυνση – Ρύπανση

Ακούμε συνεχώς γύρω μας να γίνεται συζήτηση για τη μόλυνση του περιβάλλοντος (τη μόλυνση της ατμόσφαιρας, της θάλασσας κλπ). Ο όρος αυτός, πολλές φορές δεν χρησιμοποιείται με τη σωστή του έννοια. Για το λόγο αυτό, θα δώσουμε τον ορισμό των λέξεων μόλυνση και ρύπανση ώστε να ακριβολογούμε.

Σαν μόλυνση χαρακτηρίζουμε την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών (βακτηριδίων, μυκήτων κλπ) η οποία παρατηρείται στο περιβάλλον (αέρα, νερό, έδαφος) πάνω από ένα ορισμένο ανώτατο όριο για κάθε περίπτωση.

Σαν ρύπανση χαρακτηρίζουμε κάθε αλλαγή των φυσικών, χημικών, βιολογικών ή ραδιολογικών χαρακτήρων του περιβάλλοντος (αέρα, νερού, εδάφους), που οφείλεται κυρίως στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να έχουν επίδραση πρώτα στην υγεία των ανθρώπων και γενικά προκαλούν υποβάθμιση του περιβάλλοντος με δυσμενείς επιπτώσεις και με σοβαρή συνέπεια τη διαταραχή της ισορροπίας στη φύση.

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση υπάρχει από πολύ παλιά. Αναφέρονται στην ιστορία περιστατικά ρυπάνσεως και απαγορευτικές διατάξεις από τον 13^ο αιώνα. Το Λονδίνο είναι μια περιοχή την οποία από παλιά απασχόλησε, ίσως περισσότερο και εντονότερα από άλλες περιοχές το πρόβλημα, της ρύπανσης που προερχόταν κυρίως από καπνό και ομίχλη (καπνομίχλη).

Από την μεγάλη κατανάλωση πετρελαίου εξαιτίας της αύξησης της βιομηχανίας, εμφανίζονται νέοι ρυπαντές, οξειδωτικά, υπεροξειδία, οζονίδια και προϊόντα αντιδράσεως υδρογονανθράκων με τη συμμετοχή της ηλιακής ενέργειας. Ο τύπος αυτός της ρύπανσης καλείται φωτοχημικός. Όταν δημιουργηθούν οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες και η συγκέντρωση των ρυπαντών είναι αυξημένη, δημιουργείται το φωτοχημικό φαινόμενο. Ο τύπος αυτός της ρύπανσης εμφανίστηκε γύρω στο 1940 στο Los Angeles και αργότερα απασχόλησε και άλλες περιοχές. Η ρύπανση αυτή αντιμετωπίζεται δυσκολότερα γιατί είναι χημικά πολύπλοκη.

Τα τελευταία χρόνια, η ατμοσφαιρική ρύπανση από περιορισμένο τοπικά φαινόμενο έγινε σοβαρό ζήτημα που απασχολεί όλο και περισσότερες περιοχές.

1.7. ΚΛΙΜΑ

Καιρός είναι η κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από μια περιοχή που αναφέρεται σε ορισμένη στιγμή ή περίοδο και χαρακτηρίζεται από τις τιμές των διαφόρων μετεωρολογικών στοιχείων.

Κλίμα είναι ο μέσος καιρός, η μέση καιρική κατάσταση, που βγαίνει από τις μέσες τιμές των μετεωρολογικών ή κλιματολογικών στοιχείων που εξάγονται από μακροχρόνιες παρατηρήσεις, τουλάχιστον τριάντα ετών.

Τα διάφορα κλιματικά στοιχεία είναι η θερμοκρασία του αέρα, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι κλπ), ο άνεμος, η υγρασία του αέρα, η νέφωση, η ηλιοφάνεια, κλπ. Απ' αυτά, σπουδαιότερα είναι η θερμοκρασία και η βροχή.

Η διαμόρφωση του κλίματος μιας περιοχής καθορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την απόκλιση του ήλιου, την κατανομή ξηρών και θαλασσών, το γήινο ανάγλυφο, τη φύση και την κατάσταση του εδάφους, τα θαλάσσια ρεύματα, τις διάφορες ατμοσφαιρικές διαταράξεις και από την γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Από τους παράγοντες αυτούς, ο σπουδαιότερος είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, γιατί αυτό σε συνδυασμό με την απόκλιση του ήλιου, ρυθμίζει το ποσό της ηλιακής ενέργειας που δέχεται ο τόπος. Το ποσό αυτό ρυθμίζει τη θερμοκρασία του εδάφους και του αέρα και αποτελεί το σπουδαιότερο κλιματικό στοιχείο. Οι θερμομετρικές διαφορές που παρατηρούνται στις διάφορες περιοχές είναι το σπουδαιότερο αίτιο της δημιουργίας των ανέμων.

Η κατανομή των ξηρών και θαλασσών έχει μεγάλη επίδραση στη διαμόρφωση των κλιματικών συνθηκών εξαιτίας της διαφορετικής συμπεριφοράς των δύο αυτών στοιχείων.

Η θερμοκρασία στις θάλασσες παρουσιάζει πιο ομοιόμορφη κατανομή εξαιτίας της συνεχούς κινήσεως των νερών και της μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητας απ' ότι στις ξηρές, όπου το ανάγλυφο και η φύση του εδάφους δημιουργεί μεγάλες αντιθέσεις μεταξύ των διαφόρων τόπων. Επίσης, το ποσό των υδρατμών πάνω από τις θαλάσσιες εκτάσεις είναι

πολύ μεγαλύτερο από ότι πάνω από τις ξηρές και μάλιστα από το εσωτερικό των ηπείρων, με αποτέλεσμα οι βροχές να είναι περισσότερες. Τέλος, οι άνεμοι πάνω από τις θάλασσες είναι ισχυρότεροι και σταθερότεροι, γιατί δεν συναντούν μεγάλη τριβή.

Το γήινο ανάγλυφο ασκεί μεγάλη επίδραση στις κλιματικές συνθήκες π.χ. η θερμοκρασία, η απόλυτη υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνονται με το ύψος, ενώ αντίθετα η νέφωση, η βροχή, το χιόνι, η ένταση του ανέμου, η διαφάνεια της ατμόσφαιρας και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνουν με το ύψος. Το ανάγλυφο τροποποιεί τη ροή των ανέμων και επιδρά στη διανομή της βροχής.

Τα θαλάσσια ρεύματα επιδρούν τόσο στην κατανομή των θερμοκρασιών των θαλασσών, όσο και στις κλιματικές συνθήκες των παράκτιων περιοχών. Π.χ. το ψυχρό ρεύμα του Λαβραδόρ επιτείνει τη δριμύτητα των χειμώνων των παράκτιων περιοχών του Καναδά και της Νέας Γης, ενώ το θερμό ρεύμα του κόλπου επιδρά ευνοϊκά το χειμώνα στις ανατολικές ακτές των Η.Π.Α.

1.8. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η γνώση του κλίματος που επικρατεί σε κάθε περιοχή, για τη ζωή του ανθρώπου και τις καλλιέργειες. Εξίσου όμως μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και από γεωμορφολογικής πλευράς.

Το κλίμα είναι καθοριστικός παράγοντας για τη δημιουργία και διαμόρφωση των διαφόρων γεωμορφών. Στο κλίμα οφείλεται επίσης κατά μεγάλο μέρος και η εκδήλωση πολλών φυσικών φαινομένων (όπως πλημμύρες, κινήσεις μαζών) που ευνοούνται κάτω από ορισμένες κλιματικές συνθήκες. Η γνώση τους οδηγεί στην πρόβλεψη και την αποτροπή τους, που παρουσιάζει ζωτικό ενδιαφέρον για τη ζωή του ανθρώπου. Με βάση κοινά κλιματολογικά και λιθολογικά χαρακτηριστικά μπορούμε να δημιουργήσουμε ομάδες και να τις μελετήσουμε γεωμορφολογικά, να επισημάνουμε και καθορίσουμε το βαθμό επικινδυνότητας εμφάνισης ανεπιθύμητων συμβάντων και να λάβουμε προληπτικά μέτρα. Για τους λόγους αυτούς, μπορούμε να χωρίσουμε κατ' αρχήν τη Γη σε κλιματικές ζώνες με βάση τη θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις και την εξάτμιση. Οι ζώνες αυτές είναι:

Η διακεκαυμένη ή υγρή τροπική που περιλαμβάνεται ανάμεσα στους δύο τροπικούς κύκλους (10° - 12° Β και Ν). Χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες όλο το χρόνο (25° - 27° C) και από δύο περιόδους βροχών.

Δύο ημίξηρες τροπικές ζώνες (βόρεια και νότια της προηγούμενης). Σ' αυτές, το κλίμα αρχίζει να παρουσιάζει εποχικότητα και οι ανώτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται τη ζεστή υγρή περίοδο, ενώ οι κατώτερες την ξηρή.

Ακολουθούν δύο άλλες ζώνες που φθάνουν μέχρι το πλάτος 30° Β και Ν, οι ξηρές τροπικές ζώνες. Στις ζώνες αυτές απαντώνται οι μεγαλύτερες έρημοι, όπως η Σαχάρα. Στη ζώνη αυτή δημιουργούνται καθοδικά ρεύματα, με σποραδικές βροχές. Η ζώνη αυτή αντικαθίσταται από μια άλλη, την ημίξηρη υποτροπική. Σ' αυτήν, επικρατούν καθοδικά ξηρά ρεύματα από τις τροπικές το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα οι χαμηλές πιέσεις προκαλούν βροχοπτώσεις και χαμηλές θερμοκρασίες. Στη ζώνη αυτή, έχουμε εναλλαγή εποχών και το κλίμα χαρακτηρίζεται σαν «Μεσογειακού τύπου». Παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις στον τύπο του κλίματος, ανάλογα με την απόσταση από τη θάλασσα.

Ακολουθούν οι εύκρατες ζώνες που φθάνουν μέχρι το πλάτος των 45° - 50° Β και Ν. Σ' αυτές διακρίνεται ο ωκεάνιος τύπος κλίματος, με όχι μεγάλο ετήσιο θερμομετρικό εύρος (η υγρή εύκρατη ζώνη) με ήπιους χειμώνες, δροσερό καλοκαίρι και βροχοπτώσεις όλο το χρόνο. Μακριά από τους ωκεανούς, το θερμομετρικό εύρος μπορεί να φθάσει 40° - 50° . Η ζώνη αυτή καλείται ημίξηρη εύκρατη.

Σε πλάτος 55° - 60° Β εκτείνεται η ψυχρή ζώνη και στις πολικές περιοχές συναντώνται οι αρκτικές ζώνες με μικρό ύψος κατακρημνισμάτων και χαμηλές θερμοκρασίες, ώστε το υπέδαφος να είναι μόνιμα παγωμένο. Η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας μπορεί να φθάσει τους 6 μήνες.

Το κλίμα είναι πολύ καθοριστικός παράγοντας για την αποσάθρωση των πετρωμάτων και τη δημιουργία του αναγλύφου. Η διάβρωση σε κάθε κύκλο εξέλιξης γίνεται με τον ίδιο μηχανισμό στις διάφορες κλιματικές ζώνες, αλλά διαφέρει σε ταχύτητα και στη δημιουργία των γεωμορφών. Για παράδειγμα, το ανάγλυφο που δημιουργείται από την ποτάμια διάβρωση είναι διαφορετικό σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες.

2. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΓΗΣ

Οι γνώσεις που έχουμε για τον πλανήτη μας από άμεσες παρατηρήσεις περιορίζονται στην επιφάνεια της Γης και σε μικρό βάθος από αυτή (έως 16 km). Κάτω όμως από την επιφάνεια υπάρχει μία τεράστια περιοχή, στην οποία συμβαίνουν εντελώς διαφορετικές διεργασίες που αποτελείται από υλικά, για τα οποία έχουμε πληροφορίες μόνο από έμμεσες παρατηρήσεις. Οι παρατηρήσεις αυτές προέρχονται από την προσεκτική εξέταση της επιφάνειας, τη μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής της Γης, την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και τις ανωμαλίες μετάδοσής τους, καθώς και τις διαφορές που παρουσιάζουν τα πεδία βαρύτητας και μαγνητισμού από τόπο σε τόπο.

Από την μελέτη όλων αυτών των στοιχείων συμπεραίνεται, ότι η Γη αποτελείται από τρεις στοιβάδες που διακρίνονται μεταξύ τους: τον πυρήνα, τον μανδύα και το φλοιό. Τα όριά του είναι σαφή και ευδιάκριτα γιατί αποτελούνται από διαφορετικά υλικά (Σχ. 13).

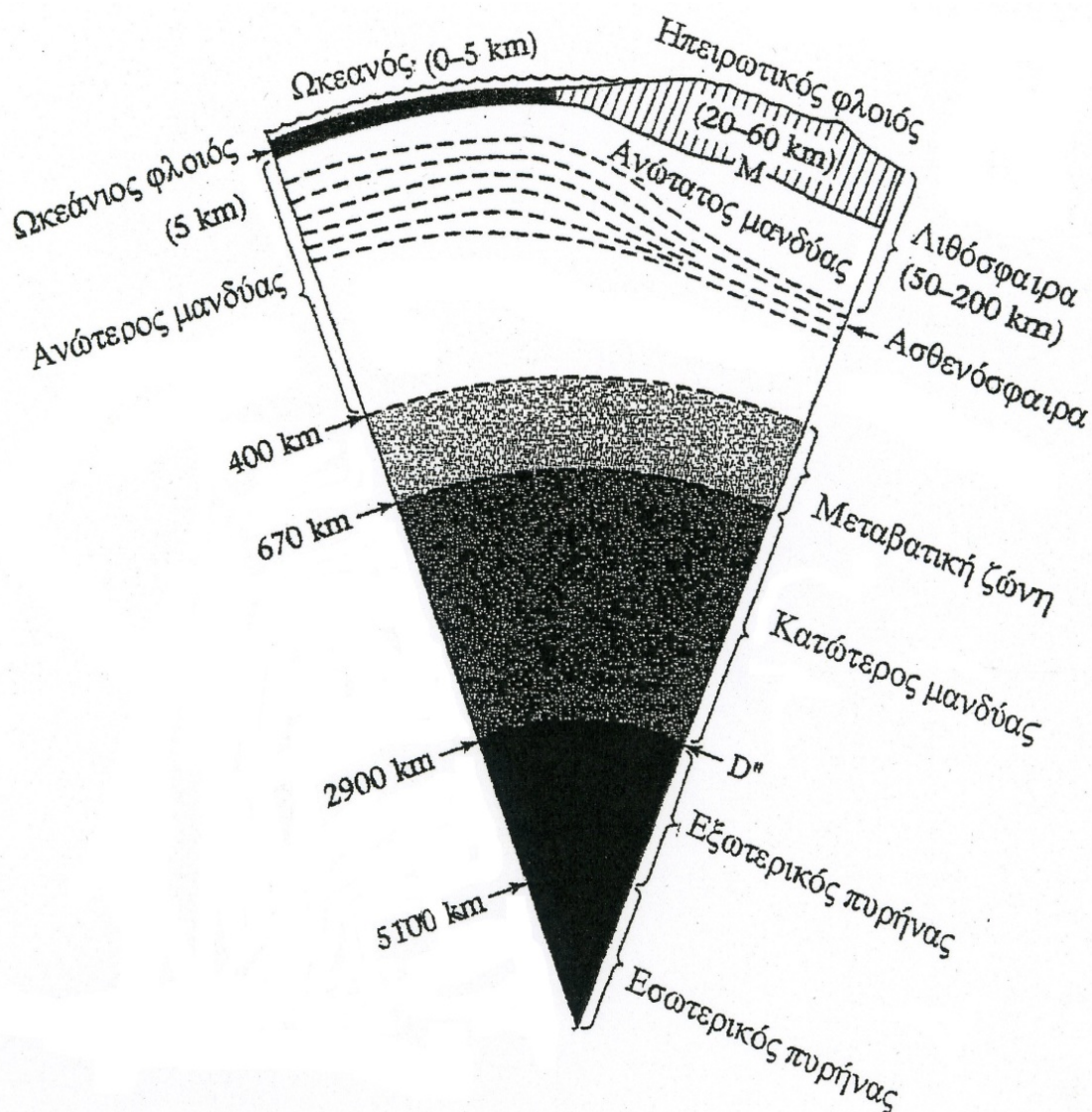
2.1. Ο πυρήνας

Ο πυρήνας βρίσκεται στο εσωτερικό τμήμα της Γης και έχει ακτίνα 3.488 km (λίγο περισσότερο από το μισό της γήινης ακτίνας). Διακρίνεται σε εσωτερικό και εξωτερικό πυρήνα από τις φυσικές ιδιότητες και πιστεύεται ότι ο εξωτερικός πυρήνας βρίσκεται σε ένα είδος υγρής κατάστασης. Η μέση πυκνότητα του πυρήνα είναι μεγαλύτερη των $11,5 \text{ gr/cm}^3$, δηλ. πυκνότητα που έχουν μόνο τα μέταλλα. Με τη σκέψη ότι τα υλικά που αποτελούν την Γη είναι τα ίδια με αυτά των μετεωριτών, συμπεραίνεται ότι ο πυρήνας αποτελείται από σίδηρο και νικέλιο. Παρόλα αυτά, άλλοι ερευνητές πιστεύουν ότι αποτελείται από αδιαφοροποίητη πλανητική ύλη με υδρογόνο σε μεγάλη αναλογία.

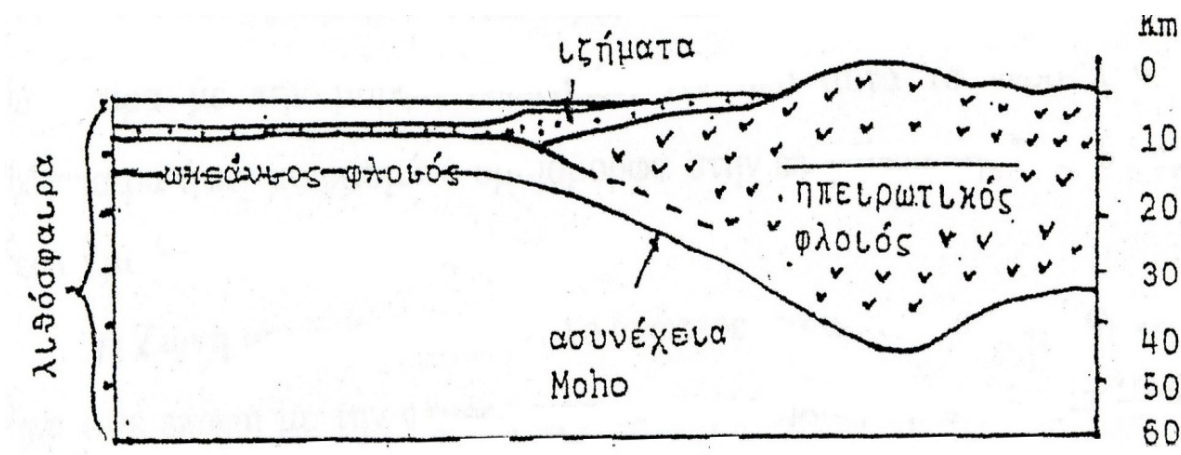
2.2. Ο μανδύας

Γύρω από τον πυρήνα, από τον οποίο διαχωρίζεται με την ασυνέχεια Gutenberg και με πάχος 2.800 km περίπου, αναπτύσσεται ο μανδύας. Ο μανδύας χωρίζεται επίσης σε ανώτερο ή εξωτερικό και κατώτερο ή εσωτερικό μανδύα με μια ασυνέχεια δεύτερης τάξης, την ασυνέχεια Repetti.

Ο ανώτερος μανδύας έχει πάχος 900 km περίπου και χωρίζεται με βάση τις φυσικές του ιδιότητες σε δύο στρώματα. Το ανώτερο που φθάνει σε βάθος 100 ή 200 km από την κορυφή του μανδύα, ονομάζεται στρώμα Gutenberg ή ασθενόσφαιρα. Στο τμήμα αυτό, παρατηρούνται πολύ χαμηλές ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, κάτω από το στρώμα



Σχ. 13. Σχηματική τομή της Γης.



Σχ. 14. Σχηματική τομή της λιθόσφαιρας.

2.3. Φλοιός

Φλοιός είναι η ανώτερη στιβάδα που εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης έως το μανδύα, από τον οποίο διαχωρίζεται με την ασυνέχεια **Mohorovicic**. Το βάθος στο οποίο συναντάται η επιφάνεια Mohorovicic ποικίλει από λίγα χιλιόμετρα (5-8 km) κάτω από τους ωκεάνιους πυθμένες, έως 70 km κάτω από μεγάλες οροσειρές. Ο φλοιός πρακτικά είναι δύο τύπων, ο **ηπειρωτικός** και ο **ωκεάνιος**. Ο φλοιός αποτελείται από τρία κυρίως στρώματα: το ιζηματογενές, το γρανιτικό και το βασαλτικό. Το πάχος του είναι μεγαλύτερο κάτω από τις ηπείρους και κυρίως στις ορεινές περιοχές και μικρότερο κάτω από πεδιάδες. Στους πυθμένες των ωκεανών, σχεδόν λείπει τελείως.

Ο **ηπειρωτικός φλοιός** αποτελείται κυρίως από **γρανιτικό υλικό** και ονομάζεται **Sial** ή **σιαλική στιβάδα**.

Ο **ωκεάνιος φλοιός** αποτελείται από **βασαλτικό υλικό** και ονομάζεται **Sima** (Σχ. 14).

Λιθόσφαιρα

Ο ηπειρωτικός και ωκεάνιος φλοιός, μαζί με το ανώτερο τμήμα του μανδύα ονομάζονται **λιθόσφαιρα** και το πάχος της φθάνει τα 40km κάτω από τους ωκεανούς και τα 150km κάτω από τις ηπείρους.

2.4. Ζώνες της Γης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράψαμε την εσωτερική κατασκευή της Γης. Στο ανώτερο τμήμα όμως της Γης καθώς και γύρω από αυτή, διακρίνουμε περιοχές ή ζώνες, στο εσωτερικό των οποίων στο εσωτερικό συμβαίνουν διάφορες διεργασίες. Διακρίνουμε 4 τέτοιες ζώνες: την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα, τη βιόσφαιρα και τη ζώνη αποσαθρωμάτων. Καθεμιά από τις ζώνες αυτές περιβάλλει την άλλη και σε μια έκταση η μια αναμιγνύεται με την επόμενη.

α) **Ατμόσφαιρα** είναι η αεριώδης μάζα που περιβάλλει τη Γη, αποτελεί ένα σώμα με αυτή και μετέχει σε όλες τις κινήσεις της. Το ύψος στο οποίο φθάνει η ατμόσφαιρα, θεωρητικά είναι αυτό στο οποίο η δύναμη της βαρύτητας αντιτίθεται στη διαφυγή των μορίων, των αερίων προς το κοσμικό διάστημα. Το πραγματικό ύψος όμως, στην πραγματικότητα είναι κατά πολύ μικρότερο και δεν υπερβαίνει τα 3.000 km.

β) **Υδρόσφαιρα** είναι η ζώνη που περιλαμβάνει τους ωκεανούς, τις θάλασσες, τις λίμνες, τα ποτάμια, τα χιόνια και τους πάγους, συμπεριλαμβανομένων των παγετώνων, καθώς και τα υπόγεια νερά. Ένα πολύ μικρό μέρος του νερού υπάρχει στην ατμόσφαιρα με την μορφή υδρατμών. Αν όλο αυτό το νερό που αποτελεί την υδρόσφαιρα ήταν μοιρασμένο ομοιόμορφα στην επιφάνεια της Γης, θα σχημάτιζε έναν ωκεανό με βάθος 3.000 m. περίπου.

γ) **Ζώνη αποσαθρωμάτων**. Το ανώτερο τμήμα του στερεού φλοιού της Γης που έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα και την υδρόσφαιρα, θρυμματίζεται σε μικρά ή μεγάλα κομμάτια εξαιτίας χημικών και μηχανικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στην ζώνη αυτή. Τα θρυμματισμένα πετρώματα που βρίσκονται στην επιφάνεια, δημιουργούν ένα στρώμα που χαρακτηρίζεται σαν ζώνη αποσαθρωμάτων. Στην αγγλική βιβλιογραφία αναφέρεται ως ριγόλιθος (regolite). Τα αποσαθρώματα μπορεί να βρίσκονται στη θέση που δημιουργήθηκαν, αλλά μπορεί και να έχουν μεταφερθεί. Τα υλικά που έχουν μεταφερθεί από εξωτερικές διεργασίες, ονομάζονται ιζήματα.

δ) **Βιόσφαιρα**, όπως φαίνεται και από το όνομά της, είναι η ζώνη μέσα στην οποία ζουν όλοι οι ζωικοί οργανισμοί. Περιλαμβάνει επίσης και την οργανική ύλη που δεν έχει ακόμη αποσυντεθεί. Η βιόσφαιρα εκτείνεται μέσα στις άλλες ζώνες που περιγράψαμε. Εν τούτοις, ζωικοί οργανισμοί συναντώνται κυρίως σε μια περιοχή με κατακόρυφο ύψος 20.000m, που εκτείνεται από ένα όχι μεγάλο βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι μερικές χιλιάδες μέτρα πάνω απ' αυτή. Προϊόντα της ζώνης αυτής είναι οι άνθρακες, το πετρέλαιο, μεγάλο μέρος από τα ασβεστολιθικά πετρώματα και το μεγαλύτερο μέρος του οξυγόνου που αναπνέουμε.

3. ΤΟ ΓΗΙΝΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ

Η ανάγλυφη επιφάνεια της Γης

Όπως όλοι ξέρουμε, η επιφάνεια της Γης παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία αναγλύφου. Το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας καλύπτεται από ωκεανούς και θάλασσες και ένα μικρότερο αποτελείται από ηπείρους.

Οι εκτάσεις που βρίσκονται πάνω από την στάθμη της θάλασσας αποτελούν το 29,2% του συνόλου της επιφάνειας της Γης, ενώ το υπόλοιπο το 70,8% από θάλασσα.

Οι ήπειροι αποτελούνται από πεδιάδες, οροπέδια, όρη ή βουνά. Το μέσο υψόμετρο των ηπείρων είναι 800 m.

Όρος ή βουνό είναι μια μάζα ξηράς, που είναι αισθητά υψηλότερη από τις περιοχές που την περιβάλλουν. Οι μεγάλες ορεινές ζώνες ονομάζονται **κορδιλλιέρες**. Τα ξεχωριστά τμήματα των ορεινών ζωνών ονομάζονται **οροσειρές**, όταν αποτελούν μια συμπαγή και συνεχή ενότητα με διαδοχικές ράχες. Κάθε ήπειρος χαρακτηρίζεται από διαφορετικό μέσο γεωγραφικό ύψος:

Έτσι έχουμε: Ευρώπη 300m., Ασία 1000 m. και Βόρειος Αμερική 800 m.

Οι ωκεάνιες λεκάνες, που αποτελούν και το μεγαλύτερο τμήμα της γήινης επιφάνειας δεν είναι ομαλές, αλλά παρουσιάζουν όπως και οι ήπειροι μεγάλη ποικιλία αναγλύφου.

Το μέσο βάθος των ωκεάνιων λεκανών είναι 4 km. Σε πολλά μέρη όμως και κυρίως στις άκρες τους υπάρχουν τα τάφροι, που το βάθος τους κυμαίνεται από 7,6 km -11 km περίπου. Στο μέσον περίπου των λεκανών, υψώνονται επιμήκειες ράχες με απότομες κλιτύες. Κοινό χαρακτηριστικό των ηπειρωτικών και των ωκεάνιων λεκανών είναι η ύπαρξη ηφαιστειακών κώνων μικρού ή μεγάλου μεγέθους, που πολλές φορές υψώνονται σαν ψηλά βουνά στις ηπείρους ή ξεπροβάλλουν σαν νησιά στους ωκεανούς. Επίσης, παρατηρούνται ζώνες διάρρηξης με μεγάλα συστήματα ρηγμάτων.

3.1. Ισοστασία

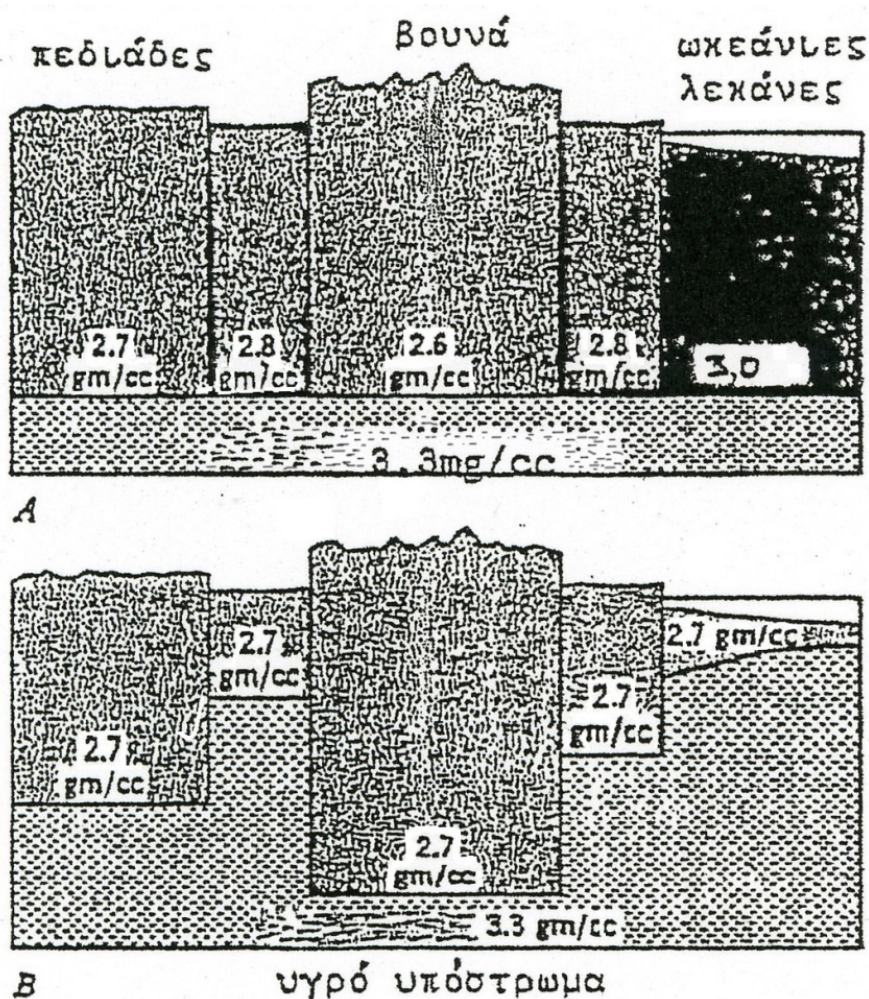
Η γήινη επιφάνεια αποτελείται από βουνά, πεδιάδες και ωκεάνιες λεκάνες που βρίσκονται σε μια κατάσταση ισορροπίας. Η κατάσταση αυτή της ισορροπίας που επικρατεί στο στερεό φλοιό, χαρακτηρίζεται με τον όρο **ισοστασία**.

Για να εξηγηθεί πώς ο στερεός φλοιός με το τόσο διαφορετικό ανάγλυφο βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, διατυπώθηκαν διάφορες θεωρίες. Υπέθεσαν στην αρχή, ότι τα βουνά ήταν μάζες πετρωμάτων τοποθετημένες πάνω σ' έναν άκαμπτο φλοιό. Μετρήσεις όμως βαρύτητας που έγιναν στο Περού από τον Bougeur τον 18^ο αιώνα, απέδειξαν ότι η έλξη που ασκούσαν οι ορεινοί όγκοι στο εκκρεμές ήταν κατά πολύ μικρότερη απ' αυτήν που είχαν υπολογίσει μαθηματικά, θεωρώντας ότι τα βουνά είχαν την ίδια πυκνότητα με τα υπόλοιπα πετρώματα του φλοιού. Το ίδιο παρατηρήθηκε αργότερα και στην περιοχή των Ιμαλαΐων, από μια ερευνητική αποστολή με αρχηγό τον Pratt.

Ο Pratt για να εξηγήσει τις ανωμαλίες αυτές διατύπωσε τη θεωρία του, ότι η λιθόσφαιρα αποτελείται από κομμάτια που έχουν διαφορετική πυκνότητα και κάθε κομμάτι επιπλέει σε ένα υγρό υπόστρωμα με μεγαλύτερη πυκνότητα. Τα κατώτερα τμήματα των κομματιών αυτών, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και το ύψος τους ελέγχεται από την πυκνότητά τους (Σχ. 15). Το επίπεδο αυτό ονομάστηκε **επιφάνεια αντιστάθμισης**.

Ο Airy (1885), παίρνοντας υπόψη τα ίδια στοιχεία, υπέθεσε ότι ο γήινος φλοιός αποτελείται από πετρώματα της ίδιας περίπου πυκνότητας, που επιπλέουν σε ένα πυκνότερο υπόστρωμα. Όπως συμβαίνει με κομμάτια πάγου που είναι βυθισμένα στο νερό, όσο μεγαλύτερο τμήμα αναδύεται από το νερό, τόσο μεγαλύτερο βύθισμα έχουν. Έτσι, θεώρησε ότι και τα βουνά βυθίζονται περισσότερο στο υγρό υπόστρωμα απ' ό,τι οι πεδιάδες, δηλ. έχουν ρίζες. Όπως και στη θεωρία του Pratt, οι ανισότητες αντισταθμίζονται σε ένα βάθος. Το βάθος όμως της επιφάνειας αντιστάθμισης, είναι αυτό του μεγαλύτερου τεμάχους.

Τα δύο αυτά μοντέλα είναι βέβαια εξιδανικευμένα, εξακολουθούν όμως να είναι χρήσιμα και σήμερα. Το μοντέλο του Airy φαίνεται να εξηγεί καλύτερα τις μεταβολές που γίνονται στα βουνά από τη διάβρωση, ενώ η θεωρία του Pratt ερμηνεύει καλύτερα τις μεταβολές που παρατηρούνται στις μεσοωκεάνιες ράχες και τα βαθύτερα στρώματα.



Σχ. 15 Οι δυο θεωρίες της ισοστασίας. Α. Η θεωρία του Pratt, Β. Η θεωρία του Airy (κατά Bowie, 1927 και Longwell, 1925)

Ξέρουμε ότι τα βουνά διαβρώνονται στη διάρκεια του χρόνου. Στο μικρότερο αυτό όγκο που απομένει, αντιστοιχούν μικρότερες ρίζες, κατά τη θεωρία του Airy. Συνεπώς, θα πρέπει να έχουμε μια προοδευτική ανύψωση των ελαφρότερων μαζών και με τον τρόπο αυτό, η διάβρωση συνεχίζεται προσβάλλοντας εκτός από το ανάγλυφο που βλέπουμε και τις αντισταθμιστικές του ρίζες.

Για τη διαδικασία αυτή, θα πρέπει να δρουν κατακόρυφες κινήσεις μεγάλης εκτάσεως στο φλοιό. Δίπλα σε περιοχές που υπάρχει ισοστατική ισορροπία, υπάρχουν περιοχές με μεγάλες ισοστατικές ανωμαλίες. Γενικά, η ισοστατική ισορροπία είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες π.χ. την ορογένεση, τη διείδυση μάγματος, την ηφαιστειότητα, τις προσχώσεις κλπ. Για τη μελέτη της ισοστατικής κατάστασης μιας περιοχής χρησιμοποιούνται βαρυτομετρικές μέθοδοι. Η αντιστάθμιση είναι ένα φαινόμενο που εξελίσσεται πολύ αργά στο γεωλογικό χρόνο.

3.2. Μεταβολές του γήινου αναγλύφου

Το γήινο ανάγλυφο μεταβάλλεται με το χρόνο. Εκρήξεις ηφαιστείων δημιούργησαν ψηλούς κώνους, αποθέσεις ποταμών διεύρυναν τις πεδιάδες στις εκβολές τους, ενώ σε άλλες περιοχές η θάλασσα εισχώρησε βαθύτερα στην ξηρά. Η ύλη στη λιθόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και την ατμόσφαιρα βρίσκεται σε συνεχή κίνηση και αποτελεί ένα πολύπλοκο μηχανισμό, που λειτουργεί βασικά με τη θερμότητα του Ήλιου και τη βοήθεια διαφόρων παραγόντων, όπως του αέρα, του νερού και του πάγου που κινείται, προκαλώντας μεταβολές στη μορφή του αναγλύφου.

Οι μεταβολές αυτές γίνονται αργά και καθορίζονται από φυσικούς νόμους. Παρουσιάζουν μια διαδοχή από επαναλαμβανόμενα φαινόμενα. Η κυκλική επανάληψη φυσικών γεγονότων ονομάζεται κύκλος.

Τους κύκλους εξέλιξης μπορούμε να τους διακρίνουμε σε δύο ομάδες.

- Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τους κύκλους εξέλιξης που έχουν βασικά εξωτερική προέλευση και ενεργούν στο φλοιό ή πολύ κοντά στην επιφάνεια, σαν αποτέλεσμα των κινήσεων και των χημικών αντιδράσεων του νερού, του πάγου, του αέρα και των ζωντανών οργανισμών. Η ομάδα αυτή προκαλεί καταστροφή των πετρωμάτων (αποσάθρωση και διάβρωση), των υλικών και στη συνέχεια απόθεση.
- Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τους κύκλους εξέλιξης που οφείλονται σε γηγενείς δυνάμεις, όπως είναι η εκρηξιγενής δραστηριότητα, η μεταμόρφωση, η ανύψωση ή καταβύθιση τμημάτων του φλοιού και οι πτυχώσεις που ενεργούν μέσα ή δια μέσου του φλοιού, σαν αποτέλεσμα χημικών επιδράσεων στα υλικά του φλοιού και του μανδύα.

Οι δύο αυτές ομάδες λειτουργούν με τον έλεγχο της βαρύτητας και βρίσκονται σε αντίθεση μεταξύ τους. Οι πρώτες, που έχουν εξωτερική προέλευση, προκαλούν καταστροφή της ξηράς, ενώ οι δεύτερες ανανέωσή της. Στην πραγματικότητα, η αντίθεση αυτή δεν είναι τόσο έντονη και ο διαχωρισμός είναι δύσκολος γιατί συνδέονται στενά μεταξύ τους. Η ταξινόμηση των παραγόντων αυτών στις ομάδες που αναφέραμε, γίνεται μόνο για πρακτικούς λόγους.

Οι γεωλογικοί κύκλοι εξέλιξης είναι πολλοί. Οι κυριότεροι απ' αυτούς είναι ο υδρολογικός, ο πετρολογικός, ο γεωχημικός και ο τεκτονικός.

Ο υδρολογικός ή κύκλος του νερού περιλαμβάνει τις κινήσεις του νερού μεταξύ της υδρόσφαιρας, της λιθόσφαιρας και της ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα και η υδρόσφαιρα επιδρούν στην λιθόσφαιρα, φθείροντας τα πετρώματα και μεταφέροντας τα κατάλοιπα σε χώρους ιζηματογένεσης.

Ο πετρολογικός κύκλος περιλαμβάνει το σχηματισμό πετρωμάτων, καθώς και τις μεταβολές τους και τη δημιουργία άλλων τύπων πετρωμάτων.

Ο τεκτονικός κύκλος περιλαμβάνει τις μετακινήσεις μεγάλων μαζών πετρωμάτων, βύθιση ή ανύψωσή τους, πτύχωση και ρηγμάτωση.

4. ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ-ΔΙΑΒΡΩΣΗ-ΑΠΟΓΥΜΝΩΣΗ

Οι εξωγενείς παράγοντες, αέρας, νερό, πάγος κλπ., επιδρούν στα πετρώματα και προκαλούν τη φθορά τους, με χαλάρωση των συστατικών των πετρωμάτων, με απόσπαση ή με διάλυση. Το νερό της βροχής παρασύρει κομμάτια πετρωμάτων, διεισδύει μέσα στο έδαφος και διαλύει διάφορα συστατικά. Το παγωμένο νερό δρα σαν σφήνα και αποσπά κομμάτια που μαζεύονται στις πλαγιές σαν κώνοι κορημάτων. Στον κύκλο αυτών των φυσικών παραγόντων συμμετέχουν και οι ζωικοί οργανισμοί. Τα πετρώματα φθείρονται και θρυμματίζονται από τους παράγοντες που αναφέραμε και τα υπολείμματα τους καλούνται κατάλοιπα. Η παραγωγή των καταλοίπων των πετρωμάτων χωρίς τη σύγχρονη μεταφορά τους που γίνεται με μηχανική θραύση, με χημική εξαλλοίωση και με τη δράση βιολογικών παραγόντων, περιγράφεται ως **αποσάθρωση**.

Αργά ή γρήγορα τα προϊόντα της αποσάθρωσης παρασύρονται από τον αέρα, το νερό, τον πάγο κλπ. και μεταφέρονται. Το νερό ή ο αέρας οπλίζονται με τα προϊόντα αποσάθρωσης, τα οποία δρουν σαν σκαπτικά εργαλεία. Με την πρόσπτωσή τους επάνω στα πετρώματα, ενεργούν σαν λίμα και τα καταστρέφουν. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται απορρίνιση (corrosion)

Το νερό που κυλάει στην επιφάνεια, ο αέρας, τα κύματα της θάλασσας, καταπονούν τα πετρώματα με τη δράση τους, χαλαρώνουν τη συνοχή τους και τα θρυμματίζουν. Συγχρόνως όμως, παρασύρουν και μεταφέρουν τα κατάλοιπα των πετρωμάτων. Η διεργασία αυτή χαρακτηρίζεται σαν διάβρωση.

Διάβρωση είναι η καταστροφή των πετρωμάτων και η σύγχρονη μεταφορά των καταλοίπων από εξωγενείς παράγοντες.

Η αποσάθρωση και η διάβρωση προκαλούν φθορά του γήινου αναγλύφου και το αθροιστικό τους αποτέλεσμα λέγεται **απογύμνωση**.

Τα προϊόντα καταστροφής των πετρωμάτων μεταφέρονται από τους παράγοντες μεταφοράς σαν αιωρήματα ή διαλύματα και αποθέτονται ή καθιζάνουν. Η διεργασία αυτή ονομάζεται **ιζηματογένεση**. Τα ιζήματα με την πάροδο του χρόνου και την πίεση που

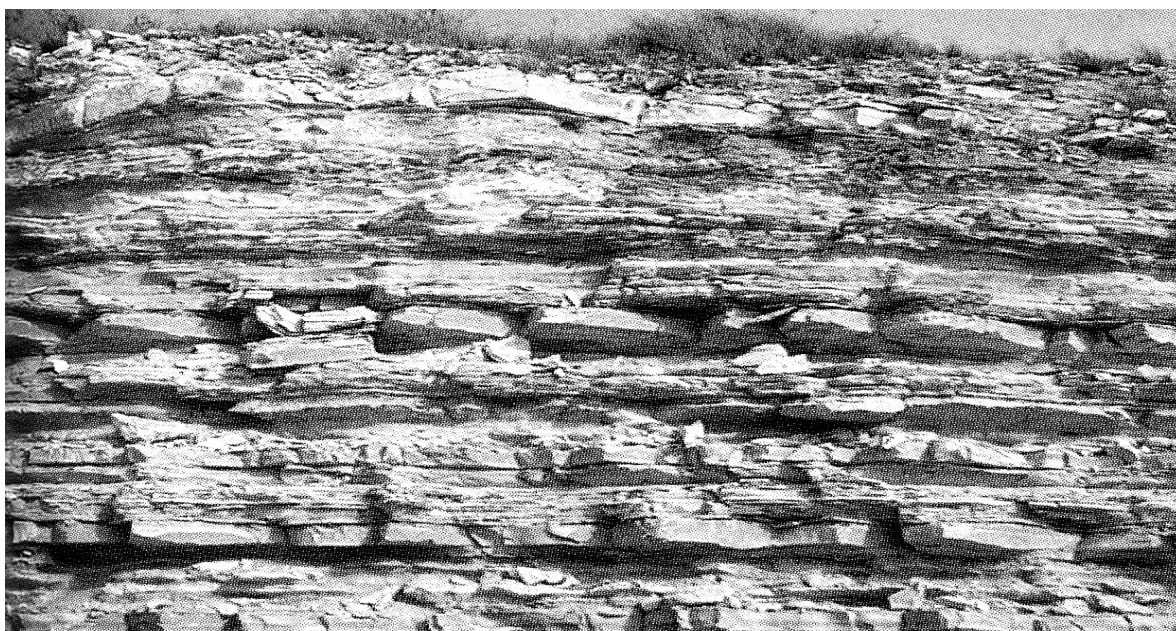
υφίσταται από το βάρος τους, συμπυκνώνονται και στερεοποιούνται αποβάλλοντας νερό. Δημιουργούνται έτσι ιζηματογενή πετρώματα (Σχ 16). Η διεργασία αυτή ονομάζεται **διαγένεση**.

Ο συνδυασμός των διεργασιών απογύμνωσης και απόθεσης συμβάλλει στην ισοπέδωση μιας περιοχής. Αν ενεργούσαν μόνον εξωγενείς δυνάμεις, η γη θα γινόταν κάποτε μια επίπεδη επιφάνεια.

4.1. Αποσάθρωση

Η αποσάθρωση των πετρωμάτων συντελείται με την επίδραση εξωγενών παραγόντων. Καθοριστική σημασία για το είδος και την ταχύτητα της αποσάθρωσης έχουν το είδος και η δομή του πετρώματος, το κλίμα, το ανάγλυφο και η βλάστηση (Σχ17).

Χημική αποσάθρωση παθαίνουν τα πετρώματα με την επίδραση του νερού και ιδιαίτερα ορισμένων ενώσεων που είναι διαλυμένες σ' αυτό, όπως CO_2 , O_2 και τα προϊόντα σήψης των φυτών. Τα διαλύματα αυτά, προκαλούν χημικές αλλαγές στα πετρώματα και στη συνέχεια αποσάθρωση. Οι χημικές αλλαγές που γίνονται κατά την αποσάθρωση είναι: διάλυση, οξείδωση, ενυδάτωση ή υδρόλυση και σχηματισμός ανθρακικών ενώσεων. Η αποσάθρωση μπορεί να είναι χημική ή μηχανική.



Σχ.16. Οριζόντια στρώματα

Η δραστηριότητα των χημικών παραγόντων αυξάνει με την αύξηση της επιφάνειας του πετρώματος, στο οποίο ενεργούν οι παράγοντες αποσάθρωσης. Η αύξηση της επιφάνειας είναι αποτέλεσμα της μηχανικής θραύσης σε μικρότερα κομμάτια.

Η χημική αποσάθρωση συμβάλλει στην αποσύνθεση των πετρωμάτων:

- α) Με γενική εξασθένηση της συνοχής των ορυκτολογικών του συστατικών, με αποτέλεσμα το πέτρωμα να γίνεται πορώδες και ευπρόσβλητο από φυσικούς παράγοντες.
- β) Με σχηματισμό διαλυμάτων που αποπλένονται και απομακρύνονται από το βρόχινο νερό με αποτέλεσμα το πέτρωμα να γίνεται πορώδες και εύθρυπτο και
- γ) Με διόγκωση των προϊόντων εξαλλοίωσης.



Σχ. 17 Έντονα αποσαθρωμένοι σχιστόλιθοι.

Μηχανική αποσάθρωση παθαίνουν τα πετρώματα από μεταβολές της θερμοκρασίας, παγετό και βιολογική δράση.

Η χημική και μηχανική αποσάθρωση διαφέρουν τελείως μεταξύ τους, αλλά ενεργούν σε στενή συνεργασία.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποσάθρωση των πετρωμάτων είναι: η ορυκτολογική τους σύσταση, η δομή τους, η κλίση του αναγλύφου, το κλίμα και ο χρόνος.

Πετρώματα που συνίστανται από ανθεκτικά στη διάβρωση ορυκτά, όπως χαλαζία, είναι ανθεκτικότερα γενικά στη διάβρωση και αυτό γίνεται αντιληπτό από τη μορφή του αναγλύφου μιας περιοχής. π.χ. γρανιτικά πετρώματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε χαλαζία είναι αισθητά υψηλότερα από τα περιβάλλοντα, λιγότερο ανθεκτικά στη διάβρωση πετρώματα. Η αντοχή στη διάβρωση βέβαια, δεν εξαρτάται μόνο από την ορυκτολογική σύσταση, αλλά και από το πόσο κατακερματισμένο είναι το πέτρωμα. Ένας έντονα κατακερματισμένος χαλαζίτης ή ψαμμίτης αποσθρώνεται πολύ εντονότερα και γρηγορότερα από τα αντίστοιχα μη κατακερματισμένα πετρώματα. Η μεγάλη κλίση αναγλύφου ευνοεί την ταχεία απομάκρυνση αποσθρωμένου υλικού, τόσο λόγω βαρύτητας όσο και εξαιτίας της απόπλυσης από τα νερά της βροχής, με αποτέλεσμα τα πετρώματα να εκτίθενται συνεχώς στη δράση των διαβρωτικών παραγόντων και να αποσθρώνονται πολύ εντονότερα από άλλα αντίστοιχα πετρώματα που βρίσκονται σε περιοχές με ήπιο ανάγλυφο, όπου ευνοείται η συσσώρευση των αποσθρωμάτων πάνω στο υγιές πέτρωμα, επιβραδύνοντας έτσι τη δράση της αποσάθρωσης.

4.2. Χημική αποσάθρωση

Οι παράγοντες που προκαλούν χημική εξαλλοίωση είναι τα χημικά ενεργά διαλύματα του νερού και ο ατμός. Το νερό της βροχής περιέχει μικρές ποσότητες διαλυμένου CO₂, που όταν φθάσει στο έδαφος δημιουργεί ασθενές ανθρακικό οξύ. Καθώς διηθείται μέσα στο έδαφος η δραστηριότητα του, πολλές φορές, αυξάνει με την προσθήκη CO₂ που προέρχεται από την αποσύνθεση των φυτών. Η ταχύτητα της χημικής διάβρωσης διπλασιάζεται με την άνοδο της θερμοκρασίας ανά 10° C, κατά τον Van't Hoff.



Η διεργασία αυτή καλείται **ανθρακοποίηση**.

Τα ιόντα H⁺ που έχουν δημιουργηθεί, είναι πολύ δραστικά γιατί έχουν πολύ μικρό μέγεθος, διεισδύουν ανάμεσα στα άτομα των ορυκτών και διασπούν την δομή τους προκαλώντας εξαλλοίωση, π.χ.

βασάλτης, που έχει διαφορετική αρχική σύσταση, μετατρέπεται σε μίγμα αργιλικών και οξειδίων του σιδήρου. Το προϊόν αυτό ονομάζεται λατερίτης.

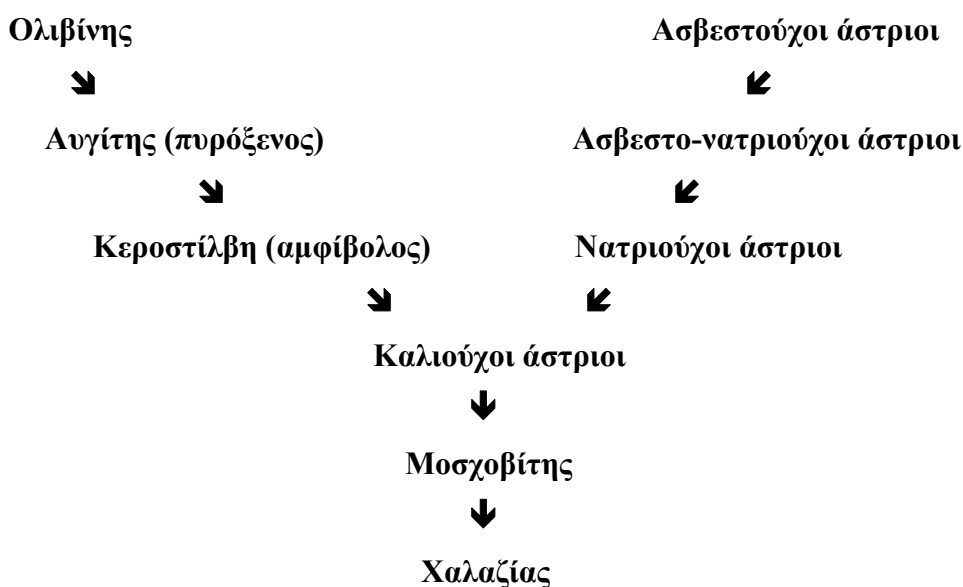
Ο ασβεστόλιθος αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη, που διαλύεται με το ανθρακικό οξύ και διάφορες προσμίξεις, κυρίως αργιλικών ορυκτών, χαλαζία και οξειδίων του σιδήρου (προϊόν της χημικής αποσάθρωσης του ασβεστόλιθου είναι χώμα πλούσιο σε αργιλικά ορυκτά, χαλαζία και οξείδια του σιδήρου, η terra rossa).

Αντοχή των ορυκτών στη χημική αποσάθρωση

Η ανθεκτικότητα των ορυκτών εξαρτάται από τη χημική τους σύσταση, είναι δε ανεξάρτητη από την ανθεκτικότητα του πετρώματος στο οποίο απαντώνται και οφείλεται στην κρυσταλλοχημική του σύσταση.

Τα προϊόντα της αποσάθρωσης είναι ανθεκτικότερα από τα αρχικά ορυκτά, γι' αυτό το λόγο είναι και πολύ διαδεδομένα στην επιφάνεια της Γης. Εκτός από το χαλαζία, το μαρμαρυγία και άλλα ορυκτά και μάλιστα οικονομικής σημασίας, όπως ο χρυσός, η πλατίνα και τα διαμάντια, είναι επίσης πολύ ανθεκτικά. Μετά την αποσάθρωση ή τη διάβρωση του μητρικού πετρώματος, αυτά ως πολύ ανθεκτικά παραμένουν στα ιζήματα και εξαιτίας του πολύ μεγάλου ειδικού τους βάρους συγκεντρώνονται σε κοίτες ποταμών και αποτίθενται, δημιουργώντας πολλές φορές σημαντικά κοιτάσματα. Αυτός είναι και ο λόγος που τα συναντάμε σε ιζηματογενή πετρώματα.

Στο πιο κάτω σχήμα, δίνεται η σειρά αυξανόμενης ανθεκτικότητας στη χημική αποσάθρωση των πιο κοινών ορυκτών που απαντώνται στα πετρώματα.



4.3. Μηχανική αποσάθρωση

Μηχανική αποσάθρωση παθαίνουν τα πετρώματα με την επίδραση μεταβολών της θερμοκρασίας, τη δημιουργία πάγου και τη βιολογική δράση. Κατά τη μηχανική αποσάθρωση δεν μεταβάλλεται η ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος. Η χημική αποσύνθεση, όμως, του πετρώματος διευκολύνει τη μηχανική αποσάθρωσή του. Πιο κάτω θα αναπτύξουμε σε συντομία τα αίτια που προκαλούν μηχανική αποσάθρωση.

Παγετός

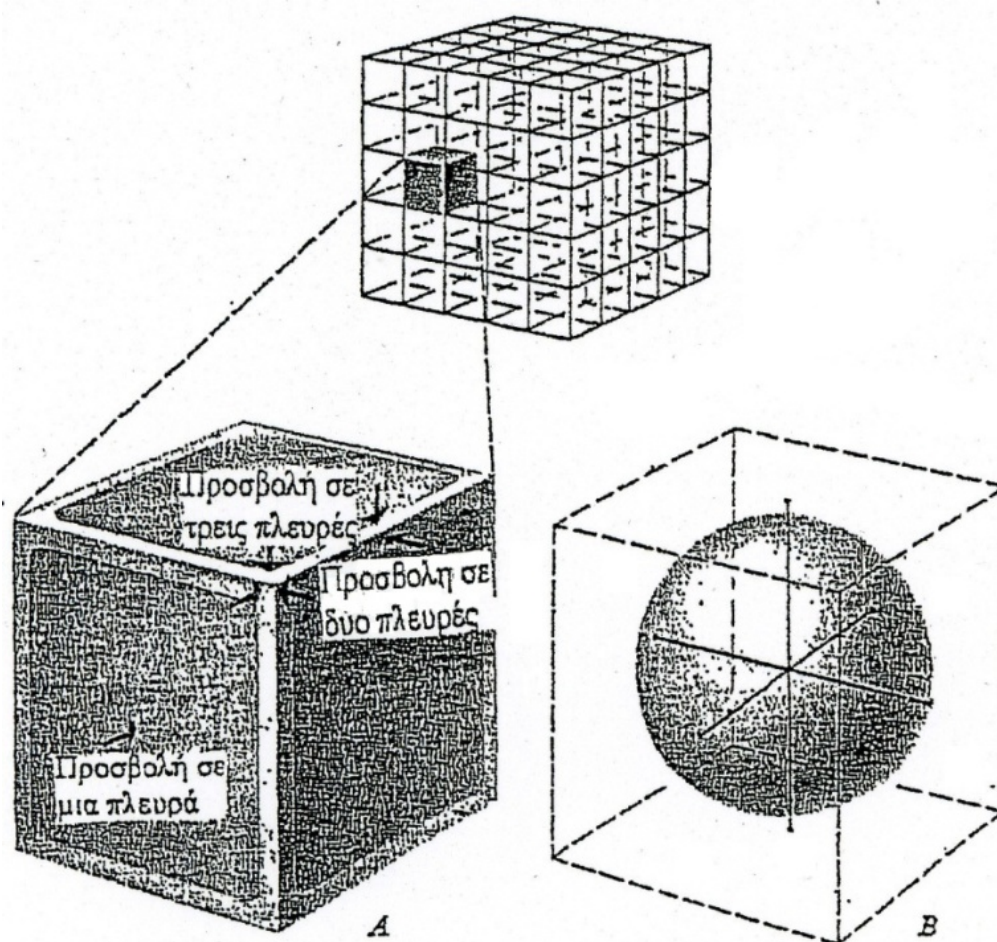
Μια από τις κυριότερες αιτίες μηχανικής αποσάθρωσης είναι ο παγετός. Σε πολλές περιοχές, κυρίως το χειμώνα, παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας μεταξύ μέρας και νύχτας, με αποτέλεσμα το νερό να παγώνει και να λιώνει, τουλάχιστον μια φορά την ημέρα. Εργαστηριακά πειράματα έδειξαν, ότι όταν το νερό μετατρέπεται σε πάγο, αυξάνει ο όγκος του κατά 9%. Έτσι, όταν το νερό που έχει διεισδύσει στα νερά και τις ρωγμές των πετρωμάτων παγώσει, αυξάνει ο όγκος του και εξασκεί τεράστιες τάσεις στα τοιχώματα, όπως μια σφήνα. Η πίεση που ασκείται από τη διαστολή είναι 1.000 kp/cm^2 . Η καταπόνηση του πετρώματος από την επανάληψη του φαινομένου αυτού είναι μεγάλη και έχει σαν αποτέλεσμα το σπάσιμο του πετρώματος. Αποχωρίζονται μικρά και μεγάλα κομμάτια που μπορεί να ζυγίζουν ακόμη και πολλούς τόνους. Τα κατάλοιπα που δημιουργήθηκαν, αν η περιοχή είναι επίπεδη παραμένουν στη θέση τους, αν παρουσιάζει κλίση ή κυλούν στην πλαγιά εξαιτίας της βαρύτητας και στους πρόποδες σχηματίζουν κώνους κορημάτων.

Μεταβολές της θερμοκρασίας.

Προκαλούν θέρμανση και ψύξη των πετρωμάτων και συνοδεύονται από συστολή και διαστολή της μάζας τους. Τα επιφανειακά τμήματα θερμαίνονται και ψύχονται πολύ γρηγορότερα από τα κατώτερα, εξαιτίας της θερμοχωρητικότητας που παρουσιάζουν. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα και προκαλεί έντονη καταπόνηση του πετρώματος, με αποτέλεσμα ο εξωτερικός φλοιός να σπάζει και να αποχωρίζεται αποκαλύπτοντας την αμέσως κατώτερη επιφάνεια. Πολλές φορές σχηματίζονται πολλοί φλοιοί που ο ένας επικαλύπτει τον άλλον, όπως σε ένα κρεμμύδι ή όπως τα κεραμίδια μιας στέγης. Η αποσάθρωση αυτή καλείται **αποφλοιώση** και δρα όχι μόνο στην επιφάνεια, αλλά και κάτω απ' αυτήν. Η αποφλοιώση ευνοείται και παρατηρείται συχνότερα στα διαρρηγμένα πετρώματα.

Στις περιπτώσεις που τα πετρώματα τέμνονται από διακλάσεις, αυτές μαζί με τις επιφάνειες στρώσεις που μπορεί να υπάρχουν, το διαιρούν σε κύβους. Στην περίπτωση αυτή, το φαινόμενο της αποφλοιώσης είναι πολύ εντονότερο, γιατί συμβαίνει και στις τρεις διαστάσεις. Προσβάλλει τις επιφάνειες με μεγαλύτερη δράση στις κορυφές και τις ακμές. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργούνται μετά από διαδοχικές αποφλοιώσεις σφαιροειδείς μορφές (Σχ. 18, 19, 20). Η αποσάθρωση των πετρωμάτων που δημιουργείται σ' αυτές τις μορφές λέγεται **σφαιροειδής αποσάθρωση**.

Η διεργασία της αποφλοιώσης μπορεί να συμβαίνει σε διάφορους τύπους κλιμάτων, ευνοείται όμως σε ξηρά κλίματα. Σε υγρά κλίματα η διαδικασία αυτή γίνεται πιο πολύπλοκη, γιατί εκτός από τα καθαρά μηχανικά αίτια που προκαλούν την αποφλοιώση των πετρωμάτων, αυτή μπορεί να οφείλεται και σε χημική αποσάθρωση.



Σχ.18. Γεωμετρική απεικόνιση της σφαιροειδούς αποσάθρωσης. Οι γραμμοσκιασμένες ζώνες δείχνουν τις θέσεις που προσβάλλονται εντονότερα. Στις ακμές η προσβολή γίνεται από δύο πλευρές, ενώ στις κορυφές από τρεις. (από R. Flint & B. Skinner, 1975)

Οι διακλάσεις αποτελούν, όπως ξέρουμε, τους δρόμους που ακολουθούν τα διαλύματα που προσβάλλουν τα πετρώματα, προκαλώντας χημική αποσάθρωση. Το νερό που διαβρέχει τα πετρώματα στεγνώνει γρηγορότερα στην επιφάνεια, ενώ στο εσωτερικό παραμένει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα προκαλώντας αποσύνθεση των αστρίων και δημιουργία αργιλικών ορυκτών. Η διεργασία αυτή συνοδεύεται από αύξηση του όγκου του αποσαθρωμένου πετρώματος, που έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη δυνάμεων που προκαλούν την αποκόλληση του φλοιού. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε μηχανικό αποτέλεσμα που προκλήθηκε από τη χημική αποσάθρωση.

Διαστολή λόγω εκφόρτισης

Η διαστολή συμβαίνει όταν για κάποιο λόγο ελαττωθεί το βάρος των υπερκειμένων στρωμάτων, συνήθως εξαιτίας διάβρωσης, οπότε τα πετρώματα αυτά παθαίνουν διάρρηξη και εμφανίζουν έναν ιδιαίτερο τύπο αποσάθρωσης, την **αποφλοιώση**. Αυτή χαρακτηρίζεται από επάλληλους φλοιούς που λεπταίνουν προς το εσωτερικό του πετρώματος μέχρι να φθάσουν στο συμπαγές.

Κρυσταλλοποίηση αλάτων

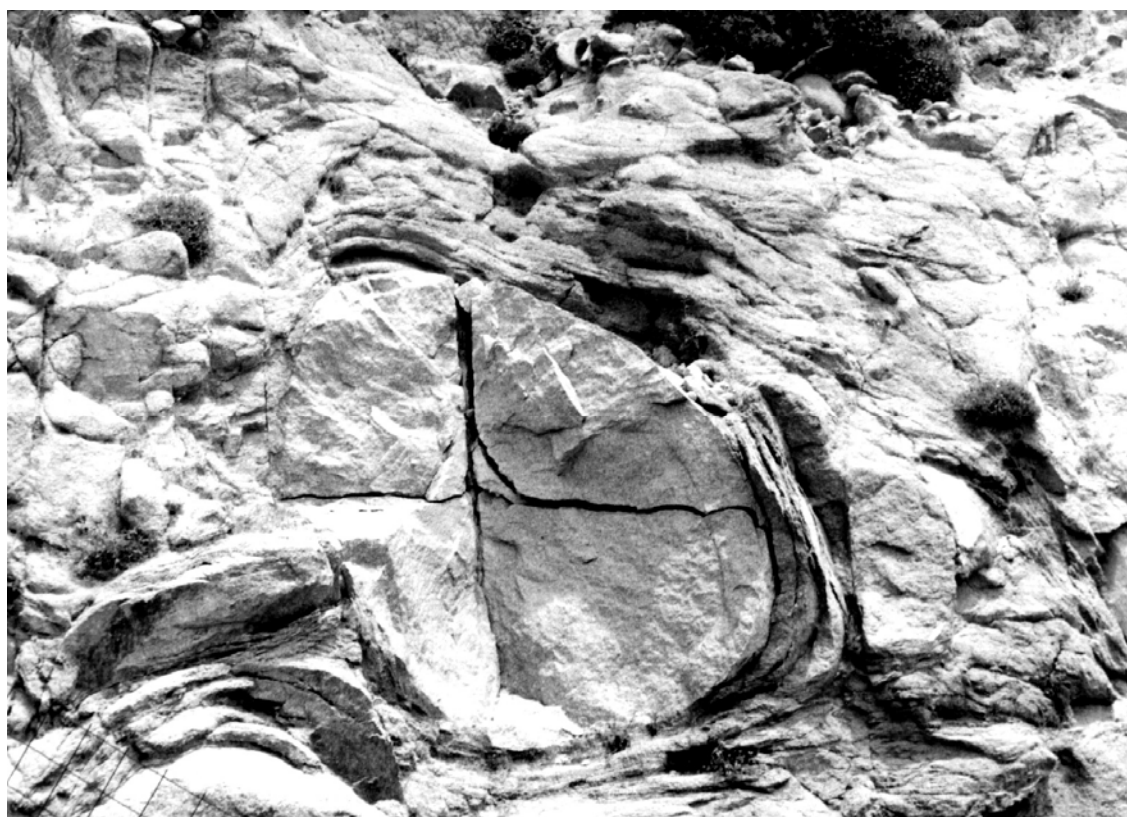
Το νερό, με τα διαλυμένα άλατα που περιέχει, γεμίζει τους πόρους των πετρωμάτων. Όταν το νερό εξατμίζεται, τα άλατα παραμένουν, στερεοποιούνται και διογκώνονται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και με τη διόγκωση ασκούνται σημαντικές πιέσεις στα πετρώματα, με αποτέλεσμα να θρυμματίζονται. Τα πετρώματα υφίστανται αποσάθρωση εξαιτίας της κρυσταλλοποίησης τόσο στη φυσική τους θέση όσο και στις κατασκευές. Στα κατώτερα τμήματα των οικοδομών, τα ασθεστοκονιάματα που εμποτίζονται με εδαφικό νερό, παθαίνουν αποσάθρωση εξαιτίας της κρυσταλλοποίησης των αλάτων που περιέχονται στο νερό.

4.4. Αποσάθρωση από βιολογικούς παράγοντες

Η δράση των βιολογικών παραγόντων είναι χημική και μηχανική.



Σχ.19. Σφαιρική αποσάθρωση γρανίτη.



Σχ. 20. Τομή γρανίτη που έχει υποστεί σφαιροειδή αποσάθρωση.

Μηχανική: Όπως είδαμε στην υδρόλυση των K-αστρίων, ελευθερώνονται ιόντα καλίου, παρασύρονται από διαλύματα και κυκλοφορούν στα κενά των πετρωμάτων και αποτελούν θρεπτικές ουσίες. Για να μπορούν οι ρίζες των φυτών να τα προσροφήσουν, αναπτύσσονται μέσα στα κενά των πετρωμάτων. Όσο μεγαλώνουν οι ρίζες, ασκούν μεγαλύτερες πιέσεις στα τοιχώματα και διευρύνουν τις ρωγμές, προκαλώντας συγχρόνως και χημική εξαλλοίωση γιατί προσροφούν συγχρόνως και διάφορα συστατικά.

Επίσης μέσα στο έδαφος ζουν και κυκλοφορούν διάφορα ζώα, όπως μυρμήγκια και σκουλήκια, που διανοίγουν στοές ή ψάχνοντας για την τροφή τους φέρνουν στην επιφάνεια μεγάλες ποσότητες λεπτά καταμερισμένου υλικού. Υπολογίζεται, ότι κάθε χρόνο αυτή η διεργασία φέρνει στην επιφάνεια $10 \text{ ton}/10.000\text{m}^2$. Αν υπολογίσουμε την ποσότητα αυτή σε εκατοντάδες χρόνια, οι ποσότητες αυτές είναι τεράστιες και μας δίνουν την εικόνα του αθροιστικού αποτελέσματος της δράσης μικρών δυνάμεων σε μεγάλο χρονικό διάστημα.

Χημική : Από την σήψη οργανικών ουσιών, δημιουργούνται κολλοειδή διαλύματα καστανού χρώματος, τα χουμώδη συστατικά, που είναι πολύ δραστικά και συμβάλουν στη χημική αποσάθρωση διαλύοντας ουσίες, όπως λειμονίτη, που διαφορετικά είναι αδιάλυτες.

4.5. Η σημασία της αποσάθρωσης στη δημιουργία κοιτασμάτων

Η αποσάθρωση δημιουργεί πολλά σπουδαία κοιτάσματα. Αυτό γίνεται με τη συγκέντρωση μεταλλευμάτων, που βρίσκονται διασκορπισμένα σε μικρές ποσότητες μέσα στο υγιές πέτρωμα, σε οικονομικά σημαντικές συγκεντρώσεις. Αυτή η διαδικασία καλείται δευτερογενής εμπλουτισμός και γίνεται με δύο τρόπους.

- α) Η χημική αποσάθρωση απομακρύνει σε μια περιοχή με την κατείσδυση του νερού ανεπιθύμητα στοιχεία, αφήνοντας τα επιθυμητά εμπλουτισμένα στην ανώτερη ζώνη του εδάφους.
- β) Ο δεύτερος τρόπος είναι βασικά αντίστροφος του πρώτου. Στην περίπτωση αυτή, τα επιθυμητά στοιχεία που βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, μετακινούνται και μεταφέρονται σε χαμηλότερες ζώνες όπου και αποτίθενται ξανά και συμπυκνώνονται.

4.6. Η επίδραση του κλίματος, του είδους πετρώματος και του χρόνου στην αποσάθρωση

Το κλίμα είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για την αποσάθρωση των πετρωμάτων. Το υγρό κλίμα ευνοεί τη χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων εξαιτίας της υγρασίας. Σε υγρό και θερμό κλίμα αυξάνει η δραστηριότητα των διαλυμάτων και η αποσάθρωση προχωρεί σε βάθος, ενώ σε ξηρό περιορίζεται στο ανώτερο τμήμα. Σε ψυχρό και υγρό αυξάνει η δράση του παγετού.

Σε τροπικές περιοχές, όταν η θερμοκρασία είναι υψηλή και η εξάτμιση γρήγορη τα κατάλοιπα από την αποσάθρωση είναι ποικίλα.

Το νερό του εδάφους απορροφάται από τα φυτά, ενώ νερό που υπάρχει βαθύτερα ανεβαίνει για να αναπληρώσει την απώλεια. Τα διαλύματα που δημιουργήθηκαν κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων, συμπυκνώνονται με την εξάτμιση και τα υλικά που είχαν διαλυθεί αποτίθενται πάλι. Τα προϊόντα αυτά περιλαμβάνουν υδροξείδια του αργιλίου και του σιδήρου, διοξείδιο του πυριτίου και διάφορα ανθρακικά και θειικά άλατα.

Κατά την επόμενη περίοδο βροχών, τα περισσότερα από αυτά τα υλικά ξαναδιαλύονται εκτός από τα υδροξείδια του αργιλίου και του σιδήρου, τα οποία όμως παρασύρονται προς την επιφάνεια με τα διαλύματα και συγκεντρώνονται βαθμιαία, δημιουργώντας μια κοκκινόφαιη απόθεση γνωστή με το όνομα "λατερίτης".

Οι λατερίτες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε σίδηρο και αργίλιο. Η πλούσια σε αργίλιο, αποτελεί το βωξίτη που χρησιμεύει για την εξαγωγή αλουμινίου ή για πυρίμαχα υλικά.

Η αντοχή του πετρώματος στην αποσάθρωση, εξαρτάται από την ορυκτολογική του σύσταση και από τη δομή. Τα ορυκτά που αποτελούν ένα πέτρωμα μπορεί να είναι ανθεκτικά στην αποσάθρωση, όπως ο χαλαζίας στον ψαμμίτη ή χαλαζίτη, αλλά το πέτρωμα να είναι ρωγματωμένο. Τότε η αποσάθρωση είναι γρηγορότερη απ' ό,τι σ' ένα άλλο με πιο ευπρόσβλητα συστατικά, που είναι όμως πιο συμπαγές, ιδίως αν η αποσάθρωση οφείλεται σε παγετό.

Παρατηρήσεις σε πετρώματα, που πρόσφατα έχουν εκτεθεί στην επίδραση των παραγόντων αποσάθρωσης, κάτω από ορισμένες κλιματικές συνθήκες και σε πετρώματα που από πολύ καιρό υφίστανται την αποσάθρωση, δείχνουν ότι το πάχος των αποσαθρωμάτων

είναι ανάλογο με το χρόνο προβολής. Η πιο σωστή μέθοδος για να καθορίσουμε το χρόνο που χρειάστηκε για να δημιουργηθεί μια ζώνη αποσαθρωμάτων είναι η ραδιοχρονολόγηση.

4.7. Επίδραση των ατμοσφαιρικών παραγόντων στα δομικά υλικά

Οι ατμοσφαιρικοί παράγοντες δεν αποσαθρώνουν τα πετρώματα μόνο στη φυσική τους θέση, αλλά επιδρούν στα δομικά υλικά των διαφόρων κατασκευών. Πολλά υλικά με το χρόνο αποκτούν μια «φυσική ωρίμανση» (φυσική πατίνα), που τα κάνει ωραιότερα. Πολλές φορές, όμως, η επίδραση είναι καταστρεπτική και εξαρτάται από τη σύσταση ή τη δομή τους και είναι ανάλογη με την αντοχή των υλικών αυτών στην αποσάθρωση. Για τους λόγους αυτούς, οι μηχανικοί θα πρέπει να ξέρουν τις βασικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά των υλικών που θα χρησιμοποιήσουν κατά περίπτωση, ώστε να μην αντιμετωπίσουν αργότερα ανεπιθύμητες καταστάσεις.

Θα αναφερθούμε σύντομα σε μερικές διεργασίες που προκαλούν αποσάθρωση των δομικών υλικών και επηρεάζονται από τη δομή τους.

Το νερό που εγκλείεται στους πόρους ή τα κενά των πετρωμάτων, με την πτώση της θερμοκρασίας παγώνει και διογκώνεται προκαλώντας καταστροφή του πετρώματος (αποσάθρωση από παγετό). Στον τύπο αυτό της αποσάθρωσης έχει μεγάλη σημασία το πορώδες των πετρωμάτων και ιδιαίτερα η διάταξη και το μέγεθος των πόρων.

Μια άλλη διεργασία, που ο μηχανισμός της δεν είναι απόλυτα κατανοητός, είναι η προσρόφιση υγρασίας κυρίως από πορώδη πετρώματα. Η υγρασία που προσροφάται από τα πετρώματα, προκαλεί διόγκωση των υλικών και η αποβολή της συρρίκνωση. Ο βαθμός και ο ρυθμός της αποσάθρωσης είναι ο ίδιος με αυτόν που προκαλείται από θερμική διαστολή και οφείλεται πιθανώς στη χαλάρωση των υλικών που προκαλείται από την επανάληψη του φαινομένου. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο εμφανές σε πέτρες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος. Η υγρασία του εδάφους ανέρχεται λόγω τριχοειδών φαινομένων στο πέτρωμα και προκαλεί αποσάθρωση ιδιαίτερα στη βάση του.

Αν το έδαφος όπου έχει γίνει η θεμελίωση, έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε NaCl, (αλμυρά έδαφη), τότε η αποσάθρωση στη βάση των κτισμάτων είναι έντονη, γιατί το αλμυρό

νερό εισχωρεί στα θεμέλια, κρυσταλλώνεται και διογκώνεται προκαλώντας αποσάθρωση ή καταστροφή του αμμοκονιάματος.

Η αιολική δράση, επίσης, προσβάλλει τις κατασκευές και τα δομικά υλικά. Η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται από την περιοχή που βρίσκεται η κατασκευή δηλ. αν επικρατούν ισχυροί άνεμοι και αν υπάρχει προσφορά απολελυμένου υλικού στην επιφάνεια του εδάφους. Τότε, ο αέρας οπλισμένος με σκόνη, προκαλεί απορρίνιση των επιφανειών στις οποίες προσπίπτει. Η αιολική δράση είναι εντονότερη σε ερημικές περιοχές (Σφήκες της Αιγύπτου).

Τα διάφορα σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα, όπως ο καπνός, με τους υδρατμούς που υπάρχουν επικάθονται στις επιφάνειες των κτιρίων ή αγαλμάτων και τις ρυπαίνουν, δίνοντάς τους ένα μαύρο χρώμα.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας, ιδίως των βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών, περιέχει πολλούς ρύπους, οι οποίοι με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας δημιουργούν δραστικές χημικές ενώσεις και προκαλούν χημική διάβρωση των πετρωμάτων. Το CO_2 και SO_2 μετατρέπονται με τους υδρατμούς σε ασθενή οξέα που αντιδρούν με τα δομικά υλικά. Το HCO_3 διαλύει τον ασβεστόλιθο, ενώ το H_2SO_4 τον μετατρέπει επιφανειακά σε γύψο. Σιδηροπυρίτης που βρίσκεται μέσα στα πετρώματα υπό μορφή κόκκων, όπως στα μάρμαρα, οξειδώνεται και δίνει μια καστανή ακαλαίσθητη εμφάνιση στο πέτρωμα.

Από τα κοινά δομικά υλικά, καταλληλότερα για χρήση σε εξωτερικές επιφάνειες είναι οι λεπτοκρυσταλλικοί ή στιφροί ασβεστόλιθοι ή τα μάρμαρα, γιατί στιλβώνονται ομοιόμορφα και αντέχουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα στις ατμοσφαιρικές συνθήκες (όταν δεν περιέχουν λειμονίτη ή σιδηροπυρίτη).

Μάρμαρα που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε δολομίτη ή εναλλαγές δολομιτικού και ασβεστολιθικού υλικού είναι ανεπιθύμητα, γιατί τα ορυκτά συχνά διαφέρουν σε χρώμα και υφή και έχουν διαφορετική συμπεριφορά στη στίλβωση και στη συνέχεια στην αποσάθρωση.

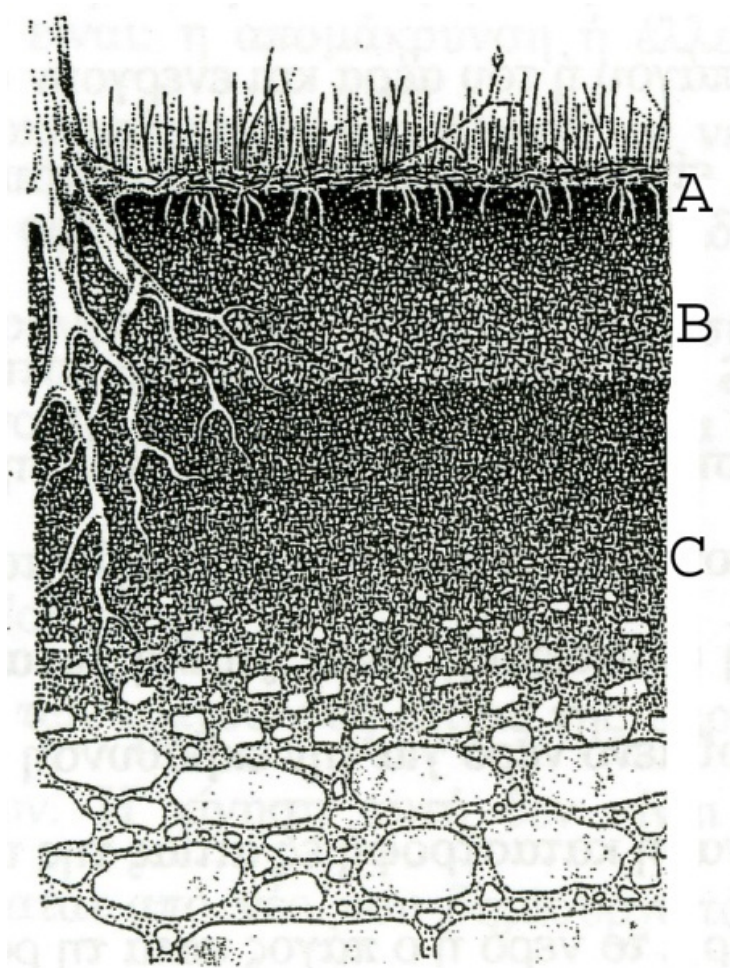
Επίσης, η αποσάθρωση ενός πετρώματος επηρεάζεται από τη θέση του στην κατασκευή και στη σχέση του με άλλα πετρώματα. Έτσι, ένα πέτρωμα που αποσαθρώνεται εύκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακίνδυνα αν τοποθετηθεί σε θέση που δεν είναι εκτεθειμένη έντονα στη δράση των ατμοσφαιρικών παραγόντων ή αν προστατεύεται από ένα άλλο πέτρωμα.

Εκτός όμως από την αποσάθρωση που παθαίνουν τα πετρώματα από φυσικούς παράγοντες, προσβάλλονται και από διάφορους οργανισμούς. Πολλές φορές, αναπτύσσονται

πάνω στα πετρώματα εκατομμύρια βακτήρια και χιλιάδες μύκητες και λειχήνες, εξαιτίας ευνοϊκών συνθηκών, κυρίως υγρασίας και θερμοκρασίας, που προκαλούν μηχανική και χημική αποσάθρωση.

4.8. Έδαφος.

Ο όρος, “**έδαφος**”, έχει διαφορετικές έννοιες ανάλογα με την ειδικότητα αυτών που τον χρησιμοποιούν. Για το μηχανικό, το **έδαφος**, είναι συνώνυμο με τη ζώνη αποσαθρωμάτων, δηλ. το σύνολο των χαλαρών υλικών που καλύπτουν το υγιές πέτρωμα. Για τους γεωλόγους, **έδαφος** είναι το ανώτερο στρώμα των αποσαθρωμάτων που μπορεί να συγκρατήσει ριζωμένα φυτά.



Σχ.21. Μια τυπική εδαφική τομή στην οποία διακρίνονται, οι ορίζοντες A, B και, C. (από R. Flint & B. Skinner, 1975)

Σε μια τομή του εδάφους (Σχ.21) διακρίνουμε τρεις ορίζοντες. Το ανώτερο τμήμα αποτελεί ο **ορίζοντας Α**, γκριζου ή μαύρου χρώματος, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε χουμώδη συστατικά. Λέγεται και ζώνη απόπλυσης, γιατί με μηχανική ή κυρίως με χημική μεταφορά έχουν απομακρυνθεί αρχικά συστατικά του, όπως αργιλικά ορυκτά ή διαλυτές ουσίες.

Ο δεύτερος ορίζοντας ή **ορίζοντας Β**, είναι φτωχός σε οργανικά συστατικά και εμπλουτισμένος σε συστατικά που αποπλύθηκαν από τον ορίζοντα Α.

Ο **ορίζοντας C** αποτελείται από το μητρικό υλικό, δεν έχει ευδιάκριτο όριο προς τα κάτω και δεν αποτελεί καθαυτό τμήμα του εδάφους.

Διακρίνονται διάφοροι τύποι εδαφών. Κυριότεροι είναι τα ελαφρά εδάφη podsol σε εύκρατες περιοχές, τα μαύρα εδάφη chernosem σε στέπες, και τα ερυθρά, λατεριτικά, σε τροπικές περιοχές.

Στη δημιουργία εδαφών, καθοριστικός παράγοντας είναι το κλίμα. Τελείως διαφορετικά είδη μητρικών πετρωμάτων, μετά από μακρόχρονη επίδραση των ίδιων κλιματικών συνθηκών, δημιουργούν εδάφη του ίδιου τύπου. Π.χ. στις Ρωσικές στέπες (ψυχρές στέπες) τα μαύρα εδάφη (chernosem) προήλθαν από γρανίτες, βασάλτες loess, αργίλους κλπ. Ο γρανίτης σε εύκρατες περιοχές δημιουργεί ελαφρά εδάφη (podsol) ενώ σε τροπικές περιοχές ερυθρά (λατεριτικά).

4.9. Διάβρωση

Το σύνολο των φυσικών και χημικών παραγόντων που καταστρέφουν τα πετρώματα και μεταφέρουν τα κατάλοιπά τους ονομάζεται διάβρωση.

Θα αναφέρουμε πιο κάτω με αλφαβητική σειρά μερικές από τις πιο σπουδαίες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάβρωση.

1) **Απορρίνιση** (corrosion) είναι η μηχανική καταστροφή των πετρωμάτων από τα κινούμενα κατάλοιπα που μεταφέρονται με τη επίδραση της βαρύτητας, του τρεχούμενου νερού, του πάγου ή του αέρα και ενεργούν σαν σκαπτικά εργαλεία.

2) **Απόφυση** (deflation), είναι η ανύψωση και απομάκρυνση σκόνης και άμμου από τον αέρα.

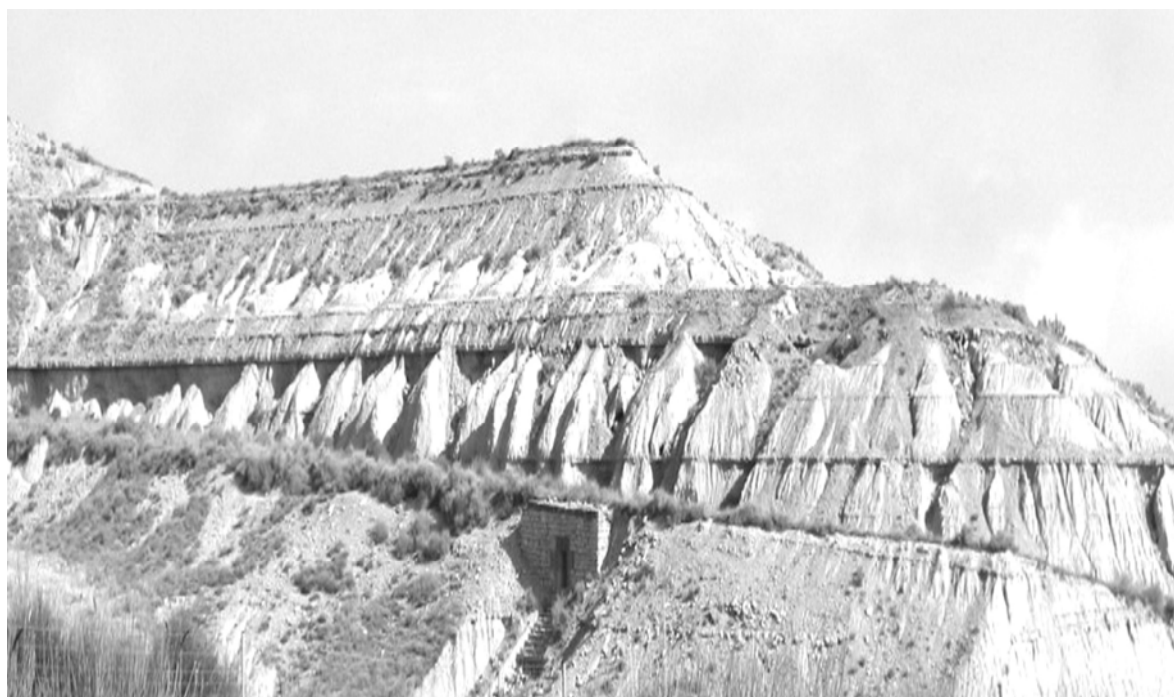
3) **Διάβρωση εκσκαφής** (cavitation, είναι το αθροιστικό αποτέλεσμα της μηχανικής καταστροφής, απορρίνισης και διαλυτικής διάβρωσης που προκαλείται από τον στροβιλισμό του νερού που ρέει με αυξανόμενη ταχύτητα.

4) **Διαλυτική διάβρωση** (corrasion) είναι χημική καταστροφή των πετρωμάτων, που προκαλείται από το τρεχούμενο νερό για την εκβάθυνση της κοίτης των ποταμών.

5) **Λείανση** (abration) είναι η καταστροφή εξαιτίας της τριβής, που προκαλείται κυρίως από τα υλικά που μεταφέρει το νερό ή ο πάγος κατά τη ροή τους.

6) **Σμίκρυνση** (attrition) ονομάζεται η ελάττωση του μεγέθους, που προκαλείται από την τριβή και σύγκρουση του υλικού κατά την μεταφορά του από νερό ή πάγο.

7) **Μηχανική υδραυλική διεργασία** (hydraulic process) είναι μηχανική διεργασία που προκαλείται από τη δράση του νερού που τρέχει με μεγάλη ταχύτητα, χαλαρώνει τη συνοχή του πετρώματος και οι στρόβιλοι που δημιουργούνται ανυψώνουν και απομακρύνουν τα αποσπασθέντα κομμάτια.



Σχ. 22. Εναλλαγές νεογενών στρωμάτων που παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή στη διάβρωση.

5. ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΜΑΖΩΝ

Τα προϊόντα της αποσάθρωσης είναι χαλαρά υλικά και αποτελούν τη ζώνη αποσαθρωμάτων. Τα υλικά αυτά, εξαιτίας της βαρύτητας κινούνται κατά τη διεύθυνση κλίσεως των επιφανειών, πάνω στις οποίες βρίσκονται. Τέτοιες επιφάνειες μπορεί να είναι φυσικά ή τεχνητά πρανή.

Η κίνηση των μαζών γίνεται στις πλαγιές με τη βοήθεια της βαρύτητας, χωρίς την επίδραση ρευμάτων, πάγου ή αέρα.

Κατά τον Sharp (1938) οι κινήσεις των μαζών χωρίζονται ανάλογα με την ταχύτητα σε: α) ερπυσμό, β) ταχεία κίνηση ή ροή, γ) κατολισθήσεις και δ) καθίζηση.

Επίσης, οι αιτίες που τις ευνοούν χωρίζονται και αυτές σε παθητικές και σε ενεργοποιητικές.

α) Οι παθητικές αιτίες είναι: η λιθολογική σύσταση του υλικού, η στρώση και η διαδοχή των στρωμάτων, οι διακλάσεις, τα ρήγματα, η σχιστότητα, η κλίση των κλιτύων και η βλάστηση.

β) Ενεργοποιητικές αιτίες είναι: η απομάκρυνση ή έλλειψη στηρίγματος, η αύξηση κλίσεως των κλιτύων, η υπερφόρτωση του υλικού με νερό και η επίδραση σεισμικών δονήσεων ή δονήσεων που οφείλονται στην κυκλοφορία, ιδιαίτερα βαρέων οχημάτων.

Η ευστάθεια των πρανών εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες: Την κλίση του πρανούς, το βαθμό συνοχής του εδάφους και τη γωνία εσωτερικής τριβής.

1.α. Ερπυσμός εδάφους (Soil creep)

Τα αποσαθρώματα των κλιτύων εξαιτίας της βαρύτητας κινούνται πολύ αργά πάνω στην πλαγιά, έρπουν. Η κίνηση αυτή δεν είναι ορατή, γιατί το υλικό που απομακρύνεται αντικαθίσταται από νέο που δημιουργείται συνεχώς με το χρόνο. Τα αποτελέσματα του ερπυσμού τα καταλαβαίνουμε από την κύρτωση ή το ράγισμα των τοίχων από τη πίεση του υλικού που συσσωρεύεται και από την κύρτωση των κορμών των δένδρων. Εκτός από τον ερπυσμό εδάφους, διακρίνουμε ερπυσμό κορημάτων και ογκολίθων. Ο ερπυσμός αυτών, μπορεί να υποβοηθείται από την προσρόφηση νερού, που προέρχεται από τις βροχές ή το

λιώσιμο του χιονιού. Η αναγνώριση του ερπυσμού μπορεί να γίνει από την εμφάνιση κλιμακωτών μορφών στην επιφάνεια ή την κύρτωση των κορμών των δένδρων (Σχ. 23).



Σχ. 23. Εδαφορροή. Γίνεται αισθητή από την κύρτωση των κορμών των δένδρων.

2. Ροές

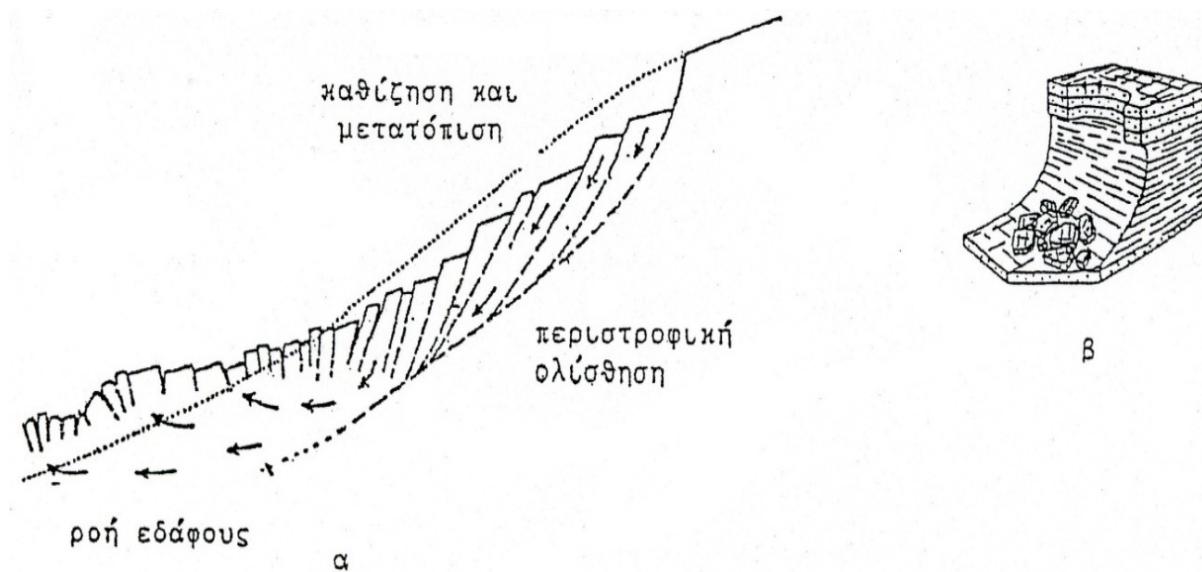
2.α. Εδαφοροή (earthflow)

Εδαφοροή είναι η ταχεία κίνηση υλικών, όπως αργίλου ή σχιστής αργίλου, όταν κορεστούν με νερό. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν την ιδιότητα της θιξοτροπίας, δηλ. όταν είναι κορεσμένα με νερό, δονήσεις που μπορεί να προέρχονται από θαλάσσια κύματα, σεισμούς ή κυκλοφορία οχημάτων, τα μετατρέπουν σε ρευστά που κινούνται κατά τη διεύθυνση κλίσεως και στερεοποιούνται μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα.

2.β. Λασποροή (mudflow).

Δημιουργείται όταν σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές τα αποσαθρώματα που βρίσκονται κυρίως σε κοίτες χειμάρρων, με μια ξαφνική βροχή προσροφούν νερό και μετατρέπονται σε ένα "χηλό" που κυλάει και ξεχειλίζει στη γύρω περιοχή. Η λασποροή μεταφέρει

αποσαθρώματα διαφόρων μεγεθών. Έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα νερού από την εδαφοροή.



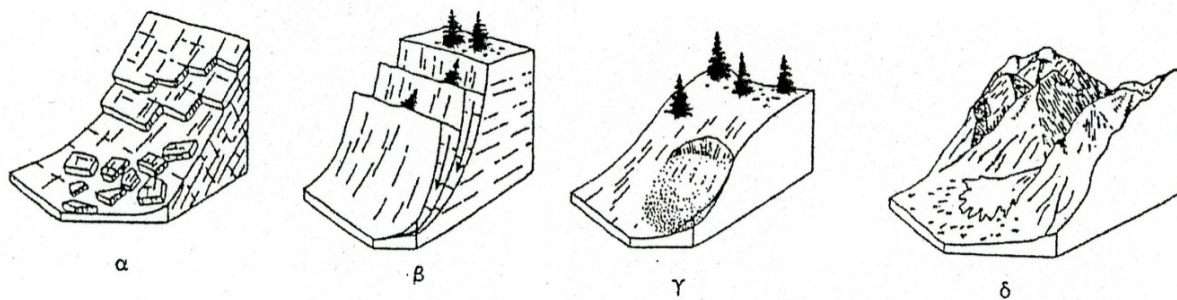
Σχ. 24. α. Τομή που δείχνει διάφορους τύπους κινήσεων μαζών.
β. πώση αποσαθρωμάτων. (από R. Flint & B. Skinner, 1975).

2.γ. Ροή πυροκλαστικών υλικών (lahars)

Διακρίνεται σε ψυχρή και σε θερμή ροή πυροκλαστικών υλικών. Ψυχρή ροή πυροκλαστικών υλικών συμβαίνει όταν τα υλικά αυτά που καλύπτουν τις πλαγιές των κώνων των ηφαιστείων διαβραχούν από τα νερά της βροχής ή το λιώσιμο του χιονιού. Θερμή δε, όταν τα πυροκλαστικά υλικά διαβραχούν από υπέρθερμους ατμούς κατά την έκρηξη των ηφαιστείων και ενεργοποιούνται.

3. Κατολισθήσεις (landslides).

Είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει ταχύτερες κινήσεις μαζών από τις προηγούμενες και με μικρότερη περιεκτικότητα σε νερό. Στην κατηγορία αυτή, διακρίνουμε 5 τύπους κατολισθήσεων.



Σχ.25. Κατολισθήσεις. α) ολίσθηση κατατεμαχισμένων πετρωμάτων, β) περιστροφική ολίσθηση, γ) ροή αποσαθρωμάτων, δ) λασποροή. (από R. Flint & B. Skinner, 1975)



Σχ. 26. Κατολίσθηση.

3.α. Πτώση αποσαθρωμάτων (rockfall και debris fall)

Είναι η αποκόλληση και κατακόρυφη πτώση βράχων από μια κάθετη ή υποσκαμμένη από τη διάβρωση κλιτή (Σχ. 25, 26).

3.β. Ολίσθηση κατακερματισμένων πετρωμάτων (rockslide και debris slide).

Είναι η ταχύτατη ολίσθηση κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας (στρώσεις) ή σχισμό των πετρωμάτων που παρουσιάζουν μεγάλη κλίση προς την πεδιάδα ή άλλα κοιλάματα και που έχουν υποστεί έντονο κατακερματισμό από διακλάσεις (Σχ. 25).

3.γ. Περιτροφική ολίσθηση (slumb).

Συμβαίνει σε κυρτά επίπεδα ολίσθησης και είναι περιστροφική κίνηση μάζας, που έχει σαν αποτέλεσμα η επιφάνεια και η στρώση της μάζας αυτής να παρουσιάζει κλίση προς την επιφάνεια ολίσθησης. Η επιφάνεια της κινούμενης μάζας, εξαιτίας της ύπαρξης, συνήθως, διαδοχικών επιφανειών ολίσθησης, παρουσιάζει κλιμακωτή μορφή (Σχ. 25).

3.δ. Ροή αποσαθρωμάτων (debris flow).

Είναι η ταχεία ολίσθηση κατά μήκος της κλιτύς μάζας αποσαθρωμάτων σε μια κοιλάτητα ακανόνιστου σχήματος. Πολλές φορές εμφανίζεται μια περιστροφική ολίσθηση στην κορυφή, ενώ στο χαμηλότερο σημείο αναπτύσσονται συγκεντρικές ράχες και ανυψώσεις (Σχ. 25).

4. Καθίζηση.

Είναι μια κατακόρυφη κίνηση που εμφανίζεται σαν ένα βύθισμα στην επιφάνεια του εδάφους και οφείλεται κυρίως σε βραδεία αφαίρεση υλικού από τη μάζα που καθιζάνει. Η αφαίρεση μπορεί να γίνεται με εξόρυξη, διάλυση, υπερφόρτωση ή καθίζηση ρηξιγενών μαζών.

Τα ιζήματα που αποτίθενται με κινήσεις μαζών ονομάζονται **κολλούβια**. Γενικά, είναι άστρωτα και τα υλικά που περιέχουν δεν είναι ταξινομημένα ή αποστρογγυλεμένα. Τα χαρακτηριστικά αυτά τα διαχωρίζουν από τα ιζήματα που έχουν αποθεθεί σε νερό. Η αναγνώρισή τους είναι πολύ βασική, όταν πρόκειται να κατασκευαστούν μεγάλα κτίρια,

γέφυρες, φράγματα, δρόμοι, κλπ. προκειμένου να αποφύγουμε την καταστροφή τους και να διακινδυνεύσουν ανθρώπινες ζωές. Το έργο της μεταφοράς μ' αυτές τις διεργασίες είναι τεράστιο, αν αθροίσουμε τα αποτελέσματά τους και αποτελούν έναν σπουδαίο παράγοντα μεταφοράς.

Πρακτικές εφαρμογές

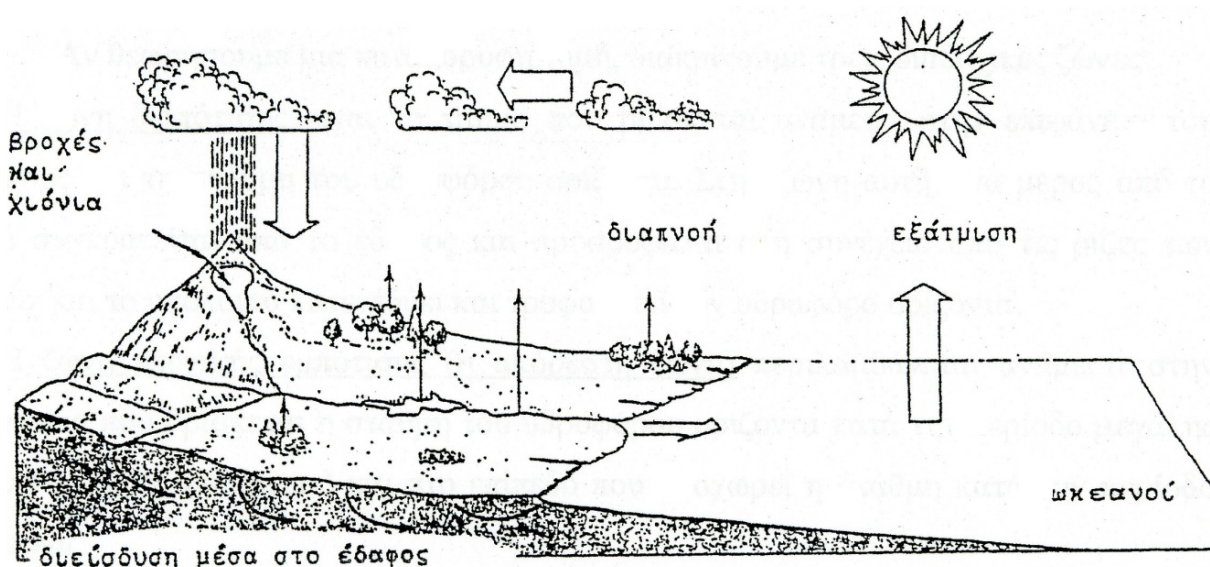
Η αναγνώριση περιοχών στις οποίες συμβαίνουν κατολισθήσεις ή είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις είναι πολύ σημαντική τόσο για την επιλογή κατάλληλων θέσεων για την κατασκευή τεχνικών έργων όπως φραγμάτων, γεφυρών, εθνικών οδών, μεγάλων κτισμάτων κλπ., όσο και για την σωστή αντιμετώπισή τους. Πολλά κατασκευαστικά προβλήματα ή και καταστροφή των τεχνικών έργων θα είχαν αποφευχθεί αν είχαν αναγνωρισθεί εγκαίρως οι περιοχές που εγκυμονούν κινδύνους κατολισθήσεων. Για παράδειγμα, το φράγμα του Αγίου Φρανγκίσκου στην Καλιφόρνια καταστράφηκε γιατί χτίστηκε εν μέρει πάνω σε χαλαρά πετρώματα. Επίσης, οι μηχανικοί αντιμετώπισαν τρομερά προβλήματα κίνησης μαζών (περιστροφικών ολισθήσεων, πτώσης αποσαθρωμάτων, κλπ.) κατά τη διάνοιξη της διώρυγας του Παναμά και αντιμετωπίστηκε το ενδεχόμενο διακοπής των εργασιών. Αναγκάστηκαν τελικά να απομακρύνουν τεράστιους όγκους υλικού κατά πολύ μεγαλύτερους από απ' ότι αρχικά υπολογίστηκε, ώστε να γίνει δυνατή η συνέχιση και περάτωση του έργου.

Προβλήματα κατολισθητικών φαινομένων σε διάφορες κλίμακες αντιμετωπίζουμε στον ελληνικό χώρο, γιατί έχουμε πολύ έντονο ανάγλυφο με μεγάλες κλίσεις φυσικών πρανών και πετρολογικούς σχηματισμούς επιρρεπείς σε κατολισθήσεις, όπως φλύσχη και πλευρικά κορήματα. Σε περιπτώσεις εκτέλεσης τεχνικών έργων (διάνοιξη ορυγμάτων, δημιουργία τεχνητών πρανών) τα προβλήματα είναι μεγάλα. Όλοι ξέρουμε τα προβλήματα κατάπτωσης βράχων στην Εθνική οδό Αθηνών-Κορίνθου, τις κατολισθήσεις στον Ψαθόπυργο στην Εθνική οδό Κορίνθου-Πατρών, στη Μαλακάσα και γενικά σε πολλές θέσης του οδικού μας δικτύου τα οποία απαιτούν μεγάλα ποσά ετησίως για την αντιμετώπιση και επισκευή τους. Για την πιο σύγχρονη και αποτελεσματική αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων εφαρμόζονται άλλες κατασκευαστικές μέθοδοι, όπως η διάνοιξη σηράγγων που εφαρμόζεται σε πολλές θέσεις της Εγνατίας οδού, αλλά και σε άλλα μεγάλα έργα.

6. ΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

Τα υπόγεια νερά αποτελούν μέρος της υδρόσφαιρας. Κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και σε βάθη που ποικίλουν, τα κενά και οι ρωγμές των πετρωμάτων είναι γεμάτα νερό. Το νερό αυτό το ονομάζουμε υπόγειο. Τα αποθέματα των υπόγειων νερών είναι πάρα πολύ σπουδαία για τους εξής λόγους:

- α) Αποτελούν ένα πολύ μεγάλο μέρος του υδρολογικού κύκλου και συντηρούν τη ροή των ποταμών κατά τις ξηρές περιόδους (Σχ. 27).
- β) Συμβάλλουν στις μεταβολές του γεωλογικού κύκλου με διάλυση και απόθεση υλικών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.
- γ) Προμηθεύουν μεγάλες ποσότητες νερού στα ζώα, φυτά και τον άνθρωπο.
- δ) Αποτελούν τον κυριότερο παράγοντα για την κατανομή της βλάστησης και επηρεάζουν τη διάβρωση.



Σχ. 27. Ο υδρολογικός κύκλος. (από R. Flint & B. Skinner, 1975).

Αν ρίξουμε μια ματιά στο σχήμα 8 που απεικονίζει τον υδρολογικό κύκλο, βλέπουμε ότι μέρος από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα διηθείται μέσα στο έδαφος και συγκεντρώνεται στα κενά και τις ρωγμές των πετρωμάτων, τα οποία συμπεριφέρονται σαν μια δεξαμενή. Η δεξαμενή αυτή δέχεται τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα κατά περιοδικά διαστήματα και στη συνέχεια τροφοδοτεί, με έναν πιο κανονικό ρυθμό τα ποτάμια ή εκφορτίζεται στη θάλασσα.

Το υπόγειο νερό αποτελεί μόνο το 1% του συνόλου των νερών που αποτελούν την υδρόσφαιρα, αλλά είναι 35 φορές περισσότερο του συνολικού όγκου των νερών που συναντώνται στην επιφάνεια σαν λίμνες και ποτάμια. Το 97,6% του νερού της υδρόσφαιρας αποτελεί τους ωκεανούς.

Υδροφορείς ή υδροφόρα στρώματα ονομάζονται τα διαπερατά στρώματα που αποθηκεύουν νερό ή αυτά μέσα στα οποία κυκλοφορεί νερό. Τα στρώματα αυτά συνιστούν δεξαμενές αποθήκευσης νερού και αποτελούν πηγές παροχής νερού. Μπορεί να λειτουργήσουν ως αγωγοί μεταφοράς νερού (μόνο βέβαια με την παρέμβαση του ανθρώπου), να λειτουργήσουν ως φίλτρα καθαρισμού (με διάφορες τεχνικές) και να ρυθμίσουν παροχές επιφανειακών νερών.

Το βάθος κάτω από την επιφάνεια, στο οποίο συναντάμε τα υπόγεια νερά ονομάζεται **στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα** ή όπως συνήθως λέμε απλά, υδροφόρος ορίζοντας. Υδροφόρος ορίζοντας συναντάται σχεδόν σε κάθε περιοχή. Μερικές περιοχές είναι πιο ευνοημένες. Το πρόβλημα είναι εάν υπάρχει νερό σε επαρκή ποσότητα για τη χρήση που το θέλουμε, σε ποιο βάθος μπορεί να βρεθεί, τι διαλυμένες ουσίες περιέχει και γενικά τι ποιότητας είναι. Επίσης μπορεί να είναι εγκλεισμένο στο πέτρωμα σε μικρά κενά, ώστε είναι πρακτικά αδύνατο να το χρησιμοποιήσουμε ή και να είναι αλμυρό.

Περισσότερο από τη μισή ποσότητα των υπόγειων νερών τη συναντάμε μέχρι το βάθος των 750 m από την επιφάνεια. Κάτω από το βάθος αυτό, μειώνεται η ποσότητα. Εντούτοις, έχει βρεθεί υπόγειο νερό σε βάθος 9,4 km.

6.1. Διαπερατότητα

Κατά την αναζήτηση υπόγειων νερών βλέπουμε ότι μερικά πετρώματα έχουν την ιδιότητα να αφήνουν το νερό να περνά μέσα απ' αυτά ή να περιέχουν μια ορισμένη ποσότητα νερού, ενώ άλλα όχι.

Τα πετρώματα που επιτρέπουν στο νερό ή άλλα υγρά όπως το πετρέλαιο να περνούν μέσα απ' αυτά, χαρακτηρίζονται ως διαπερατά ή στην περίπτωση του νερού υδροπερατά. Τέτοια μπορεί να είναι πετρώματα με πόρους, όπως η άμμος, ο ψαμμίτης κλπ. ή με ρωγμές και ρήγματα που επικοινωνούν μεταξύ τους και μπορεί το νερό να κυκλοφορεί, όπως εκρηξιγενή πετρώματα. Τα πρώτα χαρακτηρίζονται ως μικροπερατά, ενώ τα δεύτερα ως μακροπερατά.

Διαπερατότητα ή υδροπερατότητα, είναι η ιδιότητα του πετρώματος να επιτρέπει στο νερό ή άλλα υγρά να περνούν μέσα απ' αυτό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι αλλουβιακές αποθέσεις άμμων και χαλικιών.

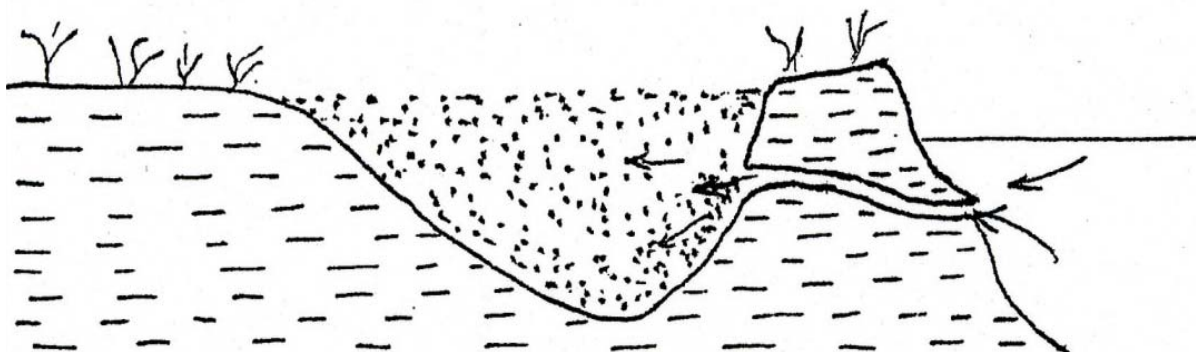
Αδιαπέρατα ή υδροστεγανά είναι τα πετρώματα που δεν επιτρέπουν στο νερό να κυκλοφορεί μέσα σ' αυτά. Αυτά μπορεί να είναι πετρώματα πορώδη, όπως η άργιλος ή συμπαγή χωρίς πόρους, όπως διάφορα εκρηξιγενή πετρώματα.

Το νερό μέσα στα πετρώματα κινείται (ρέει) με μια ταχύτητα από λίγα εκατοστά το χρόνο έως λίγα μέτρα την ημέρα. Η ταχύτητα ροής εξαρτάται από τη διαπερατότητα του πετρώματος και την υδραυλική του κλίση.

Τα πετρώματα με μικρό πορώδες έχουν μικρή διαπερατότητα. Εν τούτοις, το υψηλό πορώδες δεν εξασφαλίζει τη διαπερατότητα γιατί αυτή εξαρτάται από το μέγεθος των κενών χώρων και την επικοινωνία που έχουν μεταξύ τους. Π.χ. στις αργίλους που έχουμε πορώδες έως 50%, τα κενά ανάμεσα στα κοκκώδη συστατικά τους είναι πολύ μικρά, μικρότερα από 0,005mm, σαν τριχοειδείς σωλήνες. Το νερό που βρίσκεται μέσα σ' αυτά τα κενά εγκλωβίζεται και δεν κινείται, γιατί αναπτύσσονται ισχυρές μοριακές τάσεις. Τα πετρώματα αυτά προσροφούν νερό και αυξάνεται ο όγκος τους, αλλά επειδή δεν κυκλοφορεί συμπεριφέρονται σαν αδιαπέρατα πετρώματα. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των πόρων, τόσο πιο μεγάλη διαπερατότητα παρουσιάζουν τα πετρώματα.

Το σχήμα των ιζηματογενών πετρωμάτων μπορεί να μεταβληθεί αν ασκήσουμε πίεση πάνω σ' αυτά. Αυτό συμβαίνει με σύγχρονη μείωση του πορώδους του πετρώματος, γιατί τα κοκκώδη συστατικά μετακινούνται και καταλαμβάνουν τους κενούς χώρους. Αντίθετα, αν

αρθεί η πίεση το πέτρωμα μπορεί να ανακτήσει το παλιό του σχήμα με σύγχρονη διαστολή των συμπυκνμένων κοκκωδών συστατικών. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **αναδιαστολή** και έχει πολλές γεωλογικές εφαρμογές. Παράδειγμα της συστολής και αναδιαστολής είναι η κινούμενη άμμος (Σχ. 28). Αν σταθεί κανείς σε κινούμενη άμμο, με το βάρος του τη συμπιέζει και το νερό που βγαίνει από τους πόρους γεμίζει τη γύρω περιοχή. Η άμμος κινείται σαν ρευστό. Αν απομακρυνθεί το βάρος, η άμμος αναδιαστέλεται και ξαναγεμίζει με νερό, επανερχόμενη στην προηγούμενη κατάσταση.



Σχ.28. Στο σχήμα φαίνονται σε τομή οι συνθήκες που δημιουργούν το φαινόμενο της κινούμενης άμμου.

6.2. Πορώδες.

Αν εξετάσουμε τη δομή ενός πετρώματος, βλέπουμε ότι τα συστατικά τους πολλές φορές παρουσιάζουν τέτοια διάταξη, ώστε ανάμεσά τους να παραμένουν κενά. Τέτοια διάταξη παρουσιάζουν κυρίως τα ιζηματογενή πετρώματα, που αποτελούνται από κοκκώδη συστατικά, τα κενά των οποίων γεμίζουν πολλές φορές με ορυκτή κόλλα, ενώ στα εκρηξιγενή και μεταμορφωσιγενή ή διάταξη είναι πυκνότερη και αναπτύσσονται ρωγμές και διακλάσεις. Τα κενά αυτά ονομάζονται πόροι και η διάταξη αυτή πορώδες.

Το **πορώδες** εκφράζεται με το ποσοστό του όγκου των κενών χώρων προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος. Έτσι ένα πολύ πορώδες πέτρωμα έχει σχετικά μεγάλο ποσοστό κενών χώρων, ανεξάρτητα του μεγέθους τους. Η χαλαρή άμμος έχει πορώδες 35%, οι ψαμμίτες 15% και οι άργιλοι έως 50%.

6.3. Υδροφόροι ορίζοντες

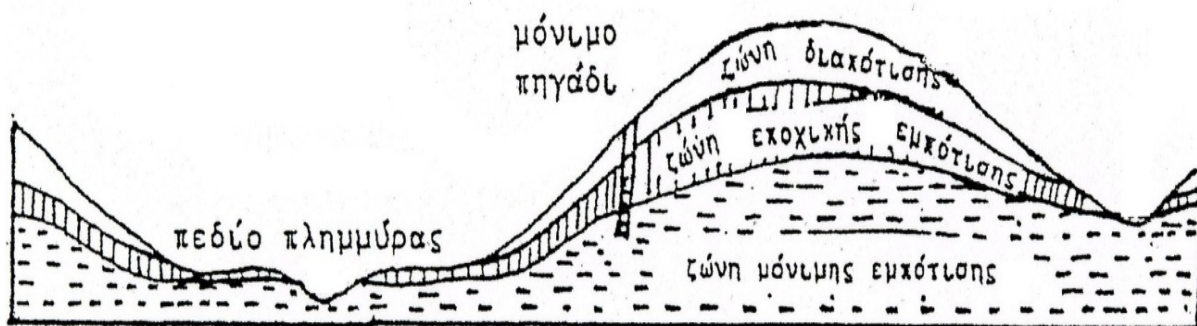
Τα υπόγεια νερά τα συναντάμε υπό τη μορφή α) του ελεύθερου ή φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα και β) του υπό πίεση υδροφόρου ορίζοντα

Α) Ελεύθερος ή φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας

Το βάθος κάτω από την επιφάνεια, στο οποίο συναντάμε τα υπόγεια νερά ονομάζεται **στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα** ή όπως συνήθως λέμε απλά, υδροφόρος ορίζοντας. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα αποτελεί μια ομαλή επιφάνεια που ακολουθεί με μεγάλη προσέγγιση το ανάγλυφο της γης, αλλά είναι πολύ πιο ομαλή. Τα πετρώματα που συναντώνται από την επιφάνεια του εδάφους έως τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υδροπερατά επιτρέπουν την κατεισδυση του νερού. Αν θεωρήσουμε μια κατακόρυφη τομή, διακρίνουμε τρεις διαδοχικές ζώνες(Σχ. 29):

- α) Η ζώνη διαπότισης είναι το τμήμα που βρίσκεται ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους και τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Στην ζώνη αυτή, ένα μέρος από το νερό συγκρατείται από το έδαφος και προσροφάται στη συνέχεια από τις ρίζες των φυτών και το υπόλοιπο κατεισδύει και τροφοδοτεί τον υδροφόρο ορίζοντα.
- β) Η ζώνη εποχικής εμπότισης (ή ακόρεστη ζώνη) περιλαμβάνεται ανάμεσα στην επιφάνεια που βρίσκεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατά την περίοδο μεγάλης υγρασίας (βροχοπτώσεων) και στο επίπεδο που υποχωρεί η στάθμη κατά την περίοδο της ξηρασίας.
- γ) Η ζώνη μόνιμης εμπότισης (ή κορεσμένη ζώνη) εκτείνεται κάτω από την προηγούμενη ζώνη και είναι το τμήμα του εδάφους στο οποίο υπάρχει νερό σε όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Σε περιοχές που η ζώνη εποχικής εμπότισης φθάνει στην επιφάνεια, δημιουργούνται. πηλιδυρές και περιοδικές πηγές. Εκεί που η ζώνη μόνιμης εμπότισης φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους παρατηρούνται αναβλύσεις νερού (seapages), έλη, λίμνες και ποταμοί. Μετά από παρατεταμένη ξηρασία πολλές πηγές, έλη, ακόμη και ποταμοί, ξηραίνονται, γιατί η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα πέφτει κάτω από το συνηθισμένο επίπεδο.



Σχ. 29. Υδροφόρος ορίζοντας

Β) Υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας ή αρτεσιανό νερό.

Όταν ένας υδροφορέας βρίσκεται ανάμεσα σε δύο υδροστεγανά στρώματα, δημιουργείται ο υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας ή όπως αλλιώς λέγεται περιορισμένος υδροφόρος ορίζοντας, γιατί είναι εγκλωβισμένος ανάμεσα στα πετρώματα αυτά και η επιφάνειά του δεν μπορεί να ανυψωθεί ανάλογα με την ποσότητα των νερών που τον εμπλουτίζουν. Στην περίπτωση αυτή τα επιφανειακά πετρώματα μπορεί να είναι και υδροστεγανά. Για να δημιουργηθεί υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας, είναι απαραίτητο να υπάρχουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- α) Το υδροφόρο στρώμα να έχει μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση για να εξασφαλίζεται η τροφοδοσία του
- β) Ο υδροφορέας να είναι εγκλεισμένος ανάμεσα σε δύο στεγανά πετρώματα.
- γ) Οι σχηματισμοί αυτοί να είναι με κλίση ή να σχηματίζουν σύγκλινο.
- δ) Η περιοχή τροφοδοσίας να έχει αρκετή υψομετρική διαφορά από τα σημεία υδροληψίας (τα πηγάδια, ώστε να εξασφαλίζεται η αναγκαία υδραυλική πίεση για να σπρώχνει το νερό προς την επιφάνεια).
- ε) Αρκετές βροχοπτώσεις, για να εξασφαλίζεται η απαραίτητη ποσότητα νερού.

Οι υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες δημιουργούν μια ειδική κατηγορία πηγαδιών, τα **αρτεσιανά πηγάδια**. Τα πηγάδια αυτά πήραν το όνομά τους από την περιοχή Artois της Γαλλίας, όπου πρωτοπαρατηρήθηκε το φαινόμενο. Στην Ελλάδα γεωτρήσεις αρτεσιανής μορφής έχουμε στις λεκάνες της Θεσσαλονίκης, των Σερρών, της Δράμας, των Τρικάλων, της Άρτας κ.λ.π.

Στα αρτεσιανά πηγάδια ή γεωτρήσεις, το νερό βρίσκεται σε αρκετή υδραυλική πίεση, ώστε όταν βρίσκει διέξοδο, ανεβαίνει προς την επιφάνεια ή και ακόμη υψηλότερα από αυτή.

Σε μια περιοχή, όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες, είναι δυνατόν να υπάρχουν συγχρόνως φρεάτιος και υπό πίεση υδροφόρος ορίζοντας ή πολλές φορές και περισσότεροι του ενός υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες.

Στους υδροφόρους ορίζοντες η κίνηση των υπόγειων νερών είναι συνεχής, ακολουθεί την κλίση του στεγανού υποκείμενου στρώματος και ελέγχεται από υδρογεωλογικές παραμέτρους που καθορίζουν τη δυναμική τους. Συνήθως εκφορτίζονται πλευρικά σε γειτονικούς υδροφορείς ή αναβλύζουν στην επιφάνεια του εδάφους και υποθαλάσσια με πηγές που τροφοδοτούν αντίστοιχα το υδρογραφικό δίκτυο, τις λίμνες και τη θάλασσα.

6.4. Η προέλευση του υπόγειου νερού

Το νερό της βροχής, το χιόνι., το νερό των ποταμών και των λιμνών που διηθείται μέσα στο έδαφος χαρακτηρίζεται ως **μετεωρικό** και αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος των νερών του υδροφόρου ορίζοντα. Εκτός όμως από το μετεωρικό, υπάρχει και νερό με διαφορετική προέλευση, όπως αποδεικνύουν προσδιορισμοί με C^{14} . Γλυκό ή αλμυρό νερό έχει κλειστεί μέσα σε ιζηματογενή πετρώματα και λέγεται "**σύμφυτο**" (connate). Κατά τη διάρκεια της διαγένεσης των πετρωμάτων, δηλ. συμπύκνωσης εξαιτίας του βάρους τους, αποβάλλεται μεγάλη ποσότητα από το νερό αυτό και εμπλουτίζει τον υδροφόρο ορίζοντα. Το νερό αυτό λέγεται και "**νεκρό**" ή «**απολιθωμένο**» .

Επίσης κατά την εκρηξιγενή δραστηριότητα, ατμός και θερμό νερό ανεβαίνει στην επιφάνεια και αυτό αναφέρεται ως «**νεαρό**» (Juvenile).

6.5. Επίδραση του θαλασσινού νερού στο παράκτιο γλυκό νερό.

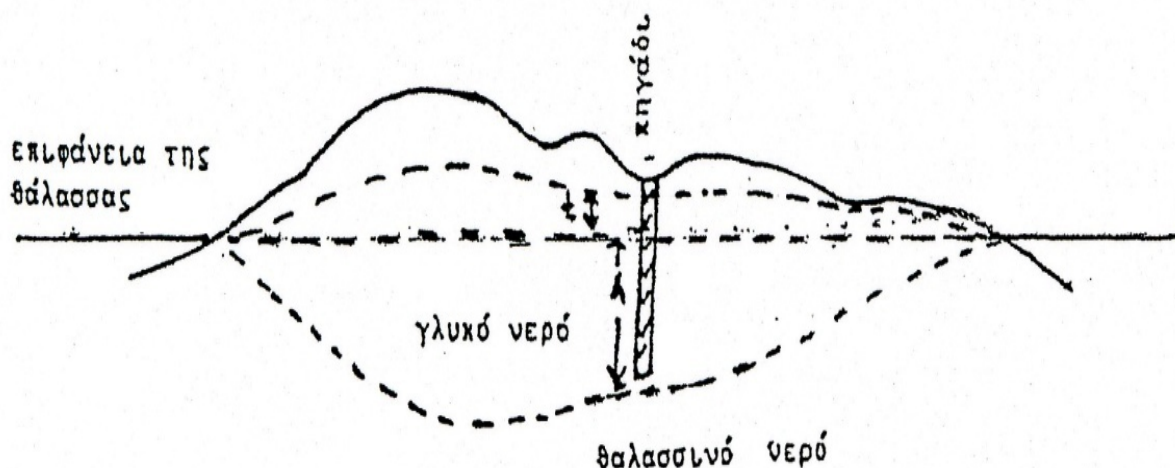
Στα πηγάδια που ανοίγουμε κοντά στην ακτή διαπιστώνουμε ότι το νερό το συναντάμε στη στάθμη της θάλασσας περίπου και είναι γλυκό, παρόλο που τα πετρώματα που

βρίσκονται προς την ακτή μπορεί να είναι διαπερατά. Αυτό συμβαίνει γιατί το γλυκό νερό που έχει μικρότερο ειδικό βάρος, περίπου 1, επιπλέει πάνω στο θαλασσινό, που είναι βαρύτερο. Αυτό, διαρκεί όσο επικρατεί μια σχετική υδροστατική ισορροπία μεταξύ άντλησης γλυκού νερού και εισροής θαλασσινού μέσα από τα πορώδη πετρώματα. Έτσι, στις παράκτιες περιοχές δημιουργείται ένας φακός γλυκού νερού που επιπλέει πάνω στο θαλασσινό (Σχ. 30)..

Αν αντλήσουμε μια ποσότητα γλυκού νερού η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα θα κατέβει, αλλά συγχρόνως θα διεισδύσει και μια ποσότητα αλμυρού νερού. Αν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα κατεβεί κάτω από την στάθμη της θάλασσας, τότε το αλμυρό θα ανέβει στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας με αποτέλεσμα να αντλούμε πια θαλασσινό νερό. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει η άντληση να ελέγχεται με μεγάλη προσοχή.

Για να υπολογιστεί σε ποιο βάθος κάτω από τη στάθμη της θάλασσας συναντάμε το αλμυρό νερό, έχουν γίνει πολλές μελέτες και βρέθηκε ο ακόλουθος εμπειρικός τύπος:

$h=t/g-1$ όπου h = το βάθος του γλυκού νερού κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, t = το ύψος του γλυκού νερού πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, g = το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού. Στη Β. Ευρώπη που μελετήθηκε ο τύπος αυτός, δίνει πολύ καλά αποτελέσματα.



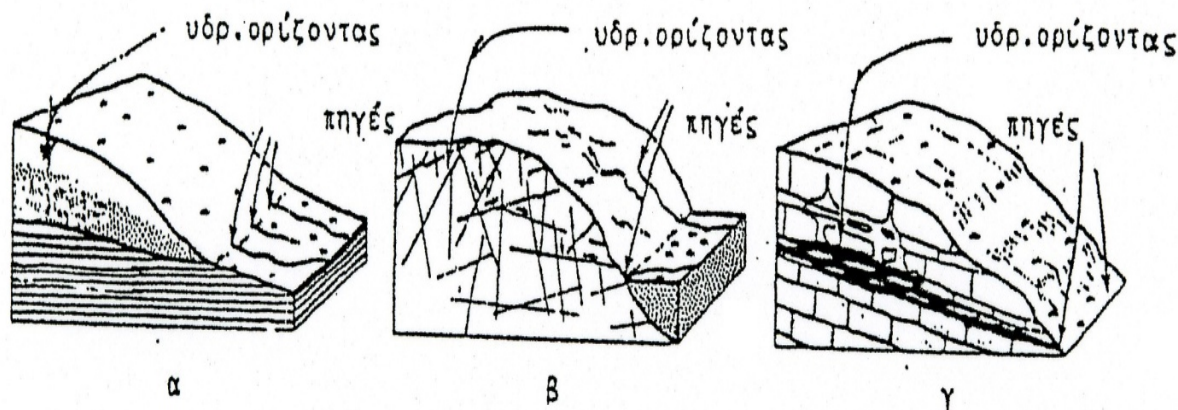
Σχ. 30. Στο διάγραμμα φαίνεται το γλυκό νερό (σε σχήμα φακού) να επιπλέει πάνω στο βαρύτερο θαλασσινό.

6.6. Πηγάδια

Για την άντληση νερού, η πιο απλή μέθοδος είναι να σκάσουμε σε βάθος ένα πηγάδι μέχρι να συναντήσουμε τον υδροφόρο ορίζοντα. Πριν αρχίσουμε όμως, πρέπει να ελέγξουμε τι πετρώματα συναντώνται στην περιοχή και ποια είναι η διαδοχή τους, ώστε να υπολογίσουμε το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα. Επίσης να μελετήσουμε την τεκτονική της περιοχής, γιατί αν υπάρχουν ρήγματα, εξαρτάται από τη διάταξή τους αν το νερό του υδροφόρου ορίζοντα θα βρει διέξοδο στο πηγάδι ή όχι. Τέλος, το πηγάδι θα πρέπει να φθάνει τη ζώνη μόνιμης εμπότισης για να λειτουργεί.

6.7. Πηγές

Τα σημεία που το νερό του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκει φυσική διέξοδο και τρέχει στην επιφάνεια ονομάζονται πηγές. Πηγές σχηματίζονται όταν ένα αδιαπέρατο στρώμα, όπως η άργιλος, βρίσκεται κάτω από ένα διαπερατό, όπως ο ψαμμίτης και η πέτρωμα, μακροπερατό, όπως έναν γρανίτη ή καρστικοποιημένο ασβεστόλιθο, το νερό τους διακόπτεται από την επιφάνεια του εδάφους, τότε από το σημείο αυτό αναβλύζει νερό δημιουργώντας πηγές. Επίσης, όταν έχουμε ένα συμπαγές με ρωγμές κυκλοφορεί μέσα στις ρωγμές που συμπεριφέρονται σαν αγωγοί. Αν η επιφάνεια του εδάφους κόβει τέτοιους κύριους αγωγούς, σχηματίζονται πηγές (Σχ.31).



Σχ. 31. Συνήθεις συνθήκες σχηματισμού πηγών. α. Υδροπερατό στρώμα επίκειται επαφή αδιαπέρατου. Στην επαφή του σχηματίζονται πηγές. β. Πηγές σε ένα πέτρωμα με ρωγμές γ.

Καρστική πηγή. (από R. Flint & B. Skinner, 1975).

Θερμές πηγές, Γκέυζερ, Φουμαρόλες

Παρατηρούνται πηγές, που το νερό τους έχει θερμοκρασία αισθητά υψηλότερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και που πολλές φορές φθάνει τους 70° ή και 90° C. Η προέλευση της θερμοκρασίας είναι ένα μεγάλο πρόβλημα, στο οποίο δεν έχει δοθεί μέχρι τώρα ικανοποιητική απάντηση, εκτός από τις περιοχές που υπάρχει ενεργός ή πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα θερμά νερά, εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας περιέχουν διαλυμένα διάφορα συστατικά και γι' αυτό χαρακτηρίζονται και σαν ιαματικά ή θερμομεταλλικά

Στον ελληνικό χώρο έχουμε πολλές θερμομεταλλικές πηγές κυρίως χλωριονατριούχες, εξαιτίας της διείσδυσης θαλασσινού νερού, καθώς και θειούχες, από αναγωγή της γύψου από οργανικές ουσίες. Μερικές απ' αυτές είναι στο Λουτράκι, στην Αιδηψό, στα Καμένα Βούρλα, στην Υπάτη, στον Λαγκαδά, στη Νιγρίτα, στον Καϊάφα, στην Κυλλήνη, κλπ. Η θερμότερη πηγή της Ευρώπης είναι του Πολυχνίτου της Λέσβου, με θερμοκρασία $87,6^{\circ}$ C.

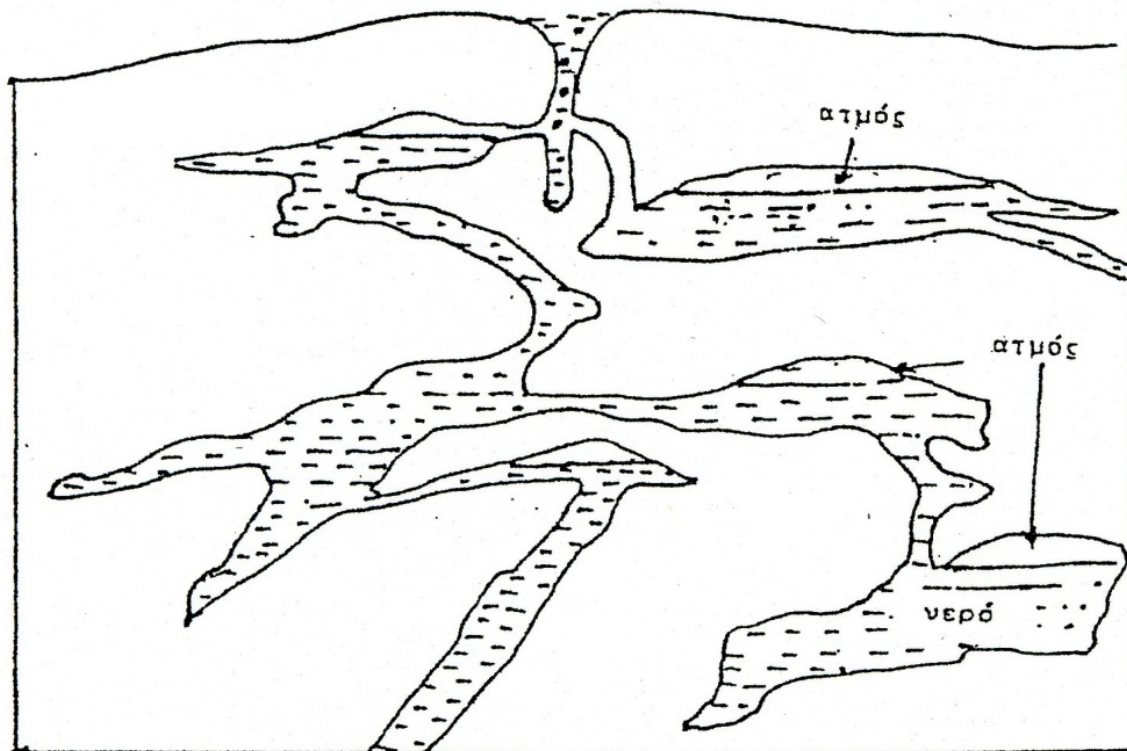
Θερμές πηγές υπάρχουν σε όλες τις ηπείρους εκτός της Αυστραλίας. Μια ειδική κατηγορία θερμών πηγών είναι τα Γκέυζερ (Geysirs) ή διαλείποντες θερμοπίδακες. Οι πηγές αυτές λειτουργούν κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα, εκτινάσσοντας με ορμή στήλη μεγάλου ύψους από θερμό νερό και υδρατμούς. Η ονομασία Γκέυζερ δόθηκε από την πιο μεγάλη πηγή Geysir της Ισλανδίας. Οι πηγές αυτές βρίσκονται σε περιοχές πρόσφατης ηφαιστειακής δραστηριότητας και συναντώνται εκτός από την Ισλανδία, στη Ν. Ζηλανδία, τη Β. Αμερική (Yellowston Park), την Κεντρική Αμερική, τη Ν. Αμερική, το Θιβέτ, την Ιαπωνία κ.λ.π. Από τις 425 πηγές γκέυζερ που υπάρχουν ανά τον κόσμο, οι 225 βρίσκονται στο Yellowston Park καθώς και περισσότερες από 3.000 θερμές πηγές και περί τις 7.000 εμφανίσεις υδροθερμικών αναβλημάτων και φουμαρόλες.

Οι φουμαρόλες αποτελούν μια υδροθερμική εμφάνιση παραπλήσια των γκέυζερ αλλά αντί νερού εκπέμπονται ατμοί. Οι φουμαρόλες είναι διαρρήξεις τις επιφάνειας του εδάφους που συνδέονται άμεσα μια μια υπερθερμη πηγή που βρίσκεται στο βάθος. Για κάποιο λόγο πολύ λίγο νερό εισέρχεται μέσα στη ρωγμή της φουμαρόλης, το οποία ακαριαία μετατρέπεται σε ατμό εξ αιτίας της θερμότητας και τότε ένα σύννεφο ατμού εκπέμπεται από το άνοιγμα. Οι φουμαρόλες παρουσιάζουν συνεχή ή διαλείπουσα λειτουργία και στην πραγματικότητα είναι απλά θερμές πηγές χωρίς νερό.

Το νερό των γκέυζερ είναι κατά ένα μέρος μετεωρικό και το άλλο νεαρό, δηλ. μαγματικής προέλευσης, όπως φαίνεται από τις ισοτοπικές συνθέσεις του C^{14} . Μεταφέρει

μεγάλες ποσότητες διαλυμένου υλικού, που το αποθέτει στην επιφάνεια σε υψώματα και αναβαθμίδες, το μεν ανθρακικό ως τραβερτίνη, το δε πυριτικό ως γκεϋζερίτη.

Ο Bunsen για να εξηγήσει τη λειτουργία των γκέυζερ υποστήριξε την άποψη ότι υπέρθερμο νερό και υδρατμοί που προέρχονται από κατώτερα τμήματα της γης ανέβαζαν τη θερμοκρασία του νερού που υπήρχε στους αγωγούς, στο σημείο βρασμού, οπότε αυτό εκτινασσόταν προς τα πάνω. Οι έρευνες όμως έδειξαν, ότι η θερμοκρασία του νερού (130°C) στο βάθος των 22m ήταν χαμηλότερη από το σημείο βρασμού (136°C) που αντιστοιχεί στην πίεση της στήλης που βρίσκεται από πάνω. Ο Thorkelson υποστήριξε ότι το φαινόμενο συμβαίνει γιατί το θερμό νερό περιέχει μεγάλη αναλογία διαλυμένων αερίων (Σχ. 32). Αυτά μέσα στους αγωγούς και τις δεξαμενές που κυκλοφορεί το νερό, ελευθερώνονται σαν φυσαλίδες και καθώς βρίσκονται σε επαφή με το ζεστό νερό παθαίνουν κορεσμό σε υδρατμούς. Όταν η θερμοκρασία του νερού πλησιάζει το σημείο βρασμού, μεγάλη ποσότητα από υδρατμούς ανεβαίνει στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα στις δεξαμενές και τους αγωγούς να πέσει απότομα η πίεση. Τότε δημιουργείται βρασμός και το νερό μετατρέπεται σε μια αφρισμένη μάζα που ξεπηδά με δύναμη προς τα πάνω και φθάνει σε ύψος 65 m από την επιφάνεια.



Σχ. 32. Σχηματική τομή της θερμοπηγής Γκέυζερ.

Οάσεις

Μέσα στις ερήμους συναντώνται τοποθεσίες με βλάστηση και νερό. Αυτές ονομάζονται οάσεις και δημιουργούνται όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια ή εκεί που υπάρχει τοπική ανάβλυση αρτεσιανού νερού.

6.8. Η σημασία των υπόγειων νερών στον πετρολογικό κύκλο

Η σημασία των υπόγειων νερών στη φύση και κυρίως στον πετρολογικό κύκλο είναι μεγάλη. Το νερό διαλύει διάφορα ορυκτά, μεταφέρει στερεά υπολείμματα και άλλα τα αποθέτει ή τα κατακρημνίζει μέσα στα πετρώματα και τα αποσαθρώματα και άλλα υλικά τα μεταφέρει στα ποτάμια και τις θάλασσες.

Κύριες διεργασίες είναι η διάλυση ανθρακικών ενώσεων και η δημιουργία ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Η μεταφορά καταλοίπων από το υπόγειο νερό και μεταφορά τους στα ποτάμια είναι τεράστια και μπορεί να υπολογισθεί ότι η απόπλυση

στερεών συστατικών από το υπόγειο νερό προκαλεί φθορά σε ένα στρώμα πετρωμάτων της τάξης του 1 cm πάχους, σε 930 χρόνια περίπου.

Τεράστιες ποσότητες διαλυμένων υλικών μεταφέρονται στις θάλασσες και αποτελούν το 3,5% του βάρους του θαλασσινού νερού. Αν μπορούσε να εξαχθεί όλο αυτό το διαλυμένο υλικό και να σκορπιστεί στην ξηρά, θα δημιουργούσε ένα στρώμα πάχους μεγαλύτερου των 150m.

Σαν πετρογενετικός παράγοντας τα υπόγεια νερά σχηματίζουν, όπως είπαμε, ασβεστίτη, αραγονίτη, προκαλούν συγκόλληση των πορωδών ιζημάτων, απολίθωση, σχηματισμό κονδύλων, απόθεση πυριτικών ενώσεων κλπ.

Πολλά από τα μεταλλεύματα που περιέχουν οικονομικά αξιόλογα ορυκτά έχουν αποτεθεί από υδροθερμικά διαλύματα, που έχουν ελευθερωθεί κατά την εκρηξιγενή δραστηριότητα. Το υπόγειο νερό δημιουργεί αξιόλογο ορυκτό πλούτο και χαρακτηρίζεται σαν "μεταλλογενετικός παράγοντας".

Τεράστιες ποσότητες διαλυμένων υλικών μεταφέρονται στις θάλασσες και αποτελούν το 3,5% του βάρους του θαλασσινού νερού. Αν μπορούσε να εξαχθεί όλο αυτό το διαλυμένο

υλικό και να σκορπιστεί στην ξηρά, θα δημιουργούσε ένα στρώμα πάχους μεγαλύτερου των 150 m.

Σαν πετρογενετικός παράγοντας τα υπόγεια νερά σχηματίζουν, όπως είπαμε, ασβεστίτη, αραγονίτη, προκαλούν συγκόλληση των πορωδών ιζημάτων, απολίθωση, σχηματισμό κονδύλων, απόθεση πυριτικών ενώσεων κλπ.

Πολλά από τα μεταλλεύματα που περιέχουν οικονομικά αξιόλογα ορυκτά έχουν αποτεθεί από υδροθερμικά διαλύματα, που έχουν ελευθερωθεί κατά την εκρηξιγενή δραστηριότητα. Το υπόγειο νερό δημιουργεί αξιόλογο ορυκτό πλούτο και χαρακτηρίζεται σαν "μεταλλογενετικός παράγοντας".

Πολλά από τα μεταλλεύματα που περιέχουν οικονομικά αξιόλογα ορυκτά έχουν αποτεθεί από υδροθερμικά διαλύματα, που έχουν ελευθερωθεί κατά την εκρηξιγενή δραστηριότητα. Το υπόγειο νερό δημιουργεί αξιόλογο ορυκτό πλούτο και χαρακτηρίζεται σαν "μεταλλογενετικός παράγοντας".

7. ΚΑΡΣΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

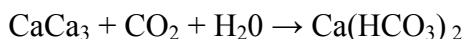
Με τον όρο καρστική διάβρωση εννοούμε τη χημική διάλυση κυρίως των ασβεστολίθων και με την ευρύτερη έννοια άλλων ευδιάλυτων στο νερό πετρωμάτων χωρίς να αφήνουν κατάλοιπα.

Η διάλυση του ασβεστόλιθου με το νερό μπορεί να συμβεί χωρίς ή με συνδυασμό τριών άλλων διεργασιών όπως: α) τη διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων σε καθαρό νερό, β) τη διάλυση ασβεστόλιθων σε νερό που περιέχει CO₂ και γ) τη διάλυση ασβεστόλιθων από άλλους χημικούς παράγοντες, κυρίως οργανικά οξέα. Οι δύο πρώτες περιπτώσεις α και β είναι αναστρεπτές, ενώ η γ κατά κανόνα δεν είναι.

Ο ασβεστίτης με καθαρό (αποσταγμένο νερό) δίνει την πιο κάτω αμφίδρομη αντίδραση:



Αυτή η διεργασία είναι αποτέλεσμα μιας κατάστασης ισορροπίας ανάμεσα στη στερεή φάση (CaCO₃), το διαλύτη (H₂O) και τα ιόντα. Στη φύση όμως, δεν απαντάται καθαρό νερό, γιατί το νερό της βροχής έχει διαλυμένο CO₂ και έτσι αυτή η αντίδραση δεν έχει πρακτική σημασία. Στη φύση, οι χημικές διεργασίες γίνονται με φυσικό νερό εμπλουτισμένο σε CO₂ σε διάφορες αναλογίες και το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε δισόξινο ανθρακικό ασβέστιο, που είναι διαλυτό κατά την ακόλουθη αντίδραση:



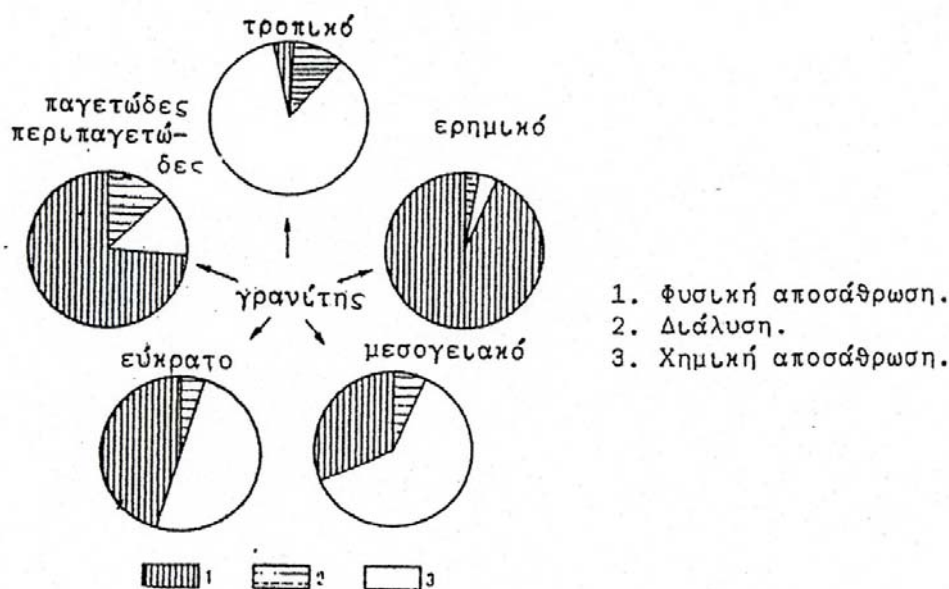
Όσο περισσότερο CO₂ είναι διαλυμένο στο νερό, τόσο πιο δραστικό γίνεται το νερό και διαλύει μεγαλύτερη ποσότητα ασβεστίτη. Αντίθετα αν η περιεκτικότητα σε CO₂ μειωθεί, τότε έχουμε κατακρήμνιση ασβεστίτη με την μορφή ασβεστιτικών κονδύλων, ασβεστιτικών τόφων σταλακτιτών κλπ.

Η ικανότητα απορρόφησης CO₂ από το νερό είναι αντίστροφη της θερμοκρασίας, π.χ. σε θερμοκρασία 5°C το νερό της βροχής απορροφά 0,84mg/l CO₂, ενώ σε θερμοκρασία 30°C λιγότερο από 0,39mg/l.

Στις τροπικές περιοχές, η παραγωγή CO₂ στο έδαφος είναι έντονη όλο το χρόνο από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών και έτσι επιτυγχάνεται η σχετικά υψηλή περιεκτικότητα του νερού σε CO₂, ώστε να καθίσταται ενεργό και να προκαλεί αρκετά έντονη καρστική διάβρωση.

Από όσα είπαμε παραπάνω, θα νόμιζε κανείς ότι μόνο τα ανθρακικά και άλλα ευκολοδιάλυτα πετρώματα παθαίνουν καρστική διάβρωση και πως η διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων είναι μόνο καρστική. Αυτό δεν είναι αλήθεια. Πολύμικτα πετρώματα είναι επίσης διαλυτά σε ένα βαθμό, αλλά αυτό δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη διάβρωση των πετρωμάτων αυτών για δύο λόγους.

- α) Τα συστατικά των πολύμικτων πετρωμάτων έχουν διαφορετική διαλυτότητα και έτσι η διάλυση είναι επιλεκτική. Επίσης, εμποδίζεται από τη μάζα των αποσπασμάτων που συσσωρεύεται από δομικά αίτια και καλύπτει τα πετρώματα.
- β) Η χημική αποσύνθεση ορισμένων συστατικών των πετρωμάτων μπορεί να συντελείται γρηγορότερα και έτσι η διάλυση και η συσσώρευση καταλοίπων της αποσάθρωσης εμποδίζει τη χημική διάλυση.



Σχ. 33. Διάβρωση γρανίτη σε διάφορες κλιματικές ζώνες. (Jackucs, 1977).

Έτσι δεν αναφέρουμε συνήθως τη χημική διάλυση αυτών των πετρωμάτων, όχι γιατί δεν παρατηρούνται φαινόμενα καρστικοποίησης, αλλά γιατί είναι σχεδόν αμελητέα σε σχέση με άλλες μορφές που οφείλονται σε άλλες αιτίες αποσάθρωσης ή διάβρωσης. Παρ' όλα αυτά

αναφέρεται καρστική διάβρωση σε loess, βασάλτες, γρανίτες, όπως στο Diamond Mountain κοντά στη Σεούλ και αλλού. Στο σχήμα 33 φαίνεται ο τύπος διάβρωσης του γρανίτη που επικρατεί σε διάφορες κλιματικές ζώνες.

Οι γεωμορφές που προέρχονται από την καρστική διάβρωση και η ταχύτητα με την οποία προχωρεί, εξαρτάται από το κλίμα μιας περιοχής, τη θερμοκρασία, την υγρασία, από τη δομή του πετρώματος και την τεκτονική του κατάσταση.

Ο όρος καρστ δόθηκε από την ομώνυμη περιοχή της Γιουγκοσλαβίας, στο βόρειο τμήμα των Δειναρίδων, όπου παρατηρείται χαρακτηριστική ανάπτυξη μορφών που προκλήθηκαν από χημική διάλυση ασβεστολίθων. Η επιφάνεια στις περιοχές που έχουν υποστεί καρστική διάλυση είναι ανώμαλη και κατάστικτη από βυθίσματα, χωρίς επιφανειακή αποστράγγιση. Η τοπογραφία αυτή αναπτύσσεται σε εκτεταμένες περιοχές στη Δαλματία, την Ελλάδα και αλλού και χαρακτηρίζεται σαν καρστική τοπογραφία. Για τη δημιουργία καρστικής τοπογραφίας δεν είναι ανάγκη το ασβεστολιθικό πέτρωμα να είναι εκτεθειμένο στην επιφάνεια, αλλά μπορεί να καλύπτεται από ένα υδροπερατό στρώμα, όπως στην Φλώριδα από ψαμμίτη μεγάλου πάχους, και να υποστεί καρστική διάλυση το υποκείμενο ευδιάλυτο πέτρωμα.

Η καρστική διάλυση μπορεί να δημιουργήσει επιφανειακές μορφές, αλλά μπορεί να προχωρήσει σε βάθος, μέσα από τις ρωγμές και τις διακλάσεις του πετρώματος και να δημιουργήσει υπόγεια σπήλαια με τις γνώστες μορφές σταλακτιτών και σταλαγμιτών.

7.1. Καρστικές μορφές

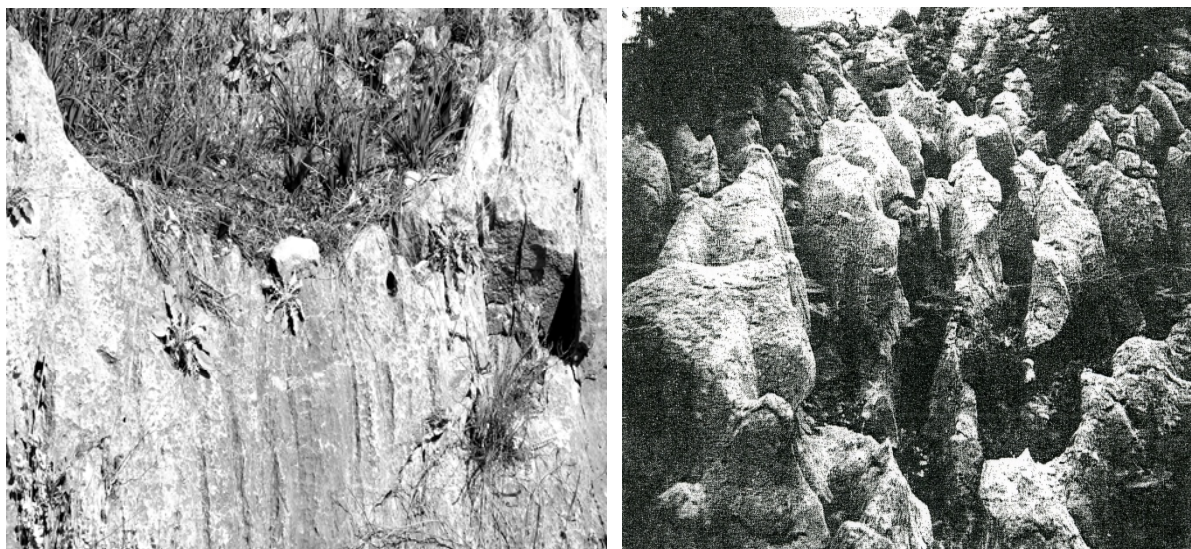
Δακτυλογλυφές, αμαξοτροχιές. Σε μια περιοχή με έντονες βροχοπτώσεις, το νερό της βροχής κυλάει επιφανειακά σε ένα ευδιάλυτο πέτρωμα ασβεστολίθων με διακλάσεις ή και χωρίς ρωγμές. Τότε αναπτύσσονται πάνω στην επιφάνεια του πετρώματος αβαθή αυλάκια (εκατοστομετρικών διαστάσεων) που διαχωρίζονται με λεπιδοειδείς ράχες και ονομάζονται **δακτυλογλυφές** (Σχ.34 α). Σε ένα πιο προχωρημένο στάδιο διαλύσεως, τα αυλάκια αυτά γίνονται μεγαλύτερα και χαρακτηρίζονται σαν **αμαξοτροχιές**, Σχ. 34 β (Karren, γαλλικά lapies, αγγλικά clints).

Τα καρστικά πηγάδια (jama) είναι βαθιά κοιλάματα που μοιάζουν με το εσωτερικό καπνοδόχου, βάθους μέχρι 100m. Μια άλλη ποικιλία είναι χοανοειδείς κοιλότητες με διάμετρο 10-120 m και βάθους / βάθος 2-25 cm.

Οι καταβόθρες (swallow holes) είναι χοανοειδείς σχηματισμοί που αποτελούν τη βασική μονάδα της καρστικής τοπογραφίας. Οι καταβόθρες σχηματίζονται συνήθως με διεύρυνση στη διατομή δύο επιπέδων διακλάσεων και αποτελούν οδό διαφυγής των επιφανειακών νερών προς υπόγειους αγωγούς. Κατά τον Philippson διακρίνονται σε καταρροφητικές και πυλοειδείς. Οι πρώτες αποτελούν μια κοιλότητα στο βαθύτερο μέρος της κοιλάδας και καλύπτονται από προσχώσεις, ενώ οι δεύτερες δημιουργούνται στα τοιχώματα που περιβάλλουν την κοιλάδα και έχουν μορφή χασμάτων.

Δολίνα χαρακτηρίζεται κάθε λεκάνη ή κλειστό βύθισμα (Σχ.35) σε πετρώματα που έχουν υποστεί καρστική διάβρωση, μεγαλύτερων διαστάσεων από μια καταβόθρα. Πολλές φορές δημιουργείται ή μεγαλώνει από την πτώση της οροφής των υπόγειων σπηλαίων. Το σχήμα είναι ποκίλο, στρογγυλό, οβάλ ή επίμηκες. Ο πυθμένας είναι επίπεδος και συχνά καλύπτεται από αλλούβια ή terra rossa.

Η ουβάλα σχηματίζεται από τη συνένωση δολινών. Συχνά έχει επίμηκες σχήμα. Το μήκος της είναι συνήθως 1 km. Πολλές φορές κάτω από τον πυθμένα της ουβάλας ρέει υπόγειος ποταμός (Σχ 36).



α

β

Σχ. 34 α) Στο βράχο διακρίνονται δακτυλογλυφές, β) αμαξοτροχιές.



Σχ. 35. Δολίνη



Σχ. 36 Η καρστική αυτή λεκάνη είναι μια ουβάλα.

Η **πόλγη** είναι ένα εκτεταμένο βύθισμα με επίπεδο πυθμένα καλυμμένο με αλλούβια ή terra rossa. Δημιουργείται συνήθως από την πτώση οροφής εκτεταμένου συστήματος υπόγειων σπηλαίων. Οι πόλγες έχουν συνήθως κατακόρυφα τοιχώματα ύψους 50-100 m και καλύπτουν έκταση έως και 250 km².

7.2. Καρστικά σπήλαια

Αν και δεν αποτελούν τυπικές γεωμορφές τα αναφέρουμε, γιατί η ανάπτυξή τους επηρεάζει τη μορφολογία του εδάφους. Το νερό διεισδύει στα πετρώματα κυρίως από τις διακλάσεις και τα επίπεδα στρώσεως και με τη διεργασία της διάλυσης τα διευρύνει, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κοιλότητες διαφόρων μεγεθών μέσα στα πετρώματα. Κάθε κοιλότητα που έχει οροφή χαρακτηρίζεται σαν σπήλαιο. Πολλές φορές συνενώνονται πολλά σπήλαια και σχηματίζουν ένα τεράστιο μεγάλο μήκους.



Σχ. 37. Καρστικό σπήλαιο. Διακρίνονται οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες.

Τα επί μέρους σπήλαια χαρακτηρίζονται σαν θάλαμοι και επικοινωνούν μεταξύ τους με διαδρόμους. Οι διάδρομοι που ενώνουν τους θαλάμους των σπηλαίων διανοίγονται είτε κατά τη διεύθυνση των διακλάσεων είτε κατά τη διεύθυνση στρώσεως. Στα σπήλαια συναντώνται οι **σταλακτίτες** και οι **σταλαγμίτες** (Σχ. 37). Αυτοί είναι αποθέσεις CaCO_3 που δημιουργούνται όταν το νερό που μεταφέρει το διαλυμένο ανθρακικό οξύ ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) χάνει μέρος του CO_2 κατά την αντίδραση που έχουμε περιγράψει.

Σταλακτίτες είναι οι σχηματισμοί που κρέμονται από την οροφή, ενώ σταλαγμίτες δημιουργούνται στο πάτωμα όπου πέφτουν οι σταγόνες του νερού. Μορφολογικά διακρίνονται μεταξύ τους γιατί οι σταλακτίτες, σε τομή έχουν ένα μικρό σωληνίσκο στο κέντρο απ' όπου στάζει το νερό, ενώ οι σταλαγμίτες είναι συμπαγείς. Αν οι σταλακτίτες και οι σταλαγμίτες ενωθούν, δημιουργούν κολώνες. Η απόθεση του CaCO_3 γίνεται σε συγκεντρικούς φλοιούς. Εξαιτίας των σχετικά υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στα σπήλαια, δημιουργείται το ορυκτό αραγονίτης.

Φυσικές γέφυρες είναι πολύ θεαματικές μορφές, κάτω από τις οποίες συνήθως κυλά νερό. Πίστευαν ότι σχηματιζόταν από μερική κατάπτωση της οροφής των σπηλαίων, όταν τμήμα της οροφής παρέμενε στη θέση του. Για το γεγονός όμως αυτό, δεν υπάρχουν αποδείξεις.

7.3. Καρστικός κύκλος

Κατά τον Davis, η εξέλιξη της καρστικής διάβρωσης μπορεί να περιγραφεί σαν ένας κύκλος που περιλαμβάνει τρία στάδια. Τα στάδια: νεότητας, ωριμότητας και γήρατος.

Το στάδιο νεότητας αρχίζει με την εμφάνιση των πρώτων τοπογραφικών καρστικών χαρακτηριστικών. Αν τα ευδιάλυτα πετρώματα καλύπτονται από αδιάλυτα, το στάδιο νεότητας μπορεί να αρχίσει πριν απομακρυνθεί τελείως το αδιάλυτο κάλυμμα. Το στάδιο νεότητας περιλαμβάνει την εμφάνιση καρστικών φαινομένων στα πετρώματα, όπως αμαξοτροχιών, καταβοθρών και δολινών. Οι δολίνες αυξάνουν σε μέγεθος και αριθμό, κάθε μια χωριστά και κάθε επιφανειακό ρεύμα αποκτά υπόγειο ροή. Το στάδιο αυτό τελειώνει όταν οι κλιτύες των δολινών γίνουν ομαλές πλευρές κοιλάδας και οι κοιλάδες μετατραπούν σε κοιλάδες καταβύθισης.

Το στάδιο ωριμότητας περιλαμβάνει τη δημιουργία ουβαλών, από τη συνένωση των δολινών. Η μορφολογία της πόλης παραμένει σχεδόν αμετάβλητη από την έλλειψη επιφανειακής απορροής. Η διάβρωση έχει φθάσει στο υποκείμενο αδιάλυτο υποκείμενο πέτρωμα, ενώ παραμένουν υπολειμματικοί σχηματισμοί του καρστικοποιημένου πετρώματος.

Το στάδιο γήρατος περιλαμβάνει τη σμίκρυνση των ράχων μεταξύ των ουβαλών. Η διάβρωση έχει φθάσει στο βασικό επίπεδο, που είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ή το υποκείμενο αδιάλυτο πέτρωμα. Στο τέλος του σταδίου αυτού αρχίζει η επιφανειακή ροή των ρευμάτων. Η επιφάνεια στην περιοχή είναι σχεδόν επίπεδη και υψώνονται μερικοί υπολειμματικοί σχηματισμοί που ονομάζονται hums. Παράδειγμα hums στην Αττική αποτελεί η Ακρόπολη και ο Λυκαβηττός.

8. ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ

8.1. Η σπουδαιότητα των Ποταμών

Η ποτάμια διάβρωση και γενικότερα η επίδραση του νερού που κυλάει στην επιφάνεια της Γης είναι, θα μπορούσαμε να πούμε, ο σπουδαιότερος παράγοντας που έχει επιδράσει στη διαμόρφωση του αναγλύφου. Ελάχιστες είναι οι περιοχές που δεν έχουν δεχθεί την επίδρασή του. Καθώς κυλάει το νερό, παρασύρει και μεταφέρει τα κατάλοιπα της αποσάθρωσης στους ωκεανούς, διαβρώνοντας συγχρόνως την επιφάνεια. Η διεργασία αυτή καλείται η **απογύμνωση**. Αν υπολογίσουμε τον όγκο των ιζημάτων που μεταφέρουν οι ποταμοί, θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε και το βαθμό και το ρυθμό της απογύμνωσης.

Για να καταλάβουμε την σπουδαιότητα των διαφόρων διεργασιών που επιτελεί η ποτάμια διάβρωση, θα πρέπει να τις εξετάσουμε κάθε μια χωριστά (χωρίς να ξεχνάμε ότι όλες είναι μέρος του ίδιου κύκλου).

Η διάβρωση των ποταμών είναι, κυρίως μηχανική και προκαλείται με απορρίνιση, διάβρωση εκσκαφής, μηχανική υδραυλική δράση, σμίκρυνση, λείανση και τέλος με χημική διάλυση. Οι ποταμοί διαβρώνουν την πλαγιά πάνω στην οποία ρέουν, σκάβοντας την κοίτη τους και μεταφέροντας τα κατάλοιπα της αποσάθρωσης. Πλαταίνουν τις κοιλάδες γιατί με την εκβάθυνση της κοίτης προκαλούνται κινήσεις μαζών και επεκτείνουν το υδρογραφικό τους δίκτυο προς τη θάλασσα, όπου εκβάλλουν. Επίσης διαβρώνουν την επιφάνεια κατά την αντίθετη φορά της ροής τους, δηλαδή ανάντη προς τις πηγές. Η διάβρωση αυτή λέγεται οπισθοδρομούσα και είναι εντονότερη όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του αναγλύφου. Έχει δε σαν αποτέλεσμα τη διάβρωση υψηλότερων περιοχών και μεγαλύτερη ανάπτυξη του υδρογραφικού συστήματος. Με τη διαβρωτική τους δράση καταστρέφουν το ανάγλυφο και με τη μεταφορά και απόθεση του υλικού συντελούν στην ιζηματογένεση, με αποτέλεσμα, αν συνεχίζονταν αυτές οι διεργασίες χωρίς διακοπή να επέρχεται επιπέδωση της περιοχής. Συνήθως, όμως, η σειρά αυτή διακόπτεται από άλλους παράγοντες που οφείλονται σε

ενδογενείς δυνάμεις. Οι ποταμοί, με τη μεταφορά νερού από την ξηρά προς τη θάλασσα, έχουν βασική συμμετοχή στον υδρολογικό κύκλο και με τη μεταφορά υλικού στον πετρολογικό κύκλο.

Η αξία των ποταμών όμως, πέρα από το στενά γεωλογικό ενδιαφέρον, είναι τεράστια και για τον άνθρωπο. Αποτελούν σημαντική πηγή νερού για ύδρευση, άρδευση και βιομηχανική χρήση. Επίσης, αποτελούν μικρή αλλά ουσιαστική πηγή για την παραγωγή ενέργειας και πολλοί ποταμοί είναι σημαντικοί δρόμοι μεταφοράς αγαθών.

8.2. Ροή των ποταμών

Το νερό της βροχής αρχικά κυλάει στην επιφάνεια της γης διάχυτο, αλλά γρήγορα συγκεντρώνεται και σχηματίζει μικρά ρυάκια και στη συνέχεια ποταμούς. Κατά τη ροή του, παρασύρει και μεταφέρει πολλά ιζήματα και τα αποθέτει σε άλλες θέσεις, καθώς και στην περιοχή που τα περιβάλλει. Τα σύγχρονα αυτά ιζήματα λέγονται **αλλούβια** ή αλλουβιακές αποθέσεις. Με την μεταφορική αυτή δράση τους, τα ποτάμια κατέχουν μια σημαντική θέση στον πετρολογικό κύκλο και γενικότερα στους κύκλους των μεταβολών του αναγλύφου.

Ποταμό ονομάζουμε έναν όγκο νερού που κυλάει κατά μήκος της κλιτύος σε μια διαμορφωμένη κοίτη και μεταφέρει μηχανικά ή σε διάλυση, κατάλοιπα πετρωμάτων. Σε κάθε ποταμό μπορούμε να μετρήσουμε την παροχή, την κλίση, το φορτίο, την ταχύτητα και το μέγεθος της κοίτης του.

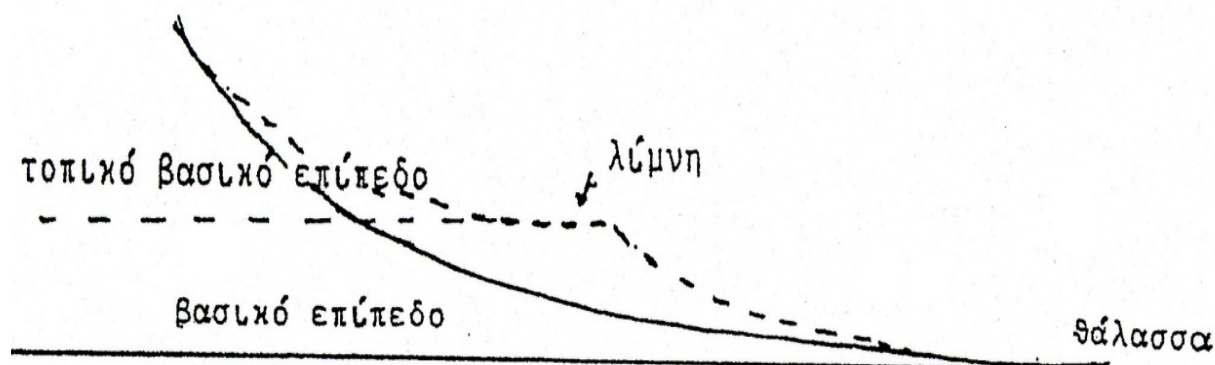
Παροχή είναι η ποσότητα του νερού που περνά από ένα σημείο στην μονάδα του χρόνου και την μετράμε σε m /sec. Δίνεται δε από τον τύπο

$$Q = w \cdot d \cdot U$$

$$\text{παροχή} = \text{πλάτος} \times \text{βάθος} \times \text{ταχύτητα } m^3/\text{sec}$$

Κλίση του ποταμού είναι η κλίση που παρουσιάζει η κοίτη του. Αυτή είναι μεγαλύτερη στις πηγές και μειώνεται προς τις εκβολές, ώστε μια επιμήκης τομή έχει σχήμα ομαλής καμπύλης, ελαφρά κοίλης στο πάνω τμήμα και σχεδόν επίπεδης στις εκβολές. Η κλίση εκφράζεται σε μέτρα, που είναι η υψομετρική διαφορά δύο σημείων της κοίτης, που απέχουν μεταξύ τους ένα χιλιόμετρο. Η κλίση ενός, ποταμού μπορεί να είναι της τάξης 50 m/km στις

πηγές και 1-5 cm/km στις εκβολές. Ποταμός που η κοίτη του παρουσιάζει αυτή την τομή και έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει όλο το υλικό που του προσφέρεται, λέγεται **εξισορροπημένος** (Σχ. 38). Αν η μεταφορά γίνεται χωρίς απόθεση και διάβρωση, τότε λέγεται ότι έχει «**απλή ροή**».



Σχ 38. Τομή εξισορροπημένου ποταμού.

Η **ταχύτητα** του νερού του ποταμού είναι διαφορετική σε διαφορετικά σημεία της κοίτης του και επηρεάζεται από την κλίση, το σχήμα, τις ανωμαλίες της κοίτης και τον όγκο του νερού. Η ροή των ποταμών για τους λόγους αυτούς είναι τυρβώδης.

Μεταφορική ικανότητα του ποταμού είναι ο συνολικό φορτίο που μπορεί να μεταφέρει ο ποταμός κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Φορτίο είναι το συνολικό υλικό που μεταφέρει ο ποταμός και αποτελείται από το **στερεό φορτίο**, που είναι τα στερεά κατάλοιπα πετρωμάτων διαφόρων μεγεθών, συν το **διαλυμένο φορτίο** που αποτελείται από τα διαλυμένα υλικά, τα οποία προέρχονται κυρίως από χημική αποσάθρωση. Από μετρήσεις που έγιναν σε ελληνικά ποτάμια, διαπιστώθηκε ότι ο Αχελώος μεταφέρει κατά μέσον όρο ετησίως $5,67 \times 10^6$ τόνους φορτίου σε διάλυση, ο Αλιάκμονας $3,13 \times 10^6$ τόνους, ο Αξιός $4,9 \times 10^6$ τόνους, ο Πηνειός $3,22 \times 10^6$ τόνους και ο Νέστος $3,14 \times 10^6$ τόνους.

Το **στερεό φορτίο** διακρίνεται σε **φορτίο πυθμένα** που περιλαμβάνει τα μεγαλύτερου μεγέθους αποσθρώματα και σε **αιωρούμενο φορτίο**, που περιλαμβάνει, τα λεπτότερα υλικά που μπορούν να μεταφέρονται σε αιώρηση. Από μετρήσεις που έγιναν σε ελληνικά ποτάμια διαπιστώθηκε ότι ο Αχελώος μεταφέρει ετησίως $0,83 \times 10^6$ τόνους αιωρούμενου φορτίου, ο

Αλιάκμονας $2,31 \times 10^6$ τόνους, ο Άραχθος $7,21 \times 10^6$ τόνους, ο Καλαμάς $1,88 \times 10^6$ τόνους και ο Νέστος $0,68 \times 10^6$ τόνους.

Το στερεό φορτίο παρασύρεται από το νερό και μετακινείται. Τα μεγαλύτερα και βαρύτερα υλικά από το φορτίο του πυθμένα μετακινούνται με κύλισμα, ενώ τα ελαφρότερα με αναπήδηση. Η μετακίνησή του δεν είναι συνεχής, σε αντίθεση με το αιωρούμενο φορτίο που ακολουθεί την κίνηση του νερού και αποτίθεται μόνο όταν παύσει και το νερό να κινείται. Το συνολικό φορτίο που μεταφέρεται κάθε χρόνο με τους ποταμούς στη θάλασσα υπολογίζεται σε 8 δισεκ. τόνους και προέρχεται από την απογύμνωση μιας επιφάνειας $90 \times 10^6 \text{ km}^2$. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε 1 km^2 αντιστοιχεί απώλεια 1.000 τόνων αποσαθρωμάτων, που ισοδυναμεί σε ένα στρώμα πάχους 1 m κάθε 30.000 χρόνια.

Η μεταφορική ικανότητα του ποταμού αυξάνει απότομα, καθώς η ταχύτητα αυξάνει. Το μέγιστο φορτίο από θραύσματα διαφόρων μεγεθών, που μπορεί να μεταφέρει, είναι ανάλογο της τρίτης ή και τέταρτης δύναμης της ταχύτητας. Για ένα συγκεκριμένο, όμως, μέγεθος θραυσμάτων η μεταφορική του ικανότητα αυξάνει και είναι ανάλογη της έκκτης δύναμης της ταχύτητας. Αυτό εξηγεί γιατί στην κοίτη ενός ποταμιού συναντάμε πελώριους όγκους, που αυτό μετέφερε στη διάρκεια μιας μεγάλης πλημμύρας. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν στο σχεδιασμό των τεχνικών έργων.

Το σχήμα της κοίτης επηρεάζεται από το είδος της ροής, την ταχύτητα και τον όγκο του νερού και τις ανωμαλίες του πυθμένα. Τα ποτάμια διαβρώνουν τις όχθες τους, ώστε να πλησιάσει η κοίτη σε ένα ημικυκλικό σχήμα.

Βασικό επίπεδο είναι το κατώτερο επίπεδο μέχρι το οποίο ο ποταμός μπορεί να διαβρώσει την κοίτη του και αντιστοιχεί στη στάθμη της θάλασσας ή της λίμνης όπου εκβάλλει. Η στάθμη της θάλασσας χαρακτηρίζεται σαν απόλυτο βασικό επίπεδο, ενώ η στάθμη λίμνης ή ποταμού που εκβάλλει ένας παραπόταμος, σαν τοπικό βασικό επίπεδο.

Στις κλιτύες που δημιουργεί ο ποταμός με την εκσκαφή της κοίτης του αναπτύσσονται **παραπόταμοι**. Οι παραπόταμοι έχουν την τάση να κυλούν κάθετα προς τις ισοϋψείς καμπύλες της κοιλάδας του κύριου ποταμού και η μορφολογική εικόνα που παρουσιάζουν εξαρτάται από τη φύση και τη δομή των πετρωμάτων. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου δίνει πολύτιμες μορφοτεκτονικές πληροφορίες. Όπου τα πετρώματα παρουσιάζουν ομοιόμορφη αντίσταση στην αποσάθρωση, η ανάπτυξη των παραποτάμων ανάντη ρυθμίζεται από τη γενική κλίση και ενώνονται μεταξύ τους και με τον ποταμό με οξεία γωνία. Η διακλαδισμένη μορφολογική εικόνα περιγράφεται σαν δενδριτική. Αν τα πετρώματα, εξαιτίας

της δομής (ρήγματα, στρώσεις), παρουσιάζουν διαφορετικού βαθμού αντίσταση στη διάβρωση, οι παραπόταμοι αναπτύσσονται κατά μήκος των ασθενών αυτών γραμμών και συμβάλλουν με τον κύριο ποταμό και μεταξύ τους με ορθές γωνίες. Η μορφολογική εικόνα που παρουσιάζουν περιγράφεται σαν ορθογώνιος. Ο ποταμός λειτουργεί σαν βασικό επίπεδο για τον παραπόταμο.

Σε ένα ποτάμι διακρίνουμε τρεις περιοχές. Το ανώτερο, με μεγάλη κλίση κοίτης και ανώμαλο πυθμένα, όπου το νερό τρέχει με μεγάλη ταχύτητα και η διατομή της κοίτης του έχει σχήμα V (Σχ.38, 39) Στο τμήμα αυτό δημιουργούνται και καταρράκτες (Σχ. 40). Το μεσαίο τμήμα, στο οποίο η ταχύτητα ροής ελαττώνεται, η κοίτη διευρύνεται και η διατομή της γίνεται ημικυκλική και αρχίζουν να δημιουργούνται μαϊάνδροι. Το κατώτερο τμήμα είναι σχεδόν επίπεδο, η κοίτη μπορεί να καταλαμβάνει κατά διαστήματα όλο το πλάτος της λεκάνης, η ταχύτητα ροής είναι πολύ μικρότερη απ' ό τι στα άλλα τμήματα και σχηματίζονται συχνά μαϊάνδροι. Στην περιοχή αυτή σχηματίζεται το πεδίο πλημμύρας. Σε τομή του πεδίου πλημμύρας, κάθετα στην κοίτη ενός υδάτινου ρεύματος, διακρίνουμε τρία διαφορετικά γεωμορφολογικά στοιχεία:

α) Την ελάσσονα κοίτη, δηλ. αυτή όπου ρέει συνεχώς νερό.

β) Τη μείζονα εποχική κοίτη, αυτήν που κατακλύζεται σχεδόν κάθε χρόνο από τα νερά σε περίοδο πλημμύρας και

γ) Την εξαιρετικά μείζονα κοίτη, δηλ. αθτή που κατακλύζεται από νερό μόνο σε πολύ μεγάλες πλημμύρες, που συμβαίνουν πολύ σπάνια.

Η διαφοροποίηση των τριών αυτών μορφολογικών χαρακτηριστικών, είναι συνάρτηση της συχνότητας ορισμένων παροχών και φυσικά συνδέεται με τα χαρακτηριστικά της κάθε λεκάνης και του κλίματος.



Σχ. 38 Κοιλιάδες με έντονη κατά βάθος διάβρωση στο ανώτερο τμήμα του ποταμού με μεγάλη κλίση κοίτης.



Σχ. 39 Η κύρια κοίτη του ποταμού με μικρή κλίση διασχίζει κοιλάδα σχήματος V, που έχει διαμορφωθεί από ποτάμια διάβρωση και βρίσκεται στο μεσαίο τμήμα του ποταμού.

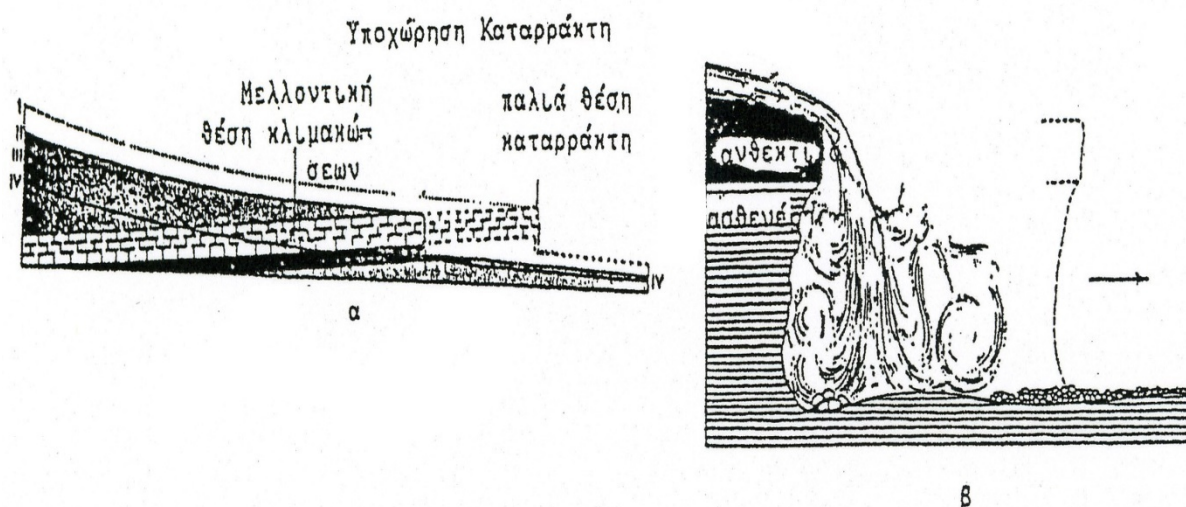
8.3. Διάβρωση και απόθεση από τους ποταμούς - Καταρράκτες

Αναφέραμε ότι κάθε ποταμός διαβρώνει την κοίτη του με τάση να δημιουργήσει κλίση εξισορροπημένου ποταμού. Η διάβρωση επηρεάζεται από την ταχύτητα και τον όγκο του νερού, καθώς και από τις ανωμαλίες του πυθμένα που οφείλονται βασικά στο είδος των πετρωμάτων. Αν η κοίτη έχει διανοιγεί πάνω σε διαφορετικού είδους πετρώματα, τότε τα πιο ευκολοδιάβρωτα προσβάλλονται πρώτα και σε μεγαλύτερο βαθμό, ενώ τα ανθεκτικότερα αντιστέκονται περισσότερο. Στην περίπτωση που στον πυθμένα ένα ανθεκτικό πέτρωμα βρίσκεται πάνω σε μια ασθενή διάπλαση, η δεύτερη, αποσαθρώνεται γρηγορότερα και στην επαφή τους δημιουργείται μια κλιμάκωση. Το ανθεκτικό στρώμα στη συνέχεια υπονομεύεται από την ταχύτερη υποχώρηση του μαλακού και το ανθεκτικό, λόγω έλλειψης στήριξης σπάζει και πέφτει κατακόρυφα, με αποτέλεσμα η κλιμάκωση να γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη και το νερό να πέφτει από την κορυφή σχηματίζοντας καταρράκτη. Ο **καταρράκτης** δημιουργείται στο σημείο της πιο απότομης αλλαγής στην κλίση της κοίτης (Σχ. 40, 41). Στη θέση που πέφτει ο καταρράκτης, δημιουργούνται δύνες νερού που προκαλούν μεγάλη διάβρωση στην κοίτη, στην οποία δεν υπάρχουν ιζήματα ή αν η ταχύτητα πτώσης του νερού δεν είναι πολύ μεγάλη αποθέτονται μεγάλες κροκάλες. Όπου έχουμε πολλές διαδοχικές κλιμακώσεις, το νερό πέφτει κάνοντας μια σειρά από διαδοχικά πηδήματα, που αναφέρονται σαν υδατοπτώσεις (cascade). Η απότομη αλλαγή στην κλίση της κοίτης μπορεί να οφείλεται επίσης στην ύπαρξη ρηγμάτων (Σχ. 41).

8.4. Μαιάνδροι.

Η διάβρωση είναι η κύρια διεργασία που επιτελεί ο ποταμός κατά τη ροή του, μεταφέροντας νερό και ιζήματα όταν η κλίση του είναι επαρκής. Πλησιάζοντας όμως προς τις εκβολές, διασχίζει συνήθως μια περιοχή όπου η κλίση του γίνεται πολύ μικρή, με συνέπεια να ελαττώνεται η μεταφορική του ικανότητα και να αποθέτει μέρος των ιζημάτων που μεταφέρει. Επίσης, αναπτύσσονται γεωμορφές που δεν συναντώνται σε άλλες θέσεις που έχουν μεγάλη κλίση. Ανάμεσα σ' αυτές μπορούμε να αναφέρουμε τους μαιάνδρους, τα πεδία πλημμύρας, τα φυσικά αναχώματα και άλλες αποθέσεις.

Τα ποτάμια ρέουν ευθύγραμμα σε μικρές αποστάσεις ή και σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Τα ποτάμια που ρέουν κατά την διεύθυνση κλίσης έχουν την τάση να αναπτύσσουν ελικοειδή ροή, εξ' αιτίας των ανωμαλιών του πυθμένα και της τυρβώδους ροής τους. Για να σκάψει την κοίτη του πρέπει η σχετική κίνηση να είναι αρκετά μεγάλη για να ξεπεράσει την αντίσταση από την τριβή και το ιξώδες. Από την τυρβώδη ροή του ποταμού οι ανωμαλίες του πυθμένα γίνονται εντονότερες και δημιουργούνται υψώματα και κοιλάματα, που για να τα παρακάμψει το ρεύμα, αναγκάζεται να ακολουθήσει αυτή την ελικοειδή πορεία. Το νερό κατά την κίνησή του προσκρούει στις όχθες και με πλευρική διάβρωση μεγαλώνει την καμπή, ενώ συγχρόνως βαθαίνει την κοίτη του στη θέση αυτή.



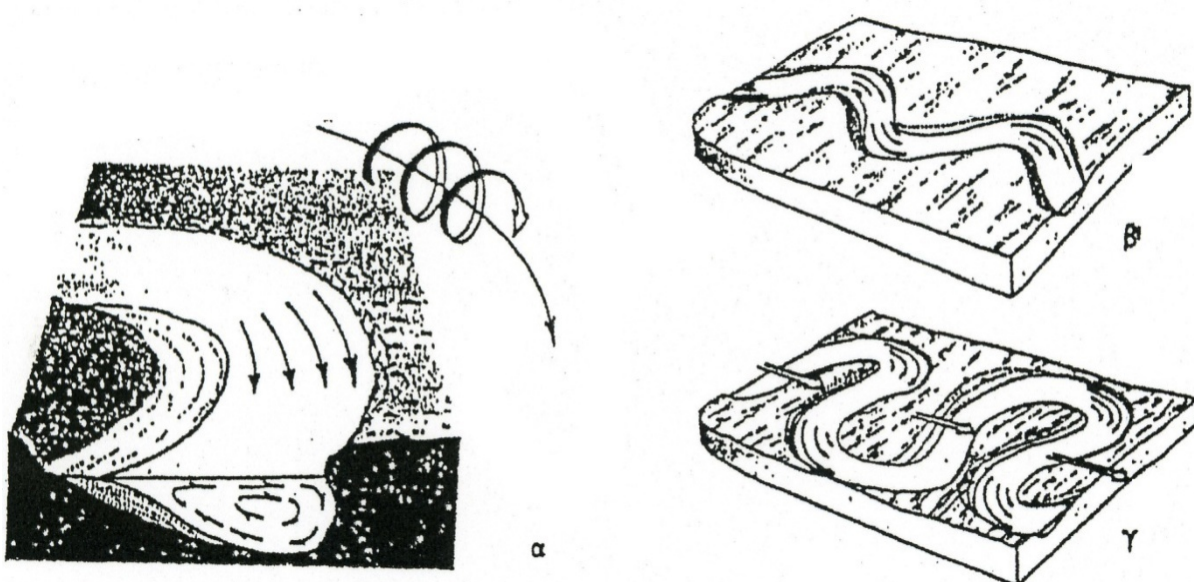
Σχ. 40. α) Τομή που απεικονίζει τα διαδοχικά στάδια της υποχώρησης του καταρράκτη και τις αντίστοιχες τομές εξισοροπημένης ροής I, II, III, IV. β) Σχηματική εικόνα καταρράκτη (από Flint and Skinner, 1974).

Η ταχύτητα του νερού στην εξωτερική όχθη είναι μεγαλύτερη από ότι στην εσωτερική και προκαλείται τυρβώδης κίνηση του νερού από την εσωτερική όχθη προς την εξωτερική (Σχ. 42, 43) Η κύρια ροή αποκλίνει προς την εξωτερική πλευρά, όπου και η ταχύτητα και η διάβρωση είναι μεγαλύτερες, ενώ στην εσωτερική, όπου η ταχύτητα είναι μικρότερη αποτίθενται αλλούβια. Επειδή η επιφάνεια που διασχίζει ο ποταμός κλίνει ελαφρά προς την θάλασσα, κάθε καμπή αυξάνει σε πλάτος και συγχρόνως προωθείται προς τη διεύθυνση ροής του ρεύματος, με αποτέλεσμα να μεταναστεύει κατάντη. Καθώς ο ποταμός προσκρούει πότε στη μια πλευρά και πότε στην άλλη, οι απότομες όχθες υποσκάπτονται και οι καμπές αυξάνουν σε πλάτος, ενώ συγχρόνως οι πλαγιές που περιβάλλουν την κοιλάδα υποχωρούν ελαφρά. Μετά από τη συνέχιση της διαδικασίας αυτής για ένα διάστημα, η κοίτη του

ποταμού βρίσκεται πια μέσα σε ποτάμιες αποθέσεις. Οι καμπές που αναπτύσσονται ελεύθερα ονομάζονται **μαϊάνδροι**.



Σχ. 41. Καταρράκτης

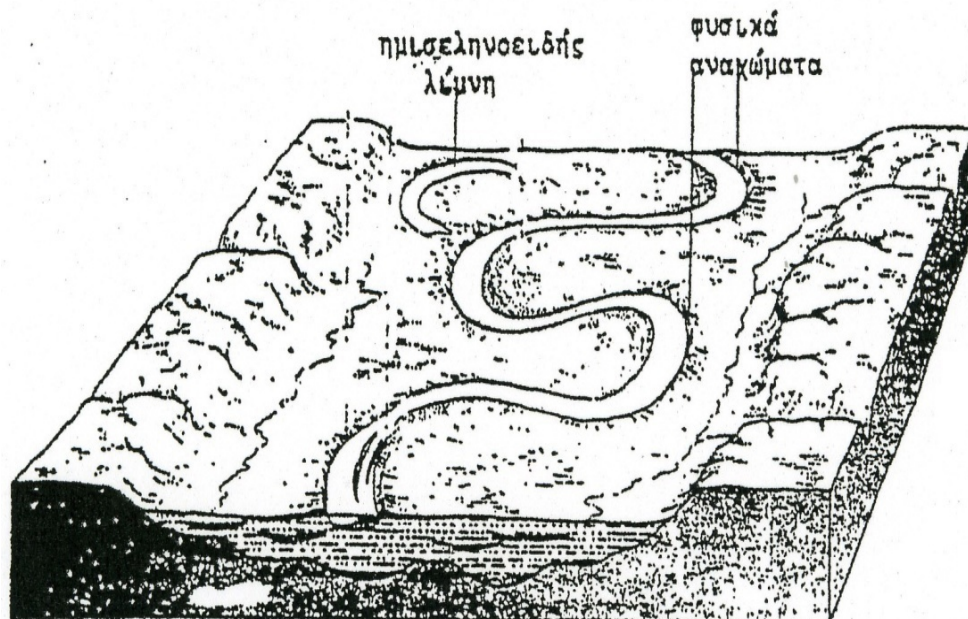


Σχ.42. Το σχήμα απεικονίζει: α) την κυκλοφορία του ρεύματος στην καμπή του μαϊάνδρου. β) την ελικοειδή πορεία του ποταμού. Στην εσωτερική καμπή αποτίθενται ιζήματα, ενώ η εξωτερική διαβρώνεται γ) τη μετανάστευση των καμπών κατάντη (από Hampling, 1978).

Πολλοί μαιάνδροι, καθώς αυξάνονται συνεχώς, σχηματίζουν μεγάλους βρόχους και η ξηρά που μένει ανάμεσά τους λεπταίνει βαθμιαία. Σε περίπτωση πλημμύρας, όταν έχει απομείνει μόνο μια στενή λουρίδα ξηράς (λαιμός) ανάμεσα σε δύο γειτονικούς βρόχους, η ορμή με την οποία κυλάει το νερό μπορεί να δημιουργήσει μια νέα κοίτη μέσα από τη λουρίδα αυτή για να συντομεύσει την πορεία του. Τότε εγκαταλείπεται η προηγούμενη ελικοειδής κοίτη και σχηματίζεται μια **ημισεληνοειδής λίμνη (Ox-bow)**, που γρήγορα γίνεται έλος ή ξεραίνεται και για μεγάλο (Σχ. 44) χρονικό διάστημα αποτελεί τοπογραφικό χαρακτηριστικό πάνω στο έδαφος. Προκειμένου ένας ποταμός να αποκτήσει εξισορροπημένη ροή, αντί για τη δημιουργία μαιάνδρων, διαιρείται σε ένα δίκτυο βραχιόνων που ανάμεσά του ανυψώνονται νησίδες από χαλίκια και άμμο. Τους ποταμούς αυτούς τους λέμε **διακλαδισμένους (braided)** και η δημιουργία τους αποδίδεται σε έντονες διακυμάνσεις της παροχής.



Σχ.43. Μαιανδρική πορεία ποταμού. Διακρίνονται οι αποθέσεις που δείχνουν την μετανάστευση των βρόχων κατάντη καθώς και διασπώμενες κοίτες.



Σχ.44. Πεδίο πλημμύρας, στο οποίο αναπτύχθηκαν μαίανδροι. Διακρίνονται τα φυσικά αναχώματα και η ημισελινοειδής λίμνη (από Hampling, 1978).

8.5. Πεδία πλημμύρας

Σε εποχές βροχοπτώσεων ή όταν λιώνουν τα χιόνια, τα νερά που μεταφέρονται από τον ποταμό αυξάνουν σε όγκο και στις περιοχές όπου η κλίση τους είναι πολύ μικρή, η κοίτη δεν επαρκεί και το νερό με τα ιζήματα που μεταφέρει πλημμυρίζει την πεδιάδα και την καλύπτει με ένα στρώμα από λάσπη, ενώ κοντά στις όχθες συσσωρεύονται πιο αδρομερή υλικά.

Όταν δημιουργούνται διαδοχικά πλημμύρες, το πάχος των αποθέσεων αυτών, που χαρακτηρίζονται ως αποθέσεις υπερχειλίσης, (overbank deposits) μεγαλώνει κάθε φορά ο ποταμός ξεχειλίζει, γιατί τα αδρομερή συστατικά αποτίθενται στις όχθες. Στο πεδίο πλημμύρας, ανάμεσα στα φυσικά αναχώματα και τις κλιτύες της λεκάνης δημιουργείται

Ένα μικρό βύθισμα που μπορεί να μετατραπεί σε έλος. Τα φυσικά αναχώματα, όσο ψηλά και αν είναι, δεν μπορούν να εμποδίσουν το νερό να ξεχειλίσει και να πλημμυρίσει τη γύρω περιοχή, όταν ο ποταμός βρίσκεται σε πλήρη ροή. Το μέτρο όμως είναι προσωρινό, γιατί ο ποταμός αποθέτει αποσαθρώματα με αποτέλεσμα το επίπεδο που βρίσκεται η κοίτη του να υψώνεται συνεχώς σε σχέση με το πεδίο πλημμύρας. Με τη μέθοδο αυτή, στην Ιταλία (του ποταμού Πο) και στην Κίνα (των ποταμών Hwang Ho και Yangtze Kiang) τα

αναχώματα έγιναν τόσο ψηλά που τώρα τα ποτάμια αυτά ρέουν σε υψηλότερο επίπεδο από αυτό της γύρω περιοχής, όπου είναι τα σπίτια. Αυτές οι καταστάσεις είναι πολύ επικίνδυνες, γιατί σε μια μεγάλη πλημμύρα είναι πιθανό να σπάσουν τα αναχώματα και να πλημμυρίσουν κατοικημένες περιοχές. Μια άλλη μέθοδος για τον έλεγχο των πλημμυρών είναι και η παροχέτευση του νερού, όταν ξεπερνά μια ορισμένη στάθμη, σε μια εφεδρική κοίτη που έχει δημιουργηθεί ή σε μια φυσική χαράδρα.

Κατά τις πλημμύρες, το ύψος του νερού εξαρτάται από τον ολικό όγκο του νερού και το ολικό φορτίο που κινείται, τον τρόπο ροής που συνδέεται άμεσα με τις γεωμορφολογικές συνθήκες και από τυχόν άλλα υλικά που μπορεί να παρασύρει κατά τη ροή του.



Σχ. 45. Τομή πεδίου πλημμύρας. Διακρίνονται τα φυσικά αναχώματα. (Flint and Skinner, 1975).

8.6. Παράγοντες που επιτείνουν τους κινδύνους από τις πλημμύρες

Με την αύξηση της οικιστικής δραστηριότητας έχουν επιδεινωθεί τα προβλήματα από τις πλημμύρες. Αυτό οφείλεται σε διάφορους λόγους: Η επέκταση των οικισμών έγινε σε περιοχές που αποτελούσαν πεδία πλημμύρας, αλλά δεν είχαν πλημμυρίσει για πολλές δεκαετίες ή ακόμη και μια-δύο εκατονταετίες και οι κάτοικοι το αγνοούσαν. Διευθετήθηκαν και έγινε εκτροπή των κοιτών των ρευμάτων ή μπαζώθηκαν οι κοίτες. Επίσης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δρόμων και τα κτίσματα, μειώνουν σημαντικά την κατείσδυση των νερών και αυξάνουν την επιφανειακή απορροή. Αυτοί είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στην αύξηση των καταστροφικών πλημμυρών σε κατοικημένες περιοχές.

Στις αγροτικές περιοχές, οι άνθρωποι από την αρχαιότητα κατοικούσαν και καλλιεργούσαν τα πεδία πλημμύρας γιατί αποτελούν πολύ εύφορα εδάφη. Η αλλαγή χρήσης της γης ή και η αλλαγή των καλλιεργειών δημιουργούν επίσης προβλήματα είτε άμεσα με

αύξηση της επιφανειακής απορροής είτε έμμεσα με την αύξηση του μεταφερόμενου υλικού εξαιτίας της εντονότερης αποσάθρωσης ή διάβρωσης των γύρω περιοχών.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, δύο παράγοντες επιδρούν στη δημιουργία πλημμυρών. Η ποσότητα της επιφανειακής απορροής και η περατότητα των σχηματισμών που καλύπτουν την περιοχή.

Τα καταστροφικά αποτελέσματα των ρεόντων υδάτων εμφανίζονται κυρίως με δύο μορφές: α) πλημμύρες και β) μεταβολές των κοιτών των ρευμάτων.

Για την πρόληψη και την προστασία από τις πλημμύρες θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα και πρώτα απ' όλα να προσδιορίζεται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια η πιθανότητα δημιουργίας πλημμύρας και να χαρτογραφούνται οι επικίνδυνες περιοχές.

8.7. Αλλουβιακές πεδιάδες.

Ένα ποτάμι που διασχίζει μία ορεινή περιοχή και περνά από απότομες χαράδρες με μεγάλη κλίση, μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ιζημάτων. Όταν ξαφνικά φθάσει σε μια σχεδόν επίπεδη πεδιάδα, η κλίση του μειώνεται απότομα και χάνει την ικανότητα μεταφοράς του φορτίου, οπότε το αποθέτει. Το υλικό που αποτίθεται παίρνει το σχήμα βεντάλιας (ριπιδίου) και έτσι δημιουργείται μια αλλουβιακή ριπιδιοειδής απόθεση στη βάση της απότομης κλιτύος. Οι κλιτύες του ριπιδίου σχηματίζουν εξωτερικά ένα τόξο, με κορυφή την άκρη της χαράδρας. Η κλίση των κλιτύων του αλλουβιακού ριπιδίου είναι της τάξης των 3°- 6°. Αν η κλίση είναι μεγαλύτερη και φθάνει τις 15°, τότε ο σχηματισμός ονομάζεται **αλλουβιακός κώνος**.

Όταν πολλά γειτονικά ποτάμια ξεχύνονται στους πρόποδες του βουνού, οι αποθέσεις τους μπορεί να συνενωθούν και να δημιουργήσουν μια **αλλουβιακή πεδιάδα** (Σχ. 46).



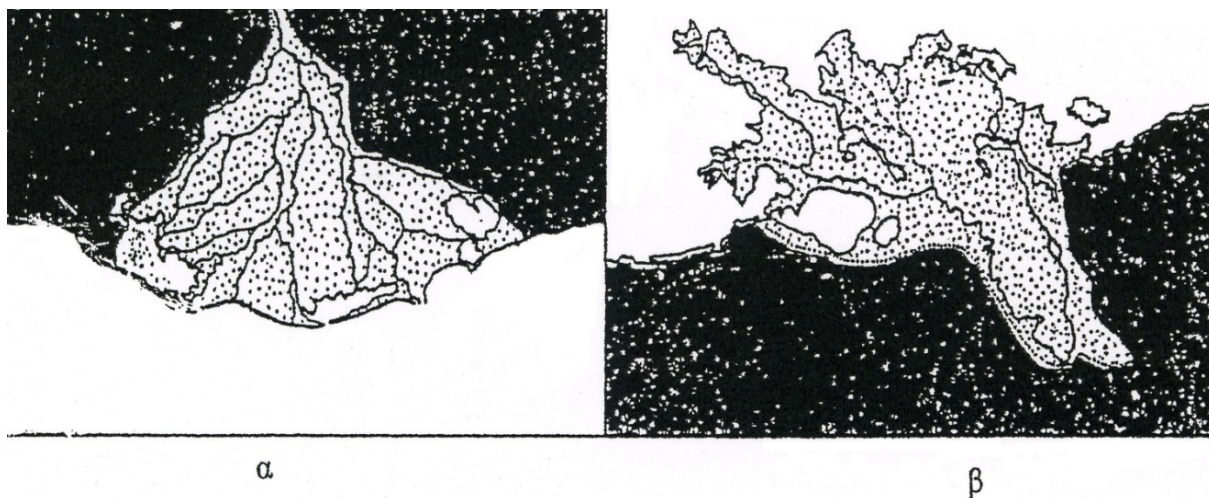
Σχ. 46 Στους πρόποδες του βουνού αναπτύσσεται αλλουβιακή πεδιάδα η οποία στη συνέχεια διαβρώνεται από τα ρεύματα που τη διασχίζουν.

8.8. Δέλτα

Καθώς ένας ποταμός εισέρχεται σε μια λίμνη ή τη θάλασσα, η ταχύτητά του μειώνεται απότομα και συνεπώς και η μεταφορική του ικανότητα και αποθέτει το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου του σχηματίζοντας ένα **δέλτα**. Η δημιουργία του δέλτα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι ο όγκος των προσφερομένων ιζημάτων και η ταχύτητα απομάκρυνσης των αποθέσεων αυτών από τα θαλάσσια ρεύματα, τα κύματα ή τις παλίρροιες. Επίσης, η διαφορά αλατότητας, όπως συμβαίνει όταν ένας ποταμός χύνεται σε μια αλμυρή λίμνη, προκαλεί κροκίδωση των αιωρούμενων σωματιδίων της αργίλου με αποτέλεσμα να κατακρημνίζεται γρήγορα και να γίνεται μια απότομη ιζηματογένεση. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το δέλτα του ποταμού Τέρεκ που χύνεται στην Κασπία θάλασσα.

Τα νερά της Κασπίας και τα νερά του Τέρεκ έχουν περίπου την ίδια πυκνότητα και στην περίπτωση αυτή, όπως και σε άλλες ανάλογες, το δέλτα που δημιουργείται έχει σχήμα τόξου (arcuate delta) (Σχ.47β). Όταν η εκβολή αποφραχθεί από τα ιζήματα, τότε δημιουργούνται νέες κοίτες. Αν το νερό του ποταμού είναι λιγότερο πυκνό από της θάλασσας ή της λίμνης, συνεχίζει τη ροή του πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας και επειδή η ταχύτητά του μειώνεται πλευρικά, αποθέτει στα σημεία αυτά το φορτίο του, δημιουργώντας χαμηλά

αναχώματα. Ο τύπος αυτός των δέλτα μοιάζει με πόδι πτηνού και ονομάζεται πελματοειδές δέλτα (birdfoot delta, Σχ 47α).



Σχ:47. α) Το δέλτα του Μισισσιπή, πελματοειδές. β) Το δέλτα του Νείλου, τοξωτό. (Hampling, 1978)

Ανακεφαλαιώνοντας θα αναφέρουμε τις τρεις περιπτώσεις σχηματισμού δέλτα.

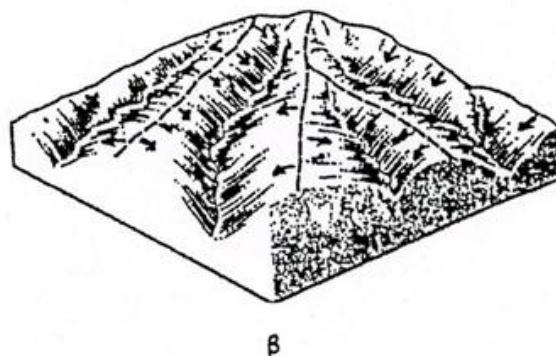
- α) Αν το ποτάμιο νερό είναι πιο πυκνό, εξαιτίας του περιεχομένου φορτίου, από το θαλασσινό, σχηματίζεται μια επιμήκης απόθεση, το **επίμηκες δέλτα**.
- β) Αν το ποτάμιο νερό έχει περίπου την ίδια πυκνότητα με το θαλασσινό, διασκορπίζεται και σχηματίζεται το **τοξωτό δέλτα** (π.χ. Νείλος, Τέρεκ).
- γ) Αν το ποτάμιο νερό έχει μικρότερη πυκνότητα από το θαλασσινό, δημιουργείται το **πελματοειδές δέλτα** (π.χ. Μισισσιπή Σχ. 47).

Ο σχηματισμός των δέλτα προκαλεί μεταβολή στις γραμμές ακτών, με την εποικοδόμηση ξηράς.

8.9. Υδρογραφικό σύστημα

Η διάβρωση, η αποσάθρωση και η κινήσεις μαζών που προκαλούνται από τη δράση των ποταμών, δεν προκαλούν μόνο μεταφορά και απόθεση ιζημάτων, αλλά διαμορφώνουν την επιφάνεια και δημιουργούν συστήματα κοιλάδων. Αν παρατηρήσουμε μια εκτεταμένη περιοχή, βλέπουμε κοιλάδες, που έχουν δημιουργηθεί από διάβρωση να διαχωρίζονται από υψηλότερες περιοχές, τις οποίες η διάβρωση δεν έχει ακόμη εξαλείψει. Η μορφολογία αυτή

έχει δημιουργηθεί από τη διαβρωτική δράση των ίδιων των ποταμών που τις διασχίζουν ή ποταμών που μπορεί ήδη να τις έχουν εγκαταλείψει. Κάθε ποταμός ή κάθε σύνολο ποταμού με τους παραποτάμους του έχει τη δική του **λεκάνη απορροής**, (Σχ.48) που αποτελείται από τη συνολική περιοχή όπου τα νερά αποστραγγίζονται σ' αυτόν τον ποταμό.



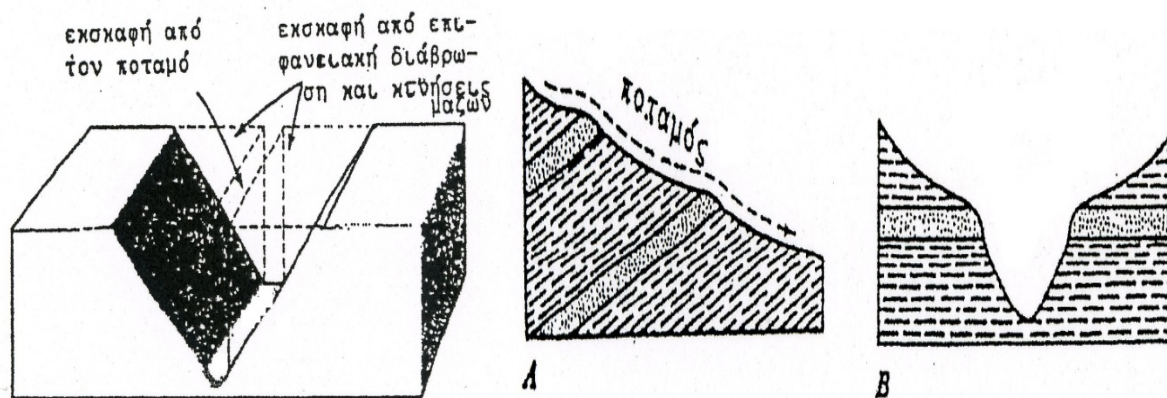
α

Σχ.48. α) Η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό σύστημα ποταμού. β) Τα βέλη δείχνουν τη φορά ροής των νερών στις πλαγιές. Η διακεκομμένη γραμμή σημειώνει τον υδροκρίτη (από Flint and Skinner, 1975).

Η λεκάνη απορροής λέγεται επίσης **υδρογραφική ή υδρολογική λεκάνη**. Αν συνδέσουμε τα υψηλότερα σημεία που περιβάλλουν τη λεκάνη απορροής, προκύπτει μια νοητή γραμμή που καθορίζει τα όρια της λεκάνης. Η γραμμή αυτή λέγεται **υδροκρίτης**. Κάθε κύριος κλάδος μιας ομάδας παραποτάμων καθορίζει τη δική του λεκάνη απορροής, που ανήκει στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του ποτάμιου συστήματος, στο οποίο ανήκει και ο παραπόταμος. Το μήκος των ρευμάτων, την έκταση της λεκάνης απορροής τους και τον αριθμό των παραποτάμων που αναπτύσσονται, διέπουν μαθηματικές σχέσεις. Οι σχέσεις αυτές δείχνουν ότι για μια ορισμένη ποσότητα νερού που αποστραγγίζεται από μια ορισμένη περιοχή, αναπτύσσονται τόσα ρεύματα με ανάλογο μήκος κλάδων, ώστε να αποστραγγίζεται επαρκώς κάθε τμήμα της επιφάνειας.

Ποσοτικές αναλύσεις τόσο των ποτάμιων συστημάτων όσο και των λεκανών απορροής, δίνουν πληροφορίες για το στάδιο εξέλιξης και την υφή αποστράγγισης. Ως υφή

αποστράγγισης θεωρούμε το συνολικό αριθμό ρευμάτων που συναντώνται σε δεδομένη επιφάνεια. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την υφή αποστράγγισης είναι: το είδος των πετρωμάτων, η διαπερατότητά τους, η τεκτονική, οι βροχοπτώσεις και η βλάστηση.



Σχ. 49. Το σχήμα απεικονίζει την εξσκαφή της κοίτης από τον ποταμό, με επιφανειακή και σε βάθος διάβρωση, καθώς και με κινήσεις μαζών. Τα ανθεκτικότερα πετρώματα διαβρώνονται δυσκολότερα και δημιουργούν προεξοχές. Α. Ο ποταμός κυλάει κατά μήκος της κλιτύς και Β. σκάβει εγκάρσια την κοίτη του (Flint and Skinner, 1975).

8.10. Εξσκαφή των κοιλάδων

Τα ποτάμια διαμορφώνουν την κοίτη τους και τις κοιλάδες από τις οποίες περνούν. Αν το νερό έσκαβε μόνο την κοίτη, θα δημιουργούσε κοιλάδες στενές με απότομες κλιτύς, όπως συμβαίνει όταν πριονίζουμε ένα ξύλο (Σχ. 49). Ο σχηματισμός όμως των κοιλάδων περιλαμβάνει, εκτός από την κατά βάθος εξσκαφή του πυθμένα, επιφανειακή διάβρωση και κινήσεις μαζών, όπως είναι οι κατολισθήσεις αποσαθρωμάτων. Καθορίζεται επίσης από το είδος των πετρωμάτων, τη διαδοχή τους και τη δομή τους.

Όταν ένας ποταμός κυλάει πάνω σε διαφορετικής ανθεκτικότητας πετρώματα, η επιμήκης τομή που προκύπτει είναι απότομη ή παρουσιάζει κλιμακώσεις. Το ίδιο συμβαίνει και αν η κοίτη εκβαθύνεται κατακόρυφα και συναντήσει αυτούς τους σχηματισμούς (Σχ. 59).

Όταν ένας ποταμός διασχίζει ευκολοδιάβρωτα πετρώματα, τότε δημιουργείται μια ευρεία κοιτή, γιατί εκτός από την κατά βάθος διάβρωση δημιουργείται και ροή αποσαθρωμάτων.

8.11. Οι ποταμοί και οι κοιλάδες τους,

Κάθε ποταμός κυλάει πάνω σε μια πλαγιά που είχε ήδη σχηματιστεί από κινήσεις του φλοιού της Γης ή από συγκέντρωση ηφαιστειακού υλικού. Οι κλιτύες, αυτές, χαρακτηρίζονται σαν **προκαθορισμένες** (consequent). Οι ποταμοί που δημιουργούνται πάνω στις πλαγιές αυτές και των οποίων ο σχηματισμός καθορίζεται από την κλίση των κλιτύων, ονομάζονται **προκαθορισμένοι**. Προκαθορισμένη ονομάζεται επίσης και η αντίστοιχη ποτάμια κοιλάδα.

Οι πιο πολλοί ποταμοί εκβάλουν σε λίμνες ή θάλασσες. Οι πλαγιές των νέων κοιλάδων αποτελούν δευτερογενείς πλαγιές. Οι ποταμοί και οι κοιλάδες τους χαρακτηρίζονται σαν **ημικαθορισμένοι** (subsequent). Στις νέες αυτές πλαγιές δημιουργούνται νέες ομάδες από παραποτάμους. Η διαπλάτυνση των κοιλάδων γίνεται με τους τρόπους που αναφέραμε και το τελικό σχήμα της κοιλάδας σε εγκάρσια τομή μοιάζει με το γράμμα **V**.

Οι χαράδρες που δημιουργήθηκαν από τους ίδιους τους ποταμούς (όπως τα κατακόρυφα τοιχώματα των χαραδρών και οι πλαγιές ολίσθησης) χαρακτηρίζονται ως πρωτογενείς.

Οι πλαγιές που δημιουργούνται από την αποσάθρωση και διάβρωση των πρωτογενών πλαγιών χαρακτηρίζονται σαν δευτερογενείς. Η εκσκαφή κατά βάθος μιας κοιλάδας συνοδεύεται και από υποχώρηση των κλιτύων. Οι κλιτύες κλίνουν προς τον ποταμό.

Οι πλαγιές ανάμεσα σε δύο κοιλάδες σχεδόν παράλληλες, καθώς υποχωρούν από τη διάβρωση, πλησιάζουν και οι υδροκρίτες τους τείνουν να ενωθούν και να σχηματίσουν μια οξύληκτη διαχωριστική γραμμή. Όσο φθείρονται οι πλαγιές, τόσο χαμηλώνει ο υδροκρίτης. Συγχρόνως ο κύριος υδροκρίτης συναντάται με τους πλάγιους, που βρίσκονται ανάμεσα στους παραποτάμους και οι πλαγιές υποχωρούν προς όλες τις διευθύνσεις. Στο τέλος, η μορφολογία της περιοχής αλλάζει τελείως. Η περιοχή γίνεται σχεδόν επίπεδη, πανεπίπεδο (paneplain) και στη θέση των υψηλότερων περιοχών απομένουν υπολείμματα χέρσου διαφόρων σχημάτων, ράχες, πυργοειδείς σχηματισμοί, οροπέδια, λοφώδεις περιοχές κλπ.

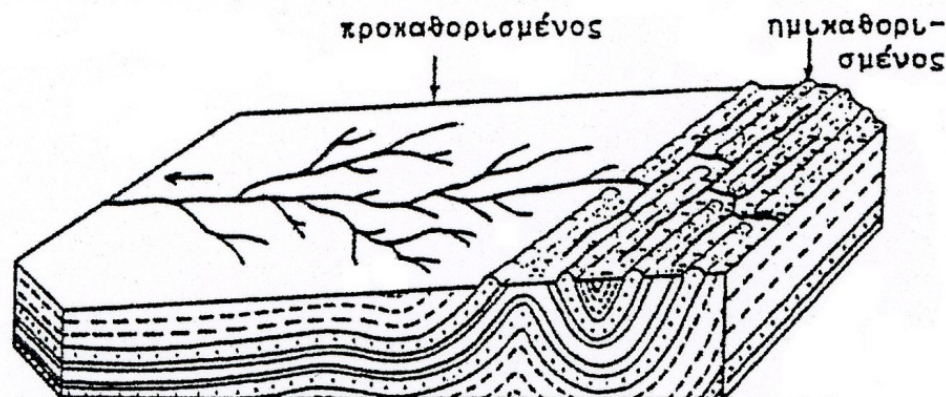
8.12. Ταξινόμηση των ποταμών

Τους ποταμούς, ανάλογα με την προέλευσή τους και τα άλλα χαρακτηριστικά τους, τους ταξινομούμε ως εξής:

Προκαθορισμένος (consequent) λέγεται ο ποταμός του οποίου ο σχηματισμός καθορίζεται από την κλίση της πλαγιάς, πάνω στην οποία κυλάει (Σχ.50).

Ημικαθορισμένος (subsequent) λέγεται ο παραπόταμος του οποίου η ανάπτυξη προσαρμόζεται στη δομή των πετρωμάτων που δομούν την κλιτύ πάνω στην οποία κυλάει.

Ελεύθεροι (insequent) λέγονται οι παραπόταμοι των οποίων η ανάπτυξη ρυθμίζεται αρχικά από τη γενική κλίση της πλαγιάς.



Σχ. 50 Κατά τη φορά κλίσεως αναπτύσσεται ο προκαθορισμένος ποταμός με τους παραποτάμους, ο οποίος σχηματίζει δενδριτικό υδρογραφικό δίκτυο, ενώ κατά μήκος των επιπέδων στρώσεως αναπτύσσονται οι ημικαθορισμένοι, με ορθογώνιο σχήμα υδρογραφικού δικτύου (από Flint and Skinner, 1975).

Επιγενετικός (superposed ή superimposed) λέγεται ο ποταμός που κυλάει σήμερα πάνω σε πετρώματα, υποκείμενα αυτών που έρεε σε παλιότερο στάδιο. Αυτό γίνεται φανερό γιατί το ποτάμι έχει διατηρήσει και αποτυπώσει τα χαρακτηριστικά που είχαν διαμορφωθεί από πετρώματα με διαφορετική δομή και σύσταση απ' αυτών που είναι σήμερα στην επιφάνεια.

Όπως αναφέραμε πιο πάνω, η επιφάνεια της Γης έχει υποστεί διαδοχικές μεταβολές από την επίδραση των ποταμών και γενικά του νερού που κυλάει στην επιφάνεια. Κατά τον

Davis, οι μεταβολές αυτές μπορούν να περιγραφούν σε ομάδες που έλαβαν χώρα σε διάφορα στάδια εξέλιξης. Τα στάδια αυτά τα ονομάζουμε **νεότητα, ωριμότητα και γήρας**. Τα στάδια αυτά διαφέρουν από τα αντίστοιχα στάδια της ζωής των οργανισμών γενικά, για τον κυριότερο λόγο ότι στον ποτάμιο κύκλο τα στάδια αυτά μπορεί να συνυπάρχουν. Δηλαδή τα διάφορα τμήματα κατά μήκος της κοίτης ενός ποταμού μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικό στάδιο εξέλιξης, όπως π.χ. η περιοχή των πηγών να βρίσκεται σε στάδιο νεότητας, ενώ οι εκβολές σε στάδιο ωριμότητας ή γήρατος. Επίσης είναι δυνατόν να διακοπεί η ομαλή εξέλιξη ενός σταδίου και να επαναληφθεί αργότερα ή να αρχίσει εκ νέου η εξέλιξη σε ένα τμήμα του ποταμού, από ένα πιο αρχικό στάδιο. Θα περιγράψουμε πιο κάτω τα χαρακτηριστικά κάθε σταδίου.

Νεότητα. Η νεότητα αρχίζει ιδανικά με τον κατατεμαχισμό ενός οροπεδίου ή μιας πτυχωμένης περιοχής. Στο στάδιο αυτό, η κοιλάδα βαθαίνει και αναπτύσσεται προς το πάνω τμήμα της (ανάντη, δηλ. αντίθετα προς τη ροή). Οι ποταμοί έχουν μεγάλες ταχύτητες και ανώμαλες κλίσεις. Οι κλιμακώσεις, οι καταρράκτες, οι απότομες κοιλάδες και οι λίμνες αποτελούν έντονα χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Η ανάπτυξη των παραποτάμων είναι γρήγορη και συναγωνίζονται να καταλάβουν μεγαλύτερη περιοχή αποστραγγίσεως. Ανάμεσα στις κοιλάδες διατηρούνται ακόμη περιοχές της αρχικής επιφάνειας, οι μεσοποτάμιες περιοχές.

Ωριμότητα Το στάδιο της νεότητας τελειώνει και αρχίζει το στάδιο ωριμότητας, όταν το ανάγλυφο έχει φθάσει στη μεγαλύτερή του ανάπτυξη. Η επιφάνεια έχει χαμηλώσει αργά προς το βασικό επίπεδο, η διάβρωση έχει επιβραδυνθεί ελαφρά, οι κλιμακώσεις έχουν εξομαλυνθεί και οι κλιτύες είναι λιγότερο απότομες.

Γήρας. Το γήρας αρχίζει από τις παράκτιες περιοχές. Η επιφάνεια γίνεται σχεδόν επίπεδη "peneplain" (πανεπίπεδο), με γενική κλίση προς τη θάλασσα. Οι ποταμοί έχουν μαιανδρική πορεία. Οι υδροκρίτες καταστρέφονται και απομένουν υπολειμματικοί σχηματισμοί. Ο κύκλος διάβρωσης των ποταμών μπορεί να διακοπεί σε κάποιο στάδιο, εξαιτίας ενδογενών δυνάμεων και να επανέλθει σε νεώτερο στάδιο διάβρωσης.

Πρέπει να σημειώσουμε, ότι οι γεωμορφές που περιγράψαμε στην ποτάμια διάβρωση παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις σε περιοχές με κλίμα ξηρό ή πολύ ξηρό.

8.13. Ισοστατική εξισορρόπηση της απογύμνωσης

Μέχρι τώρα περιγράψαμε την απογύμνωση και την καταστροφή της, ξηράς από διάφορους, παράγοντες και αγνοήσαμε τους νόμους της ισοστασίας. Όταν απομακρύνεται υλικό από μια περιοχή, μια αργή ισοστατική ανύψωση επαναφέρει την ισορροπία. Αν υποθέσουμε ότι απομακρύνθηκε από μια περιοχή ένα πέτρωμα πάχους **300 m** και πυκνότητας **2,6 gr/cm³**, τότε εισρέει υλικό στο βάθος, με πάχος **H** και πυκνότητα **3,4 gr/cm³**. Η συνθήκη που διατηρεί την ισορροπία είναι **3,4·H=2,6·300m**. Από τον τύπο αυτό, γίνεται φανερό ότι για να μειωθεί τελικά το ύψος μιας περιοχής κατά 300 m, το πάχος του πετρώματος που πρέπει να απογυμνωθεί δεν είναι 300 m, αλλά τετραπλάσιο. Ανυψώσεις αυτού του είδους συμβαίνουν, με αποτέλεσμα στο τέλος του σταδίου νεότητας οι κορυφές και οι υδροκρίτες να βρίσκονται υψηλότερα από την αρχική επιφάνεια.

8.14. Διακοπή της απογύμνωσης

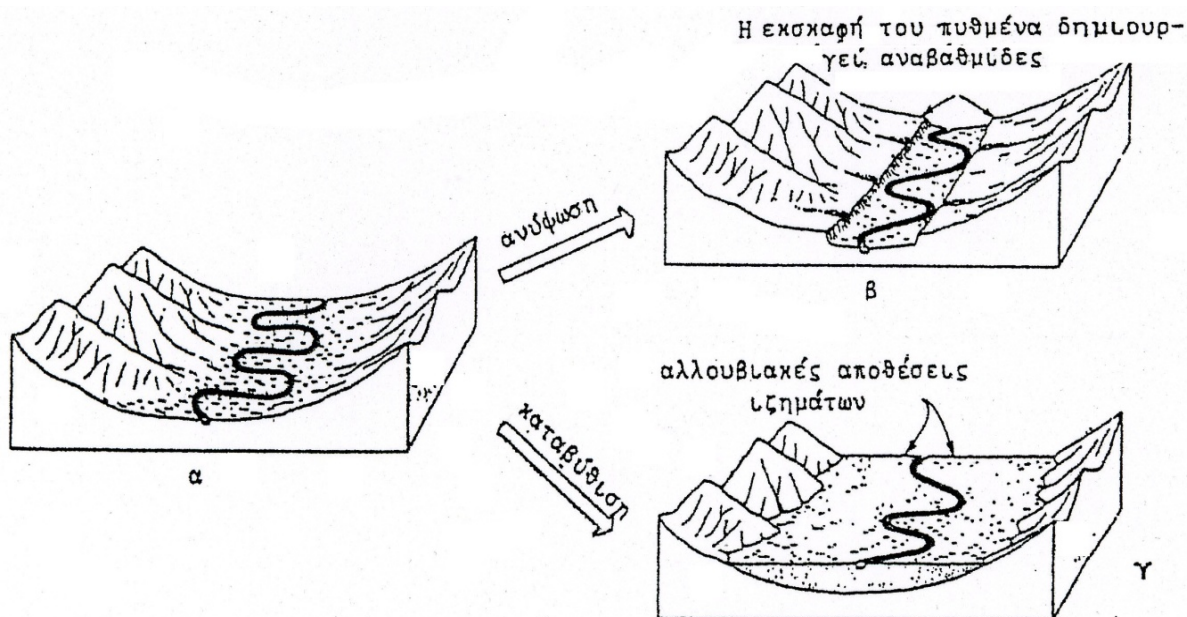
Τα στάδια εξέλιξης του ποτάμιου κύκλου που περιγράψαμε είναι συνεχή και διαδοχικά. Παρ' όλα αυτά αν παρατηρήσουμε προσεκτικά την εξέλιξη σε μια περιοχή, βλέπουμε ότι αυτή διακόπτεται και η διάβρωση επιβραδύνεται ή επιταχύνεται. Η διακοπή αυτή μπορεί να οφείλεται σε κινήσεις του φλοιού της Γης, λιώσιμο ή δημιουργία παγετώνων και τέλος στις κλιματικές μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές προκαλούν μεταβολή του βασικού επιπέδου (Σχ. 51). Η ανύψωση του βασικού επιπέδου προκαλεί διακοπή της διάβρωσης και αρχή ιζηματογένεσης. Αν καταβυθιστούν οι παράκτιες περιοχές, η θάλασσα καταλαμβάνει τα χαμηλότερα τμήματα των κοιλάδων και σχηματίζονται κολπίσκοι, εκτός αν με την ιζηματογένεση αναπτυχθούν πεδία πλημμύρας. Οι παραπόταμοι χύνονται κατευθείαν στα αβαθή νερά των εκβολών και αν δεν μπορούν να περιορίσουν την ανάπτυξη εμποδίων στις εκβολές τους, γεμίζουν με ιζήματα και γίνονται χώροι κατάλληλοι για την ανάπτυξη τυρφογενών φυτών.

Η ταπείνωση του βασικού επιπέδου αυξάνει τη διαβρωτική ικανότητα και ο ποταμός αρχίζει νέα διάβρωση, ώστε να αποκτήσει πάλι εξισορροπημένη ροή. Το χαμήλωμα του βασικού επιπέδου προκαλεί ανανέωση της περιοχής και οι ποταμοί ονομάζονται **ανανεωμένοι**. Η αλλαγή αρχίζει με αποκατάσταση χαρακτηριστικών νεότητας. Η κλίση του ρεύματος μεγαλώνει και προκαλείται **οπισθοδρομούσα διάβρωση**, δηλ. διάβρωση για

επέκταση της κοίτης ανάντη. Όταν ανανεωθεί μια περιοχή στην οποία έχει αναπτυχθεί πεδίο πλημμύρας, ο ποταμός σκάβει τις αποθέσεις του και προχωρεί στα υποκείμενα πετρώματα. Η θέση της παλιάς κοίτης παραμένει σαν σκαλοπάτι από τη μια και την άλλη πλευρά της όχθης, πάνω από το νέο επίπεδο του ποταμού. Τα σκαλοπάτια αυτά ονομάζονται **αναβαθμίδες** (Σχ.51, 52). Μετά από αρκετό διάστημα, ένα νέο πεδίο πλημμύρας δημιουργείται μέσα στο πρώτο. Αν ακολουθήσουν και άλλες ανανεώσεις, θα δημιουργηθούν στις πλευρές της κοιλάδας και άλλα ζευγάρια αναβαθμίδων. Νεότερες είναι οι αναβαθμίδες που βρίσκονται χαμηλότερα και παλιότερες αυτές που είναι υψηλότερα. Αν ανανεωθεί μια περιοχή όπου ο ποταμός είχε μαιανδρική πορεία, τότε ακολουθεί μεν την πορεία που έχει χαράξει, αλλά διαβρώνει κατά βάθος την κοίτη του και μπορεί να φθάσει σε υποκείμενο σκληρότερο πέτρωμα. Οι μαιάνδροι αυτοί έχουν πολύ ψηλές όχθες και ονομάζονται **εγκιβωτισμένοι** (entrenched) ή **μαϊάνδροι δεύτερης γενιάς**. Είναι φανερό ότι δημιουργήθηκαν σε ένα πέτρωμα με διαφορετική αντοχή στη διάβρωση.

Σε ορισμένες περιοχές παρατηρούνται χαρακτηριστικά που μαρτυρούν ότι η εξέλιξή τους δεν ήταν ομαλή και συνεχής, αλλά περίοδοι με σχετική σταθερότητα διακόπτονταν από διαδοχικές ανυψώσεις με περιόδους άλλοτε επιβράδυνσης και άλλοτε επιτάχυνσης της διάβρωσης ή ακόμη και από τοπικές αναστροφές. Οι περίοδοι σταθερότητας ήταν σύντομες, για να μπορέσει να συμπληρωθεί ένας κύκλος σε μεγάλη έκταση. Η κατανομή των θαλάσσιων αναβαθμίδων, οι απότομες επιφάνειες ανάμεσα σε ψηλές και χαμηλές περιοχές, δείχνουν ότι πρόκειται για μια σειρά από κύκλους διάβρωσης που δεν έχουν ωθεί και ο ένας καλύπτει τον άλλο. Οι περιοχές αυτές περιγράφονται σαν **πολυκυκλικές**.

Όσα αναφέραμε πιο πάνω αποτελούν πολύτιμες μοεροφοτεκτονικές παρατηρήσεις και δίνουν πολύ χρήσιμα στοιχεία για την εξέλιξη και την νεοτεκτονική δραστηριότητα στις περιοχές αυτές.



Σχ. 51 Στο σχήμα φαίνονται τα αποτελέσματα της διακοπής της εξέλιξης: α) Στάδιο στο οποίο διακόπηκε η εξέλιξη, β) ανύψωση, γ) καταβύθιση (από Flint and Skinner, 1975).



Σχ. 52 Μαϊάνδρος με ποτάμια αναβαθμίδα.

9. ΠΑΓΕΤΩΔΗΣ ΔΡΑΣΗ

Στα προηγούμενα κεφάλαια εξετάσαμε τη δράση του κινούμενου νερού ως μορφογενετικού παράγοντα. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τη στερεή του φάση, τον πάγο, που αποτελεί τους παγετώνες. Οι παγετώνες καλύπτουν σήμερα το 1/10 περίπου της γήινης επιφάνειας.

Αρκετές φορές κατά το παρελθόν, οι παγετώνες είχαν διακόψει τον ομαλό υδρολογικό κύκλο σ' ένα πολύ μεγάλο μέρος της γήινης επιφάνειας. Το νερό μπαίνει στον παγετώδη κύκλο σαν χιόνι, ανακρυσταλλώνεται μεταπίπτοντας σε πάγο και επανέρχεται στην υγρή φάση με την τήξη.

Η δράση των παγετώνων αποτέλεσε έναν σημαντικό μορφογενετικό παράγοντα για δυο λόγους. Ο ένας είναι άμεσος, η διαβρωτική δράση των παγετώνων και η δημιουργία χαρακτηριστικών γεωμορφών, με σχετικά τοπικό χαρακτήρα. Ο άλλος είναι πιο σημαντικός εξαιτίας του παγκόσμιου χαρακτήρα του, που είναι η επίδραση τους στη μεταβολή, άνοδο ή πτώση της στάθμης της θάλασσας. Η στάθμη της θάλασσας ελέγχει τη διαμόρφωση των ακτογραμμών, την ύπαρξη και το μέγεθος των νησιών, την ικανότητα και το βαθμό διάβρωσης ή απόθεσης των ποταμών, καθώς επίσης τη διαμόρφωση της βλάστησης, τη μετανάστευση των ζώων και γενικά του κλίματος και της ζωής των ανθρώπων.

Παγετώνας είναι ένα σώμα πάγου, που αποτελείται από ανακρυσταλλωμένο χιόνι, το οποίο κυλάει στην επιφάνεια της Γης. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη δημιουργία παγετώνων είναι η ετήσια συσσώρευση χιονιού να είναι μεγαλύτερη από την απώλεια που οφείλεται στην τήξη και την εξάτμισή του. Όταν ο πάγος αποκτήσει αρκετό πάχος, αρχίζει να κυλάει κατά τη διεύθυνση κλίσεως και σχηματίζονται παγετώνες. Οι παγετώνες ολισθαίνουν πάνω σ' ένα στρώμα νερού, που δημιουργείται από την τήξη τους εξαιτίας του βάρους τους. Το κατώτερο άκρο του παγετώνα, όπου το χιόνι δεν λιώνει το καλοκαίρι αλλά διατηρείται για σειρά ετών, λέγεται **γραμμή χιονιού**. Πάνω από τη γραμμή χιονιού εκτείνονται παγετώνες ή καλύμματα πάγου. Διακρίνονται διάφοροι τύποι παγετώνων. Θα αναφέρουμε τους κυριότερους.

α) **Ηπειρωτικοί παγετώνες ή εκτεταμένα στρώματα πάγου.** Είναι εκτεταμένοι παγετώνες ακανόνιστου σχήματος, που καλύπτουν μεγάλες περιοχές. Είναι εκτεταμένοι παγετώνες ακανόνιστου σχήματος, που καλύπτουν μεγάλες περιοχές. Τα μικρού μεγέθους στρώματα πάγου ονομάζονται **καλύμματα πάγου**. Ηπειρωτικοί παγετώνες καλύπτουν την Γροιλανδία και την Ανταρκτική. Ο παγετώνας της Γροιλανδίας καταλαμβάνει έκταση $1.726.000 \text{ km}^2$. Έχει πάχος 3 km και το υψηλότερο σημείο του έχει ύψος 3.000 m . Γεωφυσικές έρευνες έδειξαν ότι ο φλοιός, κάτω από το τεράστιο βάρος του παγετώνα, έχει καμφθεί. Ο παγετώνας της Ανταρκτικής είναι ακόμη μεγαλύτερος και αντιπροσωπεύει το 84% της έκτασης των σημερινών παγετώνων. Αν υπολογίσουμε και το τμήμα που επιπλέει στη θάλασσα, η έκτασή του είναι ίση με $1,4$ φορές της έκτασης των Η.Π.Α. Ο όγκος του υπολογίζεται σε $24.000.000 \text{ km}^3$ και το μέγιστο πάχος του σε 4 km .

Σχ. 53. Παγετώνες κοιλάδων. Διακρίνονται οι οξύληκτοι υδροκρίτες (Arête) και



διακρίνεται η συμβολή των παγετώνων κοιλάδων. Με τον αριθμό 1 σημειώνεται μια κοιλότητα που ονομάζεται cirque.

Παγετώνες κοιλάδων. Είναι οι παγετώνες που διασχίζουν προϋπάρχουσες κοιλάδες και βρίσκονται υψηλότερα από τη γραμμή χιονιού(Σχ.53).

Παγετώνες κρασπέδων. Είναι οι παγετώνες που βρίσκονται στους πρόποδες των βουνών και τροφοδοτούνται από παγετώνες κοιλάδων. Συνήθως βρίσκονται κάτω από τη γραμμή χιονιού. Οι παγετώνες κινούνται κατά τη διεύθυνση κλίσεως και η ταχύτητά τους μεταβάλλεται με το χρόνο και την κλίση. Αν κάνουμε μια τομή σ' έναν παγετώνα, βλέπουμε ότι η ταχύτητα είναι μικρότερη στον πυθμένα, εξαιτίας της τριβής και μεγαλύτερη στην επιφάνεια. Επίσης, στις άκρες του παγετώνα η κίνηση είναι βραδύτερη απ' ότι στο κέντρο. Οι διαφορές αυτές στην ταχύτητα, έχουν σαν αποτέλεσμα η επιφάνεια του παγετώνα να μην είναι λεία, αλλά να παρουσιάζει κυματοειδή μορφή και να έχει ρωγμές εγκάρσιες και επιμήκειες (crevasses). Επίσης, στο ανώτερο τμήμα του παγετώνα παρατηρούνται βαθιές και πλατιές ρωγμές, που ονομάζονται ρωγμές απόσπασης (bergschund).

9.15. Παγετώδης διάβρωση

Η διαβρωτική δράση των παγετώνων είναι πολύ έντονη. Στο πέραςμα του ο παγετώνας παρασύρει υλικά του μανδύα αποσαθρωμάτων, αποσπά κομμάτια από το υπόβαθρο, ιδίως όπου υπάρχουν διακλάσεις, χαράζει και λειαινεί τα πετρώματα και τα κατάλοιπά τους, τα οποία σμικρύνονται κατά τη μεταφορά. Μετά την απομάκρυνση του παγετώνα, χαρακτηριστικές χαραγές στα πετρώματα και αποθέσεις μαρτυρούν το πέραςμά του. Τα υλικά που μεταφέρει ο παγετώνας είναι διαφόρων μεγεθών, από γωνιώδεις ογκολίθους έως λεπτή άμμο ή άργιλο. Τα ευμεγέθη υλικά ονομάζονται **λιθώνες**, ενώ η άμμος ή η άργιλος **πετρώδης σκόνη**. Η πετρώδης σκόνη διαφέρει από τα προϊόντα της χημικής αποσάθρωσης γιατί είναι πιο αποστρογγυλωμένη. Βρίσκεται δε και στα ιζήματα περιοχών που δεν έχουν υποστεί παγετώδη διάβρωση.

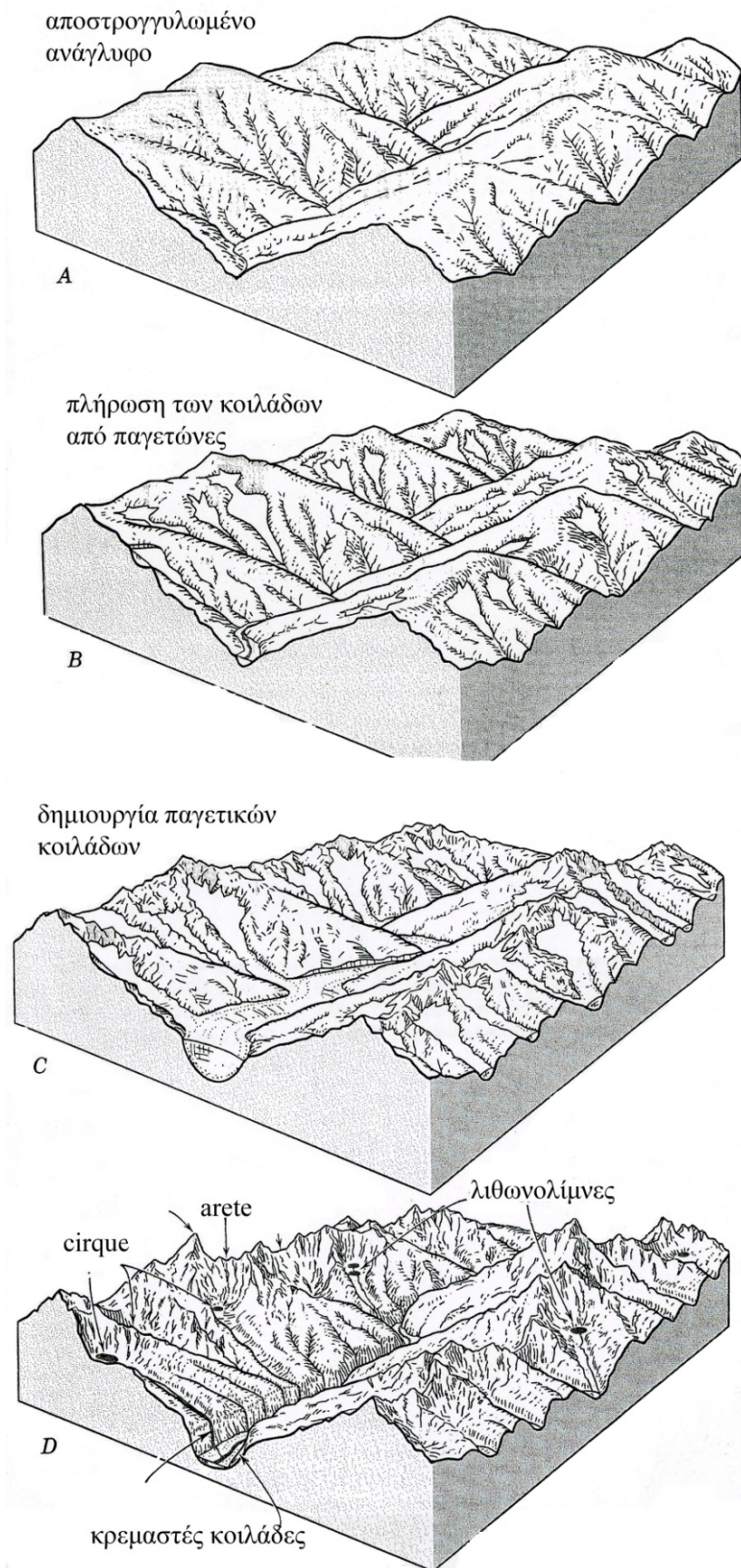
Η μορφολογία των περιοχών που έχουν υποστεί την παγετώδη διάβρωση είναι χαρακτηριστική. Με την έναρξη μιας ψυχρής περιόδου, χιόνια και πάγοι αρχίζουν να καλύπτουν τα υψηλότερα τμήματα μιας περιοχής, που το ανάγλυφό της έχει διαμορφωθεί από την ποτάμιο διάβρωση και σιγά-σιγά επεκτείνονται στα χαμηλότερα τμήματα. Στο ανώτερο τμήμα των κοιλάδων, οι πάγοι όταν αποκτήσουν αρκετό πάχος, με τον παγετό και την απόσπαση πετρωμάτων δημιουργούν γιγάντιες κοιλότητες με απότομες κλιτύες (διεθνώς

αναφέρονται ως *cirque*¹) (Σχ.54). Με την έντονη παγετώδη διάβρωση οι πυθμένες των κοιλάδων πλαταίνουν και βαθαίνουν, αποκτώντας τελικά ένα ημικυκλικό σχήμα και χαρακτηρίζονται σαν κοιλάδες σχήματος **U**. Οι δευτερεύουσες (παραποτάμιες) κοιλάδες βαθαίνουν λιγότερο, εξαιτίας της μικρότερης διαβρωτικής ικανότητας των παγετώνων που τις διασχίζουν απ' ότι την κύρια κοιλάδα, με αποτέλεσμα ο πυθμένας τους να βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερο υψόμετρο σε σχέση με την κύρια και ονομάζονται **κρεμαστές κοιλάδες**.

Οι κορυφές των βουνών και οι υδροκρίτες είναι οξύληκτοι και οδοντωτοί (Σχ.54). Στη παγετώδη διάβρωση η θάλασσα δεν αποτελεί το βασικό επίπεδο, γιατί ο πάγος ως ελαφρότερος του νερού (ε.β. 0,9) μπορεί να συνεχίζει τη διαβρωτική του δράση και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, μέχρι το βάθος που αρχίζει να επιπλέει εξαιτίας της άνωσης. Έτσι, η δράση της παγετώδους διάβρωσης εξαρτάται από την τοπογραφία, το είδος του υποβάθρου και την ταχύτητα του πάγου. Μετά το λιώσιμο των παγετώνων, η περιοχή έχει αποτυπωμένα τα χαρακτηριστικά της παγετώδους δράσεως. Στις γιγάντιες κοιλάδες, πολλές φορές δημιουργούνται λίμνες και οι ποταμοί αρχίζουν πάλι τη διαβρωτική τους δράση. Οι παραπόταμοι που διασχίζουν τις κρεμαστές κοιλάδες χύνονται στον κύριο ποταμό, σχηματίζοντας καταρράκτες. Την περιοχή των Μεγάλων Λιμνών των Η.Π.Α. αποτελούν περιοχές που έχουν διαμορφωθεί με τον τρόπο που αναφέραμε. Εκτός όμως από τις διαβρωσιγενείς μορφές που περιγράψαμε, δημιουργούνται και παγετικές αποθέσεις. Στις κοιλάδες αποτίθενται **σωροί λιθώνων**, διαφόρων σχημάτων, όπως **φακοειδείς λιθώνες** (drumlins), **κωνοειδείς λιθώνες** (Kames), **επιμήκεις ελικοειδείς σωροί λιθώνων** (eskers) κλπ. ή απομονωμένοι όγκοι με χαρακτηριστικές γραμμές λειάνσεως, οι **πλανήτες λίθοι** και βυθίσματα ξηρά ή με νερό που λέγονται **λιθονολίμνες** (Kettler) (Σχ.54).

Φιόρδ είναι βαθείς και στενοί κόλποι που απαντώνται κατά μήκος των ακτών, της Νορβηγίας, της Αλάσκας, της Χιλής και αποτελούν βυθισμένες παγετώδεις κοιλάδες. Το βάθος τους, που μπορεί να φθάνει ή και να ξεπερνά τα 300 m, είναι αποτέλεσμα παγετώδους διαβρώσεως και ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

¹ Στο εγχειρίδιο Γεν. Γεωλογία. (Αυγουστίδης, 1968).



Σχ. 54 Ανάγλυφο που οφείλει τη δημιουργία του στην παγετώδη διάβρωση (Hampling, 1978).

9.16. Αίτια δημιουργίας παγετώνων-Παγετικό κλίμα

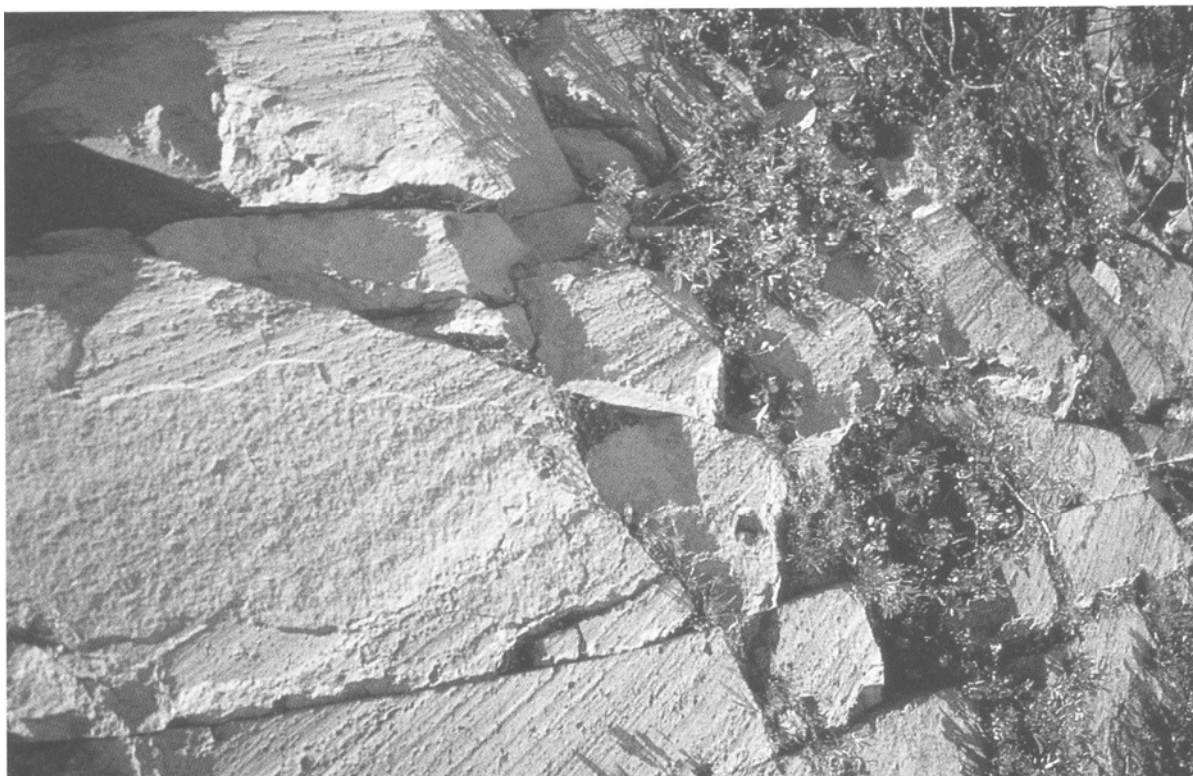
Η δημιουργία των παγετώνων οφείλεται σε κλιματικά αίτια και προϋποθέτει χαμηλές θερμοκρασίες και αρκετές χιονοπτώσεις. Από τη μελέτη της γήινης ιστορίας φαίνεται ότι στις παγετώδεις περιόδους επικρατούσε στη Γη ένα κλίμα ψυχρότερο από το σημερινό. Κατά μέσον όρο η θερμοκρασία ήταν χαμηλότερη περίπου κατά 5° C και υπήρχαν αφθονότερα κατακρημνίσματα. Οι αιτίες της δημιουργίας παγετώδους κλίματος δεν είναι γνωστές. Πιθανώς σχετίζονται με τη μετακίνηση των ηπείρων σε μεγαλύτερα πλάτη, μεταβολές στην προσλαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια και τη δημιουργία ορέων ή άλλων υψηλών περιοχών.

Στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν, κατά το Πλειστόκαινο², υπήρξαν περίοδοι μεγάλης αναπτύξεως των παγετώνων, που ονομάστηκαν παγετώδεις περίοδοι, κατά τις οποίες η θερμοκρασία πρέπει να ήταν χαμηλότερη σε παγκόσμια κλίμακα κατά 5°C. Οι παγετώνες κατά μια τέτοια περίοδο υπολογίζεται ότι κάλυψαν περίπου το 29% της γήινης επιφάνειας, δηλ. 44 εκατ. km². Οι παγετώδεις αυτές περίοδοι διακόπτονταν από διαστήματα με υψηλότερη θερμοκρασία, περίπου 1°C κάτω της σημερινής, και από το λιώσιμο των πάγων. Οι περίοδοι αυτοί ονομάζονται μεσοπαγετώδεις. Κατά τις παγετώδεις περιόδους μεγάλες ποσότητες νερού δεσμεύονταν από τους πάγους, με αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης της θάλασσας και τη χέρσευση πολλών περιοχών. Η πτώση αυτή υπολογίζεται ότι έφθασε τα 100-170m κάτω από τη σημερινή στάθμη. `χαμηλότερη της σημερινής, η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε και έφθασε πιθανώς 66 m πάνω από τη σημερινή, με αποτέλεσμα να επικλυσθούν πολλές περιοχές από το λιώσιμο των πάγων. Οι περίοδοι αυτοί ονομάζονται μεσοπαγετώδεις. Κατά τις παγετώδεις περιόδους μεγάλες ποσότητες νερού δεσμεύονταν από τους πάγους, με αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης της θάλασσας και τη χέρσευση πολλών περιοχών. Η πτώση αυτή υπολογίζεται ότι έφθασε τα 100-170m κάτω από τη σημερινή στάθμη. Αντίθετα, κατά τις μεσοπαγετώδεις περιόδους η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε και έφθασε πιθανώς 66 m πάνω από τη σημερινή, με αποτέλεσμα να επικλυσθούν πολλές περιοχές. Στη διαμόρφωση του γήινου αναγλύφου καθοριστική σημασία έχει η στάθμη της θάλασσας, γιατί αποτελεί βασικό παράγοντα στον έλεγχο της διάβρωσης. Οι μεταβολές που αναφέραμε ήταν παγκόσμιες και γι' αυτό η σημασία τους ήταν καθοριστική στη διαμόρφωση του σημερινού αναγλύφου του πλανήτη μας.

² Υποπερίοδος του γεωλογικού χρόνου που περιλαμβάνει το χρονικό διάστημα από 2.000.000 – 12.000 χρόνια πριν από σήμερα.

Σήμερα οι παγετώνες που καλύπτουν την υδρόγειο είναι οι ακόλουθοι. Στην Ανταρκτική που καλύπτουν περίπου το 98% της επιφάνειάς της και αποτελούν το 85% των πάγων της Γης. Ο μεγαλύτερος παγετώνας της Ανταρκτικής είναι ο Ross ice Shelf. Το μέσο πάχος τους είναι περί τα 1.500m, ενώ σε πολλές θέσεις είναι μεγαλύτερο από 4.000m. Οι παγετώνες της Γροιλανδίας είναι λιγότερο εκτεταμένοι και καταλαμβάνουν έκταση 1.740.000 km² και τέλος οι παγετώνες της Βόρειας Αμερικής καταλαμβάνουν έκταση 29.000 km² που ανέρχεται στο 4% της συνολικής έκτασης των Η.Π.Α.

Οι παγετώνες και οι συνθήκες στην Ανταρκτική θεωρούνται ότι έχουν καθοριστική επίδραση στο παγκόσμιο περιβάλλον-στη μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και στη θερμοκρασία των ωκεανών. Η θερμοκρασία στην Ανταρκτική τα τελευταία 50 χρόνια αυξήθηκε κατά 2,5⁰ C περισσότερο από τη μέση αύξηση παγκοσμίως.



Σχ. 55. Χαρακτηριστικές γραμμές λείανσης από την πεγετώδη διάβρωση.

10. ΑΙΟΛΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Ο άνεμος, όπως το νερό και ο πάγος, είναι ένας παράγοντας που επιδρά στη διαμόρφωση του αναγλύφου, γιατί έχει και αυτός τη δυνατότητα να διαβρώνει τα πετρώματα, να μεταφέρει και να αποθέτει τα κατάλοιπά τους. Ο άνεμος, όπως και το νερό είναι τόσο δραστικότερα όσο ταχύτερα κινούνται. Και τα δυο μεταφέρουν τα

αποσαθρώματα με κύλιση, αναπήδηση ή αιώρηση. Επειδή όμως το νερό είναι πυκνότερο από τον αέρα, προκαλεί εντονότερη διάβρωση και μεταφορά ιζημάτων και γίνεται δραστικότερο με παγετό. Η διάβρωση που προκαλεί ο άνεμος, σε παγκόσμια κλίμακα, είναι αντίστοιχη αυτής των παγετώνων. Εντούτοις όμως μπορεί να αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα, όπως και οι παγετώνες, σε ορισμένες περιοχές.

Ο άνεμος σηκώνει άμμο, σκόνη και loess (είδος ασβεστούχου πηλού) και τα μεταφέρει. Η ικανότητά του όμως αυτή περιορίζεται σε ξηρές και ασύνδετες αποθέσεις, ενώ η διαβρωτική του δράση στα στερεά υγιά πετρώματα είναι περιορισμένη. Αποτελεί έναν τοπικά δραστικό παράγοντα και μόνο λίγα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά οφείλουν τη δημιουργία τους στην αιολική δράση, όπως χαρακτηρίζεται η δράση του ανέμου. Ακόμη και στις ερήμους, ο άνεμος αποτελεί κυρίως μεταφορικό παράγοντα, ενώ κύριο διαβρωτικό παράγοντα αποτελεί το νερό, παρ' όλο που δεν είναι ορατό.

Η δραστικότητα του ανέμου εξαρτάται από την έντασή του, τη θερμοκρασία, την εξάτμιση, την υγρασία και τη βλάστηση. Βασικό επίπεδο της αιολικής διάβρωσης είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Περιοχές που δέχονται την αιολική δράση είναι κυρίως οι έρημοι, στις οποίες συναντώνται και οι κυριότερες γεωμορφές, που οφείλουν τη γένεσή τους στην δράση του ανέμου.

Έρημος χαρακτηρίζεται περιοχή μια περιοχή με ελάχιστη βλάστηση, που δεν μπορεί να διατηρήσει σημαντικό πληθυσμό. Δεν είναι ανάγκη να επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες ή να έχει αποξηρανθεί τεχνητά. Οι εκτεταμένοι παγετώνες είναι είδη ερήμων. Σε περισσότερο εύκρατα κλίματα, οι έρημοι χαρακτηρίζονται από πολύ λίγα μετεωρικά κατακρημνίσματα, αλλά μπορεί να επικρατούν σταθερά πολύ υψηλές ή χαμηλές

θερμοκρασίες ή να μεταβάλλονται, εξαρτώμενες από την εποχή ή την ώρα της ημέρας. Οι βροχοπτώσεις ελέγχονται από τη γενική κυκλοφορία του ατμοσφαιρικού αέρα. Ως ξηρές περιοχές χαρακτηρίζουμε αυτές που δέχονται λιγότερα από 250mm μετεωρικών κατακρημνισμάτων ετησίως και ημίξηρες αυτές που δέχονται 250-300mm. Εξαιρετικά ξηρές θεωρούνται περιοχές που δεν έχουν δεχθεί καμιά βροχόπτωση επί δώδεκα συνεχή χρόνια. Οι ξηρές περιοχές καταλαμβάνουν το 30% της έκτασης των ηπείρων.

Όπως φαίνεται στους χάρτες, οι έρημοι βρίσκονται σε μια ζώνη που περιλαμβάνεται μεταξύ των πλατών 30-35° βόρεια και νότια του ισημερινού. Επίσης άλλες έρημοι, όπως η Καλαχάρι και αυτές των δυτικών Η.Π.Α. που βρίσκονται στο εσωτερικό των ηπείρων, ή όπου ψηλά βουνά εμποδίζουν τον υγρό αέρα να φθάσει.

Διακρίνονται τρεις τύποι ερημικών επιφανειών.

- α) Η αμμώδης έρημος, που καλύπτεται από άμμο.
- β) Η λιθώδης έρημος ή έρημος συνάγματος, που καλύπτεται από πέτρες και χαλίκια και
- γ) Η βραχώδης έρημος, όπου έχει αποκαλυφθεί το μητρικό πέτρωμα και κατά θέσεις συσσωρεύονται πέτρες και χαλίκια.

10.1. Αιολική διάβρωση

Η αιολική διάβρωση γίνεται κυρίως με τους ακόλουθους δύο τρόπους:

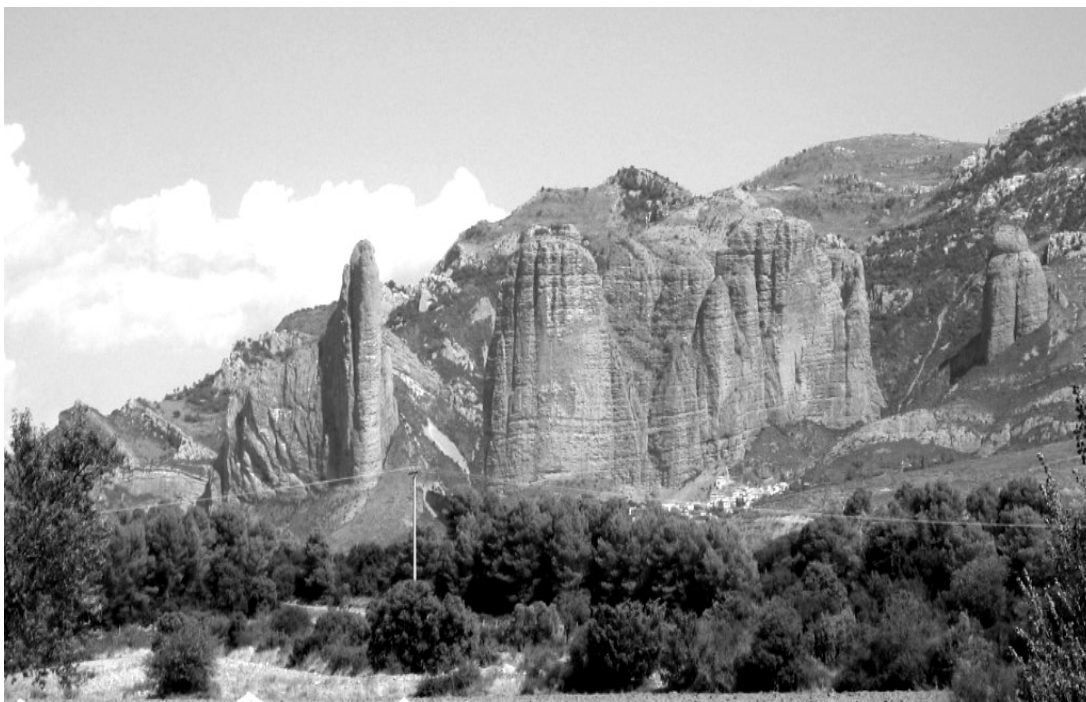
- α) Με **αποφύσηση**. Ο αέρας σηκώνει και απομακρύνει τα χαλαρά και ξηρά ιζήματα ή αποσαθρώματα, όπως είναι η άμμος, η σκόνη και το loess, απογυμνώνοντας την περιοχή.
- β) Με **απορρίνιση**. Ο αέρας, οπλισμένος με το φορτίο που μεταφέρει, προσπίπτει στα πετρώματα και τα καταστρέφει ενεργώντας σαν λίμα.

Ο άνεμος μεταφέρει το φορτίο του, όπως είναι το νερό, σε αιώρηση, τα λεπτομερέστερα υλικά σε μεγάλες αποστάσεις και με κύλισμα ή αναπήδηση τα αδρομερέστερα. Ο άνεμος κατά την κίνησή του στροβιλίζεται και την πορεία αυτή ακολουθεί και το φορτίο, που μια αποτίθεται και μια ξανασηκώνεται. Η σκόνη μεταφέρεται σε τεράστιες αποστάσεις και

ποσότητες. Είναι γνωστό το φαινόμενο στη χώρα μας, σκόνη από την Αφρική να κατακρημνίζεται με βροχή και να δημιουργεί τη λασποβροχή.

Με αποφύσηση απομακρύνεται άμμος και σκόνη από μια περιοχή. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να διαρκεί πολύ και να απομακρύνονται μεγάλες ποσότητες υλικού, με αποτέλεσμα η περιοχή να γίνεται κατάστικτη από βυθίσματα που έχουν διάμετρο από λίγα μέτρα έως και μερικά χιλιόμετρα και βάθος έως 50m. Τα βυθίσματα αυτά μπορεί σε μια έρημο να φθάσουν έως τον υδροφόρο ορίζοντα, που είναι το βασικό επίπεδο της αιολικής διάβρωσης και τότε δημιουργούνται οάσεις.

Με την αποφύσηση απομακρύνονται τα λεπτομερέστερα υλικά, ενώ τα αδρομετέστερα παραμένουν και συγκεντρώνονται κατά θέσεις. Οι συγκεντρώσεις αυτές αποτελούνται από χαλίκια με επίπεδες επιφάνειες που ονομάζονται **κράσπεδα ερήμου**. Οι απομονωμένες πέτρες αποκτούν ένα χαρακτηριστικό σχήμα με δύο ή περισσότερες επίπεδες επιφάνειες, τα **αιολικά πολύεδρα**. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αποτέλεσμα της αιολικής διάβρωσης είναι η παρουσία σχηματισμών που αποτελούνται από σειρά προεξοχών και βαθιών αυλακώσεων, τα **yardangs**, τα οποία είναι αποτέλεσμα διαφορετικής διάβρωσης των σκληρών και μαλακών στρωμάτων.



Σχ. 55. Κροκαλοπαγείς αποθέσεις που διαβρώθηκαν πιθανώς και αποχωρίστηκαν κατά μήκος ρωγμών από ποτάμια δράση και στη συνέχεια υπέστησαν αιολική αποσάθρωση.

Η αποφύσηση προσβάλλει, όπως είπαμε, ξηρές ασύνδετες αποθέσεις. Περιοχές που έχουν αποψιλωθεί ή έχουν υποστεί έντονη καλλιέργεια σε περιόδους ξηρασίας, όταν φυσούν ισχυροί άνεμοι, απομακρύνεται το έδαφος και απογυμνώνεται η περιοχή. Η κατάσταση όμως χειροτερεύει με τις βροχοπτώσεις που επακολουθούν και διαβρώνουν έντονα την περιοχή, μεταβάλλοντάς την σε άγονο και ερημικό τοπίο. Οι περιοχές αυτές λέγονται διαβολότοποι. Για την αποφυγή τέτοιων καταστροφών έχουν ληφθεί μέτρα και γίνονται διάφορα εγχειοβελτιωτικά έργα, όπως είναι η αναδάσωση και η εφαρμογή προγραμματισμένων καλλιεργειών.

Ο άνεμος με την απορρίνιση προσβάλλει και διαβρώνει τα πετρώματα, κυρίως στα πιο ασθενή σημεία τους, που είναι οι διακλάσεις, η σχιστότητα ή η στρώση. Τότε, δημιουργούνται τρύπες μικρές ή μεγάλες που χαρακτηρίζονται ως μορφές κυψελώδους διάβρωσης. Ο άνεμος προσβάλλει και διαβρώνει τα πετρώματα όχι μόνο στη φυσική τους θέση, αλλά και στη θέση που έχουν τοποθετηθεί από τον άνθρωπο, όπως είναι οι προσόψεις κτιρίων, μνημείων κ.λ.π.

10.2. Αιολικές αποθέσεις

Θίνες είναι σωροί ή ράχες από άμμο που αποτίθενται από τον άνεμο. Η πλευρά που βρίσκεται στη διεύθυνση του επικρατούντος ανέμου είναι ομαλότερη γιατί ο αέρας παρασύρει άμμο και την αποθέτει στη σκιερή πλευρά με σταθερή γωνία αποθέσεως.

Η γωνία αποθέσεως εξαρτάται από το μέγεθος της άμμου και την ταχύτητα του ανέμου. Με τη διαδικασία που αναφέραμε, μεταναστεύουν οι θίνες κατά τη διεύθυνση του επικρατούντος ανέμου. Η μετανάστευση εμποδίζεται αν γίνει κατάλληλη

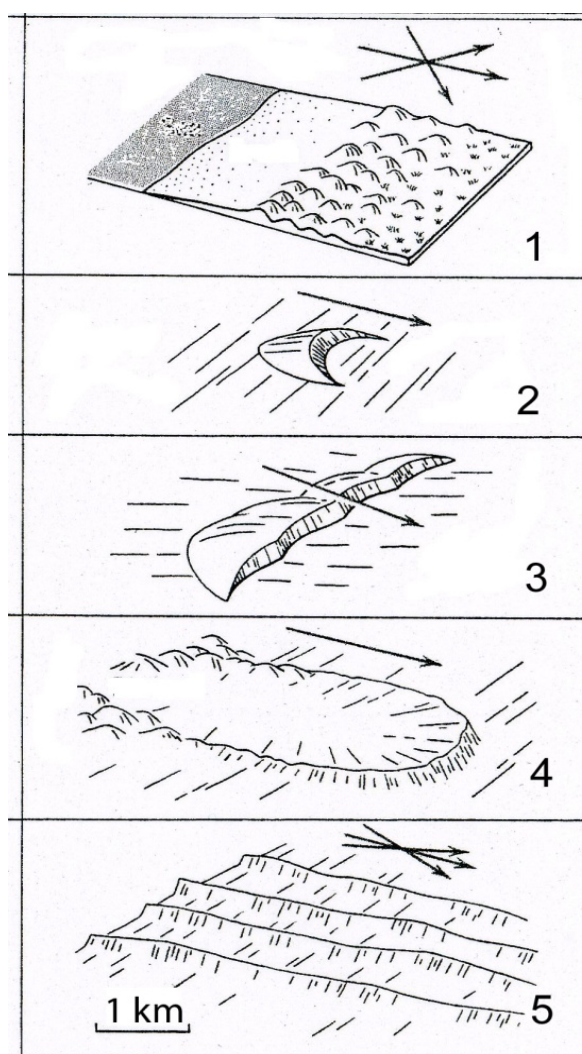
φυτοκάλυψη. Θίνες δημιουργούνται στις αμμώδεις ερήμους και τις ακτές. Διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι θινών:

Παράκτιες θίνες, είναι μικροί λόφοι κοντά στις ακτές, διαφόρων μεγεθών. Το είδος αυτών των θινών συναντάται σε πολλές περιοχές της Ελλάδας (Σχ 56,57).

Τοξοειδείς θίνες ή Burchan, είναι μικρές απομονωμένες θίνες ύψους 1-50 m, και έχουν σχήμα ημισεληνοειδές με οξεία κορυφή (Σχ. 56).

Επιμήκειες θίνες, είναι επιμήκειες ευθύγραμμες ράχες που σχηματίζονται κατά τη διεύθυνση του ανέμου και φθάνουν σε ύψος και μήκος έως 100 m (Σχ.56).

Loess, είναι αιολική απόθεση ιλύος που συχνά συνοδεύεται από άργιλο και λεπτή άμμο. Η ορυκτολογική του σύσταση είναι κυρίως χαλαζίας, άστριοι, μαρμαρυγίας και ασβεστίτης. Έχει χρώμα κιτρινωπό, γιατί τα σιδηρούχα ορυκτά του έχουν υποστεί ελαφρά οξείδωση. Εξαιτίας του μικροσκοπικού μεγέθους των κόκκων, η απόθεση είναι αρκετά συνεκτική και έχει πορώδες 50%.



Σχ. 56. Διακρίνονται διάφοροι τύποι θινών. 1) παράκτιες θίνες, 2) τοξοειδείς ή Burchan, 3) εγκάρσιες θίνες, 4) θίνες σχήματος U, 5) επιμήκειες θίνες. Τα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση του ανέμου.

Το loess καλύπτει μεγάλες εκτάσεις, από τις μεγάλες ερήμους έως τα όρια των ημίξηρων περιοχών, δηλαδή περίπου το 1/10 της γήινης επιφάνειας. Το υλικό που αποτελεί το loess είναι προϊόν μηχανικής αποσάθρωσης και προέρχεται είτε από ερημικές περιοχές, όπως είναι το loess που καλύπτει τις περιοχές της Δυτικής Κίνας σε πάχος 70 m, είτε από περιοχές που έχουν υποστεί παγετώδη διάβρωση. Στην περίπτωση αυτή, αποτελείται από την πετρώδη σκόνη. Τέτοιες είναι κυρίως οι αποθέσεις των Η.Π.Α.



Σχ. 57 Παράκτιες θίνες σταθεροποιημένες με βλάστηση.

10.3. Ερημοποίηση

Χρησιμοποιούμε γενικά τον όρο ερημοποίηση για να περιγράψουμε τη σχετικά ταχεία ανάπτυξη ερήμων που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Είναι πολύ δύσκολο να προβλέψουμε και να προσδιορίσουμε τις περιοχές που απειλούνται με ερημοποίηση.

Ο όρος ερημοποίηση δεν περιλαμβάνει την επέκταση ερημικών περιοχών που οφείλεται σε διεργασίες που δρουν μέσα στην ίδια την έρημο.

Η βλάστηση σε ξηρές περιοχές είναι περιορισμένη και χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα είδη που ευδοκούν στις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Η ερημοποίηση, τυπικά, οφείλεται σε σοβαρή διαταραχή της βλάστησης. Στη γη που χρησιμεύει για καλλιέργεια απομακρύνεται η αυτοφυής βλάστηση και αντικαθίσταται από τις καλλιέργειες. Αν οι καλλιέργειες ευδοκιμήσουν, τότε όλα πάνε καλά. Σε περίπτωση όμως που αυτές καταστραφούν, τότε επακολουθούν πολλές συνέπειες. Οι ισχυροί άνεμοι ή αμμοθύελλες που πνέουν συχνά σε τέτοιες περιοχές, προκαλούν διάβρωση, με συνέπεια τη μείωση της γονιμότητας του εδάφους. Το ανώτερο στρώμα του εδάφους, που είναι πολύ πλούσιο σε οργανικά, είναι το πρώτο που χάνεται από τη διάβρωση. Εξίσου σοβαρή επίπτωση είναι η απώλεια της δομής του εδάφους. Κάτω από τον καυτό ήλιο, τυπικό πολλών ξηρών περιοχών, το έδαφος ψήνεται και όπως είναι γυμνό βλάστησης, χωρίς οι ρίζες να δημιουργούν πλέγμα που να το συγκρατούν, γίνεται μια σχεδόν αδιαπέρατη κρούστα. Αυτή εμποδίζει την κατείσδυση των λιγιστών κατακρημνισμάτων και αυξάνει την επιφανειακή απορροή. Με τη σειρά τους μειώνονται τα αποθέματα υγρασίας του εδάφους και όλα αυτά μαζί κάνουν το έδαφος σκληρότερο και το πρόβλημα μεγαλώνει. Με τη λήψη κατάλληλων μέτρων θα μπορούσε να προληφθεί το πρόβλημα ή ακόμη να αναστραφεί.

Στην ερημοποίηση παίζουν μεγάλο ρόλο οι κύκλοι με μεγάλη ξηρασία. Εντούτοις αν δεν γίνεται έντονη χρήση γης, η υποβάθμιση της γης σε περιόδους ξηρασίας είναι λιγότερο σοβαρή και το φυσικό σύστημα αναλαμβάνει και επανέρχεται στην προηγούμενη κατάσταση.

Διεργασίες που οδηγούν στην Ερημοποίηση

Στις λοφώδεις περιοχές η κύρια διεργασία που οδηγεί στην ερημοποίηση είναι η διάβρωση του εδάφους η οποία συντελείται από το νερό που δεν συγκρατείται στο έδαφος και απορρέει επιφανειακά όταν βρέχει συμπαρασύροντας το έδαφος προς τις χαμηλότερες περιοχές. Σημαντική επίσης είναι και η μηχανική διάβρωση που προκαλείται από τα γεωργικά μηχανήματα. Τα τελευταία χρόνια πολλές γεωργικές περιοχές χάθηκαν όχι από τη διάβρωση που προκάλεσε η επιφανειακή ροή των νερών, η οποία βέβαια συνετέλεσε στην καταστροφή, αλλά από την αιολική διάβρωση, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική στις νησιωτικές περιοχές το καλοκαίρι. Αν και οι επιστήμονες δεν έχουν συγκεκριμένα δεδομένα για την αιολική διάβρωση στη χώρα μας, γνωρίζουν ότι αποτελεί μέρος του προβλήματος της ερημοποίησης του ελλαδικού χώρου.

Σημαντικό κίνδυνο αποτελούν οι πυρκαγιές το καλοκαίρι, που εξ αιτίας της απογύμνωσης από τη φυτοκάλυψη συντελούν στη διάβρωση, αλλά επίσης και άλλοι παράγοντες, όπως η υπερβόσκηση.

Άλλη σημαντική διεργασία είναι η αλάτωση, που προκαλείται κυρίως εξαιτίας της άρδευσης με κακής ποιότητας νερό. Το υφάλμυρο νερό διεισδύει στο έδαφος και το καλοκαίρι, αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι αβαθής, με τριχοειδή κίνηση το νερό ανεβαίνει στην επιφάνεια μεταφέροντας άλατα και έτσι δημιουργείται στο έδαφος μεγάλη συγκέντρωση υδατοδιαλυτών αλάτων, τα οποία είναι τοξικά για τα φυτά, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η βλάστηση.

Σημαντικό επιβαρυντικό παράγοντα που συντελεί στην ερημοποίηση αποτελεί το είδος του μητρικού πετρώματος. Περιοχές που δομούνται από ασβεστόλιθους ή μάρμαρα, όπως η γύρω από την Αττική ορεινή ζώνη, (Υμηττός, Πεντέλη, λόφος του Αιγάλεω, Πάρνηθα), αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο. Τα πετρώματα αυτά είναι ιδιαίτερος επιρρεπή στην ερημοποίηση, καθώς δημιουργείται εξ αιτίας της κατείσδυσης του νερού ξηρό περιβάλλον για τα φυτά, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η βλάστηση.

Τέλος πρέπει να επισημάνει κανείς και τον κίνδυνο που εγκυμονεί η έντονη οικιστική δραστηριότητα που προκαλεί αποψίλωση περιοχών και αλλαγή χρήσης γης.

Απ' όσα αναφέραμε γίνεται φανερό ότι ερημοποίηση δηλαδή μετάβαση μιας οριακά ξηρής περιοχής σε έρημο μπορεί να παρατηρηθεί και στα όρια της ανθρώπινης ζωής, όπου οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι γενικά πολύ έντονες.

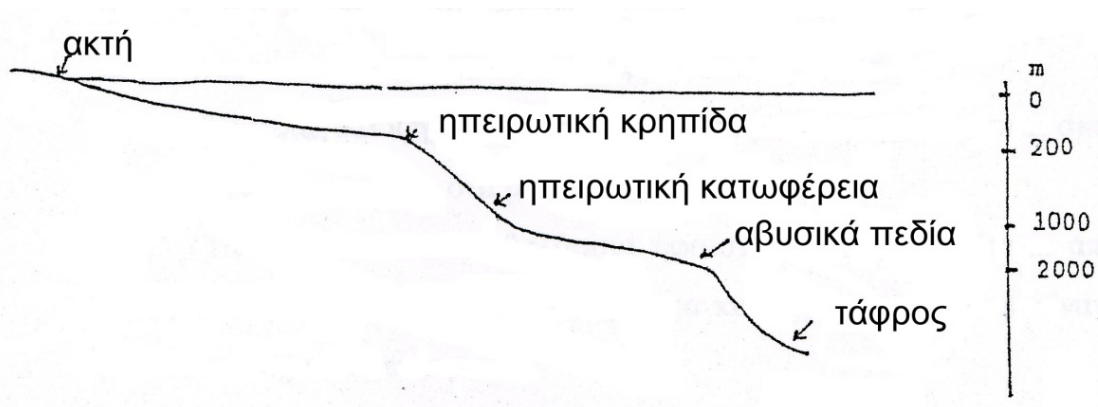
11. ΩΚΕΑΝΟΙ

Το 71% της γήινης επιφάνειας, όπως έχουμε αναφέρει, καλύπτεται από θαλασσινό νερό. Η κατανομή ξηράς και θάλασσας δεν είναι ομοιόμορφη, αλλά το βόρειο ημισφαίριο καταλαμβάνεται κατά 40% από ξηρά ενώ το νότιο μόνο κατά 20% και γι' αυτό ονομάζεται και ημισφαίριο ύδατος. Η κατανομή αυτή της ξηράς και οι δίοδοι που δημιουργούνται ανάμεσά της, παίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο στην κυκλοφορία των θαλάσσιων ρευμάτων. Οι πυθμένες των ωκεανών δεν είναι ομαλοί, αλλά διασχίζονται από βαθιές και στενές τάφρους μεγάλου βάθους, καθώς και από υποθαλάσσιες ράχες. Αντίθετα με αυτό που θα περίμενε κανείς, τα μεγάλα βάθη των ωκεανών συναντώνται κοντά στις άκρες των ωκεάνιων λεκανών, όπως είναι η τάφος του Ειρηνικού ωκεανού, που έχει βάθος μεγαλύτερο από 11 km κοντά στο νησί Guam, ενώ προς το κέντρο των λεκανών υψώνονται μεσοωκεάνιες ράχες ύψους έως 600 μέτρα περίπου.

Το μέσο βάθος των ωκεανών είναι περίπου 4 km. Ο όγκος του θαλασσινού νερού υπολογίζεται σε $1.350.106 \text{ km}^3$ αλλά μπορεί να μεταβληθεί ελαφρά από την τήξη ή την ανάπτυξη παγετώνων.

Μια τοπογραφική τομή ωκεάνιας λεκάνης και ενός ηπειρωτικού τμήματος παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες. Μια λεπτομερής όμως μελέτη τους, θα αποκάλυπτε πολλές διαφορές.

Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά μιας ωκεάνιας λεκάνης είναι: οι ηπειρωτικές κρηπίδες, οι ηπειρωτικές κατωφέρειες, οι υποθαλάσσιες κοιλάδες, οι τάφροι, τα αβυσσικά πεδία, τα υποθαλάσσια όρη κλπ (Σχ .58). Τα τμήματα των ηπείρων που περιλαμβάνονται ανάμεσα στη στάθμη της θάλασσας και την ισοβαθή των 200 m, αποτελούν το 11% της συνολικής επιφάνειας της Γης. Το τμήμα αυτό (ηπειρωτικό περιθώριο, continental margin) είναι αναπτυγμένο στον Ατλαντικό και τον Ινδικό ωκεανό, ενώ στον Ειρηνικό είναι πολύ περιορισμένο. Στο βάθος των 200 m ελαττώνεται η επίδραση των θαλασσίων κυμάτων και αποτελεί επίσης όριο της επίδρασης των κυμάτων ανοικτής θάλασσας. Σε μια τομή ωκεάνιας λεκάνης διακρίνονται τα ακόλουθα τμήματα:



Σχ. 58. Σχηματική τομή ωκεάνιας λεκάνης

- α) Η **Ηπειρωτική κρηπίδα** είναι το αβαθές και σχεδόν επίπεδο υποθαλάσσιο τμήμα της ηπειρωτικής μάζας. Το μέσο πλάτος του είναι 60m αλλά μπορεί να φθάσει έως 1300 km. Η προέλευση της ηπειρωτικής κρηπίδας, καθώς και τα χαρακτηριστικά της οφείλονται στη δράση των κυμάτων και των ρευμάτων που δρουν κατά μήκος της ακτής, καθώς και στη διαβρωτική δράση παραγόντων που δρουν στην ξηρά.
- β) Η **Ηπειρωτική κατωφέρεια** είναι η κλιτύς που βρίσκεται ανάμεσα στην ηπειρωτική κρηπίδα και τη βαθιά θάλασσα. Η ηπειρωτική κατωφέρεια αποτελεί το όριο ανάμεσα στον ηπειρωτικό και τον ωκεάνιο φλοιό.
- γ) Τα **Αβυσσικά πεδία** είναι περιοχές επίπεδες που εκτείνονται πέρα από την ηπειρωτική κατωφέρεια προς τη βαθιά θάλασσα και η κλίση τους είναι περίπου 1 m/km.
- δ) Η **Ωκεάνια τάφος** είναι μια επιμήκης, στενή και βαθιά λεκάνη στον θαλάσσιο πυθμένα.

Οι ωκεάνιες λεκάνες καλύπτονται από ιζήματα που διακρίνονται σε χερσαία, πελαγικά, υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας και κοσμικής προέλευσης.

Τα χερσαία ιζήματα μεταφέρονται στη θάλασσα με τα ποτάμια, τον αέρα, τους παγετώνες και από τα κύματα που διαβρώνουν τις ακτές.

Τα πελαγικά ιζήματα είναι οργανικής προέλευσης, όστρακα, σκελετοί ζώων κλπ και συναντώνται κυρίως στα μεγάλα βάθη.

Τα ιζήματα από υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα αποτελούνται από ηφαιστειακή τέφρα και, τέλος, τα ιζήματα κοσμικής προέλευσης είναι μικροσκοπικού μεγέθους τμήματα μετεωριτών.

Το θαλασσινό νερό περιέχει 3,5% περίπου διαλυμένες ορυκτές ουσίες. Οι κυριότερες είναι: χλώριο 55%, Νάτριο 30,62%, επίσης σε μικρότερη αναλογία περιέχει SO_4 , Mg, Ca, K, HCO_3 , Br και Sr. Αν οι ουσίες αυτές κατακρημνίζονταν, θα κάλυπταν τους θαλάσσιους πυθμένες με άλατα πάχους 56 m.

Το θαλασσινό νερό έχει αλμυρότητα 35‰. Τα κυριότερα στοιχεία που προκαλούν την αλμυρότητα είναι το Na και το Cl. Όταν το νερό εξατμίζεται, τα άλατα που κατακρημνίζονται αποτελούνται κατά 75% από NaCl.

11.1. Θαλάσσια ρεύματα και παλίρροιες

Το θαλασσινό νερό βρίσκεται σε συνεχή κίνηση που οφείλεται στην ηλιακή ενέργεια, στην περιστροφή της Γης και στην έλξη των διάφορων αστρικών σωμάτων, κυρίως του Ήλιου και της Σελήνης. Οι κινήσεις αυτές προκαλούν τις παλίρροιες, τα θαλάσσια ρεύματα, κύματα που δημιουργεί ο αέρας και κύματα τσουνάμι που οφείλονται σε σεισμικές δονήσεις. Τα κύματα και τα ρεύματα τροποποιούν τις ακτές της χέρσου, μεταβάλλοντας το σχήμα τους με τη συνεχή διαβρωτική τους δράση, καθώς επίσης και με τη μεταφορά και την απόθεση ιζημάτων. Η δράση των παραγόντων αυτών μεταβάλλεται με τις εποχές ή τις μέρες.

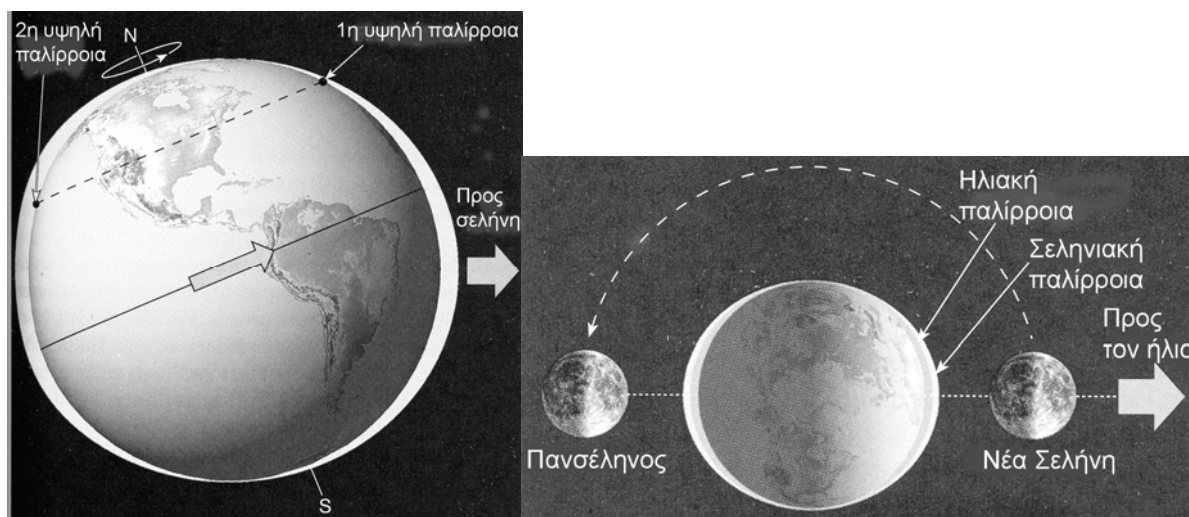
Παλίρροιες

Η έλξη που ασκεί η Σελήνη στη Γη κατά την περιφορά της γύρω απ' αυτή, προκαλεί **παλίρροιες**, δηλ. περιοδική ανύψωση και χαμήλωμα της στάθμης της θάλασσας, που γίνεται κατά μέσο όρο κάθε δώδεκα ώρες και είκοσι έξη λεπτά.

Οι παλίρροιες επηρεάζονται α) από την περιστροφή της Γης, β) από τις ηπείρους που αποτελούν μεγάλα εμπόδια στην κίνηση των ρευμάτων γύρω από την Γη, γ) από την τριβή στον πυθμένα, ιδιαίτερα σε αβαθείς θάλασσες και δ) από τη θέση του Ήλιου, της Σελήνης και της Γης (Σχ.59).

Όταν η Γη, η Σελήνη και ο Ήλιος βρίσκονται στην ίδια ευθεία γραμμή, η έλξη που ασκούν πάνω στη Γη αθροίζεται και έτσι δημιουργούνται πολύ μεγάλες παλίρροιες, γνωστές

σαν παλίρροιες των ισημερινών συζυγιών. Όταν ο Ήλιος και η Σελήνη βρίσκονται σε ορθή γωνία ως προς τη Γη, δημιουργούνται οι πιο χαμηλές παλίρροιες, γιατί όπου η Σελήνη προκαλεί πλημμυρίδα ο Ήλιος προκαλεί άμπωτη.



Σχ. 59 Παλίρροιες

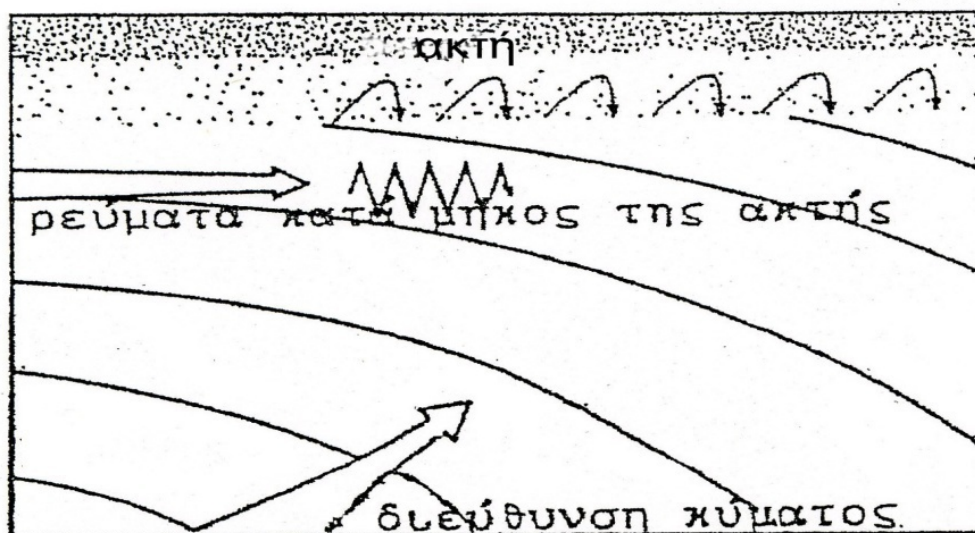
Οι παλίρροιες στις ανοικτές θάλασσες είναι μικρές και δεν δημιουργούν ρεύματα. Η διαφορά στάθμης ανάμεσα στη χαμηλή και την υψηλή παλίρροια είναι λίγα μέτρα και στις κλειστές θάλασσες λίγα εκατοστά (στη Μεσόγειο 30cm, στη Μαύρη θάλασσα 10cm). Σε αβαθείς όμως θάλασσες και ειδικά όπου η παλίρροια συγκεντρώνεται ανάμεσα σε ακτές που συγκλίνουν, οι διακυμάνσεις της στάθμης είναι μεγάλες και δημιουργούνται ισχυρά ρεύματα (π.χ. πορθμός του Εύριπου). Σε περιπτώσεις που φυσάει κατά τη διεύθυνση κίνησης των συγκεντρωμένων παλιρροϊκών νερών, η ταχύτητα των ρευμάτων μπορεί να φθάσει τα 25 km/h με μεταβολή στάθμης πάνω από 16m. Τα ρεύματα αυτά προκαλούν έντονη κίνηση των ιζημάτων.

Ρεύματα κατά μήκος ακτής.

Καθώς τα θαλάσσια κύματα πλησιάζουν με μια γωνία προς την ακτή, κατά την απόσυρση του νερού, στη ζώνη κυματογής, δημιουργούνται ρεύματα μεταφοράς παράλληλα προς την ακτή. Τα ρεύματα αυτά παρασύρουν και μεταφέρουν ιζήματα με αιώρηση ή αναπήδηση, διαγράφοντας μια τεθλασμένη πορεία με γενική κίνηση, όμως φανερά παράλληλη στην ακτή (σχ.60).

Επιφανειακά ρεύματα

Ο αέρας που φυσά πάνω από τους ωκεανούς, εκτός από τα κύματα που δημιουργεί, προκαλεί και μετακίνηση του νερού που βρίσκεται στην επιφάνεια και μέχρι του βάθους των 50-100 m. Τα επιφανειακά στρώματα του νερού κυκλοφορούν με τη μορφή ρευμάτων, διαγράφοντας κυκλικές τροχιές κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού στο βόρειο ημισφαίριο και κατά την αντίθετη στο νότιο ημισφαίριο. Η ταχύτητα των ρευμάτων είναι γενικά μικρή, αλλά σε περιοχές αβαθείς και στενές αυξάνει. Στο κενό μεταξύ Φλόριδας και Κούβας, η ταχύτητα φθάνει τα 3mil/h.



Σχ. 60. Τα κύματα πλησιάζουν με γωνία την ακτή. Στη ζώνη κυματογής το νερό παρασύρει ιζήματα προς την ακτή, ενώ κατά την απόσυρση του προς την αντίθετη κατεύθυνση, αναγκάζοντάς τα να διαγράψουν τεθλασμένη τροχιά. Στη ζώνη αυτή δημιουργούνται ρεύματα παράλληλα στην ακτή. (Hampling, 1978).

Η δημιουργία τους οφείλεται κυρίως στις διαφορετικές θερμοκρασίες που έχουν τα νερά στις πολικές και τις τροπικές περιοχές, καθώς και στη διαφορά αλατότητας, που έχουν ως συνέπεια τη διαφορά πυκνότητας των νερών. Έχουν μεταγωγικό χαρακτήρα. Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού αυξάνει καθώς το νερό ψύχεται ή όταν αυξάνει η αλατότητά του. Η αλατότητα του νερού αυξάνει με την εξάτμιση, ενώ ελαττώνεται όταν στην περιοχή χύνονται ποτάμια ή λιώνουν οι πάγοι. Η βύθιση μιας μάζας πυκνού θαλασσινού νερού κάτω από λιγότερο πυκνό νερό, προκαλεί ρεύματα πυκνότητας.

Η κυκλοφορία των ρευμάτων καθορίζεται από τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των ηπείρων και από τους ανέμους που επικρατούν στις διάφορες περιοχές. Η γνώση της κυκλοφορίας των ρευμάτων είναι πολύ σημαντική, γιατί επηρεάζουν το κλίμα των περιοχών, διευκολύνουν τη μετακίνηση και την εξάπλωση διαφόρων ζωικών ειδών και κυρίως θαλασσινών και αναμιγνύουν το νερό των ωκεανών. Μια πλήρης ανάμιξη των νερών συντελείται κάθε 1800 χρόνια περίπου.

Στην υδρόγειο παρατηρούμε την κυκλοφορία ψυχρών και θερμών ρευμάτων, των οποίων η δημιουργία οφείλεται κυρίως στις διαφορές θερμοκρασίας των τροπικών και πολικών περιοχών.

Στον Ατλαντικό ωκεανό παρατηρούνται τα εξής κύρια ρεύματα: Το ρεύμα του Κόλπου, το Βορειοατλαντικό, το Ανταρκτικό και το Βραζιλιανό. Επίσης δημιουργείται ένα ρεύμα στα στενά του Γιβραλτάρ, μεταξύ Μεσογείου και Ατλαντικού.

Στη Μεσόγειο η εξάτμιση είναι πολύ έντονη, με αποτέλεσμα να χαμηλώνει η στάθμη και να αυξάνει η αλατότητά της. Αυτό έχει σαν συνέπεια επιφανειακά ρεύματα με μικρότερη πυκνότητα από τον Ατλαντικό δια μέσου του πορθμού του Γιβραλτάρ, καθώς και από την Μαύρη θάλασσα και τη θάλασσα του Μαρμαρά δια μέσου των Δαρδανελίων να χύνονται στη Μεσόγειο. Αντίθετα, στο βάθος πυκνότερα ρεύματα κινούνται παράλληλα προς τον πυθμένα προς τις περιοχές αυτές. Κάτι ανάλογο συμβαίνει στα νερά της Ερυθράς θάλασσας, που έχουν μεγάλη αλμυρότητα και του Ινδικού καθώς και της Βαλτικής με τις Βόρειες θάλασσες.

Στον Ειρηνικό και τον Ινδικό ωκεανό, η κυκλοφορία των ρευμάτων είναι διαφορετική. Ένα ψυχρό ρεύμα κινείται από την Ανταρκτική προς βορρά και πιθανώς να φθάνει μέχρι την Καλιφόρνια και την Ιαπωνία.

Ρεύματα θολότητας.

Τα ρεύματα θολότητας είναι ρεύματα πυκνότητας, τα οποία παρουσιάζουν ακόμη μεγαλύτερη πυκνότητα, εξαιτίας των αιωρουμένων ιζημάτων. Τα ρεύματα αυτά δεν είναι συνεχή, αλλά παρατηρούνται κατά διαστήματα, κυρίως σε εκβολές ποταμών, με τη μορφή ενός θολού ρεύματος κάτω από καθαρό νερό.

Πολλοί τα περιγράφουν σαν ρεύματα λάσπης που κινούνται κάτω από καθαρό νερό. Τα όρια του ρεύματος αυτού είναι ευδιάκριτα. Δημιουργούνται κυρίως στα δέλτα και τις εκβολές ποταμών, όπου το πυκνό νερό που μεταφέρει ιζήματα έχει αρκετή κινητική ενέργεια για να

συνεχίσει τη ροή του παράλληλα στον πυθμένα, κάτω από το αραιότερο καθαρό νερό της θάλασσας ή της λίμνης. Δημιουργούνται και σε άλλες δέσεις όμως και οφείλονται σε υποθαλάσσιες κατολισθήσεις ιζημάτων που έχουν αποθεθεί στην ηπειρωτική κρηπίδα ή την ηπειρωτική κατωφέρεια. Οι κινήσεις μαζών οφείλονται στη βαρύτητα και μπορεί να επιταχυνθούν από δονήσεις, σεισμούς κλπ. Τα ρεύματα που δημιουργούνται μεταφέρουν τα ιζήματα, απογυμνώνοντας έτσι τις κλιτύες και τα αποθέτουν σε βαθύτερα σημεία των ωκεάνιων λεκανών, δημιουργώντας αβυσσικά πεδία. Η απόθεση των ιζημάτων γίνεται με τη μορφή ριπιδίων και συναντώνται στα στόμια των υποθαλασσιών τάφρων.

Η διαβρωτική δράση των ρευμάτων θολότητας είναι τεράστια. Προκειμένου να κατασκευαστούν υποθαλάσσια έργα ή να τοποθετηθούν αγωγοί ή καλώδια στον πυθμένα, θα πρέπει εκτός από τις τοπογραφικές και γεωλογικές μελέτες, να γίνεται μελέτη των ρευμάτων θολότητας.

Η πυκνότητα των ρευμάτων θολότητας είναι συνήθως γύρω στο $1,02 \text{ gr/cm}^3$ και η ταχύτητα τους μικρότερη από 30 cm/sec . Πυκνότερα όμως ρεύματα που κυλούν σε μια ηπειρωτική κατωφέρεια με κλίση 40 m/km , μπορούν να αναπτύξουν μεγαλύτερη ταχύτητα από ένα ποτάμι που κυλάει στην ξηρά.

Θεωρητικά, ρεύματα θολότητας με πυκνότητα $1,15 \text{ gr/cm}^3$ και ταχύτητα 116 km/h , μπορεί να μετακινήσουν ιζήματα 14.000 φορές μεγαλύτερα από αυτά που μετακινεί ρεύμα καθαρού νερού με την ίδια ταχύτητα.

11.2. Κύματα

Τα κύματα είναι το μέσον μεταδόσεως μιας μορφής ενέργειας από ένα σημείο σε ένα άλλο και δημιουργούνται από μια δύναμη.

Στους ωκεανούς τα κύματα δημιουργούνται από τη δράση του ανέμου, που φυσά και διαταράσσει την επιφάνεια, δημιουργώντας βυθίσματα και ανυψώσεις που μετακινούνται κατά την διεύθυνση του ανέμου. Μέρος της ενέργειας του ανέμου μετατρέπεται σε ενέργεια του νερού.

Ο αέρας δημιουργεί κύματα ταλαντώσεως, δηλ. τα μόρια του νερού κινούνται διαγράφοντας μια κλειστή κυκλική πορεία γύρω από την αρχική τους θέση, ενώ μετακινείται μόνο η μορφή του κύματος. Αυτό συμβαίνει στις βαθιές θάλασσες, ενώ όταν το κύμα

πλησιάζει στην ακτή όπου το βάθος μειώνεται, τότε το μέγεθος του κύματος μειώνεται και μετατρέπεται σε κύμα μεταφοράς.

Τα χαρακτηριστικά του κύματος.

Για να περιγράψουμε ένα θαλάσσιο κύμα χρησιμοποιούμε τους ίδιους όρους που χρησιμοποιούμε και στα άλλα κυματοειδή φαινόμενα.

Μήκος κύματος (λ): είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών του.

Ύψος κύματος (h): είναι η κάθετη απόσταση ανάμεσα σε ένα χαμήλωμα (κοιλιά) και στην αμέσως επόμενη κορυφή. Το ύψος κύματος εξαρτάται από την ένταση του ανέμου, τη διάρκεια, την έκταση της επιφάνειας του νερού πάνω στην οποία φυσά ο άνεμος και το βάθος του νερού. Το ύψος του κύματος αποκτά τη μεγαλύτερη τιμή, όταν η απώλεια ενέργειας εξαιτίας της προώθησης των κυμάτων εξισορροπηθεί από την ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο. Κάτω από την επιφάνεια και σε βάθος $\lambda/2$, η κυματοειδής κίνηση του νερού σχεδόν μηδενίζεται. Το βάθος αυτό λέγεται **βάση του κύματος**.

Μέτωπο κύματος: είναι η γραμμή που ενώνει τις κορυφές των κυμάτων ή των ρευμάτων και είναι κάθετη προς το μήκος κύματος.

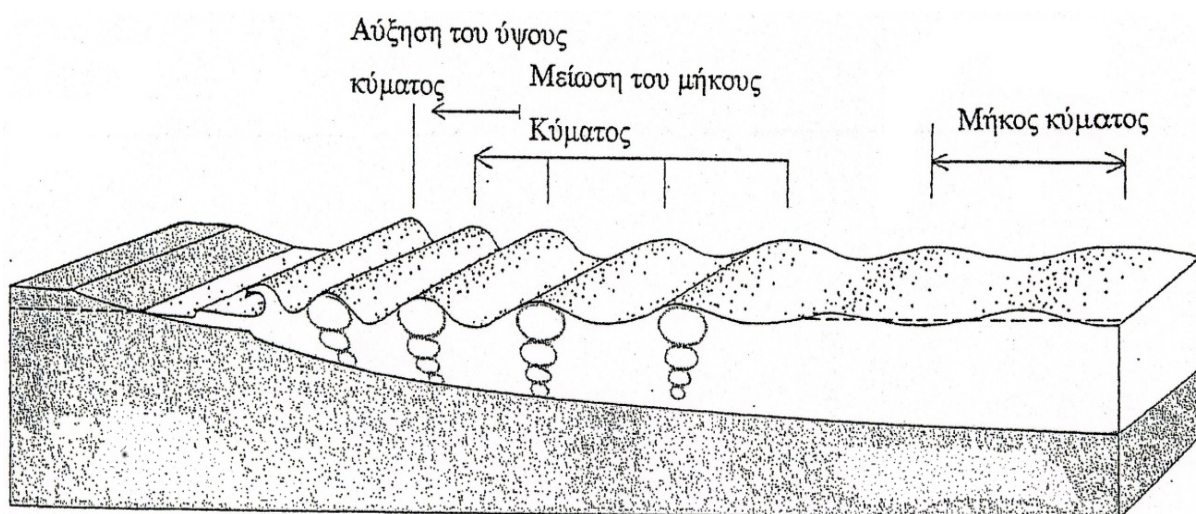
Μια σειρά από κύματα, που ονομάζεται **αλυσίδα ή ακολουθία κυμάτων**, έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: μήκος κύματος (λ), ύψος κύματος (h) και περίοδο (T).

Περίοδος (T): είναι ο χρόνος που απαιτείται για να περάσουν δύο διαδοχικές κορυφές από ένα ορισμένο σημείο.

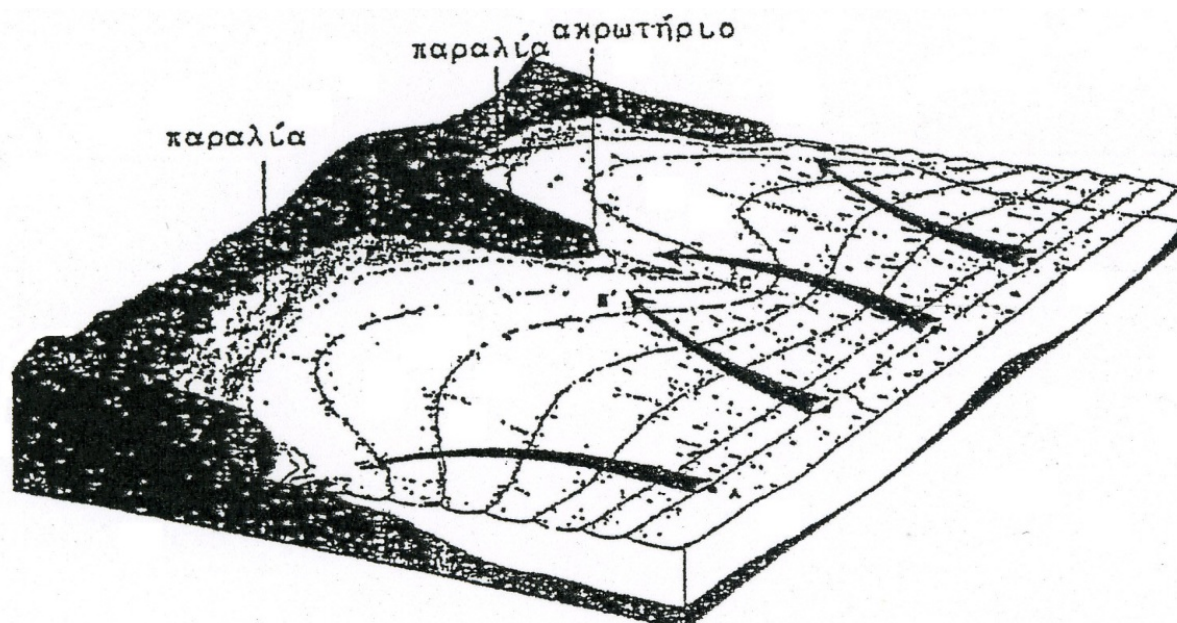
Η **ταχύτητα (v)** βρίσκεται με μεγάλη προσέγγιση από τον τύπο $v = \lambda/T$.

Όπως αναφέραμε πιο πάνω, στις βαθιές θάλασσες τα κύματα είναι ταλάντωσης και προωθείται μόνο η μορφή του κύματος (Σχ.61). Όταν περνά μια αλυσίδα κυμάτων, τα αντικείμενα που επιπλέουν υψώνονται και χαμηλώνουν, διαγράφοντας μια κυκλική τροχιά γύρω από τον εαυτό τους, χωρίς να μετακινούνται αισθητά. Η μετακίνησή τους οφείλεται στον αέρα που τα παρασύρει και τελικά η τροχιά γίνεται ασύμμετρη. Ως βαθιά νερά, χαρακτηρίζουμε αυτά που το βάθος τους είναι μεγαλύτερο του $\lambda/2$. Όσο όμως τα κύματα πλησιάζουν προς την ακτή που τα νερά είναι αβαθή (βάθος μικρότερο του $\lambda/2$), παθαίνουν πολύ σημαντικές αλλαγές. Αν παρατηρήσουμε μια αλυσίδα κυμάτων, βλέπουμε ότι όσο πλησιάζουν στην ακτή, η ταχύτητά τους ελαττώνεται, καθώς και το μήκος κύματός τους, ενώ το ύψος τους αυξάνει. Το μόνο χαρακτηριστικό που μένει αμετάβλητο είναι η περίοδος.

Αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών είναι ότι τα κύματα συγκεντρώνονται το ένα κοντά στο άλλο. Αν η αλυσίδα αυτή πλησιάζει πλάγια προς την ακτή, οι κορυφογραμμές των κυμάτων μετατοπίζονται και τείνουν να γίνουν παράλληλες προς την ακτή. Έτσι, ένα μέτωπο που κατευθύνεται προς την ακτή με γωνία 40° - 50° στα βαθιά νερά, φθάνει με μια γωνία μικρότερη των 5° . Η αλλαγή αυτή στην ταχύτητα, που συνοδεύεται και από την αλλαγή της πορείας του μετώπου των κυμάτων, λέγεται **διάθλαση** (Σχ.62). Η διάθλαση αποτελεί το βασικότερο παράγοντα που ελέγχει τη μεταβολή των ακτών, γιατί ελέγχει τη διαβρωτική δράση των κυμάτων κατά μήκος των ακτών, καθώς και τη μεταφορά και την απόθεση των ιζημάτων.



Σχ. 61. Στο σχήμα φαίνεται η μεταβολή του μήκους του κύματος όσο πλησιάζει προς την ακτή και μειώνεται το βάθος, ενώ αυξάνει το ύψος του κύματος. (Flint and Skinner, 1975).



Σχ. 62 Το σχήμα απεικονίζει τη διάθλαση των κυμάτων. Μπροστά από τα ακρωτήρια φαίνεται η συγκέντρωση των μετώπων των κυμάτων, ενώ μπροστά από τους κόλπους το μήκος κύματος είναι πολύ μεγαλύτερο. Τα βέλη δείχνουν τα σημεία της μεγαλύτερης διάβρωσης εξαιτίας της συγκέντρωσης της ενέργειας. (Flint and Skinner, 1975).



Σχ. 63. Κύμα που «σπάζει» στην ακτή.

Η δραστικότητα των κυμάτων εξαρτάται από το μήκος και το ύψος του κύματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η τροχιά που διαγράφει το νερό κατά την κίνησή του. Την ολική ενέργεια του κύματος μπορούμε να την αναπαραστήσουμε με μια στήλη νερού που κινείται κυκλικά. Καθώς το κύμα πλησιάζει σε αβαθή νερά, το μήκος κύματος και η ταχύτητα μειώνονται εξαιτίας της τριβής του νερού στον πυθμένα, ενώ το ύψος αυξάνει καθώς η στήλη του νερού ακουμπάει στον πυθμένα. Όσο προχωρεί σε πιο ρηγά νερά, τόσο μεγαλώνει το ύψος του, έως ότου φθάσει στο κρίσιμο σημείο όπου η κορυφή του κύματος γέρνει μπροστά από τη στήλη του νερού που την υποστηρίζει και τότε το κύμα προσπίπτει (σπάζει) στην ακτή με στροβίλους που κυλούν με δύναμη, παρασύροντας άμμο και χαλίκια (Σχ.63).

Απ' όσα είπαμε, βλέπουμε ότι η δύναμη των κυμάτων είναι τεράστια και αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για τη διαμόρφωση των ακτών με την ισχυρή διάβρωση που προκαλούν και τη μεταφορά και απόθεση των ιζημάτων. Η θαλάσσια διάβρωση γίνεται με μηχανική υδραυλική δράση, απορρίνιση, σμίκρυνση και διαλυτική διάβρωση

12. ΑΚΤΕΣ

Οι ακτές είναι τα όρια ανάμεσα στα ηπειρωτικά τμήματα και τη θάλασσα. Η ξηρά από τη θάλασσα χωρίζονται με μια γραμμή. Η γραμμή αυτή όμως δεν είναι πάντα αυστηρά καθορισμένη, αλλά μπορεί να μεταβάλλεται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι οι παλίρροιες και ο κυματισμός. Όταν λάβουμε υπόψη τις μεταβολές αυτές, τότε ο διαχωρισμός ξηράς και θάλασσας δεν γίνεται από μια γραμμή, αλλά από μια ζώνη, που το πλάτος της εξαρτάται από το μέγεθος των μεταβολών των παραγόντων που αναφέραμε, καθώς και από την κλίση της παράκτιας περιοχής. Στην περίπτωση όμως μιας ακτής με απόκρημνους βράχους μπορούμε να πούμε, ότι ο διαχωρισμός γίνεται με τη γραμμή που αντιστοιχεί στη στάθμη της θάλασσας ή καλύτερα στη μέση στάθμη της θάλασσας.

Για να προσδιορίσουμε την περιοχή που βρίσκεται στα όρια ξηράς και θάλασσας χρησιμοποιούμε μεγάλη ποικιλία λέξεων, γι' αυτό θα δώσουμε τον ορισμό κάθε μιας από γεωμορφολογικής πλευράς.

Γραμμή ακτής: είναι η γραμμή που χωρίζει την ξηρά από τη θάλασσα και αντιστοιχεί στο ίχνος της στάθμης της θάλασσας πάνω στην ξηρά.

Ακτή: είναι η ζώνη που περιλαμβάνεται μεταξύ του σημείου που φθάνει η μέση χαμηλή παλίρροια έως το σημείο που μετακινείται η άμμος που παρασύρεται από τα κύματα.

Παραλία: είναι μια πλατιά ζώνη που εκτείνεται από την ακτή ως το εσωτερικό της ξηράς, που δέχεται άμεσα την επίδραση της ακτής. Ως παραλία χαρακτηρίζονται ομαλές ή απόκρημνες περιοχές, καθώς και θαλάσσιες αναβαθμίδες.

Αιγιαλός: Είναι η ζώνη που αποτελείται από μη συνεκτικά υλικά, όπως είναι η άμμος (με μέγεθος κόκκων της τάξης των 2-0,05mm), χαλίκια ή άργιλος. Η ζώνη αυτή εκτείνεται από τη γραμμή ακτής έως το σημείο που παρατηρείται αλλαγή στο ύψος ή άλλα χαρακτηριστικά, όπως απόκρημνη ή φυτοκαλυμμένη περιοχή ή ζώνη θινών. Συνήθως, ως αιγιαλός χαρακτηρίζεται η περιοχή που δέχεται τη δράση του χειμερινού κύματος.

Το σχήμα των ακτών που παρατηρούμε σήμερα, είναι αποτέλεσμα διεργασιών που έγιναν κατά το γεωλογικό παρελθόν. Οφείλεται σε κινήσεις της ξηράς και της θάλασσας. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να έγιναν με την επίδραση ενδογενών δυνάμεων, όπως είναι οι ανυψώσεις ή οι ταπεινώσεις περιοχών, τα ρήγματα, η ηφαιστειακή δράση κλπ, καθώς και σε εξωγενείς παράγοντες, όπως είναι η δημιουργία παγετώνων, το λιώσιμο των πάγων, η διάβρωση και η απόθεση. Η βύθιση μιας περιοχής με κοιλάδες, ποταμούς και λίμνες δημιουργεί μια ανώμαλη οδοντωτή γραμμή από ακτές με άμμους, αβαθείς ή μεγάλους κόλπους κάθε είδους κοιλάματα, φιόρδ, πορθμούς και νησιά. ΟΙ ακτές αυτές χαρακτηρίζονται διεθνώς ως ακτές τύπου Ria. Παράδειγμα ακτών του τύπου αυτού, έχουμε πολλά στην Ελλάδα. Επίσης, διεθνώς, η ακτή του Ρίο στη Βραζιλία αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά χαρακτηριστικά παραδείγματα. Οι καταβυθίσεις πεδιάδων σχηματίζουν ευρείς κόλπους. Οι ακτές που σχηματίζονται από ανύψωση της στάθμης της θάλασσας ή καταβύθιση ξηράς, χαρακτηρίζονται σαν ακτές καταβύθισης, διεθνώς Ria. Τα χαρακτηριστικά των ακτών σήμερα, δείχνουν ότι είναι το αλγεβρικό αποτέλεσμα μιας σειράς από ανυψώσεις και καταβυθίσεις (Σχ. 64). Το μεγαλύτερο μέρος, όμως, των ακτών παρουσιάζει χαρακτηριστικά καταβύθισης, που οφείλονται κατά μεγάλο μέρος στην Φλανδρική επίκλυση, δηλ. την ευστατική ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, που προκλήθηκε από το λιώσιμο των παγετώνων.

Εκτός όμως από τις ακτές καταβύθισης, υπάρχουν ακτές ανάδυσης. Αυτές οφείλουν τη δημιουργία τους είτε σε τεκτονικά αίτια, όπως είναι οι ειρηνικές, ακτές, της Ν. Αμερικής είτε σε ισοστατικά αίτια, όπως είναι η εκφόρτιση των περιοχών από τεράστιες μάζες παγετώνων. Το λιώσιμο των παγετών, όπως αναφέραμε προκαλεί ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, αλλά η μεταβολή αυτή υπερκαλύπτεται από την ταχύτερη ανύψωση της ξηράς, μετά την απομάκρυνση του φορτίου της. Στην περίπτωση αυτή ανήκουν οι ακτές της Νορβηγικής χερσονήσου.

Ανακεφαλαιώνοντας, αναφέρουμε ότι η μελέτη των ακτών στην επιφάνεια της Γης απέδειξε ότι οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση των ακτών είναι:

Η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, η τεκτονική δομή, η λιθολογική σύσταση των στρωμάτων, η επίδραση των παγετώνων και η θαλάσσια διάβρωση και απόθεση. Πιο κάτω θα μελετήσουμε τις μεταβολές των ακτών και τους παράκτιους σχηματισμούς, σε σχέση κυρίως με τη δράση των ρευμάτων και των κυμάτων, που είναι οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν τη θαλάσσια διάβρωση και απόθεση.



Σχ. 64 Πολυσιχιδείς ακτές τύπου Ria.

12.3. Η διάβρωση και η απόθεση ως παράγοντες διαμόρφωσης των ακτών.

Η ακτή είναι η περιοχή, που με την επίδραση των ρευμάτων των παλιρροιών και των κυμάτων διαμορφώνεται σε παραλίες, κόλπους ή απότομους γκρεμούς. Η μορφολογία τους επηρεάζεται από τους ίδιους παράγοντες που επιδρούν στην ξηρά, όπως η διάβρωση, η απόθεση, η τεκτονική δράση κλπ. Η κυριότερη όμως επίδραση που δέχονται είναι η διάβρωση και η απόθεση που οφείλεται στη δράση των κυμάτων. Όταν χτυπούν τα κύματα θύελλας στα βράχια, ασκούν μια δύναμη που ξεπερνά τα 250 kp/m^3 . Η δράση των κυμάτων γίνεται εντονότερη, όταν τα κύματα στην ακτή χτυπούν σε βράχια που έχουν ρωγμές. Το νερό με τη δύναμη που χτυπά στα βράχια συμπιέζει τον αέρα στις ρωγμές αυτές και δρα σαν σφήνα, όταν δε το νερό υποχωρεί γίνεται μια μεγάλη εκτόνωση του αέρα, σαν μια μικρή έκρηξη, χαλαρώνοντας τη συνοχή των πετρωμάτων. Η συνεχιζόμενη δράση των κυμάτων προκαλεί τη δημιουργία απόκρημνων ακτών.

Μεγάλη αποτελεσματικότητα έχει και η απορρίνιση που προκαλούν τα κύματα οπλισμένα με άμμο και χαλίκια. Στην περίπτωση αυτή όμως, η δράση των κυμάτων δημιουργεί κυρίως οριζόντιες επίπεδες περιοχές, τις **κυματογενείς αναβαθμίδες** (Σχ 65). Για να καταλάβουμε καλύτερα τη δράση των κυμάτων, πρέπει να παρατηρήσουμε το προφίλ μιας απόκρημνης ακτής. Τα κύματα δρουν σαν ένα πρίονι, κόβοντας οριζόντια τον γκρεμό, στο ύψος περίπου της στάθμης της θάλασσας. Στη θέση αυτή, ανάλογα, η διαβρωτική δράση των κυμάτων είναι μεγάλη δημιουργώντας μια **θαλάσσια εγκοπή** (Σχ. 66), η οποία είναι εμφανής και διατηρείται αν η αντοχή των πετρωμάτων το επιτρέπει, υποδηλώνοντας τη στάθμη της θάλασσας. Όσο προχωρεί η διάβρωση, ο γκρεμός υποχωρεί προς την ξηρά και γίνεται πιο απότομος. Τα κατάλοιπα της διάβρωσης παρασύρονται σε βαθύτερα σημεία από τα κύματα και τα επιμήκη προς την ακτή ρεύματα, όπου δημιουργείται μια κυματογενής αναβαθμίδα, ενώ εξαιτίας της διάβρωσης και της υποχώρησης του γκρεμού δημιουργείται μια σχεδόν επίπεδη περιοχή με μικρή κλίση, καλυμμένη από μικρό πάχος ιζημάτων, η ζώνη διάβρωσης. Τα πετρώματα που προσβάλλονται από τα κύματα, παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή στη διάβρωση ή υφίστανται διαφορετικού βαθμού προσβολή. Τότε, τα πιο ευκολοδιάβρωτα υποχωρούν γρηγορότερα και στη θέση τους δημιουργούνται **θαλάσσια σπήλαια** και **θαλάσσιες αψίδες** (Σχ.67, 68). Όταν η διάβρωση προχωρήσει, η θαλάσσια αψίδα καταστρέφεται και απομένει απέναντι από την ακτή ένας απομονωμένος βράχος, η **θαλάσσια στήλη**.

Τα πετρώματα που προσβάλλονται από τα κύματα, παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή στη διάβρωση ή υφίστανται διαφορετικού βαθμού προσβολή. Τότε, τα πιο ευκολοδιάβρωτα υποχωρούν γρηγορότερα και στη θέση τους δημιουργούνται **θαλάσσια σπήλαια** και **θαλάσσιες αψίδες**. Όταν η διάβρωση προχωρήσει, η θαλάσσια αψίδα καταστρέφεται και απομένει απέναντι από την ακτή ένας απομονωμένος βράχος, η **θαλάσσια στήλη**.

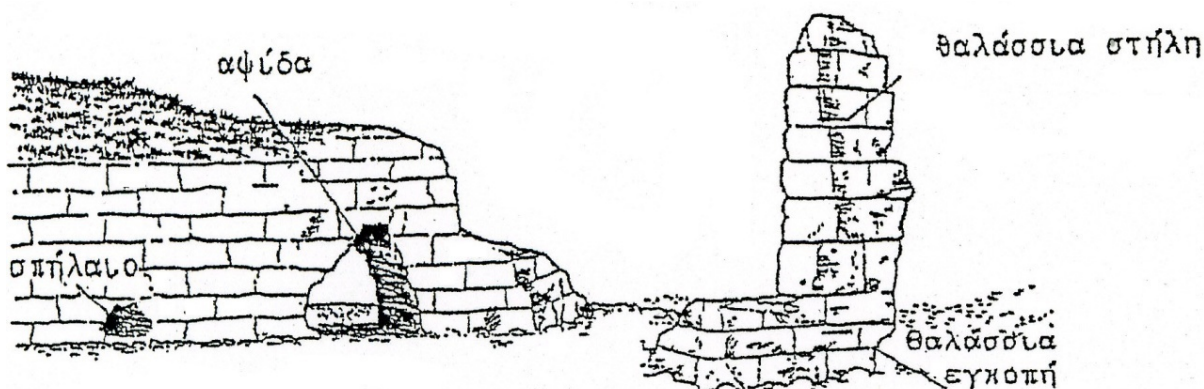
Επίσης όταν η διάβρωση ενός θαλάσσιου σπηλαίου συναντήσει κατακόρυφη ρωγμή προς την ξηρά, η ρωγμή διευρύνεται με μηχανική υδραυλική δράση που προκαλεί ο



Σχ. 65. Διαμόρφωση ακτής με διάβρωση στα ακρωτήρια και απόθεση στους κόλπους με δημιουργία αιγιαλών.



Σχ. 66 Στη βάση του βράχου διακρίνεται η θαλάσσια εγκοπή.



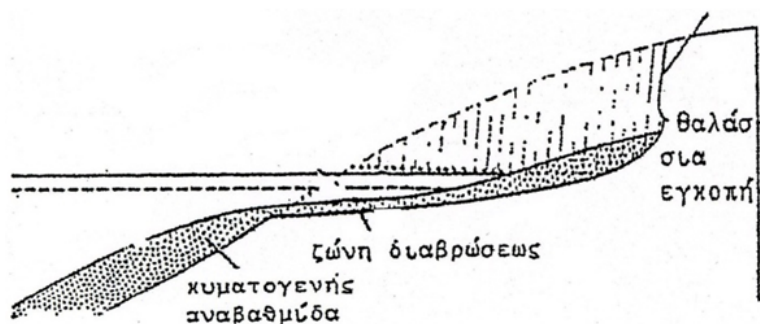
Σχ. 67 . Θαλάσσιο σπήλαιο και αψίδα, δημιουργημένα από τη διάβρωση των κυμάτων (Flint and Skinner, 1975).

συμπιεσμένος αέρας μέσα στο άνοιγμα και δημιουργείται μια τρύπα απ' όπου εκτινάσσεται νερό, που λέγεται **φουσητήρας**.

Η πορεία της διάβρωσης των παράκτιων σχηματισμών μπορεί να συνοψισθεί ως εξής:

Στην αρχή, η θάλασσα καλύπτει μια περιοχή που έχει ήδη διαμορφωθεί από την ποτάμια διάβρωση και σχηματίζεται μια ακανόνιστη γραμμή ακτής. Οι σχηματισμοί που βρίσκονται στην ακτή προσβάλλονται από τη θαλάσσια διάβρωση (ενέργεια κυμάτων, ρευμάτων κατά μήκος της ακτής, απορρίνιση) και αρχίζουν να υποχωρούν. Η ταχύτητα υποχώρησης εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων και την ένταση των διαβρωτικών παραγόντων. Στην ακτή δημιουργούνται απότομοι γκρεμοί, θαλάσσια σπήλαια, αψίδες, θαλάσσιες εγκοπές, κλπ., ενώ στη θάλασσα, μπροστά στους γκρεμούς δημιουργείται μια αθής ζώνη με μικρή κλίση, η ζώνη διάβρωσης.

Γκρεμός που δημιουργήθηκε από τη
διάβρωση των κυμάτων



Σχ.68 Τομή ακτής, στην οποία φαίνεται η δράση της διάβρωσης (Flint and Skinner, 1975).

Το υλικό που απομακρύνεται από τη ζώνη διάβρωσης αποτίθεται στην ηπειρωτική κλιτή και δημιουργεί μια κυματογενή αναβαθμίδα (Σχ. 69, 70). Όσο επεκτείνεται η ζώνη διάβρωσης, τόσο τα κύματα που φθάνουν στην ακτή γίνονται μικρότερα και ασθενέστερα και η διάβρωση της ακτής επιβραδύνεται. Στο στάδιο αυτό, ελαττώνεται η διαβρωτική δράση των θαλασσίων παραγόντων και επικρατεί η διάβρωση των πετρωμάτων από χερσαίους παράγοντες και οι κινήσεις μαζών, που διαμορφώνουν ένα ομαλό ανάγλυφο και μια ομαλή παραλία.



Σχ.69. Σπήλαιο θαλάσσιας διάβρωσης.

Η διεργασία όμως που αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα στη διαμόρφωση των ακτών, είναι όπως αναφέραμε και πιο πάνω η **διάθλαση των κυμάτων**, που καθορίζει τον τρόπο και τη διεύθυνση διάβρωσης και απόθεσης των ιζημάτων. Το αποτέλεσμα της διάθλασης των κυμάτων είναι η συγκέντρωση ενέργειας στα ακρωτήρια και η διασπορά ενέργειας στους κόλπους. Καθώς τα κύματα πλησιάζουν στην ακτή, συναντούν πρώτα τα αβαθή νερά μπροστά από τα ακρωτήρια και επιβραδύνονται, ενώ μπροστά στους κόλπους συνεχίζουν με την ίδια ταχύτητα. Οι μεταβολές αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα την προώθηση του μετώπου του κύματος προς την παραλία. Η ενέργεια μπροστά στα ακρωτήρια συγκεντρώνεται σε μια σχετικά μικρή έκταση. Όπως φαίνεται από την πύκνωση των μετώπων των κυμάτων και τα κύματα χτυπούν στα ακρωτήρια με μεγάλη ένταση προκαλώντας μεγάλη διάβρωση, ενώ αντίθετα στους κόλπους όπου η ενέργεια διαχέεται σε

μεγαλύτερη έκταση, η ένταση είναι μικρότερη και δρουν κυρίως σαν παράγοντες μεταφοράς και απόθεσης ιζημάτων.



Σχ. 70. Οι κλιμακωτές οριζόντιες επιφάνειες που διακρίνονται στην ακτή αποτελούν κυματογενείς αναβαθμίδες, που δημιουργήθηκαν από ασυνεχείς ανυψωτικές κινήσεις της χέρσου.

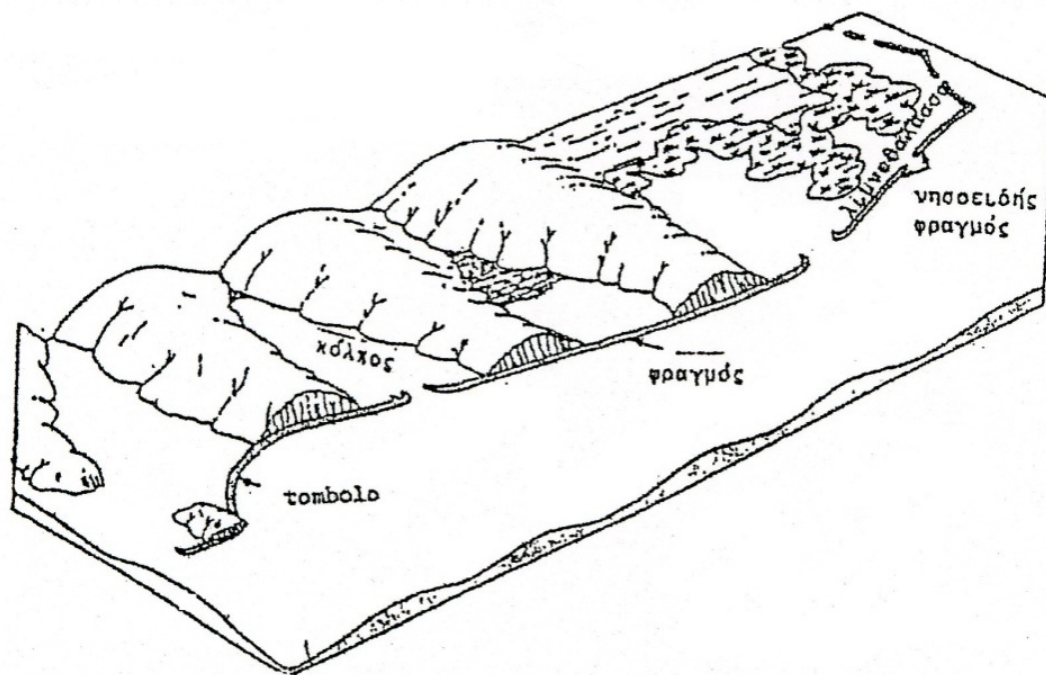
Στις ακτές, όπως βλέπουμε, τα ιζήματα βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, μεταβάλλοντας συνεχώς τη μορφή τους και δημιουργούν γεωμορφές που είναι μέρος αυτού του δυναμικού συστήματος. Όταν το σχήμα των ακτών δεν μεταβάλλεται αισθητά, τότε η ακτή αποκτά **εξισορροπημένη γραμμή ακτής**. Αυτό συμβαίνει όταν η ενέργεια των κυμάτων είναι αρκετή για να μεταφέρει ποσότητες ιζημάτων, αλλά δεν επαρκεί για να διαβρώσει την ακτή. Οι εξισορροπημένες ακτές έχουν συνήθως λεία και ελαφρά καμπυλόγραμμη ή ευθεία γραμμή παραλίας. Οι μορφές απόθεσης που συναντώνται στις ακτές, δημιουργούνται από ιζήματα που μεταφέρονται από τα κύματα και τα ρεύματα. Τα ιζήματα μπορεί να είναι υλικά διάβρωσης των ακτών, θαλάσσιας προέλευσης ή να είναι χερσαίας προέλευσης, όπως είναι το φορτίο που αποθέτουν οι ποταμοί ή οι παγετώνες ή να είναι υλικά κατολισθήσεων. Πιο κάτω, θα περιγράψουμε μορφές αποθέσεως.

Αιγιαλός: όπως έχουμε πει, είναι η ζώνη που βρίσκεται ανάμεσα στη ζώνη κυματογής και το σημείο προς την ξηρά όπου παρατηρείται αλλαγή στα μορφολογικά και.

φυσιογραφικά χαρακτηριστικά. Καλύπτεται από ασύνδετα υλικά (άμμο, χαλίκια, αργιλικούς ογκόλιθους κλπ). Το σχήμα, η κλίση της, καθώς και η σύσταση και το μέγεθος των υλικών που την αποτελούν, εξαρτάται κυρίως από τη δράση των κυμάτων και των κατά μήκος της ακτής ρευμάτων. Η προέλευση των ιζημάτων της ζώνης αυτής είναι κυρίως χερσαία. Τα ιζήματα αυτά, μεταφέρονται από τα κύματα και τα κατά μήκος της ακτής ρεύματα, με το μηχανισμό που περιγράψαμε στη διάθλαση των κυμάτων.

Με τα ρεύματα απομακρύνονται τα ιζήματα, από περιοχές υψηλής ενέργειας, όπως είναι τα ακρωτήρια και αποτίθενται σε περιοχές χαμηλής ενέργειας, όπως είναι οι κόλποι. Έτσι δημιουργούνται περιοχές, όπου η συσσώρευση είναι μεγάλη και ο αιγιαλός είναι πολύ αναπτυγμένος και περιοχές που είναι γυμνές από ιζήματα και ουσιαστικά δεν υπάρχει αιγιαλός.

Βραχίονες: είναι επιμήκεις σχηματισμοί από άμμο και χαλίκια, των οποίων η μια άκρη ενώνεται με την ξηρά, ενώ η άλλη άκρη τους εκτείνεται και αναπτύσσεται προς τη θάλασσα. Δημιουργούνται σε επιμήκεις ακτές που διακόπτονται από κόλπους ή βυθισμένες εκβολές. Τα ιζήματα που μεταφέρονται από τα κύματα και τα ρεύματα κατά μήκος της ακτής, αποτίθενται μπροστά στους κόλπους, σε θέσεις χαμηλής ενέργειας σε βαθύτερα νερά, δημιουργώντας βραχίονες παράλληλους στην ακτή. Το σχήμα τους μπορεί να είναι ευθύγραμμο ή κυρτό (αγκιστροειδείς βραχίονες) (Σχ.71, 72)



Σχ. 71. Σχηματική παράσταση διαφόρων τύπων αποθέσεων στις ακτές.

Οι βραχίονες αναπτύσσονται και επιμηκύνονται, με συνεχή απόθεση ιζημάτων, με αποτέλεσμα πολλές φορές να ενώνονται με την απέναντι ακτή και να αποφράσσουν εντελώς τον κόλπο. Τότε ονομάζονται **φραγμοί** (bay barrier, Σχ 71,73). Οι φραγμοί εμποδίζουν την απομάκρυνση των ιζημάτων που συσσωρεύονται στον κόλπο, με αποτέλεσμα ο κόλπος να γεμίζει με ιζήματα που μεταφέρονται από την ξηρά, να γίνεται πιο ρηχός και να έχουμε επικοδόμηση ξηράς.



Σχ. 72 Ο κόλπος κλίνει από την ανάπτυξη αγκιστροειδών βραχιόνων.

Νησοειδείς φραγμοί: Πολλές φορές μπροστά στους κόλπους παρατηρούνται επιμήκεις σχηματισμοί από άμμο και χαλίκια. Οι σχηματισμοί αυτοί ονομάζονται **νησοειδείς φραγμοί** και για την προέλευσή του υπάρχουν διάφορες ερμηνείες. Κατά μια άποψη αποτελούσαν βραχίονες, οι οποίοι δέχονταν την έντονη δράση παλιρροϊκών ρευμάτων με αποτέλεσμα να εξασθενίσουν εξαιτίας της απομάκρυνσης των ιζημάτων και να αποκοπούν, ενώ κατά άλλη εκδοχή δημιουργήθηκαν κατά το τεταρτογενές. Κατά την εποχή αυτή, η τήξη των πάγων προκάλεσε άνοδο της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα. Αποτέλεσμα της ανύψωσης αυτής, ήταν να κατακλυσθούν οι παράκτιες περιοχές και παρέμειναν πάνω από το

νερό υπερυψωμένοι σχηματισμοί, όπως ήταν οι παράκτιες θίνες που διακρίνονται σήμερα ως νησοειδείς φραγμοί. Η θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στην ακτή και τον νησοειδή φραγμό, είναι μια λιμνοθάλασσα ή λαγκούνα (lagoon) (Σχ. 73). Όπως στην προηγούμενη περίπτωση των φραγμών, έτσι και σ' αυτή, εμποδίζεται η απομάκρυνση των ιζημάτων από το χώρο που βρίσκεται ανάμεσα στην ακτή και στους νησοειδείς φραγμούς και η περιοχή γίνεται αβαθής και σιγά σιγά δημιουργείται ξηρά.



Σχ. 73. Στην ακτή παρατηρούνται επιμήκεις σχηματισμοί από άμμο και χαλίκια ,που πίσω απ' αυτούς δημιουργούνται λαγκούνες.

Tobolo: ονομάζεται ένας αμμώδης επιμήκης σχηματισμός που συνδέει την ακτή με ένα νησί που βρίσκεται απέναντί της. Το νησί δρα σαν ένας φυσικός κυματοθραύστης, δημιουργώντας πίσω από αυτό μια ζώνη χαμηλής ενέργειας. Τα κύματα που κατευθύνονται προς την ακτή διαθλώνται και συγκλίνουν προς τη ζώνη αυτή, όπου και αποθέτουν τα ιζήματα που μεταφέρουν, δημιουργώντας τα **tombolos** (Σχ.74).



Σχ.74 Tombolo



Σχ. 75. Στην ακτή παρατηρούνται αποθέσεις beach rocks.



Σχ. 76. Τομή beach rock. Διακρίνονται οι συγκολλημένες κροκάλες και ψαμμίτες, που το αποτελούν.

Beach rock: (Ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί). Στην παραλία, στην παλιρροϊκή ζώνη, συναντώνται πολλές φορές λεπτά στρώματα, πλάκες, που κλίνουν προς τη θάλασσα με γωνία μικρότερη των 15° . Αποτελούνται από ψαμμιτικό υλικό ή κροκάλες, καλά ή μέτρια συγκολλημένα με ανθρακικό υλικό (Σχ. 75, 76).

τέτοιων σχηματισμών έχουμε σε πολλές περιοχές της Ελλάδας. Στην Αττική για παράδειγμα, tombolo είναι ο αμμώδεις σχηματισμός στο Λαιμό της Βουλιαγμένης που ενώνει την ακτή με το Μεγάλο Καβούρι.

Κοχιλιογενής ύφαλος (reef). Είναι ένας συνεκτικός σχηματισμός δομημένος από κοχύλια και γενικά σκελετούς θαλάσσιων οργανισμών και ιδιαίτερα κοραλλιών. Όταν ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από κοράλλια και αναπτύσσεται σε βαθιά νερά με ένα ανώμαλο κυκλικό σχήμα που και εγκλείει μια αβαθή λαγκούνα, ονομάζεται **ατόλλη**.

Εκτός όμως από την επίδραση των κυμάτων και των ρευμάτων, οι ακτές δέχονται και την επίδραση του ανέμου. Όταν φυσά άνεμος από τη θάλασσα προς την ξηρά, μεταφέρει άμμο και την αποθέτει σε παράκτιες περιοχές δημιουργώντας **παράκτιες θίνες**.

13. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

13.1. Επίδραση του ανθρώπου στις ακτές

Το παράκτιο περιβάλλον, εξαιτίας του τεράστιου ενδιαφέροντος που παρουσιάζει για τον άνθρωπο, είναι αυτό που δέχεται και την πολλαπλή επίδρασή του. Τα λιμενικά έργα και η τουριστική αξιοποίηση με δημιουργία πλαζ, χώρων ελλιμενισμού σκαφών ελλιμενισμού σκαφών αναψυχής, η κατασκευή τεχνητών βραχιόνων για την προστασία των ακτών από τη διάβρωση και οι επιχωματώσεις για τη δημιουργία δημοσίων κτημάτων, τα ιχθυοτροφεία κλπ, είναι μερικές από τις επεμβάσεις του ανθρώπου στις ακτές. Οι μεταβολές που επέρχονται στην ακτογραμμή είναι άμεσες και έμμεσες.

13.2. Προστασία ακτών από τη διάβρωση

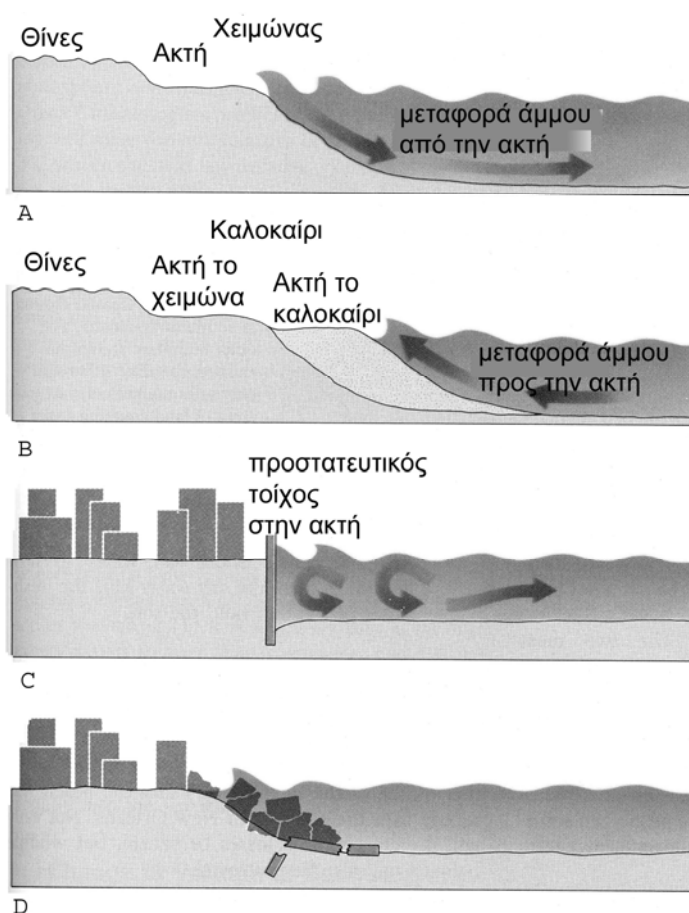
Η υποχώρηση των ακτών οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Η διάβρωση ακρωτηρίων και άλλων περιοχών που δέχονται έντονη κυματική ενέργεια, η υποχώρηση των ακτών εξαιτίας αμμοληψιών, η αποστέρηση ή μείωση της στερεοπαροχής των ρευμάτων από διάφορες αιτίες, έχουν ως αποτέλεσμα την υποχώρηση της ακτής. Για την προστασία των ακτών από τη διάβρωση, λαβαίνονται σε κάθε περίπτωση τα κατάλληλα μέτρα.

Για να προστατευθεί μια απότομη ακτή από τη διάβρωση, μπορούμε να χτίσουμε έναν τοίχο ή να συσσωρεύσουμε ογκόλιθους μπροστά στον γκρεμό και έτσι αναχαιτίζουμε τη διαβρωτική δράση των κυμάτων, που θα προκαλούσε την υποχώρησή της. Με τον τρόπο αυτό προστατεύουμε τις κατασκευές που βρίσκονται κοντά στην ακτή, αλλά εμποδίζουμε συγχρόνως την τροφοδοσία της παράκτιας ζώνης με ιζήματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα κύματα να απομακρύνουν το υλικό που βρίσκεται μπροστά από τον τοίχο, χωρίς αυτό να αντικαθίσταται από άλλο που θα προερχόταν από την υποχώρηση του γκρεμού, με

αποτέλεσμα να βαθαίνει η θάλασσα στο τμήμα αυτό και αν υπήρχε αιγιαλός να εξαφανιστεί τελείως (Σχ. 77).

Με τη δημιουργία τεχνητών βραχιόνων εμποδίζουμε τη μεταφορά ιζημάτων κατά μήκος της ακτής (Σχ. 78). Με ιζήματα και μπορεί να δημιουργηθεί ένας ευρύς αιγιαλός, ενώ πίσω από αυτόν μπορεί να αρχίσει μια σχετικά αργή απομάκρυνση υλικού (γιατί ανακόπτεται η δράση των κατά μήκος της ακτής ρευμάτων από τον βραχίονα) και προκαλείται μείωση του εύρους του αιγιαλού.

Διαταραχή στην κίνηση των ιζημάτων στην ακτή επιφέρουν και οι λιμενοβραχίονες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη των ρευμάτων, των κυμάτων και της μετακίνησης των ιζημάτων στην παράκτια ζώνη, ώστε να γίνουν κατάλληλες κατασκευές που να μην επιφέρουν διαταραχή στην ισορροπία της ακτής. Όπως αναφέραμε πιο πάνω, οι τεχνητές κατασκευές είναι δυνατόν να δημιουργήσουν χώρους συσσώρευσης άμμου ή και να προκαλέσουν έντονη διάβρωση της ακτής.



Σχ.77 Τα ρεύματα και τα κύματα προκαλούν κίνηση των παράκτιων ιζημάτων, απόθεση το καλοκαίρι και διάβρωση το χειμώνα με αποτέλεσμα την καταστροφή των προστατευτικών τοίχων της ακτής και στη συνέχεια των παράκτιων κατασκευών.



Σχ. 78 Προστασία της ακτής με κατασκευή τεχνητών βραχιόνων.

Οι μεταβολές που επέρχονται στις ακτογραμμές μπορεί να οφείλονται και σε άλλους παράγοντες εκτός από τις κατασκευές. Η καταστροφή των δασών προκαλεί μεγαλύτερη αποσάθρωση στις περιοχές που απογυμνώνονται, με αποτέλεσμα να μεταφέρεται μεγαλύτερη ποσότητα ιζημάτων με τα ποτάμια στη θάλασσα, μεταβάλλοντας την κατάσταση ισορροπίας

Η υποχώρηση της ακτής μπορεί να οφείλεται, επίσης, σε άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η μεταβολή της στάθμης μπορεί να οφείλεται σε ευστατικές ή τεκτονικές κινήσεις. *Η αναγνώριση των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας δηλαδή η υποχώρηση ή η άνοδος της στάθμης αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μορφοτεκτονικό στοιχείο, ιδιαίτερα για τη διαπίστωση νεοτεκτονικών κινήσεων.*

13.3. Επιπτώσεις από τη δημιουργία φραγμάτων και αρδευτικών διωρύγων.

Η κατασκευή φραγμάτων χρησιμεύει για τη συγκέντρωση νερών σ' έναν ταμιευτήρα και τη χρησιμοποίησή του, στη συνέχεια, για παραγωγή ενέργειας ή ύδρευση. Σε ποτάμια με μεγάλες παροχές, πολλές φορές κατασκευάζονται περισσότερα από ένα φράγματα. Αυτά εκτός από τα οφέλη που προσφέρουν, προκαλούν και μεταβολές στο περιβάλλον.

Οι ταμιευτήρες, εκτός από το νερό συγκρατούν και μεγάλο μέρος των ιζημάτων που μεταφέρει ο ποταμός και μετά από ένα χρονικό διάστημα, το οποίο έχει υπολογισθεί από τις μελέτες, θα πληρωθούν.

Τα ιζήματα όμως, που φυσιολογικά θα κατέληγαν στη θάλασσα, συσσωρεύονται στους ταμιευτήρες, με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η ισορροπία στις ακτές γιατί φθάνουν μικρότερες ποσότητες ιζημάτων και υποχωρούν.

Ο υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή του ταμιευτήρα εμπλουτίζεται και ανεβαίνει η στάθμη του, με κίνδυνο να δημιουργηθούν κατολισθήσεις, αν υπάρχουν στις κλιτείες χαλαρά υλικά.

Αν το φράγμα γίνεται για ύδρευση, τότε ουσιαστικά σταματά η ροή του ποταμού προς τις εκβολές, με συνέπεια την ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

Η δημιουργία διωρύγων γίνεται για διάφορους λόγους, όπως:

- α) Για αποστράγγιση. Αποστραγγίζονται και αποξηραίνονται περιοχές που έχουν πολύ αβαθή ή επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα, με την κατασκευή δικτύου διωρύγων. Έτσι, αφενός δημιουργούνται καλλιεργήσιμες εκτάσεις και αφετέρου η μέθοδος αυτή χρησιμεύει και για την απαλλαγή της περιοχής από κουνούπια.
- β) Για έλεγχο πλημμυρών, συντομεύοντας την πορεία και αυξάνοντας την ταχύτητα του ρεύματος.
- γ) Για ναυσιπλοΐα, διευρύνοντας και βαθαινώντας τμήματα του ρεύματος ή δημιουργώντας διώρυγες που συνδέουν υπάρχοντα ρεύματα.
- δ) Για αρδευτικούς σκοπούς. Είναι μια πολύ διαδεδομένη μέθοδος για να εξασφαλίσουμε τις αναγκαίες ποσότητες νερού για το πότισμα των καλλιεργειών. Έτσι και πολλές περιοχές που δεν είχαν νερό, αποκτούν τη δυνατότητα άρδευσης αποφέροντας τεράστια οικονομικά οφέλη. Δημιουργεί όμως και πολλά προβλήματα. Με την άρδευση τροφοδοτείται ο υπάρχων υδροφόρος ορίζοντας και ανεβαίνει η στάθμη του, προκαλώντας μεταβολές στον υδρολογικό ισοζύγιο. Σε περιοχές που ανήκουν στην ξηρή ή ημίξηρη τροπική ή υποτροπική ζώνη, η εξάτμιση είναι πολύ γρήγορη και μαζί με το νερό ανέρχονται τριχοειδώς στην επιφάνεια και πολλά διαλυμένα άλατα, που με την ταχεία εξάτμιση δημιουργούν αλμυρά εδάφη στην επιφάνεια. Άλλη μια δυσμενής επίπτωση είναι και η διάδοση της ρύπανσης και της μόλυνσης. Νερό μολυσμένο με μικροοργανισμούς

μεταφέρεται από το ποτάμι σε μεγάλες αποστάσεις και με το πότισμα διαδίδεται η μόλυνση σε μεγάλη έκταση και προκαλούνται διάφορες αρρώστιες ή επιδημίες που πολλές φορές φαίνονται ανεξήγητες.

13.4. Φυσικοί κίνδυνοι στην Ελλάδα

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από Μεσογειακό κλίμα και ανήκει στην ημίξηρη υποτροπική κλιματική ζώνη. Λαμβάνοντας υπόψη τα κύρια χαρακτηριστικά του σημερινού περιβάλλοντος, του παλαιοπεριβάλλοντος και τη γεωμορφολογία της, μπορούμε να καθορίσουμε μερικούς από τους φυσικούς κινδύνους που μας απασχολούν:

- παγετός
- σφοδροί άνεμοι
- καταρρακτώδεις βροχές (μικρής διάρκειας)
- πλημμύρες
- χαλάζι
- βροχοπτώσεις
- ξηρασία
- ρύπανση της ατμόσφαιρας
- ρύπανση των νερών
- θόρυβος (αστικές περιοχές)
- σεισμικότητα
- Γεωμορφολογικά φαινόμενα (κινήσεις μαζών, πλημμύρες)

Οι σύντομες, αλλά καταρρακτώδεις βροχές που πέφτουν κατά διαστήματα δημιουργούν πολλά προβλήματα.

Μέσα σε λίγες μόνο ώρες μπορεί να σημειωθεί τόσο ύψος βροχής όσο και τον υπόλοιπο χρόνο. Αυτό έχει σαν συνέπεια να συγκεντρώνονται τα νερά και τεράστιες ποσότητες αποσθρωμάτων σε χείμαρρους και από εκεί στα ποτάμια ανεβάζοντας τόσο τη στάθμη τους,

ώστε να μην επαρκεί πια η κοίτη και το νερό να πλημμυρίζει τις γύρω περιοχές. Ανάλογα φαινόμενα όμως αντιμετωπίζουμε και στις πόλεις. Πολλές φορές καλύπτονται χείμαρροι και προκαλείται εκτροπή μικρών ρευμάτων. Κατά τη διάρκεια όμως καταρρακτωδών βροχών, τα νερά ακολουθούν τις γραμμές του ήδη διαμορφωμένου υδρογραφικού δικτύου, δεδομένου ότι δεν προβλέφθηκε δημιουργία τεχνητής αποστράγγισης, και προκαλούνται πλημμύρες που καμιά φορά προκαλούν και θανάτους.

Προβλήματα, όμως, παρουσιάζονται κατά τις βροχές. Σε πολλές περιοχές δεν υπάρχει δίκτυο αποχέτευσης βρόχινων νερών ή είναι ανεπαρκές. Τα νερά κυλούν στους δρόμους δημιουργώντας ποτάμια. Η ασφαλτος εμποδίζει μέρος του νερού να κατεισχύσει στο έδαφος και έτσι κυλάει όλο επιφανειακά, μεγαλώνοντας το πρόβλημα.

Ο ελληνικός χώρος παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο με μεγάλα υψόμετρα και κλίσεις πρανών. Μεγάλες εκτάσεις καταλαμβάνονται από φλύσχη, που όπως είναι γνωστό αποτελείται από εναλλαγές ασβεστολιθικών, ψαμμιτικών και αργιλικών στρωμάτων παρουσιάζοντας μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας σε κατολισθήσεις. Οι πλαγιές των βουνών καλύπτονται από αποσαθρώματα μικρού ή μεγάλου πάχους και πολλές φορές παρουσιάζουν μεγάλες κλίσεις. Τέλος, η έντονη τεκτονική δραστηριότητα έχει προκαλέσει μεγάλη και έντονη διάρρηξη των πετρωμάτων, που πολλές φορές συνοδεύεται από ανοδικές κινήσεις. Αυτό έχει σαν συνέπεια την έντονη κατά βάθος διάβρωση των ανυψωμένων περιοχών και την δημιουργία απότομων κλιτύων. Οι δρόμοι και οι οικισμοί συχνά κόβουν τα πρανή, διαταράσσοντας την ευστάθειά τους και αυξάνουν την τάση για κίνηση μαζών. Όλοι αυτοί οι παράγοντες, συνδυαζόμενοι με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν, δημιουργούν αυξημένους κινδύνους κατολισθήσεων και κυρίως μετά από μεγάλες βροχοπτώσεις γιατί το νερό διαβρέχει τα πετρώματα, αυξάνει το βάρος τους και επακολουθούν μεγάλες κινήσεις μαζών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α., Σαχπάζης, Κ. 1994: Διερεύνηση της ευστάθειας των πρανών της περιοχής Αλμυρής-Κατακαλίου (Ν. Κορινθίας), τρόποι αντιμετώπισης συγκράτησης αστοχιών. Πρακτ. 30ου Πανελ. Γεωγρ. Συνεδρ., σελ. 380-402, Αθήνα.
- Alexouli-Livaditi, A., 1997: Geomorphological investigations of the drainage network and calculation of the Peak Runoff Storm (QP) of the main drainage basins of Tinos Island. International Symposium Engineering. Rotterdam.
- Alexouli-Livaditi, A., Livaditis, G., 1997: Investigation and delineation of areas where intense erosion and mass wasting may occur at Tinos Island (Greece). International Symposium Engineering Geology and the Environment Balkema, p.25-29, Rotterdam.
- Alexouli-Livaditi, A., Livaditis, G., Sachpazis, K, 1997: Geomorphological Investigations of the Drainage Network and Calculation of the Peak Runoff Storm (QP) and Sediment Field of Sarantapotamos and Katsimidi Streams. International Symposium Engineering Geology and the Environment, Balkema, p.31-40, Rotterdam
- Alexouli-Livaditi, A., 1999: Quantitative geomorphological study of Eurotas river drainage network (Greece). Πρακτ. 50ου Πανελ. Γεωγρ. Συνεδρ., σελ. 206-216, Αθήνα.
- Αναγνώστου, χ., Χρόνης, Γ., 2002: Το Γήινο Σύστημα. Χαμηλοθώρας, Αθήνα.
- Aubuin, J., Brousse, R., Lehman, J.P., 1975: Précis de géologie. -Tectonique, tectonophysique, morphologie.
- Αυγουστίδης, Σ.Σ., 1969: Γενική Γεωλογία, Μέρος Ι (Γεωμορφολογία), Αθήνα. Bickford, M., Bolf, B. et al., 1974: Geology Today, CRM Books Del Mar, California. Bird, E., 1985: Coastline Changes. Willey, New York
- Bird, E., 2004: Coastal Geomorphology. An Introduction. Willey, New York.
- Burbank, D. -Anderson, R., 2004: Tectonic Geomorphology, Blackwell Science. Clifton, Clifton, E., 1983: Wave formed sedimentary structures. A conceptual Model. U.S. Geol. Survey, California.
- Coates, R., 1980: Geomorphology and Engineering. George Allen & Unwin, London.
- Coates, R., 1981: Environmental Geology. John Willey and Sons Inc.
- Cooke, Rand Warren, A., 1973: Geomorphology in deserts, Batsford, London.
- Davis, R., 1978: Coastal sedimentary Environments, Springer-Verlag.
- Δερμιτζάκης, Μ., Λέκκας, Σ., 1982: Διερευνώντας τη Γη, εισαγωγή στη Γεν. Γεωλογία, Αθήνα.
- Ernst, W. G., 2000: Earth Systems. Cambridge University Press, U.K.

- Flint, R.F., Skinner, B., 1974: Physical Geology. J.Wiley and Sons New York.
- Goudie, A., 1984: The Nature of the environment, Blackwell, Great Britain.
- Hails, J., 1978: Applied Geomorphology, Elsevier, Amsterdam.
- Hamblin, κ., Howard, J., 1975: Exercises in Physical Geology, Burgess Publ. Co., Minnesota.
- Hamblin, K., 1978: The Earth's Dynamic Systems. Burgess Co, Minneapolis.
- Herak, M. and Stringfield, V., 1972: Karst. Important Karst Regions on the Northern Hemisphere. Elsevier Amsterdam.
- Holms, A., 1965: Principles of physical Geology, Th. Nelson Ltd. London 1965.
- Jakucs, L., 1977: Morphogenetics of Karst Regions. Academie Kiado, Budapest.
- Keller, A., 1978: Environmental Geology. Charles E. Merrill Publishing Co., A. Bell and Howell Company, USA.
- King, C., 1972: Beaches and Coast. Edward Arnold.
- Komar, P., 1983: Handbook of coastal processes and erosion. C.R.C. Press-Boca Florida.
- Livingstone, I., Warren, A., 1996: Aeolian Geomorphology. An introduction. Longman, Edinburgh.
- Lutgens, T., 1997: Earth Science. Prentice Hall, New Jersey 07458.
- Masselink, G., Hughes, M., 2003: Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. Arnold, London.
- Nobel, B., Wight, R., 1998: Environmental Science. Prentice Hall, New Jersey. Montgomery, C. 1997: Environmental Geology. McGraw-Hill Boston.
- Pethick, J., 1989: An Introduction to coastal Geomorphology. Arnold, London.
- Poulos, S.E., Collins M.B. and Evans G., 1996: Water-sediment fluxes of Greek rivers, southeastern alpine Europe: annual yields, seasonal variability, delta formation and human impact. Zeitschrift für Geomorphologie, 40(2), p. 243-261.
- Poulos S. and Chronis G., 1997: "The importance of the Greek River Systems in the Evolution of the Greek coastline". In: Transformations and evolution of the Mediterranean coastline, F. Brian and A. Maldolato (Eds), CIESM Science Series no 3, Bulletin de l'Institute Oceanographique, Monaco, no 18, p. 75-96,
- Selby, M. J., 1985: Earth's Changing Surface, Clarendon Press, Oxford.
- Small, R., 1972: The study of landforms, Cambridge. Univ. Press.
- Shelton, J., 1966: Geology illustrated, Freeman, Co U.S.A.
- Tarburck, E., Lutgens, F., 1997: Earth Science. Prentice Hall, New Jersey.
- Thornbury, D.W., 1969: Principles of Geomorphology. J. Wiley and Sons. New York.
- Tricart, J., 1972: Landforms of the humid tropics, forests and savannas. Longman. Viles, H., Spencer, T., 1995: Coastal Problems. Arnold, London.
- Zenkovich, V.P., 1967: Processes of Coastal Development. Oliver and Boyd, Edinburgh

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

A

αβυσσικά πεδία · 129
 αβυσσικά πεδία / abyssal planes · 128, 134
Αιγιαλός / beach · 139, 146
αιολικά πολύεδρα / ventifacts · 122
Ακτή / shore · 139
 αλλούβια / alluvium · 87, 92, 99
αλλουβιακή πεδιάδα / alluvial plain · 103
 αλλουβιακό ριπίδιο / alluvial fan · 103
αλλουβιακός κώνος / alluvial cone · 103
αμαξοτροχιές / karren · 86, 87
 αναβαθμίδα (ποτάμια) / terrace · 111
 αναβαθμίδα κυματογενής / wave built terrace · 142
αναδιαστολή / delatency · 74
 ανανέωση / rejuvenation · 111
ανθρακοποίηση / carbonaceous · 52
απογύμνωση / denudation · 49, 91, 94, 110
απόπλυση / outwash · 53, 83
 απορρίνιση / corrasion · 49, 62, 91, 121, 123, 138, 141, 144
αποσάθρωση / weathering · 49
αποφλοίωση / exfoliation · 55, 56, 57
αποφύσηση / deflation · 121, 122
 ασθενόσφαιρα / asthenosphere · 41
 Ατμόσφαιρα / atmosphere · 26
ατόλλη / atoll · 150

B

βασικό επίπεδο / base level · 90, 94, 109, 117, 122

βιόσφαιρα / biosphere · 43
 βραχίονας / spit · 146
 βραχίονας τεχνητός / groin · 151

Γ

Γεωειδές · 13
 γκρεμός / cliff · 142
Γραμμή ακτής / shoreline · 139
γραμμή χιονιού / snowline · 113

Δ

Δακτυλογλυφές / clint · 86
δέλτα / delta · 103
 διάβρωση / erosion · 47
Διάβρωση / erosion · 49, 64, 96
Διάβρωση εκσκαφής / cavitation · 64
διαγένεση / diagenesis · 50
διάθλαση / refraction · 137
 διακλαδιζόμενος ποταμός / braided river · 100
Διάλυση / dissolution · 53
Διαλυτική διάβρωση / corrosion · 64
Διαπερατότητα / permeability · 74
Δολίνα / doline · 87
 Δυναμική Γεωλογία · 9

Ε

Εδαφορροή / earthflow · 67
έδαφος / soil · 63
ελεύθερο (ρεύμα) / insipient · 108

ελλειψοειδές από περιστροφή · 13
 Ενουδάτωση / hydration · 53
 Επιγενετικός / superposed, superimposed · 109
 επιπλάτυνση της Γης · 16
 ερημοποίηση / desertification · 125
 ερπυσμός / creep · 66
 Ερπυσμός εδάφους / soil creep · 66

Z

Ζώνη αποσαθρωμάτων / regolith · 43
 ζώνη διαπότισης / zone of aeration · 76
 ζώνη εποχικής εμπότισης / zone of aeration · 76
 ζώνη μόνιμης εμπότισης / zone of permanent saturation
 · 76

H

Ημικαθορισμένος / subsequent · 108
 ημισεληνοειδής λίμνη / ox-bow · 99
 Ηπειρωτική κατωφέρεια / continental slope · 129
 Ηπειρωτική κρηπίδα / continental shelf · 129
 ηπειρωτικό περιθώριο / continental margin · 129
 Ηπειρωτικός παγετώνας / continental glacier · 113

Θ

θαλάσσια αψίδα / sea-arch · 142
 θαλάσσια εγκοπή / sea-gap · 141
 θαλάσσια σπήλαια / sea-caves · 142
 θαλάσσια στήλη / stack · 142
 θίνα / dune · 123

I

ιζηματογένεση / sedimentation · 49
 ισοδυναμική επιφάνεια · 13
 ισοστασία / isostasy · 45

K

Καθίζηση / subsidence · 70
 καλύμματα πάγου / ice-sheets · 113
 καρστικά πηγάδια / jama · 86
 καρστική διάβρωση / karst erosion · 84, 85, 86, 87
 καταβόθρα / swallow-hole · 86
 καταρράκτης / waterfall · 97
 κατολίσθηση / landslide · 68
 κίνηση μαζών / mass movement · 68, 156
 κολλούβια / colluvium · 70
 κρεμαστές κοιλάδες / hanging valley · 115
 κύμα / wave · 134

Λ

Λασποροή / mudflow · 67
 Λείανση / abration · 65
 λεκάνη απορροής ή υδρογραφική ή υδρολογική /
 drainage basin · 105
 λιθονολίμνη / kettler · 117
 λιθόσφαιρα / lithosphere · 45
 Λιθόσφαιρα / lithosphere · 42
 λιθώνας / moraine · 115
 λιθώνας κωνοειδείς / kame · 117
 λιθώνας φακοειδείς / drumlin · 117
 λιθώνων επιμήκεις ελικοειδείς σωροί / eskers · 117
 λιμνοθάλασσα / lagoon · 147

M

μαίανδρος / meander · 111
 Μαίανδρος / meander · 112
 μαίανδρος εγκιβωτισμένος ή δεύτερης γενιάς /
 entrenched meander · 111
 μανδύας / mantle · 40
 μεσοπαγετώδης / interglacial · 118
 μεσοωκεάνια ράχη / mid-ocean ridge · 128
 Μεταφορική ικανότητα / capacity · 93
 Μηχανική υδραυλική διεργασία / hydraulic process ·

N

νησοειδής φραγμός / barrier island · 147

O

Όαση / Oasis · 82

Ολίσηση κατακερματισμένων πετρωμάτων / rockslide,
debris slide · 69

Οξειδωση / oxidation · 53

ουβάλα / unala · 87

Π

Παγετός / frost · 55

Παγετώνας / glacier · 113

Παγετώνας κοιλάδων / valley glacier · 114

Παγετώνας κρασπέδων / piedmont glacier · 114

παλίρροια / tide · 131, 139

παλίρροιες · 130

Παραλία / coast · 139

παραπόταμος / tributary · 94

Παροχή / discharge · 92

πεδίο βαρύτητας · 17

Πεδίο πλημμύρας / floodplain · 101

Περιστροφική ολίσηση / slump · 69

πετρώδης σκόνη / tock-flour · 115

Πηγάδι / well · 79

Πηγή / spring · 80

πλαγιά, κλιτύς / slope · 129

πόλγη / polje, polye · 87

πολυκυκλικός / polycyclic · 111

πορώδες / porosity · 75

Προκαθορισμένος / consequent · 108

Πτώση αποσαθρωμάτων / debris fall, rock fall · 69

πυρήνας / core · 40

P

ρεύμα επιφανειακό / surface current · 90

ρεύματα θολότητας / turbidity currents · 133

Ρεύματα κατά μήκος της ακτής / longshore current · 131

ρεύματα πυκνότητας / density currents · 132

Ροή αποσαθρωμάτων / debris flow · 70

Ροή πυροκλαστικών υλικών / lahars · 68

Σ

σμίκρυνση / attrition · 90, 91

σφαιροειδής αποσάθρωση · 56

T

Τεκτονική Γεωλογία · 9

Υ

υδατόπτωση / cascade · 97

Υδρογραφικό σύστημα / drainage system · 105

υδροκρίτης / divide · 105

υδρόλυση / hydrolysis · 50, 53, 57

Υδρόσφαιρα / hydrosphere · 43

υδρόσφαιρα / hydrosphere · 43

υδροφόρος ορίζοντας / water table · 73

υπόγεια νερά / ground waters · 43

Φ

φιόρδ / fiord · 140

Φιόρδ / fiord · 117

Φλοιός, crust · 42

Φορτίο / load · 93

φυσητήρας / blowhole · 143

φυσικά αναχώματα / levee · 97

Ω

ωκεάνεια ράχη / oceanic ridge · 128

Ωκεάνια τάφρος / oceanic trench · 129