



**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΣΧΟΛΕΣ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ (ΝΠΔΔ)
ΣΧΟΛΗ ΞΕΝΑΓΩΝ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ
ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΠΑΛΑΙΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ ΝΤΡΙΝΙΑ**

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1998 - 2001

ΑΘΗΝΑ 2001

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Η Γεωλογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τον τρόπο σχηματισμού, τη δομή και εξέλιξη της Γης στη διάρκεια του Γεωλογικού χρόνου.

Η ιστορία της Γης αφ' ότου έγινε κατοικήσιμη σφαίρα, η εξέλιξη των ηπείρων της, η γένεση και η διαβρωση των βουνών της, η εκπληκτική εξέλιξη των φυτών και των ζώων, που από τη γένεσή τους έχουν περάσει πάνω από αυτή καθώς και χιλιάδες άλλα καυτά θέματα με τα οποία ασχολείται η Γεωλογία, έχουν προσελκύσει πολλούς αναγνώστες και ερευνητές, έχουν δημιουργήσει αρκετό ενδιαφέρον και έχουν μεγάλο ενδιαφέρον.

Οι γεωλογικές επιστήμες δοκιμάζουν τελευταία μια επανάσταση που θα μπορούσε να συγκριθεί με την επανάσταση του Κοπέρνικου στην Αστρονομία, την επανάσταση του Δαρβίνου στη Βιολογία και εκείνη του Αϊνστάιν στη Φυσική. Αυτές οι βαθιές αλλαγές στην επιστημονική σκέψη ήταν όλες βασισμένες σε απλές ιδέες: στην αστρονομία ο ηλιοκεντρισμός, στη βιολογία η εξέλιξη και στη φυσική η σχετικότητα. Για τη γεωλογία η ενοποιητική ιδέα υπήρξε η μετακίνηση των ηπείρων, για πρώτη φορά αναπτυγμένη σε μια ολοκληρωμένη θεωρία από τον Γερμανό μετεωρολόγο Alfred Wegener. Συνεπώς η επανάσταση στη Γεωλογία θα μπορούσε να ονομαστεί επανάσταση του Wegener. Παλαιοντολογικές, στρωματογραφικές, παλαιομαγνητικές και γεωχρονολογικές μελέτες έχουν δώσει πρόσθετη ενίσχυση στον ισχυρισμό του Wegener ότι οι ήπειροι ήταν κάποτε τμήματα μιας ενιαίας μάζας.

Υπάρχουν πολλές υποθέσεις-θεωρίες σχετικά με τη δημιουργία της Γης. Διακρίνονται βασικά σε δυο κατηγορίες:

Κατά την πρώτη, η Γη ήταν μια διάπυρη μάζα, που σιγά-σιγά ψύχθηκε εξωτερικά, και πήρε την σημερινή της μορφή. Κατά την δεύτερη εκδοχή που φαίνεται ότι είναι η επικρατέστερη και η πιο σωστή, η Γη ήταν αρχικά ένα ψυχρό σώμα, μικρότερο από την σημερινή της μορφή, το οποίο με τις συνεχείς προσκρούσεις ξένων σωμάτων αυξήθηκε σε μέγεθος, και θερμάνθηκε λόγω μετατροπής της κινητικής ενέργειας από τη σύγκρουση των ξένων σωμάτων σε θερμική.

Οι αντιλήψεις των ανθρώπων για τα αίτια γένεσης των σεισμών κατά την προφιλοσοφική περίοδο (κατά τον 6^ο π.Χ. αιώνα) είχαν μυθολογικό χαρακτήρα. Έτσι, σύμφωνα με την παράδοση, ο Εγκέλαδος, γιος του Ταρτάρου και της Γης και αρχηγός των γιγάντων, προκαλεί τους σεισμούς. Σώζονται διάφοροι μύθοι για τον Εγκέλαδο, ο πιο γνωστός από τους οποίους αναφέρει ότι αυτός φονεύτηκε από την Αθηνά η οποία αφού τον έτρεψε σε φυγή, έριξε εναντίον του την Σικελία και τον καταπλάκωσε. Κάθε φορά που ο Εγκέλαδος κινείται και αναστενάζει μέσα στον τάφο του προκαλεί τους σεισμούς και τις εκρήξεις των ηφαιστειών. Αργότερα πίστευαν ότι η γη βρίσκεται στις ράχες ζώων. Η κάθε κίνηση των ζώων αυτών προκαλεί τους σεισμούς. Ακόμα και μέχρι τα μέσα του προηγούμενου αιώνα, οι πληροφορίες που έχουμε για τους σεισμούς προέρχονται από μη ειδικούς (φιλοσόφους, ιστορικούς, περιηγητές κλπ.). Τώρα όμως υπάρχουν πλέον επιστημονικές εξηγήσεις για τα αίτια των καταστρεπτικών δονήσεων της γης.

Οι σεισμοί αποτελούν ένα από τα διάφορα γεωδυναμικά φαινόμενα, τα οποία έχουν κοινά αίτια γένεσης.

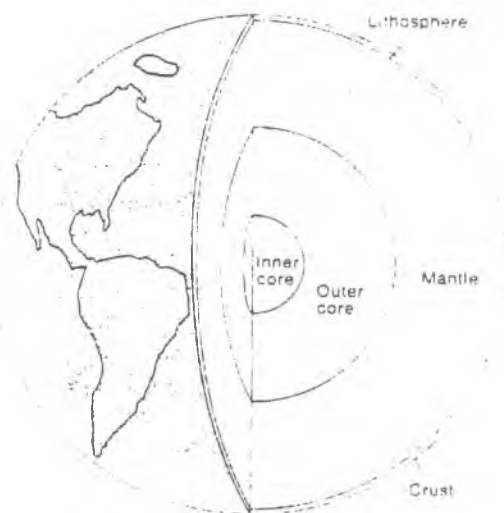
Διατυπώθηκαν παλαιότερα διάφορες απόψεις για τα αίτια των γεωδυναμικών φαινομένων μεταξύ των οποίων είναι η "υπόθεση συστολής της Γης", η "υπόθεση διαστολής της Γης", κλπ. Καμιά όμως, από τις υποθέσεις αυτές δε μπορούσε να ερμηνεύσει παρά μόνο μικρό αριθμό γεωφυσικών (σεισμολογικών) παρατηρήσεων που συνδέονται με τα φαινόμενα αυτά. Όμως, κατά τα τελευταία 25 χρόνια, αναπτύχθηκε η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών, η οποία θεωρείται για τις γεωεπιστήμες ότι η θεωρία της εξέλιξης για τη Βιολογία, γιατί ερμηνεύει, με πολύ ικανοποιητικό τρόπο, το σύνολο σχεδόν των βασικών γεωφυσικών και γεωλογικών παρατηρήσεων που σχετίζονται με τη σεισμική δράση.

Ας τα πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή και ας ξεκινήσουμε από την βάση όλων που είναι η Γη.

Το μέγεθος της Γης - περίπου 12.750 χλμ διάμετρος - ήταν βέβαια γνωστό στους αρχαίους Έλληνες αλλά μόλις στις αρχές του αιώνα μας οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι ο πλανήτης μας με βάση τη σύστασή της αποτελείται από τρία κύρια στρώματα (Εικ. 1): στο κέντρο υπάρχει το πιο πυκνό από τα τρία που είναι ο πυρήνας. Ο **πυρήνας** είναι

μια σφαιρική μάζα, η οποία συνίσταται κυρίως από μεταλλικό σίδηρο και σε μικρότερα ποσοστά από νικέλιο και άλλα στοιχεία.

Το μεγάλο πάχος περίβλημα του πυρήνα από πυκνόρρευστο πετρώδες υλικό ονομάζεται μανδύας. Ο **μανδύας** είναι λιγότερο πυκνός από τον πυρήνα και πιο πυκνός από το εξωτερικό περίβλημα της γης. Πάνω από τον μανδύα υπάρχει ένα λεπτό εξωτερικό στρώμα, ο **φλοιός**, ο οποίος αποτελείται από πετρώδες υλικό. Ο πυρήνας και ο μανδύας έχουν σχεδόν σταθερό πάχος. Ο φλοιός όμως δεν είναι καθόλου ομοιόμορφος όσον αφορά το πάχος του με αποτέλεσμα αυτός να διαφέρει από τόπο σε τόπο. Κάτω από τους ωκεανούς, ο ωκεάνιος φλοιός έχει μέσο πάχος περίπου 8 χλμ., ενώ ο ηπειρωτικός φλοιός έχει πάχος που κυμαίνεται από 30 μέχρι 70 χλμ με μέσο όρο τα 45 χλμ.



Εικ. 1 Σχηματική τομή της Γης.

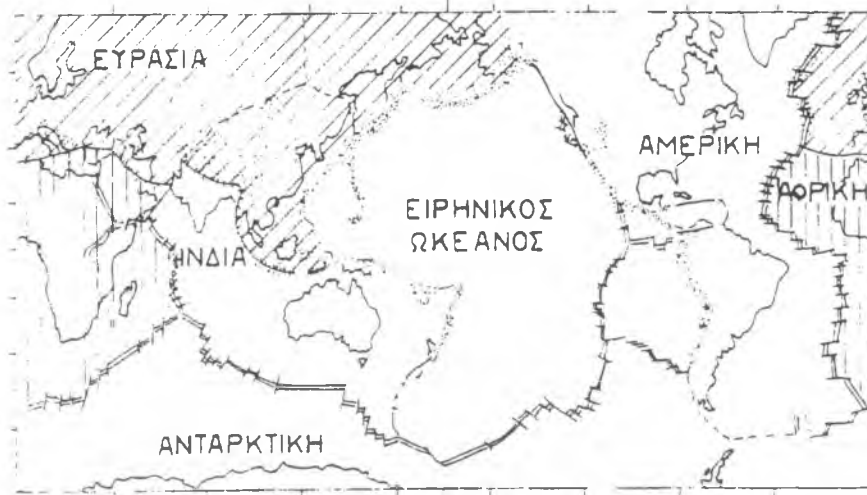
Εκτός όμως από την σύσταση παρατηρούνται και άλλες μεταβολές στο εσωτερικό της Γης με πιο σημαντικές αυτές των φυσικών ιδιοτήτων. Οι φυσικές ιδιότητες της Γης ελέγχονται κυρίως από την πίεση και την θερμοκρασία και όχι τόσο από την σύσταση των πετρωμάτων. Με βάση αυτές τις μεταβολές το εσωτερικό της Γης διακρίνεται στον **εσωτερικό πυρήνα** (1400 χλμ πάχος και θερμοκρασία 2400-2500°) όπου εκεί οι πιέσεις είναι τόσο μεγάλες με αποτέλεσμα ο σίδηρος να είναι σε στερεή μορφή. Στον **εξωτερικό πυρήνα** (2100 χλμ πάχος και θερμοκρασία 2200-2400°) όπου η θερμοκρασία και η πίεση βρίσκονται σε τέτοια ισορροπία ώστε ο σίδηρος να είναι σε ρευστή κατάσταση. Στην **μεσόσφαιρα** (2000 χλμ πάχος και θερμοκρασία 1700-2100°) η οποία καταλαμβάνει το κατώτερο τμήμα του μανδύα και η οποία βρίσκεται σε στερεή μορφή. Στην **ασθενόσφαιρα** (100 χλμ. από την επιφάνεια της Γης και θερμοκρασία 600-1700°) όπου τα πετρώματα βρίσκονται σε παχύρρευστη μορφή και τέλος στην **λιθόσφαιρα** η οποία αποτελεί την σκληρή εξωτερική περιοχή της Γης και περιλαμβάνει το ανώτερο τμήμα του μανδύα και τον στερεό φλοιό.

Ολόκληρη η λιθόσφαιρα κινείται. Οι ήπειροι, οι ωκεάνιες λεκάνες και οτιδήποτε άλλο πάνω στην επιφάνεια της Γης μετακινούνται σαν επιβάτες πάνω σε μεγάλες σχεδίες. Οι σχεδίες αυτές είναι τεράστιες πλάκες από λιθόσφαιρα που επιπλέουν πάνω στην ασθενόσφαιρα.

Συνεπώς η μορφή της επιφάνειας της Γης αλλάζει συνεχώς ενώ η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά χωρισμένη σε διάφορα μεγάλα τμήματα τα οποία ονομάζονται **λιθοσφαιρικές πλάκες**. Οι δύσκαμπτες αυτές λιθοσφαιρικές πλάκες κινούνται πάνω στην παχύρρευστη ασθενόσφαιρα με σχετικές μεταξύ τους ταχύτητες οι οποίες κυμαίνονται από 1 εκ./χρ. μέχρι και 20 εκ./χρ.

Σήμερα η λιθόσφαιρα χωρίζεται σε 6 μεγάλες πλάκες και πολυάριθμες μικρότερες. Καθώς μια πλάκα μετακινείται, οτιδήποτε βρίσκεται πάνω σε αυτήν μετακινείται επίσης. Εάν η πλάκα καλύπτεται μερικώς από ωκεάνιο φλοιό και μερικώς από ηπειρωτικό φλοιό, τότε και ο ωκεάνιος πυθμένας και η ήπειρος μετακινούνται με την ίδια ταχύτητα και κατά την ίδια διεύθυνση.

Το σχήμα 2 παριστάνει τις μεγαλύτερες λιθοσφαιρικές πλάκες της Γης (**Ευρασιατική, Αφρικανική, Αμερικανική, Ειρηνική, Ινδική, Ανταρκτική**) και τις κατευθύνσεις των σχετικών κινήσεών τους. Κατά την κίνησή τους οι λιθοσφαιρικές πλάκες παραμορφώνονται έντονα στις παρυφές τους, δηλαδή, κοντά στις επιφάνειες επαφής τους, ενώ το εσωτερικό τους παραμένει σχεδόν ανέπαφο. Οι παραμορφώσεις αυτές εκφράζονται με τους σεισμούς και την ηφαιστειότητα και εξαρτάται από το είδος των περιθωρίων των πλακών. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η ενεργός σεισμική δράση παρατηρείται κατά κύριο λόγο σε αυτές τις περιοχές. Οι σεισμοί γεννιούνται μόνο μέσα στη λιθόσφαιρα και κατά κύριο λόγο στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Αποτέλεσμα της σχετικής κίνησης και σύγκρουσης των λιθοσφαιρικών πλακών είναι η αργή παραμόρφωση των πετρωμάτων τους, κατά κύριο λόγο κοντά στις επιφάνειες επαφής των πλακών. Για το λόγο αυτό, μέσα στα πετρώματα που βρίσκονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών συγκεντρώνονται μεγάλα ποσά δυναμικής ενέργειας (ενέργεια παραμόρφωσης των πετρωμάτων) και αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις (δυνάμεις). Οι τάσεις αυτές συνεχώς αυξάνουν αλλά όταν γίνουν αρκετά μεγάλες σε ένα σημείο, ώστε να μπορούν να υπερνικήσουν την αντοχή του πετρώματος στο σημείο αυτό, το πέτρωμα σπάει και δημιουργείται έτσι ένα σεισμικό ρήγμα, δηλαδή μια επιφάνεια που χωρίζει το πέτρωμα σε δύο μέρη.

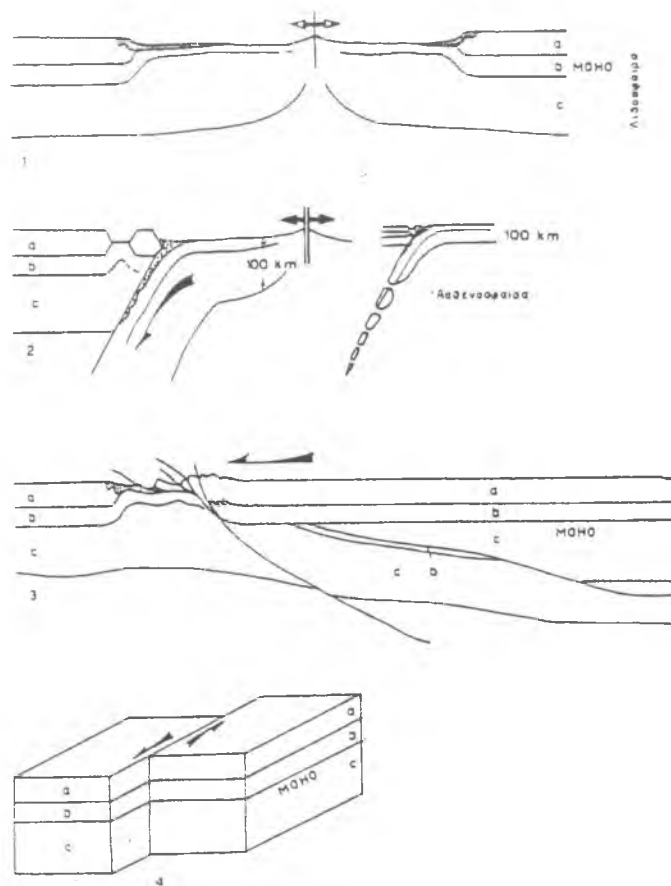


Εικ. 2 Διαχωρισμός του φλοιού της γης σε 6 πλάκες.

Κατά το σπάσιμο των πετρωμάτων της λιθόσφαιρας, οι δύο πλευρές του ρήγματος γλιστρούν (ολισθαίνουν) η μία πάνω στην άλλη κατά αντίθετες κατευθύνσεις μέχρις ότου αποκτήσουν νέες θέσεις ισορροπίας. Επειδή οι επιφάνειες των ρηγμάτων δεν είναι ομαλές, αναπτύσσονται έντονες δυνάμεις τριβής και αντίστασης οι οποίες αναγκάζουν τα υλικά σημεία των πλευρών του ρήγματος να ταλαντώνονται. Δηλαδή, η δυναμική ενέργεια παραμόρφωσης των πετρωμάτων στην περιοχή γύρω από το ρήγμα μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια ταλάντωσης των υλικών σημείων των επιφανειών του ρήγματος. Οι ταλαντώσεις αυτές μεταδίδονται στα γειτονικά σημεία, αυτά τις μεταδίδουν στα γειτονικά τους κ.ο.κ. Έχουμε έτσι διάδοση των ταλαντώσεων αυτών μέσα στη Γη. Οι διαδιδόμενες αυτές ταλαντώσεις λέγονται σεισμικά κύματα. Τα κύματα αυτά φθάνουν στην επιφάνεια της Γης και αποτελούν τον σεισμό.

Ανάλογα με την σχετική τους κίνηση τα περιθώρια των πλακών διακρίνονται σε (Εικ. 3):

- Αποκλίνοντα περιθώρια των οποίων η τοπογραφική έκφραση είναι μία αύλακα στον ωκεάνιο πυθμένα αρκετών χλμ βάθους γνωστή ως **μεσοωκεάνεια ράχη**.
- Συγκλίνοντα περιθώρια κατά τα οποία συμβαίνει υποβύθιση της μιας πλάκας κι έχουμε τη δημιουργία μιας **τάφρου**.
- Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και συγκλίνοντα περιθώρια όπου λαμβάνει χώρα σύγκρουση των πλακών και δημιουργία οροσειρών.
- Περιθώρια των οποίων η σχετική τους κίνηση είναι εφαπτομενική.

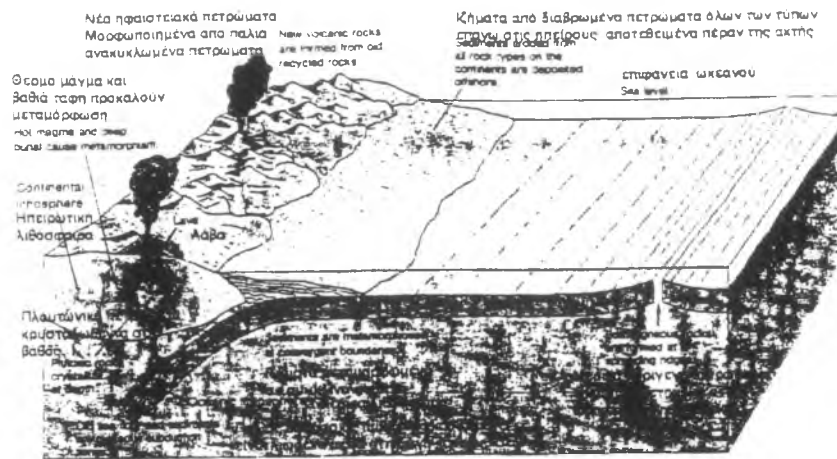


Εικ. 3 Κινήσεις στην επαφή των πλακών. 1. Δημιουργία του ωκεάνιου φλοιού στις μεσοωκεάνιες ράχες. 2. Εξαφανίσεις του φλοιού σε ένα τόξο βύθισης. 3. Εξαφανίσεις τύπου ηπειρωτικού φλοιού. 4. Ολισθήση όπου υποθέτουμε ότι δύο τεμάχια του φλοιού ολισθαίνουν μεταξύ τους.

Αναφέραμε ότι όταν έχουμε απόκλιση των πλακών δημιουργείται η μεσοωκεάνια ράχη. Τότε ρεύματα από τον μανδύα της Γης, (τα λεγόμενα ρεύματα μεταφοράς) ανεβαίνουν προς τα πάνω θερμαίνοντας και λιώνοντας τμήματα της ασθενόσφαιρας και δημιουργώντας μάγμα. Το μάγμα που δημιουργείται στην ασθενόσφαιρα κάτω από την μεσοωκεάνια ράχη ανεβαίνει προς τα πάνω στην κορυφή της λιθόσφαιρας και όταν ψύχεται σκληραίνει και σχηματίζει καινούριο ωκεάνιο φλοιό. Με αυτόν τον τρόπο και καθώς οι αποκλίνουσες πλάκες συνεχίζουν την κίνησή τους ένας καινούριος ωκεανός δημιουργείται. Π.χ. πριν από 250 εκατομ. χρόνια δεν υπήρχε Ατλαντικός ωκεανός. Αντίθετα οι ήπειροι ήταν ενωμένες σε μια τεράστια ήπειρο Πριν από 200 εκατομ. χρ. και για ανεξήγητο μέχρι σήμερα λόγο θερμά ρεύματα από τον μανδύα έσπασαν την λιθόσφαιρα και ο διαμελισμός της υπερηπείρου ξεκίνησε. Αρχικά ο Ατλαντικός ήταν μια στενή λωρίδα νερού που χώριζε την Βόρεια Αμερική από την Ευρώπη και την Β. Αφρική. Καθώς η κίνηση συνεχιζόταν ο ωκεανός διευρυνόταν, χωρίζοντας έτσι την Ν. Αμερική από την Αφρική και φτάνοντας σιγά-σιγά στο σημερινό του μέγεθος. Ακόμα και σήμερα ο Ατλαντικός διευρύνεται περίπου 5 εκ. τον χρόνο.

Κατά τη δημιουργία του νέου ωκεάνιου φλοιού, καθώς η λιθόσφαιρα απομακρύνεται από την μεσοωκεάνια ράχη, ψύχεται και γίνεται πυκνότερη. Επιπλέον το όριο μεταξύ της λιθόσφαιρας και της ασθενόσφαιρας εντοπίζεται πιο βαθιά με αποτέλεσμα το πάχος της λιθόσφαιρας να αυξάνει και της ασθενόσφαιρας να ελαττώνεται. Τέλος, 1000 χλμ μακριά από την μεσοωκεάνια ράχη, το πάχος της λιθόσφαιρας σταθεροποιείται και είναι πολύ πιο ψυχρή και πυκνή από την ασθενόσφαιρα με αποτέλεσμα να βυθιστεί. Η διεργασία αυτή όπου η λιθόσφαιρα βυθίζεται μέσα στην ασθενόσφαιρα ονομάζεται υποβύθιση (Εικ. 4).

Εκεί όπου λαμβάνει χώρα η υποβύθιση δημιουργούνται ζώνες υποβύθισης οι οποίες εκφράζονται τοπογραφικά με την δημιουργία τάφρων.



Εικ. 4 Οι σημερινές απόψεις πάνω στη θεωρία των «τεκτονικών πλακών»

Όταν όμως πρόκειται για καθαρά ηπειρωτικό φλοιό, επειδή αυτός είναι πιο ελαφρύς από τον μανδύα δεν μπορεί να παρασυρθεί μαζί με την υποβυθιζόμενη λιθόσφαιρα με αποτέλεσμα αυτός να συνεχίζει να επιπλέει έως ότου συναντήσει έναν άλλον ηπειρωτικό φλοιό οπότε και συγκρούεται με αποτέλεσμα τη δημιουργία οροσειρών. (Παράδειγμα Ινδίας).

Καθώς η υποβυθιζόμενη πλάκα κατεβαίνει, αναθερμαίνεται και τελικά φθάνει σε μια θερμοκρασία όπου αρχίζει η τήξη της. Η διεργασία αυτή δημιουργεί μάγμα το οποίο όταν ανεβαίνει στην επιφάνεια δημιουργεί ηφαιστεια. Οι τοξοειδείς περιοχές όπου παρατηρείται ηφαιστειακή δραστηριότητα ονομάζονται ηφαιστειακά ή νησιωτικά τόξα. Τα ηφαιστειακά τόξα είναι παράλληλα με την τάφρο όπου λαμβάνει χώρα η υποβύθιση αλλά απέχουν από αυτή 100 με 400 χλμ.

Με λίγα λόγια η καταστροφή παλαιού ωκεάνιου φλοιού και η δημιουργία νέου είναι σε ισορροπία. Στις μεσοωκεάνιες ράχες, φλοιός σχηματίζεται με έξοδο υλικού από το εσωτερικό της Γης, ενώ στις τάφρους ή αλλιώς "ηπειρωτικό σύστημα διάρρηξης", φλοιός καταστρέφεται με πλάγια βύθιση μέσα στον μανδύα. Τα σπουδαιότερα γεωτεκτονικά φαινόμενα που παρατηρούνται στην επιφάνεια της Γης και είναι αποτέλεσμα της ενεργού τεκτονικής συμβαίνουν πάνω σε αυτά τα δύο συστήματα διάρρηξης.

Έτσι λοιπόν για την ιστορία πρώτος ένας Γερμανός μετεωρολόγος ο Wegener το 1912 υπέθεσε ότι οι σημερινές ηπείροι αποτελούσαν κάποτε (πριν από 300 εκατομ. χρ.) μια γήινη μάζα την οποία ονόμασε Παγγαία (Εικ. 5). Το βόρειο τμήμα της Παγγαίας ονομάζεται Λαυρασία και το νότιο τμήμα Γκοντβάνα. Το όνομα Λαυρασία προέρχεται από το Λαυρεντία, ένα παλιό όνομα για το Προκάμβριο του Καναδά και από την Ευρασία, ένας σύνθετος όρος για την Ευρώπη και Ασία. Γκοντβάνα είναι ένα όνομα που προέρχεται από μια γνωστή ομάδα πετρωμάτων στην κεντρική Ινδία. Παρόμοια πετρώματα έχουν βρεθεί στην Αφρική, Ανταρκτική, Αυστραλία και νότια Αμερική κι αυτό ίσως να αποτελεί ένδειξη ότι η Ινδία και οι σημερινές ηπείροι του νότιου ημισφαιρίου ήταν κάποτε ενωμένες. Σύμφωνα λοιπόν, με αυτόν η Παγγαία άρχισε να κόβεται σε κομμάτια και οι μεμονωμένες πλέον ηπείροι άρχισαν να μετακινούνται προς τις σημερινές τους θέσεις, κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα. Η Παγγαία περιτριγυριζόταν από έναν μεγάλο ωκεανό - τον αρχαίο Ειρηνικό ωκεανό.

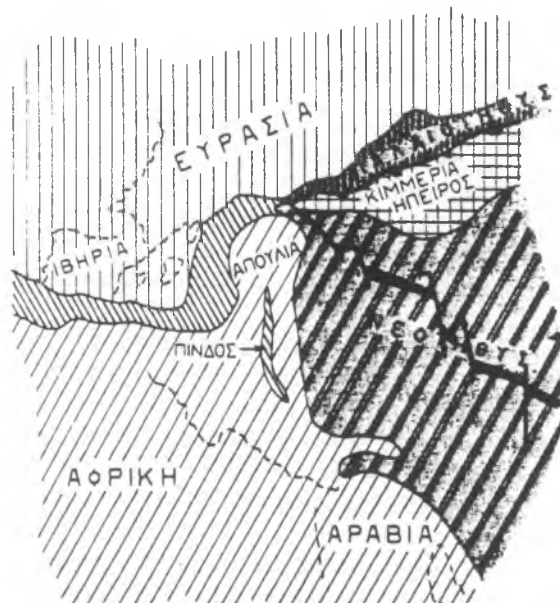
Η Παγγαία άρχισε να διασπάται κατά το τέλος της Παλαιozoϊκής περιόδου (πριν από 225 εκατομ. χρ.). Κατά το τέλος του Τριαδικού (πριν από 195 εκατομ. χρ.) άρχισαν να δημιουργούνται οι λεκάνες του Ατλαντικού και Ινδικού ωκεανού (Εικ. 6). Μια μεγάλη διάσπαση από τα ανατολικά προς τα δυτικά δημιούργησε δύο νέες ηπείρους την Λαυρασία και την Γκοντβάνα. Τις δύο αυτές τεράστιες ηπείρους χώριζε ένας μεγάλος θαλάσσιος όγκος, ο ωκεανός με το μυθολογικό όνομα Τηθύς, ο οποίος εκτεινόταν από τον σημερινό Ατλαντικό μέχρι τον Ειρηνικό. Η σημερινή Μεσόγειος είναι ότι έχει απομείνει από την παλαιά Τηθύ. Αμέσως μετά, η Ινδία αποχωρίστηκε από την Ανταρκτική και άρχισε να μετακινείται ταχέως προς βορράν.

35 εκατομ. χρόνια αργότερα, οι ανατολικές ακτές των ΗΠΑ και του Καναδά είχαν διεύθυνση περίπου Α-Δ σε γεωγραφικό πλάτος 25° βόρεια. Στο νότιο ημισφαίριο λαμβάνει χώρα διάσπαση μεταξύ της Αφρικής και Νότιας Αμερικής.

Κατά το τέλος της Μεσοζωικής Περιόδου, περίπου 65 εκατομμύρια χρόνια πριν, η αποχώρηση της Αφρικής από την Νότια Αμερική είχε για ολοκληρωθεί.



Εικ. 5. Η υπερήπειρος Παγγαία σύμφωνα με τον Wegener.



Εικ. 6 Σχηματική αναπαράσταση της παλαιογεωγραφικής κατάστασης κατά το Ανώτερο Τριαδικό - Κατώτατο Ιουρασικό με διάκριση ανάμεσα στην Ευρασία και την Γκοντβάνα.

Την ίδια εποχή η Β. Αμερική παρέμενε ενωμένη με την Ευρασία ενώ η Αυστραλία ήταν ενωμένη με την Ανταρκτική.

Κατά την Καινοζωική Περίοδο (πριν από 23 εκατομ. χρ.), οι πλάκες έλαβαν περίπου την σημερινή τους θέση. Κατά την τελευταία τους μετακίνηση, η Ινδική πλάκα ολοκλήρωσε το ταξίδι της προς βορρά και συγκρούστηκε με την Ασία. Αποτέλεσμα της σύγκρουσης αυτής ήταν η δημιουργία των Ιμαλαΐων. Επιπλέον τα τελευταία αυτά 65 εκατομμύρια χρόνια η Αυστραλία αποχωρίστηκε από την Ανταρκτική.

Η χώρα της Αιγαίδας γεωτεκτονικά καταλαμβάνει το χώρο - της Ανατολικής Μεσογείου - στον οποίο συνεχίζει να συγκρούεται η πλάκα της Ευρασίας με την Αφρικανική πλάκα.

Λεπτομερείς μελέτες κυρίως των τελευταίων τριών δεκαετιών έδειξαν ότι ο χώρος του Αιγαίου και των γύρω περιοχών είναι σεισμοτεκτονικά πολύπλοκος και ότι για την

κατανόηση των αιτιών γένεσης των σεισμών και της γεωγραφικής και κατακόρυφης κατανομής της σεισμικής δράσης απαιτείται περισσότερο λεπτομερής θεωρία.

Το Ελληνικό Τόξο (Εικ. 7) χωρίζει τη λιθόσφαιρα της ανατολικής Μεσογείου, η οποία στην περιοχή αυτή αποτελεί το μπροστινό μέρος της Αφρικανικής λιθόσφαιρικής πλάκας, από τη λιθόσφαιρα του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου, η οποία στην περιοχή αυτή αποτελεί το μπροστινό μέρος της Ευρασιατικής πλάκας. Κατά μήκος του τόξου αυτού πραγματοποιείται σύγκλιση μεταξύ των δύο λιθόσφαιρών με μια σχετική ταχύτητα περίπου 3εκ./χρ, με συνέπεια η λιθόσφαιρα της Μεσογείου, λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητάς της, να καταδύεται κάτω από τη λιθόσφαιρα του Αιγαίου υπό μια μέση γωνία 38°. Σ' αυτή τη σύγκλιση των δύο λιθόσφαιρών οφείλονται οι συμπιεστικές δυνάμεις στο εξωτερικό μέρος του ελληνικού τόξου (από Ζάκυνθο έως Ρόδο) και η γένεση επιφανειακών σεισμών. Η σύγκλιση αυτή και η κατάδυση της λιθόσφαιρας της ανατολικής Μεσογείου κάτω από τη λιθόσφαιρα του Αιγαίου δημιούργησαν το τεκτονικό σύστημα ελληνική τάφρος-ελληνικό τόξο και τη γένεση σεισμών ενδιάμεσου βάθους στη ζώνη Benioff. (Σεισμική ζώνη πάνω στην οποία κατανέμονται οι εστίες των σεισμών που ακολουθούν μία πλάκα η οποία βυθίζεται μέσα στη Γή).

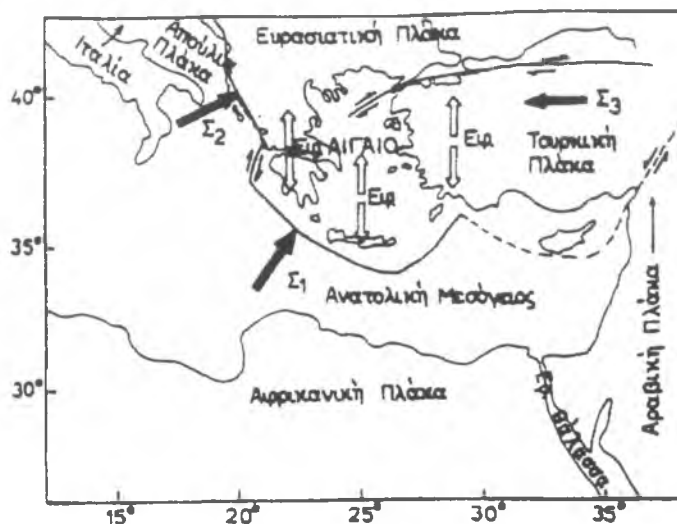


Εικ. 7. Χάρτης που απεικονίζει το Ελληνικό Τόξο (την Ιόνιο τάφρο και την τάφρο του Ηροδότου). Τα βέλη δείχνουν τη φορά κίνησης της Αφρικανικής πλάκας.

Η Απούλια (Εικ. 8) (ή Αδριατική) λιθόσφαιρική πλάκα αποτελεί επέκταση (σφήνα) της Αφρικανικής πλάκας στο χώρο μεταξύ της Ιταλίας και της Γιουγκοσλαβίας-Αλβανίας-Δυτικής-Κεντρικής Ελλάδας. Υπάρχουν γεωφυσικά στοιχεία τα οποία δείχνουν ότι αυτή η πλάκα της Απούλιας περιστρέφεται αριστερόστροφα με συνέπεια να συγκλίνει και να συγκρούεται με τη λιθόσφαιρα της Γιουγκοσλαβίας-Αλβανίας-Κεντροδυτικής Ελλάδας που αποτελεί το μπροστινό μέρος της Ευρασιατικής λιθόσφαιρικής πλάκας στο μέρος αυτό. Επειδή, όπως έχει αποδειχθεί με γεωφυσικές έρευνες, η Απούλια πλάκα έχει ηπειρωτική δομή, δηλαδή, παρόμοια μέση πυκνότητα με την Ευρασιατική πλάκα, δεν καταδύεται κάτω από την Ευρασιατική πλάκα, αλλά έχουμε κατά μήκος των ανατολικών ακτών της Αδριατικής και του βορείου τμήματος του Ιονίου (Κέρκυρα) σύγκλιση και σύγκρουση μεταξύ δύο ηπειρωτικών πλακών.

Η Αραβική λιθόσφαιρική πλάκα περιστρέφεται αριστερόστροφα έτσι ώστε να απομακρύνεται από την Ερυθρά θάλασσα, η οποία είναι γνωστό ότι ανοίγει. Κατά την περιστροφή της αυτή ασκεί ισχυρή δύναμη στην Τουρκική μικροπλάκα την οποία αναγκάζει να κινείται προς τα δυτικά. Αυτή η κίνηση της Τουρκικής πλάκας θεωρείται υπεύθυνη για το μεγάλο ρήγμα της βόρειας Ανατολίας και τους δύο κλάδους του στο δυτικό του μέρος οι οποίοι φθάνουν μέχρι το Β. Αιγαίο.

Συνεπώς η γένεση των επιφανειακών σεισμών στη βορειοδυτική Τουρκία και στο βόρειο Αιγαίο οφείλεται στην προς τα δυτικά κίνηση της Τουρκικής λιθόσφαιρικής πλάκας.

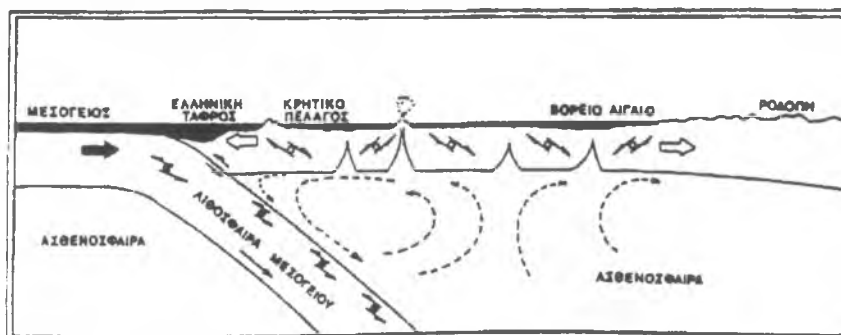


Εικ. 8. Οι σεισμοί στον ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές οφείλονται στις συμπιεστικές δυνάμεις ($\Sigma 1$, $\Sigma 2$, $\Sigma 3$) που ασκούν οι γειτονικές λιθόσφαιρικές πλάκες στο χώρο αυτό και στις εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται μέσα στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου και των γύρω περιοχών.

Οι επιφανειακοί σεισμοί στο εσωτερικό μέρος του ελληνικού τόξου αλλά και στο μεγαλύτερο μέρος του Αιγαίου και των γειτονικών περιοχών παράγονται από εφελκυστικές τάσεις οι οποίες οφείλονται σε επέκταση της λιθόσφαιρας του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου κατά τη διεύθυνση βορρά-νότου η οποία άρχισε πριν από 13 εκατομ. χρόνια με συνέπεια να γίνει ο φλοιός του Αιγαίου τέσσερις φορές λεπτότερος από ότι ήταν αρχικά.

Για τα αίτια επέκτασης του Αιγαίου και τη γένεση των επιφανειακών σεισμών στο χώρο αυτό διατυπώθηκαν διάφορες απόψεις.

Ένα πιθανό μοντέλο είναι το εξής (Εικ. 9): Κατά την κατάδυση της λιθόσφαιρας της Αν. Μεσογείου κάτω από τη λιθόσφαιρα του Αιγαίου παράγεται θερμότητα στην πάνω επιφάνεια της καταδυόμενης πλάκας και αυξάνει η θερμοκρασία του πάνω στρώματος της με συνέπεια αυτό να γίνεται ελαφρότερο και να τείνει να κινηθεί προς τα επάνω σε σχέση με το κάτω στρώμα της. Συνέπεια της θερμότητας που παράγεται κατά την κατάδυση αυτή της λιθόσφαιρικής πλάκας είναι η δημιουργία ρευμάτων μεταφοράς στο χώρο της ασθενόσφαιρας που βρίσκεται μεταξύ της καταδυόμενης λιθόσφαιρας και της λιθόσφαιρας του Αιγαίου. Έτσι, θερμό υλικό ανεβαίνει προς τη λιθόσφαιρα του Αιγαίου και όταν φθάσει στον πυθμένα της κινείται οριζόντια, ψύχεται και ξαναβυθίζεται. Κατά την οριζόντια κίνηση των ρευμάτων μεταφοράς αυτά ασκούν οριζόντιες εφραπτομενικές δυνάμεις στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας του Αιγαίου με συνέπεια την ανάπτυξη τάσεων εφελκυσμού μέσα σε αυτή τη λιθόσφαιρα, τη θραύση της και τη διείσδυση σε αυτή θερμού υλικού του μανδύα. Στη διείσδυση αυτή οφείλεται η ηφαιστειακή δράση και οι γεωθερμικές εκδηλώσεις του ελληνικού τόξου. Σε αυτή την επέκταση και θραύση της λιθόσφαιρας του Αιγαίου και των γειτονικών περιοχών οφείλεται η γένεση επιφανειακών σεισμών στο εσωτερικό μέρος του ελληνικού τόξου.



Εικ. 9. Γεωδυναμικό μοντέλο για την ερμηνεία του τρόπου γένεσης των σεισμών και άλλων γεωφυσικών ιδιοτήτων του χώρου του Αιγαίου και των γύρω περιοχών.

Τα πιο εντυπωσιακά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τεκτονικής προελεύσεως του χώρου του Αιγαίου είναι η "ελληνική τάφρος", το "ελληνικό τόξο" και το "ηφαιστειακό τόξο".

Η Ελληνική τάφρος αποτελείται από μια σειρά θαλασσιών λεκανών που έχουν βάθη μέχρι 5 κλμ. Το ηφαιστειακό τόξο είναι παράλληλο προς την ελληνική τάφρο και βρίσκεται σε μια μέση απόσταση 120 κλμ.

Η σύγχρονη ιστορία της περιοχής του Αιγαίου και των γειτονικών της περιοχών αρχίζει το χρονικό διάστημα από το Αν. Σερραβάλλιο-Κατ. Τορτόνιο. Πιο συγκεκριμένα:

Κατώτερο Μειόκαινο (22 εκατομ. χρόνια πριν). Την περίοδο αυτή η Ελληνική μολασσική λεκάνη εκτείνεται από την εξωτερική περιοχή της Ιόνιας ζώνης, μέσω της ανατολικής Πελοποννήσου, της λεκάνης της Κρήτης και φθάνει στην ΝΔ Μικρά Ασία. Επιπλέον υπάρχει η Πελαγονική οροσειρά η οποία αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα και εκτείνεται από την Δυτική Μακεδονία έως την Ανατολική Θεσσαλία, την Αττική, τις Κυκλάδες και την Μικρά Ασία. Την περίοδο αυτή ένα ηφαιστειακό τόξο από την Ανατολική Θράκη έως τη Βόρεια Σάμο εκτείνεται παράλληλα της ακτογραμμής της Μικράς Ασίας. Την ίδια εποχή, στο ΒΔ τμήμα της νήσου Λέσβου αναπτύσσεται το απολιθωμένο δάσος εντός εναλλαγών ηφαιστειακών τόφρων και ηφαιστειακών λατυποκροκαλοπαγών. Το απολιθωμένο αυτό δάσος έχει μεγάλη εξάπλωση και είναι αυτόχθονης προελεύσεως. Η δημιουργία του απολιθωμένου δάσους συνδέεται άμεσα με την ηφαιστειακή δράση της ευρύτερης περιοχής της Λέσβου, όπου υπήρχαν ενεργά ηφαίστεια. Έτσι, σε περίοδο έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας εκσφενδονίζονταν από τον κρατήρα του ηφαιστείου λάβες, πυροκλαστικά υλικά, ηφαιστειακή στάχτη, η οποία κάλυψε τη βλάστηση της περιοχής. Πιστεύεται ότι το απολιθωμένο δάσος της νήσου Λέσβου ανεπτύχθη σε υποτροπικό κλίμα το οποίο απότομα μεταβλήθηκε σε ηπειρωτικό-θερμό.

Αν. Βουρδιγάλιο - Σερραβάλλιο (17 - 14 εκατομ. χρόνια πριν). Κατά το χρονικό αυτό διάστημα η Ελληνική μολασσική λεκάνη πληρώθηκε. Την ίδια εποχή ηφαιστεια υπάρχουν ακόμη κατά μήκος της ίδιας ζώνης που διευθύνεται από βορρα προς νότο και εκτείνεται ως τη νήσο Κω. Την περίοδο αυτή άρχισε να βυθίζεται η περιοχή της νότιας Αιγηίδας.

Ανώτερο Μειόκαινο (10 - 5.5 εκατομ. χρόνια πριν). Το χρονικό διάστημα Αν. Σερραβάλλιο-Κατ. Τορτόνιο αρχίζει η σύγχρονη ιστορία της περιοχής του Αιγαίου και των γειτονικών της περιοχών. Διαδοχικά τεκτονικά συμβάντα που έλαβαν χώρα από το Σερραβάλλιο μέχρι το Μεσσήνιο, είχαν ως αποτέλεσμα τον κατακερματισμό της Νότιας Αιγαιακής χώρας (MEULENKAMP, 1985) και την αποκοπή της περιοχής των Κυκλάδων από τα Δωδεκάνησα και την Μικρά Ασία προς τα ανατολικά και την Κρήτη προς τα νότια.

Την ίδια εποχή η Αίγινα η οποία ήταν ενωμένη με τις ακτές της Αττικής δεχόταν λιμναία ιζήματα μέχρι το τέλος του Μειοκαινού.

Πριν από 5 - 6 εκατομ. χρόνια περίπου, στο Μεσσήνιο, στη θέση της παλαιάς ηπειρωτικής χέρσου του Αιγαίου έχει σχηματισθεί ένα αρχιπέλαγος, που βοήθησε την άφιξη στη σημερινή Ελληνική ηπειρωτική χέρσο ενός μεγάλου αριθμού ζώων της Ασιατικής στέπας καθώς και πολλών αφρικανικών στοιχείων. Η περιοχή η οποία βυθίστηκε πρώτη κατά το Μεσσήνιο ήταν η ΔΝΔ περιοχή των σημερινών Κυκλάδων η οποία περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του Μυρτώου πελάγους, βόρεια των νησιών Παραπόλα και Φαλκονέρα.

Η Πικερμική χερσαία περίοδος θηλαστικών με τις τυπικές «Πικερμικές πανίδες» οι οποίες αντιπροσωπεύονται από άφθονα είδη κυρίως ύαινες, αιλουροειδή, προβοσκιδωτά, ρινόκερους, καμηλοπαρδάλεις, βοοειδή και έναν σημαντικό αριθμό από Muridae, Cricetidae, Sciuridae, Gliridae, έχουν βρεθεί σε πάρα πολλές περιοχές της Ελλάδας.

Πλειόκαινο (5 - 2 εκατομ. χρόνια πριν). Τα διάφορα τεκτονικά γεγονότα που έλαβαν χώρα λίγο μετά την έναρξη του Πλειοκαινού οδήγησαν στην ανύψωση του νησιωτικού τόξου του Νότιου Αιγαίου. Την ίδια εποχή ο κόλπος της Κορίνθου χώρισε την

Πελοπόννησο από την ηπειρωτική χώρα. Από την περίοδο αυτή και μετά αναπτύχθηκε το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου. Την εποχή αυτή η εισβολή της θάλασσας σε διάφορες περιοχές της Αίγινας είχε ως αποτέλεσμα την αποκοπή της από την Αττική.

Στην περιοχή του Σαρωνικού κόλπου καθώς και στις απέναντι ακτές της Πελοποννήσου εμφανίζονται δύο ηφαιστειακά κέντρα: το ένα στην Αίγινα και το άλλο στα Μέθανα.

Κατά το Πλειόκαινο λαμβάνει χώρα ο κατακερματισμός της εσωτερικής πλατφόρμας των Κυκλάδων. Η θάλασσα του Πλειοκαίνου προεκτεινόταν επάνω στην ξηρά της Αττικής (KERAUDREN, 1975, 1979) και προς βορράν προεκτεινόταν εκτός του Μυρτώου πελάγους προς τον Σαρωνικό κόλπο (SYMEONIDIS & DERMITZAKIS, 1973, GEORGIADIS-DIKEOULIA & DERMITZAKIS, 1983) και τον Κορινθιακό κόλπο (KERAUDREN, 1979).

Το δυτικό τμήμα της θάλασσας που περιβάλλει τις εναπομείνουσες νοτιοδυτικές Κυκλάδες εισχώρησε στην ρηξιγενή κοιλάδα του Αργολικού η οποία περιλαμβάνει και τις σημερινές αναδυμένες περιοχές της Αν. Πελοποννήσου (KELLETTAT *et al.*, 1978, DERMITZAKIS, 1988).

Στο Αν. Πλειόκαινο το πιο αξιοσημείωτο παλαιογεωγραφικό χαρακτηριστικό της προηγούμενης Κυκλαδικής χώρας ήταν μια εκτεταμένη ηπειρωτική περιοχή η οποία εκτεινόταν από τα σημερινά νησιά Πάρο και Νάξο μέσω της Σικίνου και της Φολεγάνδρου. Δυτικά της Φαλκονέρας και νότια της Παραπόλας η περιοχή αυτή εκτεινόταν προς νότον για δεκάδες χιλιόμετρα και προφανώς συνδεόταν με την νότια Αργολική χερσόνησο.

Πλειστόκαινο (1,8 εκατομ. χρόνια έως 20.000 χρόνια). Κατά το Πλειστόκαινο το νησιωτικό τόξο του Νοτίου Αιγαίου πήρε το σημερινό του σχήμα. Οι πλειστοκαινικές πανίδες ζώων που βρίσκουμε κυρίως σε νησιά, χωρίς απολιθωμένα λείψανα θηλαστικών της εποχής Μειοκαίνου/Πλειοκαίνου μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα θηλαστικά αυτά εξαφανίστηκαν μετά την περίοδο της καταβύθισης.

Η επικοινωνία με τον Κορινθιακό κόλπο ήταν πολύπλοκη στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν με επικοινωνία των δύο κόλπων στο Ανώτερο Πλειστόκαινο που διακόπηκε στο Ολόκαινο με την ανάδυση, λόγω τεκτονισμού, της περιοχής του Ισθμού της Κορίνθου.

Σε διάφορες παράκτιες περιοχές του Σαρωνικού και του Μυρτώου πελάγους έχουν πιστοποιηθεί μέσοι παλαιολιθικοί αποικισμοί από πρωτόγονες γεωργικές κοινωνίες.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Όταν έχουμε γενικά μια σειρά φαινομένων που το διαδέχεται το άλλο έτσι ώστε σε κάποια στιγμή να επανερχόμαστε πάλι στο φαινόμενο που αυθαίρετα δεχτήκαμε ως αρχικό με αποτέλεσμα η ίδια διαδικασία να επαναλαμβάνεται συνέχεια, τότε λέμε πως έχουμε να κάνουμε με **κύκλο φαινομένων**. Μια τέτοια κυκλική επαναληπτικότητα χαρακτηρίζει και τα γεωλογικά φαινόμενα, που το ένα διαδέχεται το άλλο στα πλαίσια του γεωλογικού κύκλου.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της στερεάς Γης (φλοιού) δημιουργούνται από την επέκταση του θαλάσσιου πυθμένα και την τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών, αλλά η λεπτομερής διαμόρφωση και το ανάγλυφο της επιφάνειας προκαλείται από αλληλοεπιδράσεις μεταξύ της Λιθόσφαιρας και των δύο ρευστών καλυμμάτων που την περιβάλλουν, της ατμόσφαιρας και της υδρόσφαιρας (είναι ένα πολύ λεπτό στρώμα νερού πάνω στην επιφάνεια της στερεάς γης με προεκτάσεις μέσα στην ατμόσφαιρα και την λιθόσφαιρα).

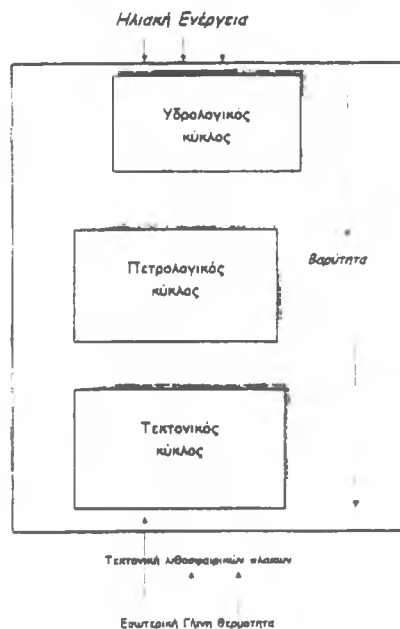
Πολλές σημαντικές χημικές αντιδράσεις, στις οποίες συμμετέχει οξυγόνο, άζωτο και άνθρακας ελέγχονται από την βιόσφαιρα, με πολύ γρήγορο ρυθμό, συγκρινόμενο με αυτόν των γεωλογικών διεργασιών.

Παλαιότερα θεωρούσαμε την Λιθόσφαιρα ως ομογενές, άκαμπτο στρώμα πετρώματος χωρίς καμία αναφορά στη σύνθεσή του. Στην πραγματικότητα, αποτελείται από πολλούς ανεξάρτητους τύπους πετρωμάτων με πλατιά ποικιλία συστάσεων. Αυτά τα διαφορετικά πετρώματα είναι τα προϊόντα φυσικών και χημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα μέσα στη διαδικασία του γεωλογικού κύκλου. Οι γεωλογικές διεργασίες που έχουν μελετηθεί διεξοδικότερα είναι εκείνες που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση μεταξύ των ρευστών και των στερεών στρωμάτων της Γης, όπου αυτά συναντιούνται και επικαλύπτονται. Όμως αυτά είναι στην πραγματικότητα ένα μάλλον

περιορισμένο τμήμα της συνολικής επιστημονικής εικόνας της Γης, όπως περιγράφεται από τη θεωρία της τεκτονικής των λιθοσφαιρικών πλακών.

Ο γεωλογικός κύκλος αποτελείται από τρεις υποκύκλους.

Ο **υδρολογικός ή κύκλος του νερού** παρακολουθεί την κίνηση του νερού μεταξύ της υδρόσφαιρας, της ατμόσφαιρας και της Λιθόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα και η υδρόσφαιρα φθείρουν από κοινού τις ηπείρους και αποθέτουν το υλικό στους ωκεανούς. Με τον τρόπο αυτό καταστρέφονται, διανέμονται και σχηματίζονται νέα πετρώματα σε άλλα μέρη. Αυτό αποτελεί σημαντικό μέρος του **πετρολογικού ή γεωχημικού κύκλου**. Ένα άλλο μέρος περιλαμβάνει την ταφή σε μεγάλο βάθος των πετρωμάτων, ακολουθούμενη από πτύκωση και ανύψωση για να σχηματιστούν οροσειρές. Η διεργασία αυτή είναι πιθανή εξαιτίας του **τεκτονικού κύκλου**, ο οποίος προκαλεί την αργή βύθιση μεγάλων περιοχών της γήινης επιφάνειας κατά τη διάρκεια μακρών χρονικών περιόδων και στη συνέχεια την αργή ανύψωσή τους. Για περισσότερο από 150 χρ. οι γεωλόγοι παρακολουθούν την μετακίνηση των υλικών μέσω αυτών των κύκλων και βγάζουν συμπεράσματα για την αιτία του τεκτονικού κύκλου. Χωρίς την περιοδική ανύψωση των ηπείρων, όλα τα επιφανειακά στρώματα θα είχαν διαβρωθεί και μεταφερθεί μέσα στον ωκεανό εδώ και καιρό. Η ύπαρξη της ζωής οφείλεται στον τεκτονικό κύκλο. Αν η ξηρά δεν είχε επανειλημμένως ανυψωθεί για να αντισταθμίσει τα αποτελέσματα της διάβρωσης οι μορφές ζωής που αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν μέσα στους ωκεανούς δεν θα είχαν ποτέ συρθεί έξω από τη θάλασσα, χερσαία ζώα δεν θα εμφανίζονταν ποτέ στο έδαφος, αφού αυτό δεν θα υπήρχε.



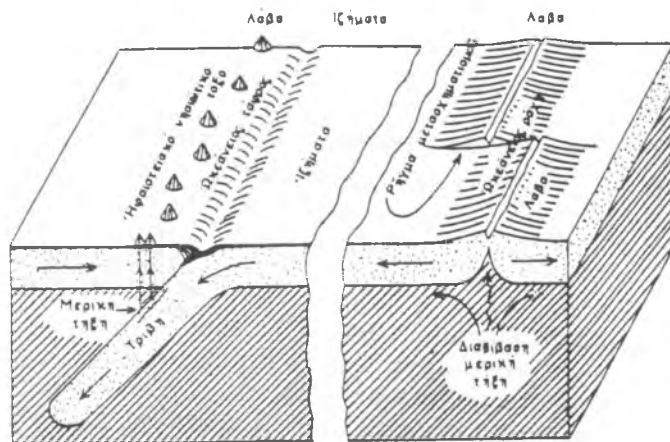
Αυτή η συναρπαστική ανακύκλωση της ύλης, που διαρκεί μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια, δεν είναι κάτι που γίνεται σε παγκόσμια κλίμακα. Περιορίζεται στις γεωτεκτονικά ενεργές περιοχές της Γης όπου γίνεται έντονη κυκλοφορία ύλης και ενέργειας στη λιθόσφαιρα και μάλιστα στις ορογενετικές ζώνες όπως αποκαλούνται οι ζώνες όπου γίνεται σύγκλιση και σύγκρουση λιθοσφαιρικών πλακών.

Επομένως ο γεωλογικός κύκλος σήμερα λειτουργεί με πλήρη ανακύκλωση φαινομένων σε συγκεκριμένες ζώνες της Γης (και στην Ελλάδα), ενώ έχει αδρανοποιηθεί στις αχανείς εκτάσεις του εσωτερικού των πλακών π.χ. στη Σιβηρία, τη Σαχάρα, τη Β. Αμερική κ.α. που είναι τώρα χώροι γεωλογικά ανενεργοί. Στους χώρους αυτούς ο κύκλος λειτούργησε σε παλαιότερες γεωλογικές εποχές όταν υπήρχαν και αυτοί ορογενετικές ζώνες, που κάποια όμως στιγμή, πριν πολλά εκατομμύρια χρόνια, αδρανοποιήθηκαν (με μετατόπισή τους σε άλλα όρια πλακών), οπότε σταμάτησε η διαδοχή των φαινομένων του κύκλου με μόνιμο πλέον χαρακτηριστικό την ήπια αποσάθρωση και διάβρωσή τους.

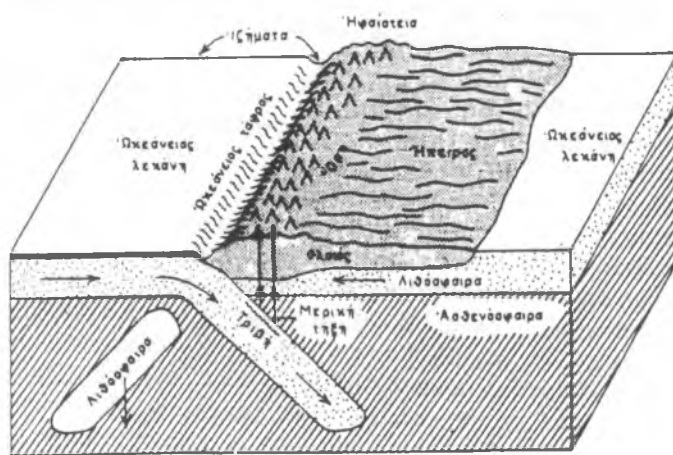
σύγκλισης των πλακών. Καθώς η πλάκα μετακινείται, καλύπτεται με ένα λεπτό στρώμα ιζημάτων.

Στο όριο σύγκλισης των πλακών, η ωκεάνια λιθόσφαιρική πλάκα κάμπτεται και κινείται προς τα κάτω μέσα στο εσωτερικό της Γης, δημιουργώντας μια ωκεάνια τάφρο στην επιφάνεια. Η επιφάνεια της λιθόσφαιρικής πλάκας που κατέρχεται κάτω από την ωκεάνια τάφρο θερμαίνεται από την τριβή, και αυτό προκαλεί μερική τήξη του πετρώματος. Η μερική τήξη ακολουθείται από έκχυση λάβας στην επιφάνεια και αυτό δημιουργεί ένα ηφαιστειακό νησιωτικό τόξο παράλληλα προς την ωκεάνια τάφρο. Η ωκεάνια τάφρος γίνεται παγίδα για τα ωκεάνια ιζήματα και για τα πρόσθετα ιζήματα που προέρχονται από το γειτονικό ηφαιστειακό τόξο. Τα ιζηματογενή πετρώματα σύρονται εν μέρει προς τα κάτω, προς το εσωτερικό, μαζί με την βυθιζόμενη Λιθόσφαιρα, και εν μέρει συμπιέζονται, πτυχώνονται και συνθλιβονται στο νησιωτικό τόξο. Τα ιζηματογενή πετρώματα και ο ωκεάνιος φλοιός μπορούν να μετατραπούν σε μεταμορφωμένα πετρώματα.

Τελικά η συμπίεση και η πτύκωση των ιζηματογενών, μεταμορφωμένων και ηφαιστειακών πετρωμάτων προκαλεί ασταθείς συνθήκες και ανύψωση, και το όριο σύγκλισης των πλακών γίνεται η θέση μιας νέας οροσειράς. Αυτή συνδέεται με το περιθώριο του ηφαιστειακού, νησιωτικού τόξου, το οποίο αποτελείται από τα προϊόντα της τήξης της ωκεάνιας λιθόσφαιρικής πλάκας που κινείται προς τα κάτω στο εσωτερικό. Αυτή είναι η απλούστερη από πολλές σειρές γεγονότων που είναι πιθανές.



(α)



(β)

Εικ. 10 Τεκτονική πλάκων και ορογένεση. Α) όριο συμπίεσης μεταξύ ωκεανών και ανάπτυξη των ηφαιστειακών τόξων. Β) όριο συμπίεσης μεταξύ ωκεανού-ηπείρου και ανάπτυξη οροσειράς και αλυσίδας ηφαιστειών.

ΠΛΟΥΤΩΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ

Κατά την κίνηση του μάγματος από το εσωτερικό της γης προς τα έξω συμβαίνουν διάφορα φαινόμενα. Όταν τα φαινόμενα αυτά, όπως διείσδυση ή διαφοροποίηση του μάγματος, περιορίζονται στο εσωτερικό του φλοιού της Γης, τότε υφίσταται **πλουτωνισμός**. Ενώ όταν το μάγμα φθάσει σε μικρό βάθος από την επιφάνεια της Γης

δημιουργεί συνθήκες μεταλλογένεσεως και τότε υφίσταται **υποηφαιστειότητα**. Τέλος με τον όρο **ηφαιστειότητα** εννοούμε όλα τα φαινόμενα που γίνονται στην επιφάνεια της Γης, όπως δημιουργία ηφαιστειών, θερμών πηγών κλπ.

Ο όρος **ηφαιστειότητα** περιλαμβάνει όλη τη δραστηριότητα που συνδέεται με την ανέξοδο εκρηξιγενούς υλικού από το εσωτερικό της Γης στην επιφάνεια. Ένα ηφαίστειο είναι μια συγκέντρωση σε σωρό εκρηξιγενών θραυσμάτων γύρω από το σημείο εξόδου, που συνήθως ονομάζεται κρατήρας. Τα ηφαίστεια σχηματίζονται όταν πίεση προερχόμενη από κάτω διασπά τα υπερκείμενα πετρώματα.

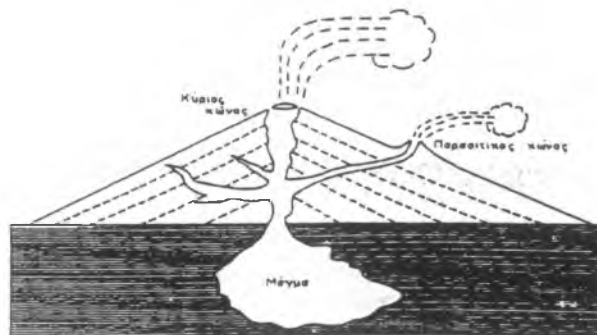
Το **μάγμα** αποτελεί το σύνολο των υλικών του βάθους που βρίσκονται σε κατάσταση τήξεως. Είναι δηλαδή ένα μείγμα υγρών και αερίων σε ρευστή κατάσταση που συνίσταται από αλκαλικά κυρίως άλατα και βρίσκεται σε θερμοκρασία 500°- 1200° C. Μεταξύ των αερίων που περιέχει το μάγμα είναι και το υδρογόνο, ενώ από τα υγρά το νερό περιλαμβάνεται σε ποσοστό 1-8%. Η άνοδος του μάγματος ευνοείται αφενός μεν από το γεγονός ότι περιέχει αέρια και νερό και επομένως είναι πιο ελαφρύ από τα γειτονικά πετρώματα, αφετέρου δε από τις υψηλές πιέσεις που επικρατούν στο εσωτερικό της γης. Στα διάφορα βάθη από την επιφάνεια της γης γίνεται στερεοποίηση και κρυστάλλωση του μάγματος. Όταν η κρυστάλλωση αυτή γίνεται σε βάθος τότε τα μαγματογενή πετρώματα ονομάζονται **πλουτωνίτες**, ενώ όταν γίνεται στην επιφάνεια ονομάζονται **ηφαιστειίτες**. Επίσης ένας τρόπος με τον οποίο το μάγμα μπορεί να διεισδύσει και να δημιουργήσει μια δίοδο προς την επιφάνεια, είναι μέσα σε ρωγμές του πετρώματος όπου περιβάλει και αποσπά τα χαλαρωμένα κομμάτια. Έτσι δημιουργούνται οι ηφαιστειακοί λαιμοί που είναι διεισδύσεις στο εσωτερικό των πετρωμάτων και αργότερα εξ αιτίας της διαβρώσεως των περιβαλλόντων στρωμάτων, αποκαλύπτεται το εσωτερικό της λάβας με τις στηλοειδείς κατατμήσεις (π.χ. στη νήσο Μήλο).

Ηφαιστεια

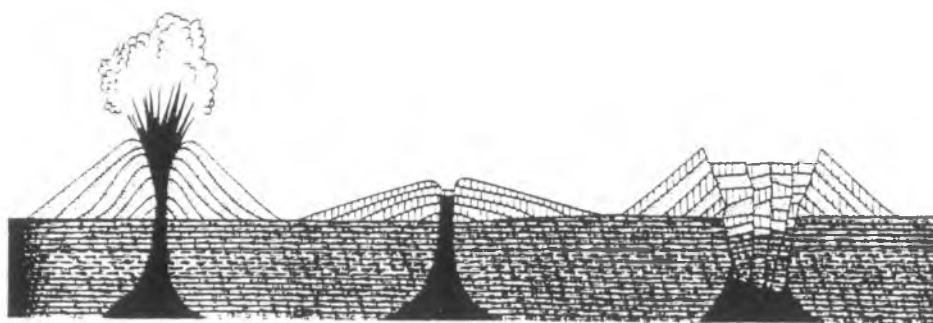
Όρος με τον οποίο χαρακτηρίζονται οι θέσεις διεξόδου στερεών, ρευστών ή αερίων υλικών του μάγματος στην επιφάνεια της Γης, αλλά και οι κωνικής μορφής λόφοι ή τα όρη που σχηματίζονται γύρω από τις θέσεις ανόδου των υλικών αυτών.

Το ρευστό μαγματικό υλικό που εκκύνεται από τα ηφαίστεια καλείται **λάβα**. Η λάβα μετά την ψύξη και τη στερεοποίησή της σχηματίζει ηφαιστειακά πετρώματα. Τα θραύσματα των υλικών που εκτινάσσονται από τα ηφαίστεια αποτελούν τα θεμελιώδη συστατικά των πυροκλαστικών πετρωμάτων.

Τα κύρια μέρη ενός ηφαιστείου (Εικ. 11) είναι ο **ηφαιστειακός κώνος**, ο **ηφαιστειακός αγωγός** ή **πόρος**, από τον οποίο διέρχονται τα μαγματικά υλικά, ο **μαγματικός θάλαμος**, που περιέχει το μάγμα και συνήθως βρίσκεται σε μικρό σχετικά βάθος (μερικά χιλιόμετρα) και το **στόμιο**, που είναι το άνοιγμα από το οποίο εξέρχονται τα μαγματικά υλικά. Το στόμιο των ηφαιστειών όταν έχει σχήμα λεκάνης ή χοάνης, ονομάζεται **κρατήρας**. Οι **καλδέρες** είναι μεγάλοι κρατήρες με διάμετρο που ξεπερνά το ένα χιλιόμετρο και συνήθως με απότομα τοιχώματα. Οι κρατήρες και οι καλδέρες σχηματίζονται είτε κατά τις βίαιες εκρήξεις των ηφαιστειών, είτε λόγω ογκώδους κατάρρευσης ή καταβύθισης κατά τη διάρκεια της ηφαιστειακής δραστηριότητας, είτε σπανιότερα λόγω διάβρωσης (Εικ. 12). Σε ένα ηφαίστειο συνήθως δημιουργούνται μικρότεροι παρασιτικοί κώνοι, που τροφοδοτούνται από πλευρικές φλέβες.



Εικ. 11 Εγκάρσια τομή ενός ηφαιστείου που παρουσιάζει την πιθανή δομή του.



Εικ. 12. Τρόπος σχηματισμού της καλδέρας ενός ηφαιστείου.

Τα ηφαιστεια ταξινομούνται με διάφορα κριτήρια και κυρίως με βάση την αναλογία λάβας και πυροκλαστικών χαλαρών υλικών, καθώς και με βάση τη συμμετοχή και δράση των αερίων. Στα ηφαιστεια λάβας το ποσοστό της λάβας υπερτερεί έναντι των χαλαρών υλικών. Στα μικτά ηφαιστεια η συμμετοχή των χαλαρών υλικών είναι μεγαλύτερη και υπάρχει εναλλαγή εκτινακτικής και εκχυτικής δραστηριότητας. Τα χαλαρά ηφαιστεια χαρακτηρίζονται από την απουσία ρευμάτων λάβας, ενώ συνήθως είναι πυρομβριτικού τύπου (οι πυρομβρίτες είναι πετρώματα που σχηματίστηκαν από απόθεση συγκολλημένων τεμαχιδίων μάγματος, τα οποία κατέπεσαν από πυρακτωμένα νέφη). Στα ηφαιστεια αερίων εξέρχονται βίαια πτητικά κυρίως συστατικά, τα οποία θρυμματίζουν το ήδη στερεοποιημένο ηφαιστειακό υλικό ή το γειτονικό πέτρωμα. Τα ηφαιστεια διακρίνονται επίσης με βάση τη μορφή του ηφαιστειακού πόρου, το γενικό σχήμα τους και το είδος και τη διάρκεια της δράσης τους σε: γραμμικά ηφαιστεια, στα οποία η ανέξοδος των μαγματικών υλικών γίνεται από ρωγμές μήκους αρκετών χιλιομέτρων, οπότε σχηματίζονται τεράστιες έκτασης και σημαντικού πάχους βασαλτικά καλύμματα, και σε κεντρικά ηφαιστεια, στα οποία η ανέξοδος γίνεται με έκχυση ή εκτίναξη των υλικών από έναν κεντρικό αγωγό ή από ρωγμές που ξεκινούν από τον αγωγό. Στα κεντρικά ηφαιστεια κατατάσσονται τα ασπιδόμορφα ηφαιστεια και τα στρωματοηφαιστεια στα οποία αλληλοδιάδοχες φάσεις έκχυσης σημαντικών ποσοτήτων λάβας και πυροκλαστικών υλικών διακόπτονται από μεγάλης ή μικρής διάρκειας περιόδους ηρεμίας.

Τα ηφαιστεια επίσης ταξινομούνται και με βάση τον τύπο της έκρηξης και κατ' επέκταση με το ιξώδες της λάβας και την πίεση των αερίων στο μάγμα. Οι κυριότεροι τύποι εκρήξεων είναι οι **τύπου Χαβάης**, που πραγματοποιούνται από ρωγμές ή κεντρικούς κρατήρες και χαρακτηρίζονται από μεγάλους όγκους λεπτόρρευσης λάβας, οι **τύπου Στρόμπολι**, που είναι μέσης ισχύος, με εκρήξεις ρυθμικές ή συνεχείς και παράγουν λάβα και κυρίως λίθους, βολίδες ή σποδό σε σημαντικές ποσότητες, οι **τύπου Βουλκάνο**, που μπορεί να είναι ασθενείς ή ισχυρές και κατά τις οποίες παράγονται μεγάλα ποσά πυροκλαστικών υλικών σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ μεσολαβούν μακρές περίοδοι ηρεμίας, οι **τύπου Πλίνιου**, που αρκετά βίαιες και παράγουν μεγάλες ποσότητες λάβας, τεράστιες ποσότητες πυροκλαστικών υλικών και κατακόρυφο νέφος, που μπορεί να φτάσει ως τη στρατόσφαιρα (π.χ. Σαντορίνη), και οι **τύπου Πελέ**, κατά τις οποίες εκτινάσσονται πλευρικά πυρακτωμένα νέφη από πυροκλαστικά υλικά, ενώ σημειώνεται και ανέξοδος μικρής ποσότητας πυκνόρρευσης λάβας σε μορφή οβελίσκου.

Τα ηφαιστεια δεν είναι διασκορπισμένα τυχαία πάνω στη γη. Είναι αφθονότερα σε ορισμένες περιοχές του κόσμου. Η ζώνη της μεγαλύτερης ηφαιστειακής δραστηριότητας ονομάζεται «πύρινη ζώνη», περιβάλλει την λεκάνη του Ειρηνικού ωκεανού. Στην περιοχή της Μεσογείου βρίσκεται μια άλλη περιοχή καταφανούς ηφαιστειότητας. Το βέβαιο είναι ότι οι ζώνες αυτές συμπίπτουν με περιοχές της μεγαλύτερης σεισμικής δραστηριότητας. Σύμφωνα με την θεωρία της τεκτονικής των πλακών αυτές είναι οι περιοχές επαφής των πλακών από όπου γίνεται απελευθέρωση ενέργειας.

Ατμίδες

Συνήθως μετά το τέλος της κύριας δράσης ενός ηφαιστείου ή στα μεσοδιαστήματα των περιόδων ηρεμίας του εκδηλώνονται διάφορα ατμιδικά κυρίως φαινόμενα. Οι ατμίδες διακρίνονται σε **φουμαρόλες**, **μοφέττες** και **θειωνιές**. Οι φουμαρόλες παράγουν κατά κύριο λόγο αλογονούχα αέρια, τα οποία έχουν χρώμα συνήθως λευκό. Η

θερμοκρασία τους ξεπερνά τους 500°. Οι μοφέτες ή ανθρακωνίες εκλύουν σε μεγαλύτερο ποσοστό διοξείδιο του άνθρακα και σε μικρότερο υδροθείο. Στο Σουσακί κοντά στους Αγ. Θεοδώρους της Κορίνθου, από δύο σπηλαιώδεις ρωγμές αναθρώνουν εκτός των προαναφερομένων αερίων διοξείδιο του Θείου και ελάχιστο υδρογόνο και ήλιο. Η μοφέτα του Σουσακίου με θερμοκρασίες στους 42° αντιπροσωπεύει την ατμιδική φάση παλαιότερου ηφαιστειακού κέντρου που η δραστηριότητά του έγινε εντονότερη κατά τον Καινοζωικό μέχρι το Πλειόκαινο. Οι σολφατάρες ή θειωνίες εκλύουν υδροθείο και σε μικρότερο ποσοστό διοξείδιο του άνθρακα. Είναι γνωστές οι θειωνίες της Νισύρου όπου από διάφορες ρωγμές έρχονται στην επιφάνεια υδρατμοί, υδροθείο και διοξείδιο του άνθρακα σε θερμοκρασία που ανέρχεται στους 92°. Οι ατμίδες της Νισύρου αποτελούν το επακόλουθο της ηφαιστειακής δράσης του ομώνυμου ηφαιστείου που εμφανίζει μια μεγαλοπρεπή καλδέρα διαμέτρου περίπου 3000μ και ύψους τοιχωμάτων 650μ. Από τις γνωστές εκρήξεις του ηφαιστείου της Νισύρου αναφέρουμε εκείνες των ετών 1422, 1830, 1871, 1873, 1888. Ορισμένες από αυτές υπήρξαν τόσο έντονες ώστε η εκτιναχθείσα ηφαιστειακή σποδός να εντοπίζεται σήμερα σε περιοχές της Αν. Μεσογείου πολύ μακριά από την Νίσυρο. Ακόμη σημαντικές ατμιδικές περιοχές στον Ελλαδικό χώρο είναι της Αγ. Παρασκευής στο νότιο τμήμα της χερσονήσου της Κασσάνδρας, στη Χαλκιδική και στη νήσο Λέσβο. Επίσης, στη νήσο Μήλο εμφανίζονται ατμίδες με θερμοκρασία που ανέρχεται στους 102°. Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στη Μήλο αποδείχθηκε ότι διαθέτει μεγάλη θερμική ροή που προκάλεσε έντονη υδροθερμική δράση, δημιουργώντας κατάλληλες συνθήκες για βιομηχανική εκμετάλλευση. Το ηφαιστείο της Μήλου βρίσκεται σήμερα στην ατμιδική φάση καθόσον η ηφαιστειότητα άρχισε στο νησί κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο με εκχύσεις σε χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον.

Τα ηφαιστεια του Αιγαίου

Ο χώρος του Αιγαίου πελάγους και των γειτονικών ακτών της Ελλάδας και Μικράς Ασίας κατά το Νεογενές και το Τεταρτογενές υπήρξε περιοχή έντονης ηφαιστειακής δράσης (Εικ. 13). Κατά την περίοδο αυτή λειτούργησαν πολλά ηφαιστειακά κέντρα και έδωσαν λάβες διαφορετικής σύστασης, οι οποίες ψύχθηκαν και έδωσαν τα διάφορα ηφαιστειακά πετρώματα. Ο χρόνος δράσεως αυτών των ηφαιστειών και η θέση τους στον ευρύτερο χώρο δεν είναι τυχαία αλλά συνδέονται άμεσα με την τεκτονική της περιοχής. Ο πτυχογόνος και ρηγματογόνος τεκτονισμός που έδρασε κατά την εποχή αυτή δημιούργησε μεγάλα ρήγματα σε συγκεκριμένες θέσεις από τις οποίες ανέβηκε η λάβα.



Εικ. 13 Η ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου με την κατανομή των τριτογενών και τεταρτογενών ηφαιστειακών πετρωμάτων και τις κύριες τεκτονικές γραμμές.

Τα ηφαιστεια του Αιγαίου μπορούν να χωρισθούν σε τρεις γεωγραφικές περιοχές που η κάθε μια έχει ιδιαίτερα γεωλογικά-πετρολογικά χαρακτηριστικά. Αυτές είναι α) **η περιοχή του Νοτίου Αιγαίου** που περιλαμβάνει ηφαιστεια που βρίσκονται νότια από τον 38^ο παράλληλο, β) **η περιοχή του Κεντρικού Αιγαίου** που περιλαμβάνει ηφαιστεια που βρίσκονται μεταξύ 38^{ου} και 39^{ου} παραλλήλου και γ) **η περιοχή του Βορείου Αιγαίου** που περιλαμβάνει ηφαιστεια βόρεια του 39^{ου} παραλλήλου. Τα ηφαιστεια του Νοτίου Αιγαίου χαρακτηρίζονται από άφθονα αναβλήματα (σποδο, μύδρους, βολίδες) και πολλές φορές έχουμε ανατίναξη των κρατήρων με αποτέλεσμα να σχηματισθούν καλδές.

Η ηλικία της ηφαιστειακής δράσης αποτελεί ένα άλλο παράγοντα κατάταξης των ελληνικών ηφαιστειών. Η ηλικία αυτή προσδιορίζεται με ραδιοχρονολογήσεις ή με τη σχετική γεωλογική ηλικία. Με βάση την τελευταία μπορούμε να διακρίνουμε δύο μεγάλες ομάδες: α) **παλαιοηφαιστειακή δραστηριότητα** ηλικίας Ηωκαίνου-Μειοκαίνου και β) **νεοηφαιστειακή δραστηριότητα** ηλικίας Πλειοκαίνου έως σήμερα.

ΙΖΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

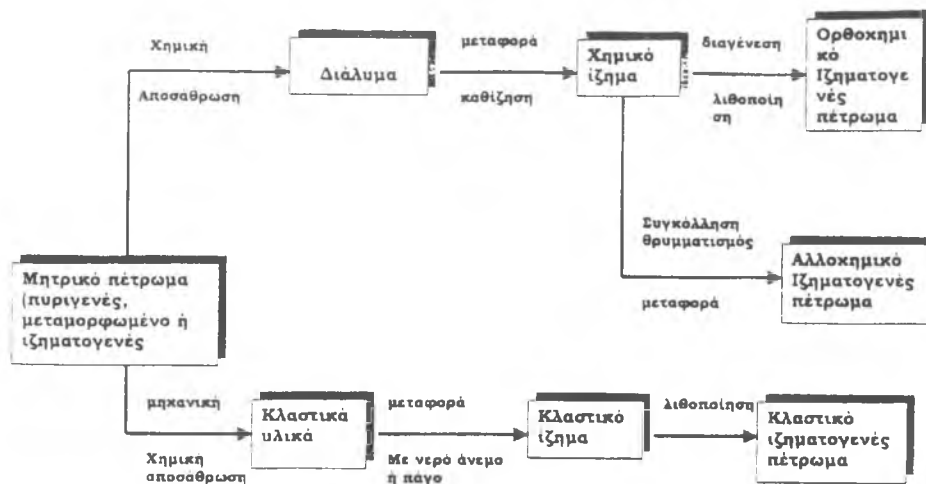
Ως **ιζημα** χαρακτηρίζεται ένα χαλαρό ασύνδετο σύνολο υλικών, που αποτέθηκε μέσα σε ένα ρευστό μέσο, κυρίως νερό ή αέρα. Τα υλικά αυτά συνήθως είναι τεμαχίδια διαφόρων πετρωμάτων που αποσαθρώθηκαν, λείψανα φυτικών ή ζωικών οργανισμών ή προϊόντα χημικών διεργασιών καθίζησης. Το ιζημα μετά την απόθεσή του αρχίζει να λιθοποιείται μέσω της διαγένεσης (είναι το σύνολο των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την λιθοποίηση των ιζημάτων, δηλαδή κατά την μετατροπή τους σε πιο συμπαγή και συνεκτικά ιζηματογενή πετρώματα), οπότε σχηματίζεται ένα **ιζηματογενές πέτρωμα**.

Η ταξινόμηση των ιζημάτων και των ιζηματογενών πετρωμάτων γίνεται αρχικά με **γενετικά κριτήρια** και στη συνέχεια με βάση **περιγραφικά χαρακτηριστικά**, όπως το μέγεθος του κόκκου, η ορυκτολογική σύσταση και ο ιστός. Η πετρολογική και ορυκτολογική εξέταση των κόκκων ενός ιζηματος είναι ενδιαφέρουσα, γιατί δίνει πληροφορίες για το μητρικό πέτρωμα από το οποίο προέρχονται. Η μελέτη του σχήματος, του προσανατολισμού και της επιφάνειας των κόκκων των κλαστικών ιζημάτων και των κλαστικών ιζηματογενών πετρωμάτων συμβάλλει ουσιαστικά στον καθορισμό των συνθηκών διάβρωσης και μεταφοράς των υλικών, και γενικά στην ανασύσταση της παλαιογεωγραφίας μιας περιοχής. Έτσι, τα ιζήματα και τα ιζηματογενή πετρώματα διακρίνονται σε **κλαστικά**, με υλικά που προέρχονται από την αποσάθρωση και τη διάβρωση προϋπαρχόντων πετρωμάτων και πέρασαν από τα στάδια της μεταφοράς και της απόθεσης, σε **ορθοχημικά**, που σχηματίστηκαν σχεδόν αποκλειστικά μέσω χημικών παραγόντων καθίζησης, και σε **αλλοχημικά** αν πριν από τον τελικό χημικό σχηματισμό έχει λάβει χώρα βιολογική δράση ή μικρή εκ νέου μεταφορά εντός της ίδιας λεκάνης και επαναπόθεση. Πολλές φορές τα ορθοχημικά και αλλοχημικά ιζηματογενή πετρώματα αναφέρονται ως **χημικά ή βιοχημικά** ιζηματογενή πετρώματα ή ακόμη ως μη κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα.

Τα κλαστικά ιζήματα ταξινομούνται με βάση το μέγεθος των κόκκων τους και από τα πιο αδρόκοκκα στα πιο λεπτόκοκκα, διακρίνονται σε **ογκόλιθους, κροκάλες, ψηφίδες, άμμους, ιλύ, πηλό και άργιλο**.

Τα **χερσογενή** κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα διακρίνονται με βάση το μέγεθος των κόκκων και τη σύστασή τους σε **ρουδίτες**, οι οποίοι έχουν κόκκους μεγέθους χαλίκων, σε **αρενίτες** με κόκκους από 62,5 μm – 2 mm, και σε **λουτίτες** με κόκκους κάτω από 62,5 μm, που δεν διακρίνονται με γυμνό μάτι. Στους ρουδίτες ανήκουν τα **ψηφίτοπαγή**, τα **κροκαλοπαγή** με αποστρωγγυλεμένους κόκκους και τα **λατυποπαγή** με γωνιώδεις κόκκους. Στους ρουδίτες τα διάκενα των κόκκων έχουν πληρωθεί συνήθως με άμμο, πηλό ή μίγμα τους. Οι πιο γνωστοί τύποι αρενιτών είναι οι **ψαμμίτες**, που συχνά περιέχουν ως κύριο συστατικό χαλαζία, οι **αρκόζες** που περιέχουν αστρίους σε ποσοστό 5-95% και οι **γραουβάκες**. Οι λουτίτες όταν παρουσιάζουν συνεκτικότητα, διακρίνονται σε **ιλυόλιθους, πηλόλιθους** και **αργιλόλιθους**. Πολλές φορές οι συνεκτικοί λουτίτες παρουσιάζουν σχιστότητα, όπως στην περίπτωση του αργιλολιθικού σχιστόλιθου. Τα κλαστικά υλικά των λατυποπαγών

σε αντίθεση με εκείνα των κροκαλοπαγών δεν μεταφέρθηκαν σε μεγάλες αποστάσεις και συγκολληθηκαν σχετικά γρήγορα. Οι **τιλλίτες** είναι κροκαλοπαγή, των οποίων οι κροκάλες έχουν σχηματιστεί κατά την μετακίνηση των παγετώνων και για τον λόγο αυτό παρουσιάζουν χαρακτηριστικές ραβδώσεις στις επιφάνειές τους ενώ έχουν δισκοειδή μορφή.



Στα **αλλοχημικά** ιζηματογενή πετρώματα θεωρείται ότι ανήκουν τα περισσότερα **ανθρακικά** πετρώματα, οι **φωσφορίτες**, τα **πυριτικά** πετρώματα ή πυριτόλιθοι και τα **ορυκτά καύσιμα** (ορυκτές ουσίες που ενώνονται με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας σε υψηλή θερμοκρασία και εκλύουν φως και μεγάλα ποσά θερμότητας). Τα κυριότερα **ορθοχημικά** ιζηματογενή πετρώματα είναι οι **εβαπορίτες**, οι **λατερίτες** και τα πλούσια σε **σίδηρο ή μαγγάνιο ιζηματογενή πετρώματα**.

Στρώση των ιζημάτων

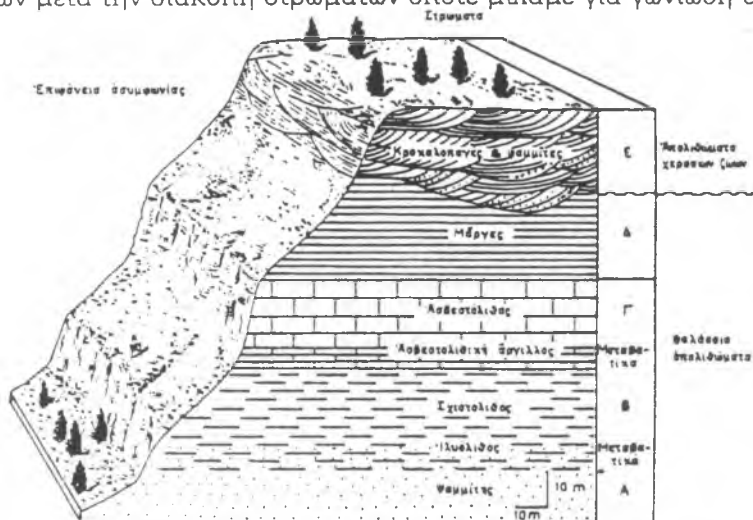
Ενας βασικός χαρακτήρας των ιζημάτων είναι η απόθεσή τους κατά στρώματα. Η στρώματωση του υλικού συνδέεται άμεσα με τις διαδικασίες απόθεσης και την παρουσία του ρευστού μέσου που δεν είναι απλός μεταφορέας ύλης αλλά ταυτόχρονα φιλτράρει και κλασματοώνει το μεταφερόμενο υλικό αφήνοντας πιο κοντά το βαρύτερο και μεγαλύτερο και πιο μακριά το ελαφρύτερο και λεπτομερέστερο. Μια σημαντική αλλαγή στο υδροδυναμικό καθεστώς ροής του ρευστού μεταβάλλει ταυτόχρονα και το υλικό απόθεσης. Έτσι πάνω από ένα στρώμα λεπτού κλαστικού υλικού (π.χ. πηλού) μπορεί να αποθεθεί ένα άλλο στρώμα με υλικό διαφορετικού μεγέθους ή διαφορετικής σύστασης, π.χ. μια άμμος που θα εξελιχθεί σε ψαμμίτη. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται επάλληλα στρώματα ιζημάτων με ιδιαίτερους χαρακτήρες που μπορεί να είναι ιδανικά από πλευράς γεωμετρικότητας, μερικές φορές όμως μπορεί να είναι ιδιόμορφα και λιγότερα τυπικά, όπως π.χ. συμβαίνει στις δελταϊκές αποθέσεις που συχνά εμφανίζουν πιο πολύπλοκες μορφές στρώσης (σταυρωτή στρώση).

Η έννοια της φάσης

Κάθε στρώμα αποτυπώνει μέσα του χαρακτήρες που δείχνουν τις φυσικοχημικές και βιολογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την απόθεσή του. Όλοι αυτοί οι χαρακτήρες συνοψίζονται στον όρο φάση του πετρώματος που η γνώση της μας επιτρέπει να αναπαραστήσουμε νοερά το περιβάλλον κατά την εποχή της απόθεσης. Η φάση προκύπτει από τη μελέτη της λιθολογικής σύστασης του στρώματος (λιθοφάση) καθώς και των απολιθωμάτων που εγκλείει (βιοφάση) με βάση βέβαια την αρχή του ακτουαλισμού που εξομοιώνει τα σημερινά φαινόμενα με τα αντίστοιχα του παρελθόντος. Έτσι π.χ. ο εντοπισμός σταυρωτής στρώσης σε κάποιο πέτρωμα δείχνει δελταϊκή φάση απόθεσης, ενώ όσο πιο καλά εκφρασμένη είναι η στρώση ενός πετρώματος τόσο πιο ήρεμες πρέπει να ήταν οι συνθήκες απόθεσής του. Αντίστοιχα η ανεύρεση απολιθωμάτων χερσαίων ζώων και φυτών υποδηλώνει χερσαία φάση του φιλοξενούντος πετρώματος, οι λιγνίτες (που είναι εξανθρακωμένες φυτικές ύλες) φάση ελώδη, διάφορα παχυόστρακα μαλάκια καθώς επίσης και απολιθωμένα φύκη κτλ φάσεις ρηχών υδάτων, ενώ λεπτοόστρακοι οργανισμοί δείχνουν φάση βαθύτερων υδάτων.

Στρώματα και χρόνος

Κάθε στρώμα αποτελείται οριζόντια και είναι παλαιότερο του υπερκείμενου και νεότερο του υποκείμενου (Εικ. 14). Έτσι η διαδοχή αλληπάλλληλων στρωμάτων, που καθένα έχει τους δικούς του χαρακτήρες (λιθολογική σύσταση, πάχος, χρώμα, απολιθώματα, μηχανική συμπεριφορά κλπ), αντικατοπτρίζει και μια διαδοχή στο χρόνο αφού κάθε στρώμα αντιπροσωπεύει και ένα χρονικό διάστημα απόθεσης. Η διαδοχή αυτή μπορεί να είναι συνεχής αν το τέλος απόθεσης ενός στρώματος διαδέχεται το ξεκίνημα απόθεσης του υπερκείμενου και νεότερου στρώματος κ.ο.κ. ή ασυνεχής αν για διάφορους λόγους η συνέχεια αυτή διακόπτεται π.χ. στη συνηθισμένη περίπτωση που ανοδικές κινήσεις επιφέρουν χέρσωση του χώρου απόθεσης με συνέπεια διακοπή της ιζηματογένεσης, οπότε μέχρι την ξαναβύθιση της περιοχής κάτω από τη θάλασσα μεσολαβεί κάποιο χρονικό διάστημα χωρίς απόθεση. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για χρονικό κενό (hiatus) στην ακολουθία των στρωμάτων. Η εικόνα που προκύπτει από την διαταραχή της συνέχειας αυτής της ιζηματογένεσης ονομάζεται ασυμφωνία και συνήθως το επίπεδο της στρώσης των προ της διακοπής στρωμάτων σχηματίζει γωνία με το επίπεδο των μετά την διακοπή στρωμάτων οπότε μιλάμε για γωνιώδη ασυμφωνία.



Εικ. 14 Θεωρητική ακολουθία στρωμάτων σε κατακόρυφη τομή.

Ιζηματογένεση

Είναι το σύνολο των φαινομένων τα οποία οδηγούν στο σχηματισμό των ιζημάτων.

Μια μεγάλη επιφάνεια όπου η ιζηματογένεση διαρκεί αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ονομάζεται **λεκάνη ιζηματογένεσης** (ή ιζηματογενής λεκάνη, συνήθως θαλάσσια, ορισμένες φορές λιμναία), ενώ ο **ρυθμός ιζηματογένεσης** στο εσωτερικό της εκφράζεται με το πάχος των συσσωρευόμενων ιζημάτων ανά χρονική μονάδα.

Διακρίνονται τρία είδη ιζηματογένεσης: η ηπειρωτική, η παράκτια και μικρού βάθους θαλάσσια, και η ωκεάνια.

Η **ηπειρωτική ιζηματογένεση** λαμβάνει χώρα στην ξηρά, χωρίς την επίδραση της θάλασσας. Αποτελεί τη διαδικασία απόθεσης γηγενών κλαστικών κόκκων, οι οποίοι μεταφέρονται από τη διάβρωση των ηπειρωτικών πετρωμάτων. Η απόθεση αυτή γίνεται σε πεδιάδες ή σε λεκάνες κατά μήκος της πορείας των ποταμών και ανάλογα με το μηχανισμό αντιστοιχεί σε αιολική, ποτάμια, δελταϊκή, λιμναία ή παγετώδη ιζηματογένεση. Στην **αιολική ιζηματογένεση** ο παράγοντας που επικρατεί είναι ο άνεμος και τα ιζήματα που σχηματίζονται είναι θίνες άμμου και στρώματα ασβεστούχου πηλού, που αποτίθενται σε ερήμους και στέπες. Στην **ποτάμια ιζηματογένεση** γίνεται μεταφορά και απόθεση με τη δημιουργία προσχώσεων (μεταφορά και συσσώρευση φερτού υλικού από αποσάθρωση) από άργιλο, άμμο, κροκάλες στις διάφορες πεδιάδες και τα δέλτα των εκβολών των ποταμών. Στη **λιμναία ιζηματογένεση** γίνεται απόθεση και σχηματισμός στο βυθό στρωμάτων αργίλων, μαργών κλπ με λείψανα υδρόβιων και υδροχαρών φυτών, τα οποία μερικές φορές σχηματίζουν στρώματα τύρφης και λιγνιτών. Στην **παγετώδη ιζηματογένεση** γίνεται απόθεση πετρωμάτων που προέρχονται από τη δράση παγετώνων.

Η **παράκτια και μικρού βάθους θαλάσσια ιζηματογένεση** λαμβάνει χώρα σε μια ζώνη που δέχεται επιδράσεις από την ξηρά και τη θάλασσα. Στην παράκτια ζώνη η

ιζηματογένεση ελέγχεται άμεσα από τη στάθμη της θάλασσας. Η επίδραση της ξηράς χαρακτηρίζεται είτε από την παρουσία αδρομερών και χονδρομερών σωματιδίων ηπειρωτικής προέλευσης (ψαμμίτες και κροκαλοπαγή) που μεταφέρονται από τα ρεύματα είτε από την επίδραση του γλυκού νερού. Η επίδραση της θάλασσας συμμετέχει με την παρουσία σωματιδίων που σχηματίζονται στο θαλάσσιο χώρο (π.χ. βιοκλάστες, ωλίθοι κλπ). Στη μικρού βάθους θαλάσσια ή νηριτική ζώνη (μέχρι το όριο της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας, δηλαδή για βάθος μικρότερο από 200 μ) η ιζηματογένεση είναι εξώ από την άμεση επίδραση της ηπείρου. Στη ζώνη αυτή γίνεται απόθεση κυρίως ανθρακικών και κλαστικών ιζημάτων. Η νηριτική ζώνη διακρίνεται στην ευφωτική ζώνη, η οποία αντιστοιχεί μέχρι το βάθος όπου φτάνει το ηλιακό φως (γενικά μικρότερο από 50μ, μπορεί να φτάσει σε διαυγή ύδατα μέχρι 100μ) και επιτρέπει την πραγματοποίηση της φωτοσύνθεσης, επομένως την ανάπτυξη των φυτών (τα ιζήματα που σχηματίζονται περιέχουν φυτικά απολιθώματα), και στην αφωτική ζώνη, στην οποία δεν φτάνει το ηλιακό φως και επομένως δεν αναπτύσσονται φυτικοί οργανισμοί (τα ιζήματα που σχηματίζονται δεν περιέχουν φυτικά απολιθώματα).

Η **ωκεάνια ιζηματογένεση** είναι η ιζηματογένεση, η οποία λαμβάνει χώρα στους ωκεανούς (πέρα από την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα). Οι ωκεανοί είναι συστήματα μεγάλης πολυπλοκότητας και η μελέτη τους είναι σε μεγάλο βαθμό επίτευγμα της σύγχρονης τεχνολογίας. Η ωκεάνια ιζηματογένεση ελέγχεται κυρίως από τρεις παράγοντες: τις κερσογενείς προσφορές, τη βιολογική παραγωγικότητα και το βάθος ιζηματογένεσης.

Οι **κερσογενείς προσφορές** ελαττώνονται σε πάχος ανάλογα με την απομάκρυνση από την ακτή. Τα μεγάλα θραύσματα περιορίζονται πρακτικώς στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, ενώ τα πλέον λεπτομερή θραύσματα καλύπτουν τις αβυσσικές πεδιάδες. Εκτός από τις δύο αυτές περιπτώσεις, τα μόνα κερσογενή στοιχεία, τα οποία συμβάλλουν στην ωκεάνια ιζηματογένεση είναι οι ερυθροί άργιλοι.

Η **βιολογική παραγωγικότητα** συνδέεται στενά με τις ανοδικές κινήσεις των ωκεάνιων υδάτων βάθους προς την επιφάνεια της θάλασσας. Τα ύδατα αυτά εμπλουτίζονται κανονικά σε θρεπτικά συστατικά (κυρίως αζωτούχες και φωσφορούχες ενώσεις) τα οποία παρέχονται από την ιζηματογένεση και την βενθονική ζωή. Οι ανοδικές αυτές κινήσεις λαμβάνουν χώρα στις ισημερινές περιοχές, στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και κατά μήκος ορισμένων ηπειρωτικών περιθωρίων.

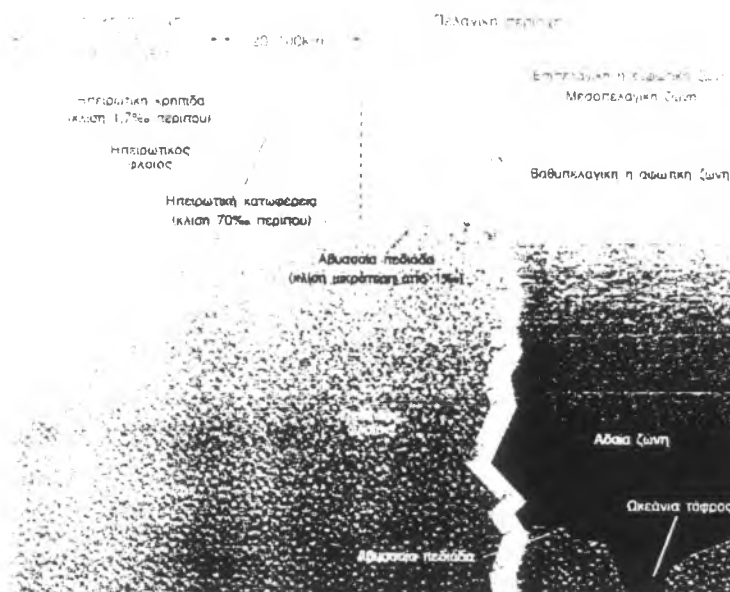
Το **βάθος ιζηματογένεσης** καθορίζει την τύχη των κελυφών των Τρηματοφόρων που πέφτουν στον πυθμένα. Αν το βάθος δεν είναι πολύ μεγάλο αυτά συσσωρεύονται και ο ρυθμός ιζηματογένεσης είναι ανάλογος με τη βιολογική παραγωγικότητα (ζώνη βάθους από 0-500μ). Αν το βάθος είναι μεγαλύτερο, τα φαινόμενα διάλυσης των ανθρακικών αλάτων (σκελετικά συστατικά των ασβεστολιθικών οργανισμών) είναι σημαντικά και ελαττώνουν το ρυθμό ιζηματογένεσης. Αντίθετα δεν έχει επίδραση στη διάλυση του πυριτίου.

Θαλάσσιο περιβάλλον ιζηματογένεσης

Ακολουθώντας τον νόμο της βαρύτητας όλα τα υλικά στην επιφάνεια της Γης τείνουν να καταλήξουν στον πυθμένα των ωκεάνιων λεκανών, σε μικρή ή μεγάλη απόσταση από τις ακτές με τις διεργασίες της Ιζηματογένεσης.

Μια τυπική ωκεάνια λεκάνη (Εικ. 15) περιβάλλεται από ένα ηπειρωτικό περιθώριο, γνωστό ως **ηπειρωτική κρηπίδα ή υφαλοκρηπίδα**. Κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, οι διαδοχικές άνοδοι και κάθοδοι της στάθμης της θάλασσας είχαν ως αποτέλεσμα τη διαδοχική βύθιση και ανάδυση της ηπειρωτικής κρηπίδας. Σε βάθος που κυμαίνεται από 150 έως 200μ η ηπειρωτική κρηπίδα παρουσιάζει μια απότομη αλλαγή κλίσης. Πρόκειται για την αρχή της **ηπειρωτικής κατωφέρειας**, ενός απότομου πρानούς που οδηγεί σε βάθη περίπου 4000μ. Στα βάθη αυτά εκτείνονται οι απέραντες, σχεδόν επίπεδες, **αβυσσαίες πεδιάδες**, που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα των ωκεάνιων λεκανών. Στο κέντρο μιας τυπικής ωκεάνιας λεκάνης υπάρχει μια **μεσοωκεάνια ράχη**, που υψώνεται 2000-3000μ από το δάπεδο της αβυσσαίας πεδιάδας. Σε μερικές περιπτώσεις οι κορυφές της μεσοωκεάνιας ράχης αναδύονται στην επιφάνεια του ωκεανού σχηματίζοντας νησιωτικά συμπλέγματα. Γύρω από την μεσοωκεάνια ράχη υπάρχει έντονη γεωλογική δραστηριότητα με αποτέλεσμα την εμφάνιση υποθαλασσιών ηφαιστειών και τεκτονικών βυθισμάτων ή τάφρων. Μερικές τάφροι οδηγούν στα **αδαία βάθη**, δηλαδή στα βαθύτερα σημεία των ωκεάνιων λεκανών. Οι μάζες του νερού που βρίσκονται πάνω από την ηπειρωτική κρηπίδα σχηματίζουν την **ευφωτική πελαγική ζώνη**, σε αντιδιαστολή με την **αφωτική πελαγική ζώνη**, που

σχηματίζεται από τις μάζες του νερού που βρίσκονται βαθύτερα, εκεί όπου επικρατεί απόλυτο σκοτάδι. Η ευφωτική ζώνη λόγω της παρουσίας φωτός είναι η μόνη ζώνη όπου υπάρχει φωτοσυνθετική δραστηριότητα, που αποτελεί τη βάση όλων των τροφικών πυραμίδων. Η ευφωτική ζώνη λέγεται και **επιπελαγική ζώνη** και ακολουθούν η **μεσοπελαγική** και η **βαθυπελαγική**. Οι μάζες του νερού πάνω από τις αβυσσαίες πεδιάδες συγκροτούν την αβυσσαία ή **αβυσσοπελαγική ζώνη** και τα νερά μέσα στις ωκεάνιες τάφρους την αδαία ζώνη.



Εικ. 15 Σχηματική απεικόνιση τυπικής ωκεάνιας λεκάνης σε τομή.

Η ΜΑΡΤΥΡΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΩΝ

Απολίθωμα

Είναι λείψανο φυτικού ή ζωικού οργανισμού, που έζησε πριν τη σημερινή γεωλογική εποχή και εγκλεισθηκε σε στρώματα γης που δημιουργήθηκαν στο παρελθόν, ή ένδειξη (ιχνος) ύπαρξης ζωής. Ο όρος δεν είναι απολύτως επιτυχής, αφού τα απολιθώματα δεν έχουν πάντοτε λιθινή όψη. Σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις διατηρείται ο χρωματισμός των σκελετικών στοιχείων που είχε ο οργανισμός όταν ζούσε. Συνήθως παίρνουν τη χρώση των ιζημάτων στα οποία έχουν εγκλεισθεί π.χ. σκελετικά στοιχεία που έχουν απολιθωθεί μέσα σε λιγνίτη έχουν χρώμα μαύρο.

Το απολίθωμα μπορεί να είναι ολόκληρο σκελετικό στοιχείο οργανισμού ή τμήμα του. Το μέγεθός του ποικίλει από πελώριο, στα Ερπετά, έως μικροσκοπικό στα Βακτήρια. Απολιθώματα που γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο χωρίς να απαιτείται χρήση μεγεθυντικών οργάνων ονομάζονται μακροαπολιθώματα. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν απαιτείται η χρήση μεγεθυντικών οργάνων, ονομάζονται μικροαπολιθώματα. Τα μικροαπολιθώματα με μέγεθος της τάξεως του μικρού (χιλιοστού του χιλιοστού) αποκαλούνται νανοαπολιθώματα.

Φυτικοί ή ζωικοί οργανισμοί που εξαφανίστηκαν με τις σημερινές τοπογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες, εξαφανίστηκαν δηλαδή κατά το Ολόκαινο, κατά τους ιστορικούς χρόνους, χαρακτηρίζονται ως υποαπολιθώματα.

Ενας φυτικός ή ζωικός οργανισμός που ζει σήμερα χαρακτηρίζεται ως αρτίγονος. Ενας αρτίγονος οργανισμός μπορεί να βρεθεί και ως απολίθωμα.

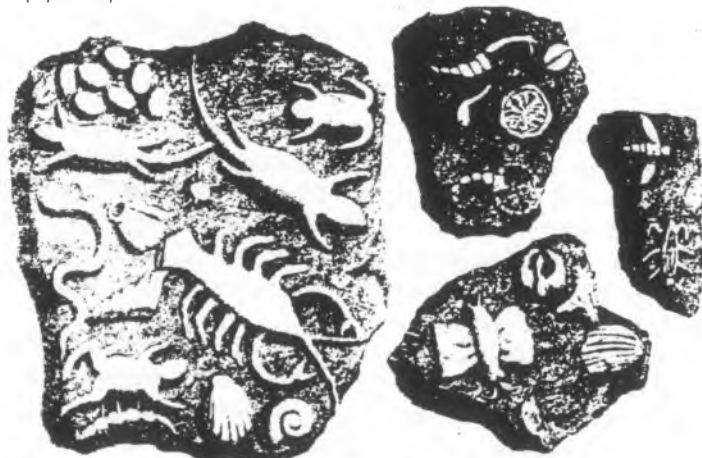
Τα απολιθώματα διακρίνονται στους εξής τύπους:

1. Χαρακτηριστικά ή καθοδηγητικά είναι τα απολιθώματα που είχαν σύντομη διάρκεια ζωής ή εκείνα που έζησαν μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά μεταβαλλόμενα διαρκώς έδιναν συνεχώς νέους τύπους π.χ. Αμμωνίτες, Τριλοβίτες κλπ.
2. Συντηρητικά ή συνήθη ή ζώντα είναι τα απολιθώματα που επέζησαν διαμέσου των γεωλογικών αιώνων, χωρίς να υποστούν ουσιαδεις μεταβολές, π.χ. Σπόγγοι, ο κροσσοπτερύγιος Ιχθύς *Latimeria* κ.α.
3. Απολιθώματα φάσης είναι εκείνα που παρέχουν στοιχεία για το περιβάλλον στο οποίο έζησαν οι οργανισμοί και για όλες τις σχετικές με το περιβάλλον περιμέτρους.

4. Σύμμικτα είναι τα απολιθώματα που παρουσιάζουν συνδυασμό μορφολογικών γνωρισμάτων από δύο διαφορετικές ταξινομικές ομάδες και δίνουν εξελικτικά στοιχεία, π.χ. το πτηνό αρχαιοπτέρυγα, του οποίου βρέθηκαν έξι απολιθωμένοι σκελετοί με γνώρισμα και ερπετού και πτηνού, σε αποθέσεις λιθογραφικού ασβεστόλιθου ανώιουρασιακής ηλικίας στο Ζολνχόφεν της Βαυαρίας.
5. Απολιθώματα συχνότητας είναι τα απολιθώματα που απαντώνται σε μεγάλο ποσοστό σε κάποιο στρώμα συγκεκριμένης ηλικίας, σε ορισμένη γεωγραφική περιοχή. Χρησιμοποιούνται για χρονολόγηση σε περίπτωση που σε γεωλογικά στρώματα μιας περιοχής δεν υπάρχουν χαρακτηριστικά απολιθώματα.

Τα ανόργανης προέλευσης τυχαία κατασκευάσματα της φύσης, που παρουσιάζουν ομοιότητες με οργανικά λείψανα, ονομάζονται ψευδοαπολιθώματα (Εικ. 16). Πολλές φορές, λόγω της μεγάλης ομοιότητάς τους με οργανικά όντα, χαρακτηρίζονται λανθασμένα ως απολιθώματα. Στα ψευδοαπολιθώματα ανήκουν:

- Οι δενδρίτες, δενδροειδείς σχηματισμοί ανόργανης προέλευσης σε επιφάνειες πετρωμάτων. Έχουν δημιουργηθεί από οξείδια σιδήρου και μαγγανίου, που κυκλοφορούν στις διαχωριστικές επιφάνειες των πετρωμάτων.
- Ο ασβεστούχος πηλός ή άνθρωποι του Loess, σχηματισμοί ασβεστούχου πηλού συγκεκριμένου σχήματος, που λανθασμένα χαρακτηρίστηκαν από μη ειδικούς ως απολιθωμένα όντα.
- Το ηώζωο του Καναδά, σχηματισμός ανόργανης προέλευσης, που βρέθηκε σε αρχαϊκό γνεύσιο του Καναδά και αρχικά είχε θεωρηθεί ότι είναι τρηματοφόρο μεγάλων διαστάσεων.
- Τα χέρια γιγάντων. Τα δόντια των ελεφάντων αποτελούνται από αριθμό παράλληλων ελασμάτων αδαμαντίνης, που φέρουν ενδιάμεσα συμπαγή κονία. Κατά την απολίθωση τυχαίνει τα ελάσματα αυτά να αποχωριστούν και να απολιθωθούν μεμονωμένα. Ένα τέτοιο έλασμα λανθασμένα θεωρήθηκε ως χέρι κάποιου γιγαντιαίου οργανισμού.



Εικ. 16 Μερικά από τα ψευδοαπολιθώματα του Καθηγ. J. Beringer.

Απολίθωση

Είναι η διεργασία με την οποία δημιουργούνται τα απολιθώματα. Για να απολιθωθεί ένας οργανισμός μετά το θάνατό του, θα πρέπει το σώμα του να έχει σκληρό σκελετό ή όστρακο ή κέλυφος ή κάτι παρόμοιο, και να καλυφθεί το γρηγορότερο από ένα λεπτομερές υλικό, ένα ίζημα. Η πιθανότητα απολίθωσης ενός οργανισμού μετά το θάνατό του είναι μικρή. Όταν ο οργανισμός πεθάνει, τα μαλακά μέρη του σώματός του αποσυντίθενται και καταστρέφονται. Εάν εκτεθεί πολύ χρόνο στην ατμοσφαιρική επίδραση, οι φυσικοί και χημικοί παράγοντες της ατμόσφαιρας και του νερού θα δράσουν μέχρι και την πλήρη εξαφάνισή του. Γι' αυτό οι κερσαίοι οργανισμοί σπανίζουν ως απολιθώματα σε σχέση με τους θαλάσσιους. Τα σκληρά σκελετικά στοιχεία των οργανισμών όταν εγκλειστούν σε ένα ίζημα και δεν δέχονται επίδραση από την ατμόσφαιρα, υφίστανται σειρά φυσικών και χημικών διεργασιών που έχουν ως συνέπεια την απολίθωσή τους. Σε σπάνιες περιπτώσεις, υπό ειδικές συνθήκες έχουν διατηρηθεί ως απολιθώματα και μαλακά μέρη οργανισμών.

Οι οργανισμοί απολιθώνονται με τους εξής τρόπους:

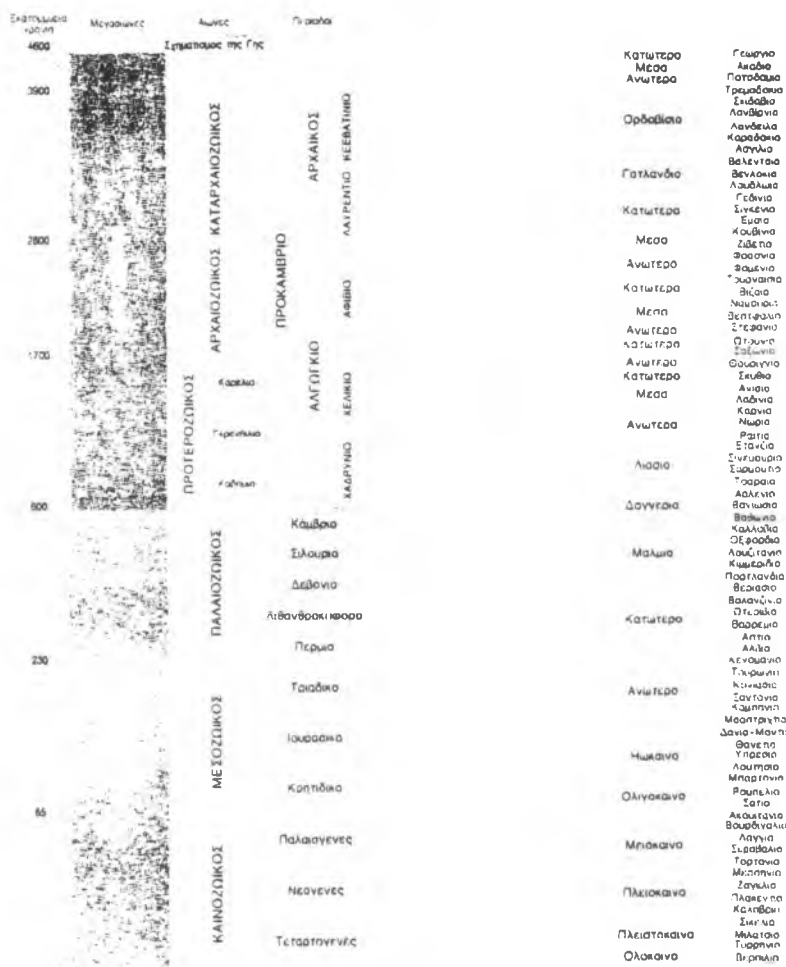
- ✓ Κύρια απολίθωση ή αντικατάσταση. Είναι ο συνηθέστερος και ο καλύτερος τρόπος απολίθωσης. Ο σκελετός ή τα σκελετικά στοιχεία του οργανισμού αντικαθίστανται μόριο προς μόριο από την ανόργανη ύλη του περιβάλλοντος, η οποία τα εμποτίζει και έτσι τα στερεοποιεί. Αριστη ύλη κύριας απολίθωσης είναι το ανθρακικό ασβέστιο και ο χαλαζίας ή ο οπάλιος. Κύρια απολίθωση με πυριτικό υλικό συμβαίνει όχι μόνο σε ζωικά λείψανα αλλά και σε φυτικά. Παράδειγμα φυτικών λειψάνων αποτελούν τα απολιθωμένα δάση και ειδικά τότε η κύρια απολίθωση ονομάζεται πυριτίωση ή οπαλίωση. Τέτοιο δάσος είναι το απολιθωμένο δάσος της Λέσβου. Μια άλλη μορφή κύριας απολίθωσης είναι και η ψευδομόρφωση, η οποία παρατηρείται κυρίως στους Σπόγγους. Κατά την ψευδομόρφωση η ανόργανη ύλη των σκελετικών στοιχείων του οργανισμού αντικαθίσταται από άλλης χημικής σύστασης ύλη του περιβάλλοντος, π.χ. ο πυριτιόσπογγος απολιθώνεται με κύρια απολίθωση και αντικατάσταση του πυριτικού του υλικού από ανθρακικό ασβέστιο του περιβάλλοντος, οπότε εμφανίζεται ως ασβεστιόσπογγος.
- ✓ Ενανθράκωση και απανθράκωση ή εξανθράκωση. Το είδος αυτό της απολίθωσης παρατηρείται κυρίως σε φυτικά λείψανα που παραμένουν ή μέσα στο νερό ή μέσα σε αποκλεισμένο χώρο και δεν έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τότε γίνεται εμπλουτισμός τους σε άνθρακα. Κατά την ενανθράκωση παρατηρείται αναερόβια σήψη και αργός εμπλουτισμός σε άνθρακα, με αποβολή πτητικών ουσιών. Απαιτείται όμως διακοπή της επαφής με τον ατμοσφαιρικό αέρα και παρμονή των λειψάνων σε αποκλεισμένο χώρο ή μέσα στο νερό. Αυτός ο τρόπος απολίθωσης παρατηρείται σε φυτικούς κυρίως οργανισμούς και από τους ζωικούς μόνο στους γραπτόλιθους. Κατά την ενανθράκωση σε φυτικά λείψανα παρατηρούνται τα εξής στάδια: τύρφη, γαιώδης άνθρακας, φαιός άνθρακας (λιγνίτης), λιθάνθρακας και ως τελικό προϊόν καθαρός άνθρακας. Κατά την απανθράκωση ή εξανθράκωση επιτελείται γρήγορος εμπλουτισμός σε άνθρακα και γρήγορη καύση, με τελικό προϊόν τον ξυλάνθρακα.
- ✓ Διατήρηση. Υπάρχουν σπάνιες περιπτώσεις απολίθωσης όπου διατηρείται υπό διάφορες ειδικές συνθήκες ο σκελετός ή και μαλακά μέρη των οργανισμών. Τέτοιοι τρόποι διατήρησης είναι οι εξής:
 - Ταρίκευση. Το σώμα των ζώων βυθίζεται σε στεγανή πλαστική ουσία ή σε άλας. Έτσι έχουν βρεθεί ακέρατα πτώματα από ρινόκερους και άλλα ζώα μέσα σε οζοκηρίτη ή άσφαλτο σε περιοχές της Ρουμανίας, της Καλιφόρνιας κλπ. Ακόμη έντομα, αράχνες κ.α. έχουν βρεθεί διατηρημένα μέσα σε ηλεκτρο ολιγοκαινικής ηλικίας (Βαλτική Θάλασσα, Πολωνία κ.α.). Το ηλεκτρο προέρχεται από τη ρητίνη των κωνοφόρων δέντρων.
 - Μουμιοποίηση. Το σώμα των ζώων αποξηραίνεται τελείως και διατηρείται το δέρμα του. Αυτό συμβαίνει σε θερμά και ξηρά κλίματα, μέσα σε σπήλαια ή σε ρωγμές του εδάφους κοντά σε ηφαιστεια. Στην Αμερική έχουν βρεθεί μουμιοποιημένα πτώματα μεγάλων ερπετών που έχουν εγκατακρημνισθεί σε βάραθρα ηφαιστειακών περιοχών κατά το Μεσοζωικό.
 - Κατάψυξη. Το ζώο εγκλείσθηκε μέσα σε πάγο και διατηρήθηκε μέχρι σήμερα ακέρατο, με το κρέας και το τριχωτό μέρος του σώματός του σε άριστη κατάσταση, ενώ σε καλή κατάσταση διατηρήθηκε ακόμη και ο βλωμός από φυτική τροφή που βρέθηκε στο στόμα του. Κυρίως βρέθηκαν Προβοσκιδωτά (μαμούθ) μέσα σε πάγους της Σιβηρίας.
 - Περιασβετώση ή περιλίθωση ή επιφλοίωση. Αυτός ο τρόπος απολίθωσης παρατηρείται σε γεωλογικά νεότερους φυτικούς ή ζωικούς οργανισμούς, οι οποίοι στο νερό ή σπάνια στο ύπαιθρο καλύπτονται από ανθρακικό ασβέστιο ή άλλη ορυκτή ουσία και έτσι προφυλάσσονται από τις εξωτερικές επιδράσεις. Για παράδειγμα βρέθηκαν περιασβετωμένοι σπόνδυλοι θηλαστικών μέσα σε σπήλαια κ.α.
- ✓ Εκμαγείωση. Τα μαλακά μέρη των οργανισμών καταστρέφονται. Τα κενά που σχηματίζονται, κυρίως όταν πρόκειται για όστρακα, γεμίζουν ανόργανη ύλη, η οποία δίνει το εσωτερικό εκμαγείο του οργανισμού ή πυρήνα. Εάν με την πάροδο του χρόνου διαλυθεί το όστρακο, τότε στο πέτρωμα θα παραμείνει το εξωτερικό εκμαγείο των οστράκων. Τα εκμαγεία αποτελούν ίχνη των οργανισμών και όχι απολιθωμένα στοιχεία του ίδιου του οργανισμού, και ονομάζονται βιοδηλωτικά ίχνη. Είναι τα ίχνη που αφήνουν οι οργανισμοί πάνω σε πετρώματα. Αποτελούν ενδείξεις ύπαρξης των οργανισμών και δίνουν στοιχεία για αυτούς σαν να είναι τα

απολιθώματά τους. Τα βιοδηλωτικά ίχνη μελετά ένας ιδιαίτερος κλάδος της Παλαιοντολογίας η Παλαιοϊχθυολογία.

Γεωλογικός Χρόνος

Ο συνδυασμός των γεωμετρικών μορφών απόθεσης των ιζηματογενών πετρωμάτων κατά στρώματα και της ύπαρξης απολιθωμάτων μέσα σε αυτά μας επιτρέπει να παρατηρήσουμε άμεσα τη διαδοχή των μορφών ζωής στο γεωλογικό χρόνο. Έτσι μελετώντας μια δέσμη αλληπάλλληλων στρωμάτων, που μπορεί να αντιπροσωπεύει χρονικό διάστημα συνεχούς απόθεσης πολλών εκατομμυρίων χρόνων, παρατηρούμε στα ανώτερα (και νεότερα) στρώματα απολιθώματα οργανισμών παρόμοιων με τους σημερινούς ενώ όσο προχωρούμε σε κατώτερα στρώματα, δηλαδή σε διαδοχικά παλαιότερες αποθέσεις, οι απολιθωμένες μορφές γίνονται όλο και ατελέστερες ενώ παράλληλα συναντούμε και μορφές που δεν μοιάζουν με καμιά σημερινή (π.χ. γραπτόλιθοι, τριλοβίτες). Τέτοιες μορφές που εμφανίζονται σε κάποια παλιά στρώματα, συνεχίζουν να υπάρχουν για αρκετές δεκάδες εκατομμύρια χρόνια και σε πολύ νεότερα στρώματα εξαφανίζονται, συχνά απότομα και κάποτε τη στιγμή ακριβώς που έχουν φτάσει στο ύψιστο σημείο της ανάπτυξης τους, παρουσιάζουν μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον (π.χ. η απότομη εξαφάνιση των δεινοσαύρων πριν 70 εκατομμύρια χρόνια).

ΓΕΩΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ



Με βάση κυρίως τα απολιθώματα το παρελθόν της Γης υποδιαιρείται σε δύο μεγααιώνες: τον Κρυπτοζωικό, που περιλαμβάνει το 90% περίπου της ιστορίας της Γης, από το σχηματισμό της μέχρι τα 600 εκ. χρ. από σήμερα και τον Φανεροζωικό, που περιλαμβάνει τα τελευταία 600 εκ. χρ. Ο πρώτος ονομάζεται έτσι γιατί οι μορφές ζωής ήταν κυριολεκτικά στοιχειώδεις και τα απολιθώματα μηδαμινά εξαιτίας κυρίως του ότι οι πρωτόγονοι οργανισμοί δεν είχαν σκληρά σκελετικά στοιχεία αλλά ήταν βασικά μονοκύτταροι και ύστερα πολυκύτταροι απλοί οργανισμοί, αλλά και λόγω των ισχυρότατων παραμορφώσεων και μεταμορφώσεων των πολύ παλιών πετρωμάτων στα οποία εγκλεισθήκαν. Γι' αυτούς τους λόγους οι γνώσεις μας για τον Κρυπτοζωικό είναι

ελάχιστες. Αντίθετα για τον Φανεροζωικό γνωρίζουμε πολύ περισσότερα και βέβαια η γνώση αυξάνεται γεωμετρικά όσο προσεγγίζουμε το σημερινό στάδιο εξέλιξης. Αυτός υποδιαιρείται σε τρεις αιώνες: τον Παλαιοζωικό (600-230 εκ. χρ. από σήμερα), τον Μεσοζωικό (230-65 εκ. χρ. από σήμερα), και τον Καινοζωικό (65 εκ. χρ. μέχρι σήμερα). Καθένας από τους αιώνες αυτούς υποδιαιρείται παραπέρα σε περιόδους, υποπεριόδους και βαθμίδες. Η διάκριση αυτή της ιστορίας της Γης, που έχει προκύψει από αναλυτική και συνδυασμένη μελέτη των απολιθωμάτων μέσα στα στρώματα σε παγκόσμια κλίμακα, είναι σήμερα γενικά αποδεκτή και επιτρέπει στους επιστήμονες να έχουν κοινή γλώσσα συνεννόησης όταν αναφέρονται στο παρελθόν της Γης.

ΣΠΗΛΑΙΑ

Η Ελλάδα θεωρείται από τις χώρες με τον μεγαλύτερο αναλογικά αριθμό σπηλαίων. Περισσότερα από 10.000 σπήλαια είναι καταγεγραμμένα και ο αριθμός αυτός αυξάνει συνεχώς, καθώς ανακαλύπτονται νέα σπήλαια. Το γεγονός αυτό οφείλεται τόσο στη φύση των πετρωμάτων του ελλαδικού χώρου, που είναι κυρίως ασβεστολιθικά, όσο και στο παλαιοκλίμα της Ελλάδας.

Το σπήλαιο, ως ένας φυσικός κλειστός χώρος, δεν επηρεάζεται πολύ από τις καιρικές μεταβολές. Οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτό είναι σχεδόν σταθερές σε όλη τη διάρκεια του έτους. Οι μεταβολές στο περιβάλλον ενός σπηλαίου είναι επακόλουθο της μεταβολής της μορφολογίας του σπηλαίου που συνήθως οφείλεται σε γεωλογικά συμβάντα. Οποιαδήποτε τέτοια μεταβολή, έστω και η ελάχιστη, καταγράφεται και διατηρείται ανέπαφη στο πέρασμα του χρόνου. Αποτελεί επομένως το σπήλαιο ένα «παράθυρο προς το παρελθόν», ένα αρχείο της φύσης, που διαφυλάσσει όλα τα στοιχεία του παλαιοπεριβάλλοντος, τόσο του ίδιου, όσο και της ευρύτερης αυτού περιοχής.

Η μελέτη των ιζημάτων και γενικότερα του περιβάλλοντος ενός σπηλαίου, εκτός των άλλων, συμβάλλει και στη διεξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για το παλαιοκλίμα, την παλαιοπανίδα και παλαιοχλωρίδα της περιοχής.

Η σπουδαιότητα επομένως της μελέτης του περιβάλλοντος ενός σπηλαίου είναι τεράστια, όπως τεράστια είναι και η ευθύνη μας για την προστασία αυτών των φυσικών χώρων.

Αναφερόμενοι γενικά στο περιβάλλον ενός σπηλαίου, εννοούμε οτιδήποτε βρίσκεται μέσα σε αυτόν τον υπόγειο χώρο, είτε έμβιο, είτε ανόργανο. Ο ατμοσφαιρικός αέρας και γενικότερα το μικροκλίμα, η ραδιενέργεια, τα κάθε είδους ιζήματα, οργανικά ή ανόργανα, η παρουσία νερού, η πανίδα και η χλωρίδα, αποτελούν το περιβάλλον του σπηλαίου.

Όλα αυτά όπως είναι φυσικό, έχουν άμεση σχέση με το ίδιο το σπήλαιο, αλλά και με τον γύρω από αυτό χώρο. Συνεπώς το περιβάλλον ενός σπηλαίου μπορεί να θεωρηθεί ότι εξαρτάται από τη γεωγραφική του θέση (γεωγραφικό πλάτος, υψόμετρο κλπ), από το κλίμα της ευρύτερης περιοχής (κυρίως από τις βροχοπτώσεις), από το ανάγλυφο και τα πετρώματα του εξωτερικού χώρου (που είναι και η κύρια πηγή των εξωγενών ιζημάτων) και τέλος από την μορφολογία του σπηλαίου, που αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που επηρεάζει το περιβάλλον του.

Αναλυτικότερα, στη διαμόρφωση της μορφολογίας του σπηλαίου επιδρούν δύο ειδών παράμετροι, οι τεχνητές και οι φυσικές.

Ως τεχνητές παράμετροι, λογίζονται οι μεταβολές που μπορεί να συμβούν σε ένα σπήλαιο εξαιτίας της επέμβασης του ανθρώπου, κάτι που συμβαίνει συχνά τα τελευταία χρόνια με τις αξιοποιήσεις των σπηλαίων. Άμεση συνέπεια αυτών είναι η απότομη μεταβολή του μικροκλίματος, και επομένως η αλλοίωση των χημικών κυρίως ιζημάτων, καθώς και η αλλοίωση της χλωρίδας και πανίδας του σπηλαίου.

Τις φυσικές παραμέτρους αποτελούν οι τυχόν μεταβολές της μορφολογίας του σπηλαίου που λαμβάνουν χώρα με αργό ρυθμό και εξαρτώνται κυρίως από τις μεγάλες αλλαγές των εξωτερικών κλιματολογικών συνθηκών. Αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την μικρή αλλαγή του μικροκλίματος και την πιθανή ποσοτική αλλαγή των ιζημάτων του σπηλαίου. Επίσης διαφοροποίηση στις διαστάσεις του σπηλαίου παρατηρείται λόγω χημικής και μηχανικής διάβρωσης, ή εξαιτίας τεκτονικών και σεισμικών φαινομένων, συνήθως με ελάχιστες επιπτώσεις στο σπηλαιοπεριβάλλον.

Ανθρακικά Πετρώματα

Το κατ' εξοχήν πέτρωμα μέσα στο οποίο δημιουργείται το 95% των σπηλαιών είναι το ανθρακικό. Πρόκειται για ιζηματογενές πέτρωμα, κυρίως θαλάσσιο. Δημιουργήθηκε σε παλαιότερες γεωλογικές εποχές από αργή καθίζηση κελυφών ανθρακικού ασβεστίου διαφόρων οργανισμών που ζούσαν, κατά προτίμηση, σε μικρά κυρίως βάθη, από κελύφη οργανισμών που αποτελούν το πλαγκτόν (Τρηματοφόρα, Ακτινόζωα, Διάτομα) και από τα υπολείμματα οστρακοειδών και διαφόρων φυκών. Σε αυτά τα ιζήματα προστίθεται συγχρόνως και η καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου που περιέχεται στο νερό της θάλασσας.

Όλα αυτά τα ιζήματα τοποθετούνται διαδοχικά σε στρώματα διαφορετικής υφής και πάχους, αναλόγως των συνθηκών που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή (θερμοκρασία, βάθος, ρευματα κλπ). Συνεπώς το πέτρωμα μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο συμπαγές, ευδιάλυτο ή και κρυσταλλικό. Επίσης, παράλληλα με την εναπόθεση ανθρακικού ασβεστίου, παρατηρείται εναπόθεση και άλλων υλικών διαφορετικής προέλευσης, λιγότερο συμπαγών. Το φαινόμενο αυτό κατέχει πρωταρχικό ρόλο στην αρχή της δημιουργίας πολλών εγκοίλων.

Εξάλλου, πολύ μικρή έκταση λαμβάνει το φαινόμενο της δημιουργίας ανθρακικών πετρωμάτων, πλούσιων σε οργανικά και φυτικά κατάλοιπα, σε λίμνες (λιμναίοι ασβεστόλιθοι). Λιγότερο συνήθης είναι επίσης η δημιουργία ανθρακικών πετρωμάτων λόγω καθίζησης ανθρακικού ασβεστίου κατά την έξοδο θερμών, κυρίως, υδάτων διαφόρων πηγών (τραβερτίνης).

Η ιδιότητα των ανθρακικών πετρωμάτων να διαλύονται από το νερό όταν σε αυτό υπάρχει διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί την σημαντικότερη αιτία για την συνήθιση της σπηλαιογένεσης. Το φαινόμενο αυτό της χημικής διάλυσης του πετρώματος έχει λάβει διεθνώς την ονομασία «καρστικό φαινόμενο».

Οι δύο πλέον διαδεδομένες μορφές ανθρακικών πετρωμάτων είναι ο ασβεστόλιθος, με ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου μεγαλύτερο του 90% , και ο δολομίτης, που συνήθως σχηματίζεται από την αντικατάσταση του ασβεστίου των ασβεστολίθων από μαγνήσιο.

Η κατάταξη των ασβεστολίθων μπορεί να γίνει με βάση τους οργανισμούς από τους οποίους δημιουργήθηκαν (π.χ. κοραλλιογενείς ασβεστόλιθοι, ρουδιστοφόροι ασβεστολιθοί κλπ), με βάση τη χημική τους προέλευση (π.χ. τραβερτίνης, σταλακτίτες κλπ), ή και με βάση την κλαστική τους σύσταση (π.χ. ασβεστορουδίτες, ασβεστοαρενίτες κλπ).

Σπηλαιογένεση

Με τον όρο σπηλαιογένεση εννοούμε το σύνολο των φυσικοχημικών και βιολογικών φαινομένων που γίνονται η αιτία της δημιουργίας του πρώτου μικρού εγκοίλου μέσα σε ένα πέτρωμα, το οποίο με την πάροδο του χρόνου θα εξελιχθεί σε σπήλαιο.

Η ύπαρξη μιας διάβρωσης από ανάμειξη υδάτων με διαφορετική διαλυτότητα δίνει την λύση στο πρόβλημα της δημιουργίας των σπηλαιών στον ασβεστόλιθο. Η διάβρωση μπορεί να προέλθει επίσης από ανάμειξη δύο υδάτων με διαφορετική θερμοκρασία. Όταν δημιουργούνται οι πρώτες αίθουσες, η ανάπτυξη του σπηλαιού συνεχίζεται λόγω της διάβρωσης από ανάμειξη (χημική) και λόγω της μηχανικής διάβρωσης.

Για την καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών σπηλαιογένεσης κρίνεται σκόπιμο να χωριστεί σε δύο στάδια. Στο στάδιο της γένεσης του εγκοίλου, που είναι η δημιουργία του πρώτου κενού, και στο στάδιο της εξέλιξης, κατά το οποίο το έγκοιλο παίρνει την «τελική» του μορφή.

Πίνακας 1

Όνομασία σπηλαιου	Τοποθεσία	Νομός	Βαθος (m)
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	455
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	405
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	384
	Αγκίστρι	Χανίων	360
	Όρος Πινδος	Αρκαδίας	317
	Όρος Ελικονας	Βοιωτίας	300
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	299
	Οροπέδιο Ομαλού	Χανίων	290
	Μαυρος	Κεκρομίας	250
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	250
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	250
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	250
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	230
	Τραπελοβο	Ιωαννινών	228
	Όρος Ερυμάνθος	Ηλείας	220
	Λιωνίδιο Κυνουσίας	Αρκαδίας	208
	Πύργο Πατρών	Αχαΐας	200
	Χιτακίοπευλοι	Αττικής	188
	Καλάμι	Καβάλας	175
	Δωδο-βίτου	Πρεβεζίας	160
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	159
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	155
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	152
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	150
	Κατακτρά	Αρκαδίας	150
	Όρος Υμηττός	Αττικής	139
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	136
	Αστυρακίο	Ηρακλείου	135
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	120
	Τραπελη	Αρκαδίας	120
	Όρος Παρνασσός	Φωκίδας	117
	Όρος Υμηττός	Αττικής	115
	Ακρομυθός	Ευβοίας	110
	Βουλαγαμένη	Αττικής	100
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	100
	Τραπελοβο	Ιωαννινών	100
	Αλαία	Φωκίδας	100
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	91
	Πύλη Τρικαλιών	Τρικαλιών	90
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	86
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	83
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	80
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	80
	Όρος Ψηλορείτης	Χανίων	78
	Όρος Κεφαλληνίας	Κεφαλληνίας	75
	Όρος Ζηρεια	Κορινθίας	75
	Μαράθας	Ηρακλείου	74
	Σπηλιός Μαλεβιζίου	Ηρακλείου	74
	Αστέρας Υμηττού	Αττικής	73
	Όρχομενός	Βοιωτίας	70
	Όρος Πινδος	Ιωαννινών	70

Πίνακας 2
Τα μικρότερα ελληνικά σπήλαια

Όνομασία σπηλαίου	Τοποθεσία	Νομός	Μήκος (m)
Γλυφάδα	Πύργος Δυρού	Λακωνίας	4 600
Τζανη Σπηλιος-Χώνος	Ομαλός (Λευκά ορη)	Χανίων	2.900
Αλιστρατη	Αλιστρατη	Σερρών	2 500
Σπηλαιο Λιμνών	Καστριά Καλαβρύτων	Αχαΐας	2.000
Αγίου Δημητρίου	Σεληνίτσα	Μεσσηνίας	2.000
Κύκλωπα Πολυφημου	Μαρώνεια	Κομοπηνής	1 800
Περατός	Περαμα	Ιωαννίνων	1.700
Κόκκινες Πέτρες	Πετραλώνια	Χαλκιδικής	1.680
Μεγάλη Καταβοθρα	Νευροκόπιο	Δραμας	760
Αγία Τριάδα	Κάρυστος	Εύβοιας	750
Αστυρακιου	Αστυρακι Μαλεβιζίου	Ηρακλείου	730
Οξω Λατσιδι	Σιτάνο	Λασηθίου	700
Πελεκητα	Ζάκρο Σητείας	Λασηθίου	700
Καταφυγγι	Πύργος Δυρού	Λακωνίας	600
Καταφυκι	Δρυοπίδα	Κυκλαδων	600
Αλεπότρυπα	Πύργος Δυρού	Λακωνίας	600
Γκιαλπίδων	Κάρυστος	Εύβοιας	600
Εφταμύλων	Σέρρες	Σερρών	600
Δρακοτρυπα	Αναβρυτή	Αιτωλίας	550
Αη Γιώργη Μπουλασική	Κιλκίς	Κιλκίς	550
Δρακου	Καστοριά	Καστορίας	546
Σφεντονη	Ζωνιανά	Ρεθύμνου	530
Αγία Ελενη	Ζυγός	Καβάλας	500
Αγία Σοφια	Μυλοποτάμος	Πειραιά	500
Μελιδονίου	Μελιδόνη	Ρεθύμνου	500
Αγιογαλούσαινας	Άγιος Γάλας	Χίου	500
Περιστερι	Μεγαλοχωριο	Πειραιά	500
Αγία Παρασκευή	Σκοτεινό	Ηρακλείου	500

Οι γενετικοί μηχανισμοί είναι σχεδόν πάντα μηχανικοί.

Οι μηχανισμοί εξέλιξης των σπηλαίων οφείλονται κυρίως στη διάλυση του πετρώματος είναι δηλαδή φυσικοχημικοί.

Ανάλογα με τα αίτια που προκάλεσαν την σπηλαιογένεση αλλά και ανάλογα με το πέτρωμα μέσα στο οποίο δημιουργήθηκε το έγκοιλό, υπάρχουν διάφορες σπηλαιογενετικές κατηγορίες

- Σπηλαιογένεση λόγω κατακρημνίσεων-κατολισθήσεων**
- Σπηλαιογένεση λόγω τεκτονικών φαινομένων**
- Σπηλαιογένεση λόγω αιολικών φαινομένων**
- Σπηλαιογένεση λόγω μηχανικής διάβρωσης του ύδατος επί των πετρωμάτων.**
- Σπηλαιογένεση λόγω χημικής διάβρωσης του ύδατος επί των πετρωμάτων**
- Σπηλαιογένεση σε τραβερτίνη**
- Σπηλαιογένεση σε ηφαιστειακά πετρώματα.**
- Σπηλαιογένεση σε πάγο**
- Τεχνητή σπηλαιογένεση**

Τα σπήλαια και γενικότερα οι καρστικές μορφές, ταξινομούνται με διάφορους τρόπους. Μια ταξινόμηση γίνεται με βάση τον τρόπο δημιουργίας τους. Έτσι τα σπήλαια διαιρούνται σε αυτά που σχηματίστηκαν συγχρόνως με τα πετρώματα που τα περιέχουν και σε αυτά που αναπτύχθηκαν αργότερα, με την επίδραση διαφόρων ξένων παραγόντων.

Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται τα σπήλαια που έχουν σχηματιστεί μέσα σε ρεύματα λάβας, τα λεγόμενα **ηφαιστειογενή**. Τα σπήλαια αυτά δημιουργούνται καθώς τα επιφανειακά ρεύματα της λάβας- με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται τα υγρά αναβλήματα μιας ηφαιστειακής έκρηξης- ψύχονται και στερεοποιούνται γρηγορότερα από τα εσωτερικά τμήματα όπου η λάβα εξακολουθεί να παραμένει σε ρευστή

κατασταση. Έτσι στο εσωτερικό η ρευστή λάβα καθώς ρέει αφήνει πίσω της μια καλυμμένη στοά.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν επίσης σπήλαια που σχηματίστηκαν μέσα σε **κοραλλιογενείς** σχηματισμούς, καθώς και τα κοιλώματα που σχηματίστηκαν από την καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου που περιέχουν τα νερά των κεφαλαριών.

Στην δεύτερη κατηγορία της γενικής αυτής ταξινόμησης, ανήκουν τα **αιολικά** σπήλαια, που σχηματίζονται από την δράση των ανέμων (αιολική διάβρωση) πάνω σε εύκολα αποσαθρούμενα πετρώματα, τα **τεκτονικά**, που οφείλουν την δημιουργία τους σε ρηξιγενή και γενικά τεκτονική δραστηριότητα, και τα **υδρικά ή καρστικά**, που οφείλουν την δημιουργία τους στην διαβρωτική ενέργεια του νερού.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα **ενάλια** σπήλαια, τα οποία δημιουργούνται κατά μήκος των ακτών λόγω μηχανικής ενέργειας των κυμάτων επί σχετικά εύκολα διαβρούμενων πετρωμάτων (ψαμμιτών και άλλων ιζηματογενούς προελεύσεως πετρωμάτων).

Ανάλογα με τα πετρώματα που τα φιλοξενούν, τα σπήλαια διακρίνονται σε σπήλαια σε **ασβεστολιθικά πετρώματα**, σπήλαια σε **πυριγενή πετρώματα** και σπήλαια σε **μεταμορφωμένα πετρώματα**. Στην Ελλάδα απαντώνται όλες οι παραπάνω κατηγορίες σπηλαιών, με επικρατέστερα τα καρστικά σπήλαια μέσα σε ασβεστολιθικά πετρώματα.

Στην Ελλάδα τα σπήλαια διανοίχτηκαν κατά την Τριτογενή και την Τεταρτογενή εποχή. Είναι διανοιγμένα σε συμπαγή ανωκρητιδική ή ηφκαινικό ή ιουρασικό ή τριαδικό ασβεστόλιθο ή σε νεότερα κροκαλοπαγή πετρώματα. Ο ασβεστόλιθος είναι το πέτρωμα που υφίσταται τη μεγαλύτερη διάβρωση (καρστικοποίηση), γι' αυτό τα μεγαλύτερα και περισσότερα σπήλαια είναι διανοιγμένα σε αυτόν. Η Ελλάδα ως καρστική χώρα που είναι, αφού καλύπτεται κατά 65% περίπου από ασβεστολιθικά πετρώματα, είναι φυσικό να έχει πολλά σπήλαια, μικρά ή μεγάλα, κατακόρυφα, οριζόντια ή λιμναία. Είναι η πρώτη χώρα σε αριθμό σπηλαιών.

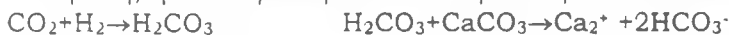
Σπηλαιολογία

Είναι ο κλάδος των γεωεπιστημών που ασχολείται με τα σπήλαια. Αντικείμενα της Σπηλαιολογίας είναι η ανακάλυψη σπηλαιών, η εξερεύνηση και η μελέτη της Βιολογίας των σπηλαιών (κυρίως Ταξινομία και Οικολογία), η Παλαιοντολογία σπονδυλωτών και η προϊστορία των ευρημάτων που υπάρχουν στα σπήλαια και βέβαια η αναζήτηση των γεωλογικών σχέσεων μεταξύ των σπηλαιών. Από όλα αυτά η Γεωλογία σπηλαιών είναι ο λιγότερος ανεπτυγμένος κλάδος.

Δημιουργία σπηλαιών

Τα υπόγεια νερά που περιέχουν διαλυμένο CO₂ είναι αποτελεσματικό διαλυτικό του ορυκτού CaCO₃, το οποίο είναι το κύριο συστατικό των ασβεστόλιθων. Σε ασβεστολιθικά στρώματα, τα οποία βρίσκονται σε ελαφρά κλίση και περιέχουν τα μεγαλύτερα σπήλαια στον κόσμο, το νερό ξεκινάει τη διεργασία του κατά μήκος των κυριότερων διακλάσεων στον ασβεστόλιθο, οι οποίες διασταυρώνονται μεταξύ τους σε ορθές γωνίες, τα σπηλαιώδη περάσματα, συνεπώς σχηματίζουν ένα δίκτυο, του οποίου το σχέδιο μοιάζει με οδικό δίκτυο πόλης.

Η επίδραση του υπόγειου νερού στον ασβεστόλιθο δεν είναι απλή διάλυση, αφού ο ασβεστίτης είναι σχεδόν αδιάλυτος στο καθαρό νερό. Διαλυμένο CO₂, σε συνδυασμό με νερό, σχηματίζει ανθρακικό οξύ και παίζει σπουδαίο ρόλο στην ακόλουθη διπλή αντίδραση, η οποία μετατρέπει τον ασβεστίτη σε ευδιάλυτη ανθρακική ρίζα:



Μέρος από το απαραίτητο CO₂ βρίσκεται στο νερό της βροχής, που πέφτει μέσω του αέρα. Αλλά μέσα στο συνηθισμένο αέρα, ο οποίος ασκεί πίεση 1atm, η μερική πίεση του CO₂ είναι μόνο 0.0003atm, οπότε το νερό της βροχής που έχει έρθει σε επαφή μόνο με τον αέρα δεν είναι αρκετά όξινο για να σχηματίσει σπήλαια. Το νερό εμπλουτίζεται σε CO₂, όταν περνάει μέσα από έδαφος που περιέχει οργανικά υλικά σε αποσύνθεση (χουμικά υλικά), γιατί σε αυτή την περίπτωση ο αέρας μπορεί να περιέχει CO₂, με μερική πίεση 0.1atm μέχρι και 300 φορές παραπάνω. Το νερό, λοιπόν, περνώντας μέσα από έδαφος πλούσιο σε χουμικά συστατικά, γίνεται πολύ όξινο και κατάλληλο για το σχηματισμό σπηλαιών.

Τα σπήλαια σχηματίζονται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του νερού, από νερό που κινείται αργά με ταχύτητα γύρω για 10m/yr (μέτρα ανά έτος). Απόδειξη του ότι το νερό γενικά κινείται τόσο αργά αποτελεί το γεγονός ότι τα τοιχώματα των σπηλαιών είναι

πολύ ομαλά. Όταν ένα γρήγορο ρυάκι ρέει σε ασβεστολιθικό στρώμα, είτε στην επιφάνεια είτε στο εσωτερικό του, το πέτρωμα γίνεται οδοντωτό με μικρές εσοχές. Η απουσία τέτοιας μορφής πετρωμάτων αποδεικνύει ότι τα σπήλαια δεν σχηματίστηκαν από υπόγεια ρεύματα, αλλά και αν ακόμη υπάρχουν σήμερα τέτοια ρεύματα, συμπεραίνουμε ότι αυτά εισχώρησαν μέσα στα σπήλαια μετά το σχηματισμό τους.

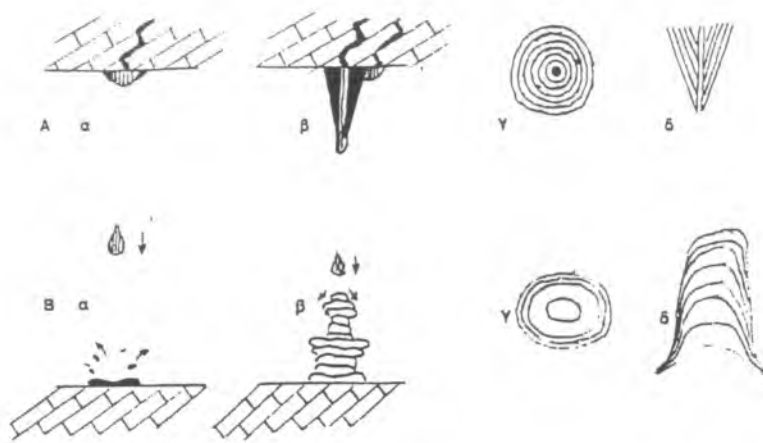
Το χαρακτηριστικό δίκτυο των σπηλαιών αποδεικνύει ότι αυτά σχηματίζονται στο ανώτερο τμήμα της στήλης του νερού. Ο λόγος για τον οποίο τα περισσότερα σπήλαια σχηματίζονται ακριβώς από την κορυφή της στήλης του νερού, σε μεγαλύτερα βάθη, πιστεύεται ότι έχει σχέση και με τη μη γραμμική σχέση μεταξύ της διάλυσης του ανθρακικού υλικού και της μερικής πίεσης του CO₂. Η μίξη του υπόγειου νερού με το επιφανειακό προκαλεί περισσότερη διάλυση του ανθρακικού υλικού. Η διάλυση συνεχίζεται κανονικά κάτω ακριβώς από την κορυφή του υπόγειου νερού, όπου το προς τα κάτω κινούμενο επιφανειακό νερό αναμιγνύεται με το αργά κινούμενο υπόγειο.

Σπηλαιοαποθέματα

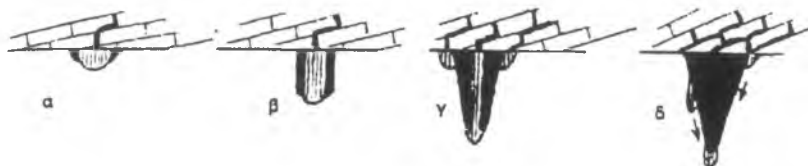
Κρυσταλλικές αποθέσεις οι οποίες σχηματίζονται μέσα σε ένα ασβεστολιθικό σπήλαιο μετά το σχηματισμό του. Τα πιο κοινά σπηλαιοαποθέματα (ή σπηλαιοθέματα) είναι οι **σταλακτίτες** (Εικ. 17β) που κρέμονται από την οροφή του σπηλαιού προς τα κάτω και οι **σταλαγγίτες** (Εικ. 17α) που αναπτύσσονται από το δάπεδο προς τα πάνω. Τα περισσότερα σπηλαιοθέματα αποτελούνται από ορυκτό ασβεστίτη (CaCO₃), το ίδιο ορυκτό δηλαδή το οποίο δημιουργεί τα τοιχώματα του ασβεστολιθικού σπηλαιού. Σχηματίζονται μάλλον από την απώλεια CO₂ από το νερό που στάζει παρά από την εξάτμιση του ίδιου του νερού – μια διεργασία που δεν μπορεί να λάβει χώρα εξαιτίας της 100% σχετικής υγρασίας στα περισσότερα σπήλαια. Σύμφωνα με αυτή, επιφανειακό νερό πλούσιο σε CO₂ μετακινείται προς τα κάτω μέσα στον ασβεστόλιθο, αντιδρά με αυτόν και διαλύει ένα τμήμα του. Όταν το νερό φτάσει στην οροφή ενός καλά αεριζόμενου σπηλαιού συναντά αέρα, ο οποίος περιέχει πολύ λίγο CO₂. Ο αέρας έτσι παίρνει λίγο από το CO₂ του νερού, το οποίο συνεπώς γίνεται λιγότερο ικανό στο να μεταφέρει διαλυμένο ανθρακικό υλικό. Με άλλα λόγια γίνεται υπέρκορο σε ασβεστίτη κι ένα μέρος από αυτόν αποτίθεται σύμφωνα με την αντίδραση:



Έτσι σχηματίζεται στην οροφή ένα μικρό δακτυλίδι από ασβεστίτη. Με την πάροδο του χρόνου, το δακτυλίδι αυξάνεται προς τα κάτω σε έναν τραπεζοειδή σταλακτίτη, ο οποίος με την σειρά του μετατρέπεται σε πυρήνα ενός τεράστιου κωνικού σταλακτίτη, σαν αυτούς που βλέπουμε σε πολλές ασβεστολιθικές σπηλιές. Ο ρυθμός ανάπτυξης των σταλακτιτών εξαρτάται από το ρυθμό ροής του νερού και από το βαθμό υπερκορεσμού του σε ασβεστίτη. Αυτός ο ρυθμός ανάπτυξης είναι πάντα μεταβλητός και κάποτε μερικοί σταλακτίτες σταματούν εντελώς να αναπτύσσονται και διαλύονται εν μέρει από το νερό, το οποίο είναι ακόρεστο εξαιτίας των εποχιακών μεταβολών του ρυθμού ροής, του ρυθμού διάλυσης του ασβεστόλιθου και του περιεχομένου CO₂ στο νερό και τον αέρα του σπηλαιού. Παρόλα αυτά, επαναλαμβανόμενες μικρομετρικές μετρήσεις πολλών τραπεζοειδών σταλακτιτών δείχνουν ότι ο καθαρός ρυθμός επιμήκυνσής τους κυμαίνεται γύρω στα 0-2 mm/yr (χιλιοστά του μέτρου ανά έτος).



Εικ. 17α Δημιουργία σταλαγμιτών.



Εικ. 17β Στάδια ανάπτυξης σταλακτιτών.

Όταν το νερό κυλάει πάνω σε σταλακτιτή, στάζει στο δάπεδο και δημιουργεί σταλαγμίτες, ενώ όταν κυλάει κατά μήκος ενός τοιχώματος δημιουργεί **flowstones**. Σε πολύ μικρές λεκάνες νερού σχηματίζονται μικρές σφαίρες ασβεστίτη γνωστές ως **μαργαριτάρια των σπηλαίων** (cave pearls). Όλες αυτές οι αποθέσεις κτίζονται προς τα έξω σαν παράλληλα στρώματα, στα οποία οι ατομικοί κρύσταλλοι ασβεστίτη είναι κάθετοι στο επίπεδο απόθεσης. Νερό που στάζει από ρωγμές των τοιχωμάτων των σπηλαίων μπορεί να σχηματίσει και άλλα σπηλαιοθέματα, μερικά από τα οποία έχουν παράξενα σχήματα. Μερικά από τα πιο κοινά σπηλαιοθέματα είναι **ελικτικές δομές** (σπειροειδώς περιελιγμένα αντικείμενα), που μοιάζουν με πέταλα και λέγονται **λουλούδια των σπηλαίων** (cave flowers), και σφαιρικοί πυρήνες γνωστοί ως **κοράλια των σπηλαίων** (cave corals). Οι περισσότερες από αυτές τις αποθέσεις είναι σκληρές όπως οι σταλακτιτές, αλλά ένα είδος, το **σπηλαιογάλα** (moosemilk) είναι μαλακό και μοιάζει με αργιλοπηλό. Όταν το σπηλαιογάλα διαλύεται σε ένα ασθενές οξύ, απομένει ένα γλοιώδες υγρό γεμάτο βακτήρια και μικροοργανισμούς, το οποίο είναι υπεύθυνο για την απόθεση περιεργων ουσιών. Εκτός από τον ασβεστίτη, το κυρίαρχο ορυκτό, υπάρχουν δέκα περίπου ορυκτά τα οποία είναι γνωστά ότι σχηματίζουν σπηλαιοαποθέματα. Είναι ο γύψος, ο πάγος, ο αραγωνίτης, ο δολομίτης, ο ανθρακικός απατίτης, ο γκαϊτίτης και ο μπιννεσεσίτης. Καθώς τα περισσότερα από αυτά αναπτύσσονται αργά σε χαμηλές θερμοκρασίες, ο πραγματικός τρόπος σχηματισμού τους δεν μπορεί να παρατηρηθεί σε κανονικές συνθήκες εργαστηρίου, αλλά όλα τα στάδια ανάπτυξής τους παρατηρούνται στα σπήλαια, όπου το περιβάλλον είναι σταθερό για χιλιάδες χρόνια.

Οικολογικά χαρακτηριστικά των σπηλαίων

1. Έλλειψη φωτός→απουσία πρωτογενούς παραγωγής→ολόκληρο το οικοσύστημα συντηρείται από φερτή οργανική ύλη, είτε με την μορφή κοπράνων και πτωμάτων, είτε με φυτικά υπολείμματα που μπαίνουν στην σπηλιά με τον αέρα, το νερό κλπ.
2. Σχεδόν απόλυτη ησυχία
3. Σταθερή θερμοκρασία→μέση ετήσια θερμοκρασία ευρύτερης περιοχής.

4. Σταθερή σχετική υγρασία
5. Δευτερεύοντα χαρακτηριστικά: ανταλλαγή αερίων με το εξωτερικό περιβάλλον, υψηλή συγκέντρωση CO₂.

Ευδιάκριτες οικολογικές ζώνες

1. Ζώνη εισόδου: υψηλή ζωική δραστηριότητα. Η πρωτογενής παραγωγή συντελείται από υγράφυλα και νιτρόφυλα ανώτερα φυτά, φτέρες, βρύα, κλωροφύκη και κυανοφύκη.
2. Εύφωτη ζώνη: Κατώτερα φυτά. Η θερμοκρασία και η υγρασία ακολουθούν γρήγορα τις εξωτερικές μεταβολές.
3. Σκοτεινή ζώνη μεταβλητής υγρασίας και θερμοκρασίας: Οι κλιματολογικές συνθήκες αλλάζουν με μεγάλη καθυστέρηση. Μηδενική φωτοσυνθετική δραστηριότητα.
4. Σκοτεινή ζώνη σταθερής υγρασίας και θερμοκρασίας: σταλαγματικοί σχηματισμοί. Σπηλαιόβιοι οργανισμοί.

Τα Ελληνικά σπήλαια

Η Ελλάδα είναι μια χώρα ιδιαίτερα προικισμένη σε φυσικές καλλονές. Συνδυάζει υπέροχες αντιθέσεις άγριων ορεινών τοπίων, καταπράσινων βουνών και μαγευτικών ακρογιαλιών. Εκτός από τις φυσικές ομορφιές της επιφάνειας, το υπέδαφος της κρύβει επίσης ανεκτίμητους θησαυρούς, τα σπήλαια. Μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί, καταγραφεί ή εξερευνηθεί από την Ελληνική Σπηλαιολογική Εταιρία (Ε.Σ.Ε.), πάνω από 7.500 καρστικές μορφές (σπήλαια, βάραθρα, δολίνες, καταβόθρες κλπ). Από αυτές 3.400 βρίσκονται στην Κρήτη και 420 στην Αττική.

Περισσότερα από 100 σπήλαια χαρακτηρίστηκαν τουριστικά, διεθνούς προβολής. Από αυτά μικρός αριθμός, αναλογικά, έχει αξιοποιηθεί. Τα ελληνικά σπήλαια έχουν διανοιχτεί κατά το Τεταρτογενές, σε ασβεστολιθικά πετρώματα διαφόρων ηλικιών. Το πλήθος των σπηλαίων του ελληνικού χώρου οφείλεται στο γεγονός ότι η Ελλάδα από γεωλογική άποψη, καλύπτεται κατά 65% από ασβεστολιθικά πετρώματα, πετρώματα στα οποία αναπτύσσονται κατ' εξοχήν τα σπήλαια και άλλες υπόγειες καρστικές μορφές.

Εξαιτίας των προαναφερθέντων η Ελλάδα κατέχει μια από τις πρώτες θέσεις παγκόσμια σε αριθμό σπηλαίων.

Σε Ελληνικά σπήλαια έχουν γίνει ανακαλύψεις ιχνών ανθρώπων και ζώων από τη νεότερη Παλαιολιθική μέχρι την Νεολιθική εποχή, όπως στο σπήλαιο «Αλεπότρυπα» Δυρού Μάνης, και αλλού, καθώς πολλά ελληνικά σπήλαια χρησιμοποιήθηκαν σαν κατοικία των πρωτόγονων ανθρώπων της Παλαιολιθικής και Νεολιθικής περιόδου («Κόκκινες Πέτρες» Πετραλώνων Χαλκιδικής, «Αλεπότρυπα» Δυρού, «Φυτίδι» Κεφαλονιάς, «Ασφέντου» Σφακίων Κρήτης, «Διός» Νάξου κλπ). Από πλήθος ελληνικών σπηλαίων προέρχονται αρχαιολογικά ευρήματα, ενώ πολλά από αυτά στεγάζουν χριστιανικές εκκλησίες και ασκηταριά μοναχών. Πολλά από αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε δύσκολες στιγμές του έθνους σαν κρυφά σχολεία, καταφύγια κλπ.

Από την Παλαιολιθική μέχρι την σύγχρονη εποχή χρησιμοποιήθηκαν σαν τόποι λατρείας. Σε αυτά λατρεύτηκαν από τους πρωτόγονους ανθρώπους οι σταλαγματίτες για θεότητες. Σε αυτά εγκατέστησαν θεούς τους οι αρχαίοι Έλληνες. Οι ωραιότεροι μύθοι της μυθολογίας μας βρήκαν τη μεγαλειώδη έκφρασή τους μέσα στα σπήλαια («Νυμφαία άντρα», «Πάνεια», «Πλουτώνια» κλπ). Με τα σπήλαια συνδέθηκαν θρύλοι και παραδόσεις για νεράιδες, δράκοντες και δαίμονες.

Από την αρχαία εποχή χρησιμοποιήθηκαν τα νερά των ελληνικών σπηλαίων για άρδευση, ύδρευση (σπ. Αγ. Ελένης, Ζυγού Καβάλας) και θεραπευτικούς σκοπούς

(Υπάτης, Αγ. Κηρυκου Ικαρίας, Μήλου, Καμένων Βούρλων κτλ.). Σε ορεινές περιοχές από σπήλαια προμηθεύονται πάγο για την εξυπηρέτηση αρρώστων, ενώ οι τυροκόμοι σε σπήλαια διατηρούν τα τυριά τους. Σπήλαια χρησιμοποιούν οι ποιμένες πολλών ελληνικών περιοχών για ασφαλή ποιμνιοστάσια.

Ελληνικά σπήλαια είναι επίσης χώροι και άλλων επιστημονικών ανακαλύψεων, όπως παλαιοντολογικών ευρημάτων στα σπήλαια «Περάματος» Ιωαννίνων, «Λιμνών» Καστριών Καλαβρύτων, «Γλυφάδας» Δυρού, «Χαρκαδιό» Τήλου, σπήλαια Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Κρήτης κλπ., και σπηλαιόβιων οργανισμών που ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά, και αποτελούν νέα είδη για την επιστήμη, στα σπήλαια Αττικής και αλλού.

Τα κυριότερα σπήλαια της Ελλάδας ανήκουν ουσιαστικά στην κατηγορία των σπηλαίων εκείνων που αναπτύχθηκαν μετέπειτα του σχηματισμού των φιλοξενούντων πετρωμάτων, ως αποτέλεσμα δράσης διαφόρων γεωλογικών παραγόντων. Με βάση γεωλογικά δεδομένα μπορούμε να αξιολογήσουμε τα κυριότερα ελληνικά σπήλαια, όσον αφορά το είδος στο οποίο ανήκουν.

Πανίδα

Τα σπήλαια εκτός από τα πολλά και αξιόλογα ενδιαφέροντά τους συντηρούν και ζωή. Μέσα σε αυτά, που το φως της ημέρας ποτέ δεν φθάνει και η υγρασία είναι μόνιμη, υπάρχουν ζώα που γεννιούνται, αναπτύσσονται, συντηρούνται, πολλαπλασιάζονται και πεθαίνουν. Αυτά χωρίζονται σε τρεις ομάδες, στα τρωγλόξενα, τα τρωγλόφιλα και τρωγλόβια.

Τρωγλόξενα: είναι αυτά που ζουν και στην επιφάνεια της γης, αλλά μπορούν να ζήσουν προσωρινά και στα σπήλαια (νυχτερίδες, ποντίκια, διάφορες αράχνες, δίπτερα και άλλα).

Τρωγλόφιλα: όσα ζουν πάντα μέσα στα σπήλαια, αλλά μπορούν να ζήσουν και στην επιφάνεια, αν υπάρχουν εκεί συγγενή τους ζώα. Παραμένουν στα σπήλαια από σύμπτωση ή από αδυναμία αντιμετώπισης του αγώνα της ζωής.

Τρωγλόβια: αυτά που ζουν μόνο μέσα στα σπήλαια και έχουν προσαρμοστεί στο περιβάλλον, όπου έφθαναν ακούσια ή εκούσια. Πολλά από αυτά είναι ορατά με γυμνό μάτι και άλλα μόνο με μικροσκόπιο. Τα τελευταία ζουν στα λιμνάζοντα νερά των σπηλαίων.

Χλωρίδα

Όπως είναι γνωστό χωρίς φως δεν ζουν φυτά. Όμως πολύ συχνά συναντάμε βλάστηση μέσα σε σπήλαια, όχι μονάχα κοντά στις εισόδους, αλλά και σε μεγάλη απόσταση από αυτές. Αυτό συμβαίνει όταν το σπήλαιο έχει φωταγωγό (άνοιγμα στην οροφή) ή είναι φωτισμένο τεχνητά. Τότε γύρω από τα φωτιστικά σώματα αναπτύσσονται ορισμένα φυτά, που τα ευνοούν οι κλιματολογικές συνθήκες (φως, ζέστη, υγρασία), όπως είναι τα μούσκλια, η φτέρη κτλ. Επίσης όπου υπάρχει γουανό (κόπρος νυχτερίδων) είναι δυνατόν να αναπτυχθούν μήκυτες.

Κλίμα

Το μικροκλίμα των Ελληνικών σπηλαίων κυμαίνεται από 5-20° C.

Οικισμοί στα σπήλαια

Παρά την εξέλιξη του πολιτισμού και τη μεγάλη βελτίωση της εγκατάστασης του ανθρώπου σε πολυτελείς κατοικίες, υπάρχουν ακόμη άνθρωποι στην Ελλάδα, που είναι εγκαταστημένοι μόνιμα σε σπήλαια (τρωγλοδίτες). Είναι τα Πελασγικά σπήλαια – Αιολικά ή τεχνητά – διανοιγμένα σε πωρόλιθο, που βρίσκονται σε πλαγιές της Ακρόπολης Καλαί Διδυμότειχου, σε αποστάσεις μεταξύ τους, ή κατά σειράν. Σε αυτά – 200 περίπου – είναι εγκαταστημένοι μόνιμα, πριν από πολλά χρόνια, νομάδες από την Τουρκία (500 άτομα, 120 οικογένειες) και αποτελούν σήμερα Κοινότητα με Πρόεδρο

και Συμβούλους. Όπως διαπιστώσαμε η διαμονή τους σε αυτά είναι ικανοποιητική, γι' αυτό δεν σκέπτονται να τα εγκαταλείψουν.

Η ανακάλυψη των σπηλαιών στην Ελλάδα βοήθησε στη λύση ορισμένων επιστημονικών προβλημάτων.

- ✓ Από τα ευρήματα που ανακαλύφθηκαν μέσα σε ελληνικά σπήλαια (εργαλεία, βραχογραφίες, κοσμήματα, αγγεία, οστά, ίχνη φωτιάς κτλ), διαπιστώθηκε ότι ο άνθρωπος κατοίκησε σε αυτά. Ετρέφετο από κρέας, ψάρια, πουλιά, ρίζες, χόρτα, φρούτα, σπόρους κλπ. Ασχολείτο με κυνήγι, ψάρεμα, ζωγραφική, γλυπτική, αγγειοπλαστική κλπ.
- ✓ Εγινε γνωστό ποια ζώα έζησαν στον ελλαδικό χώρο.
- ✓ Γεφυρώθηκε το χάσμα μεταξύ Ευρώπης και Ασίας με την ανακάλυψη όμοιων εργαλείων και στις δύο ηπείρους.
- ✓ Ενισχύθηκαν οι μέχρι σήμερα γνώσεις μας για τον Μινωικό πολιτισμό.
- ✓ Διαπιστώθηκαν διαδρομές υπόγειων νερών.
- ✓ Διαπιστώθηκε η θεραπευτική ιδιότητα του μικροκλίματος ορισμένων σπηλαιών.
- ✓ Αποδείχθηκε ότι η τουριστική αξιοποίησή τους συμβάλλει υπολογίσιμα στην Εθνική Οικονομία.

Η τουριστική αξιοποίηση των σπηλαιών και η επίδραση της στους τρωγλόβιους οργανισμούς: Η περίπτωση του σπηλαίου Κουτούκι Αττικής.

Το οικοσύστημα το οποίο υπάρχει στα σπήλαια, παρόλο που έχει απλή δομή, παρουσιάζει τεράστιο βιολογικό ενδιαφέρον. Τα κύρια χαρακτηριστικά του σπηλαιώδους οικοσυστήματος είναι η σταθερότητα των βιοτικών και αβιοτικών συνθηκών, η οποία με την πάροδο των χρόνων βοηθά στην διατήρηση πρωτόγονων οργανισμών όπως οι τρωγλόβιοι.

Πρόσφατα αυτή η σταθερότητα έχει επηρεαστεί πολύ από την εισβολή του ανθρώπου στα σπήλαια. Η απαιτούμενη μετατροπή-διαμόρφωση του χώρου των σπηλαιών προκειμένου αυτά να γίνουν προσιτά στους επισκέπτες είχε σαν συνέπεια την διατάραξη των οικολογικών παραγόντων και της οικολογικής ισορροπίας. Ιδιαίτερα οι κλιματικές μεταβολές είχαν καταστροφικό αποτέλεσμα στους τρωγλόβιους οργανισμούς οι οποίοι δεν μπορούν να ανεχτούν ακόμα και μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

Το σπήλαιο «Κουτούκι» έχει αξιοποιηθεί τουριστικά από το 1963. Δυστυχώς ο ηλεκτρικός φωτισμός, το άνοιγμα μιας τεχνητής πλευρικής εισόδου και η κάλυψη ενός μεγάλου τμήματος του πατώματος με τσιμέντο έχει κατά πολύ αλλάξει την ισορροπία του σπηλαιώδους οικοσυστήματος.

Υπάρχουν λίγα δεδομένα σχετικά με την σπηλαιώδη πανίδα και κυρίως με τους τρωγλόβιους οργανισμούς πριν από την τουριστική αξιοποίηση. Τα πιο σημαντικά δείγματα συλλέχθηκαν από τον Lindberg το 1954. Τα δείγματα τα οποία συλλέχθηκαν μετά την αξιοποίηση του σπηλαίου φανέρωσαν πολύ ενδιαφέροντες τρωγλοδίτες. Το πιο σπουδαίο ήταν το *Troglojapyx hauseri*. Η έλλειψη συγγένειας με άλλο γνωστό γένος της Μεσογείου (ιστορικό κριτήριο), η τέλεια προσαρμογή στο σπηλαιώδες περιβάλλον (οικολογικό κριτήριο) και η γενική του μορφολογία, η έλλειψη έντονων χρωματισμών και ματιών και η επιμήκης μορφή του (μορφολογικά κριτήρια) μας οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι το είδος αυτό πρέπει να θεωρηθεί ως παλαιοτρωγλοδίτης.

Το 1982 είχαμε την ευκαιρία να επισκεφτούμε το σπήλαιο και να συλλέξουμε όλους τους οργανισμούς. Το είδος αυτό όμως δεν βρέθηκε. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι οι

υπόλοιποι τραγλοδίτες υπήρχαν σε μικρό αριθμό το οποίο μπορεί να σημαίνει ότι η τραγλοβία πανίδα είναι ήδη προς εξαφάνιση.

Επιπλέον είναι γνωστό ότι οι σπηλιές θεωρούνται σχεδόν κλειστά περιβάλλοντα σε ότι αφορά την ενέργεια. Για να κρατηθεί κάτω από ένα κρίσιμο όριο η οικολογική διαταραχή εξαιτίας της παρουσίας των επισκεπτών, θα πρέπει να εκτιμηθεί η επιρροή τους σε ορισμένες σχετικές παραμέτρους (θερμοκρασία, συγκέντρωση CO₂, ροή αέρα κλπ) και να υιοθετηθεί το κριτήριο της χωρητικότητας των επισκεπτών. Ως χωρητικότητα επισκεπτών μπορούμε να ορίσουμε τον μέγιστο αριθμό επισκεπτών που γίνονται δεκτοί στην μονάδα του χρόνου κάτω από ορισμένες συνθήκες και ο οποίος δεν προκαλεί μόνιμες μεταβολές σε μια σχετική παράμετρο.

Η μικρότερη τιμή (η οποία ανταποκρίνεται στην κρίσιμη παράμετρο) είναι το όριο το οποίο θα πρέπει να υιοθετηθεί για να αποφευχθεί κάθε μόνιμη ζημιά στο περιβάλλον του σπηλαιίου.

Ο άνθρωπος αντιλήφθηκε σχετικά νωρίς ότι μπορεί να αποκομίσει ποικίλα οφέλη από την τουριστική διευθέτηση των σπηλαίων. Έτσι, σπήλαια άρχισαν να υφίστανται εκμετάλλευση από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα.

Οι αντίστοιχες δραστηριότητες στην Ελλάδα άρχισαν περίπου ένα αιώνα αργότερα με πρώτο το σπήλαιο των Ιωαννίνων. Ακολούθησαν και άλλα σπήλαια όπως το Σπήλαιο του Διρού στη Λακωνία, το Κουτούκι Παιανίας κλπ., ενώ αρκετά βρίσκονται στο στάδιο της διευθέτησης.

Η εμπειρία από τις διευθετήσεις των παραπάνω σπηλαίων είναι τραγικές. Χαρακτηρίζονται από προχειρότητα σχεδιασμού και εκτέλεσης των έργων, σε βαθμό που θα πρέπει να αναζητηθούν ποινικές ευθύνες. Κανένα σπήλαιο δεν αντιμετωπίστηκε σαν οικοσύστημα με μοναδικά χαρακτηριστικά. Καμιά μελέτη δεν έχει γίνει για την ανεύρεση της **βιολογικής ταυτότητας** αυτών των σπηλαίων και την μεθόδευση της διατήρησής της. Και όμως είναι αυτή η ταυτότητα που θα βοηθήσει στην έγκαιρη διάγνωση της διατάραξης στα σπήλαια (βιολογικοί δείκτες) και την πρόληψη των επιπτώσεων.

Περισσότεροι από 90 φυτικοί οργανισμοί έχουν αναπτυχθεί στα σταλαγματικά του σπηλαιίου Περάματος Ιωαννίνων σαν αποτέλεσμα του ακατάλληλου φωτισμού. Οι διαδρομές και οι διανοίξεις τεχνητών εισόδων στα περισσότερα σπήλαια έχουν βλάψει σημαντικά την πανίδα των σπηλαίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το σπήλαιο Αλιστράτης Σερρών όπου η θέση της τεχνητής εισόδου και το φράξιμο της φυσικής συντέλεσαν στο να φύγουν οι δεκάδες χιλιάδες 5 ειδών νυχτερίδες που ας σημειωθεί ότι προστατεύονται από διεθνείς συμβάσεις και την Ελληνική νομοθεσία.

Άλλο παράδειγμα είναι το σπήλαιο Δίκταιο Αντρο του Ψυχρού στην Κρήτη. Η τουριστική προσέλευση είναι πολύ υψηλή και οφείλεται ασφαλώς τόσο στον διάκοσμο του σπηλαιίου αλλά κυρίως στην σχέση του με την Ελληνική Μυθολογία.

Οι εκατοντάδες των τουριστών που επισκέπτονται το Δικταίο Αντρο κάθε μέρα χρησιμοποιούν κεράκια που προμηθεύονται από τους ξεναγούς. Εκατοντάδες κιλά κεριού μένουν μέσα στο σπήλαιο είτε με την στερεή μορφή είτε σαν καπνός. Έτσι το δάπεδο έχει επικαλυφθεί με κεριό ενώ τα τοιχώματα είναι πλέον μαύρα από τους καπνούς. Η λιμνούλα στο τέλος του σπηλαιίου «με το πεντακάθαρο νερό όπου πλενόταν ο Δίας» είναι πλέον γεμάτη με ένα μαύρο διάλυμα, ενώ επιπλέει ένα στρώμα κεριού, κουτιά και μπουκάλια αναψυκτικών, κι άλλα σκουπίδια. Εκτός από το, για πολλούς λόγους αποκρουστικό θέαμα που βλέπει αλλά και στο οποίο συμβάλλει ο επισκέπτης, διατρέχει άμεσο κίνδυνο να τραυματιστεί είτε γλιστρώντας στα κεριά είτε από τον μεγάλο συνωστισμό. Η συνειδητοποίηση ωστόσο έρχεται από την οροφή με την μορφή μαύρων από κάπνα σταγόνων που λερώνουν τα ρούχα. Στο τέλμα αυτό, που κάποτε ήταν λιμνούλα, ζούσαν πολύ πριν εμφανιστεί ο άνθρωπος στον πλανήτη μας και μέχρι πριν 2-3 δεκαετίες τουλάχιστον 4 είδη ζώων, ενδημικά του σπηλαιίου. Καταδικάστηκαν σε εξαφάνιση.

Γενικά τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα σπήλαια είναι:

- ✓ Καταπάτηση του δαπέδου, καταστροφή επομένως του μέρους αναπαραγωγής των σπηλαιόβιων ζώων.
- ✓ Καταστροφή του διάκοσμου με σπάσιμο ή χάραξη σταλακτιτών, καπνούς από κεριά, τεχνητό φωτισμό, ασβέστωμα κλπ.
- ✓ Λαθρανασκαφές
- ✓ Απόθεση μη αποικοδομήσιμων υλών
- ✓ Ανασκαφές
- ✓ Κλείσιμο της εισόδου, αποκλεισμός επομένως του σπηλαιού από νυχτερίδες.

Στην κατάσταση που έχουν φτάσει τα επισκέψιμα σπήλαια μόνο μια πρόταση θα μπορούσε να διατυπωθεί με την ελπίδα ότι θα υπάρξει το ανάλογο ενδιαφέρον από την πολιτεία και τους τοπικούς φορείς. Άμεση εφαρμογή ερευνητικού διεπιστημονικού προγράμματος με στόχους:

1. Την εκτίμηση της κατάστασης του σπηλαιού σαν οικοσύστημα ώστε να διατυπωθούν προτάσεις διάσωσης και ορθολογικής διαχείρισης του.
2. Την καταγραφή όλων των ανθρωπίνων επεμβάσεων και ευρημάτων.
3. Την αναπαράσταση με φωτογραφίες, διαγράμματα και ευρήματα της Φυσικής Ιστορίας (Γεωλογία, Βιολογία, Παλαιοντολογία) του κάθε σπηλαιού ώστε η διευθέτησή του να έχει και πολιτιστικό χαρακτήρα.
4. Συνεχείς παρατηρήσεις από ειδικό βιολόγο.
5. Μη αξιοποίηση της περιοχής στο βαθύτερο τμήμα της σπηλιάς για την προστασία των τρωγλόβιων οργανισμών.
6. Ελεγχόμενος αριθμός επισκεπτών.

Το πρόβλημα της «πράσινης αρρώστιας»

Το πρόβλημα της πράσινης αρρώστιας πρωτοεμφανίστηκε στο σπήλαιο Lascaux και απασχόλησε για πολύ καιρό την επιστήμη, μέχρις ότου βρεθεί μια λύση για τη διάσωση των πολύτιμων προϊστορικών βραχογραφιών του.

Στον Ελληνικό χώρο το πρόβλημα άρχισε να παίρνει διαστάσεις με την εμφάνιση της «πράσινης αρρώστιας» στο σπήλαιο Περάματος Ιωαννίνων. Κι ενώ μπορεί να παρατηρηθεί σε όλα σχεδόν τα Ελληνικά τουριστικά σπήλαια, η περίπτωση του σπηλαιού Αγίας Σοφίας Κυθήρων αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού οι θαυμάσιες αιογραφίες του, του 11^{ου}-12^{ου} αιώνα κινδυνεύουν να καταστραφούν.

Σαν πρώτο βήμα συλλέξαμε κλωριδικό υλικό από τις τοιχογραφίες ώστε η συστηματική τους μελέτη να ανοίξει τον δρόμο για την διάσωση τους. Γνωστές λύσεις όπως ψεκασμός με διάλυμα αντιβιοτικών ή φορμόλης πρέπει να αντιμετωπισθούν με περισκεψη γιατί τα Βυζαντινά χρώματα καθώς και το υπόστρωμα είναι πολύ ευαίσθητα.

Ένα πρώτο απαραίτητο μέτρο που θα αναχαιτίσει την ανάπτυξη των πράσινων αποικιών, είναι ο περιορισμός του φυσικού φωτισμού που προσβάλλει τις αιογραφίες, με την τοποθέτηση ενός παραπετάσματος στην είσοδο του σπηλαιού.

Το Σπήλαιο των Πετραλώνων

Το σπήλαιο των Πετραλώνων βρίσκεται 50 χλμ περίπου από τη Θεσσαλονίκη, κοντά στο χωριό Πετραλώνα. Αναπτύχθηκε μέσα στους Μεσοζωικούς ασβεστολίθους του όρους Κατσικα και η είσοδος του βρίσκεται σε υψόμετρο 300μ.

Η ανακάλυψη του σπηλαιού έγινε τυχαία το 1959 από κατοίκους του χωριού Πετραλώνα. Οι κάτοικοι του χωριού είχαν παρατηρήσει ότι από τα ανοίγματα που υπήρχαν στον ασβεστόλιθο του βουνού έβγαιναν τον χειμώνα ατμοί και ακούγονταν θόρυβοι τους οποίους απέδιδαν στην υπόγεια ροή των υδάτων. Ο θόρυβος όμως που ακουγόταν προερχόταν από την κίνηση του αέρα μέσα στους διαδρόμους και τα περάσματα της σπηλιάς και στη συνέχεια καθώς το χειμώνα ο θερμότερος αέρας του σπηλαιού έβγαινε από τα ανοίγματα ψυχόταν απότομα με υγραποίηση των υδρατμών και τη δημιουργία ατμών. Την ίδια χρονιά οι κάτοικοι του χωριού έφεραν στον Καθηγ. Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Αριστοτελείου Παν/μίου Θεσσαλονίκης Π. Κόκκορο μερικά απολιθωμένα οστά και δόντια ζώων που τα βρήκαν μέσα στο σπήλαιο. Μεταξύ των απολιθωμένων οστών ήταν και ένα ανθρώπινο κρανίο το οποίο βρίσκεται στην μουσειακή συλλογή του Εργαστηρίου Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας του Αριστοτελείου Παν/μίου Θεσσαλονίκης. Ο Μελέντης (1979) καθάρισε την προσωπική περιοχή του κρανίου, αποκαλύπτοντας έτσι τα μορφολογικά του χαρακτηριστικά και ταυτόχρονα έγιναν οι πρώτες απόλυτες ραδιοχρονολογήσεις στο σταλαγμιτικό υλικό που αφαιρέθηκε από το κρανίο.

Μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον παρουσιάζει το σπήλαιο αφ' ενός μεν λόγω της ανευρέσεως του κρανίου του ανθρώπου των Πετραλώνων, αφ' ετέρου δε λόγω του μεγάλου αριθμού απολιθωμένων οστών διαφόρων ζώων Πλειστοκαινικής ηλικίας που βρέθηκαν στα διάφορα στρώματά του. Επίσης είναι αξιόλογο και από τουριστικής απόψεως λόγω του πλούσιου διάκοσμου από σταλαγμίτες και σταλακτίτες.

Μετά την ανεύρεση του κρανίου, οι ερευνητές του Παν/μίου Θεσσαλονίκης πραγματοποίησαν παλαιοντολογικές ανασκαφές, άνοιξαν περάσματα, εξερεύνησαν συστηματικά το σπήλαιο και συγκέντρωσαν μεγάλες ποσότητες παλαιοντολογικού υλικού.

Η μελέτη του παλαιοντολογικού αυτού υλικού έδειξε ότι τα προσδιορισθέντα είδη ανήκουν σε δύο διαφορετικές πανίδες, η πρώτη, η πιο παλιά ανήκει στο Κατ. Μ. Πλειστόκαινο και η άλλη φθάνει μέχρι το Αν. Πλειστόκαινο, συμπεριλαμβανομένων και των μεταβατικών μορφών. Η απουσία σύγχρονης πανίδας δηλώνει ότι το σπήλαιο έκλεισε κατά τη διάρκεια του Αν. Πλειστοκαινού και δεν υπήρχε φυσική είσοδος. Οι πανίδες παρουσιάζουν ενδημικό χαρακτήρα και βρέθηκαν αναμεμιγμένες μεταξύ τους και αυτό πιστεύεται ότι οφείλεται στη δράση των υδάτων που έρεαν επιφανειακά μέσα στο σπήλαιο. Αυτό αποδεικνύεται επίσης και από τις αλλοιώσεις που παρατηρούνται επάνω στα οστά, από τη στρογγύλευσή τους λόγω της μεταφοράς, από τους πολλούς μεμονωμένους οδόντες και τους εν διαλύσει διασκορπισμένους σκελετούς. Η πλειονότητα των δειγμάτων ανήκει σε φυτοφάγα ζώα, που αποτελούσαν την κύρια πηγή τροφής των σαρκοφάγων. Τα σαρκοφάγα χρησιμοποιούσαν κατά διαστήματα το σπήλαιο ως κατοικία τους και τούτο συμπεριλαμβάνεται από τη συχνή παρουσία πολύ νεαρών ατόμων καθώς και κοπρολίθων. Το κλίμα γενικά ήταν θερμό και το περιβάλλον προσομοίαζε της στέππας, που διακόπτονταν από δάση ή θάμνους.

Από τη μελέτη της πανίδας των Πετραλώνων βγαίνει το συμπέρασμα ότι το κλίμα ήταν μάλλον θερμό και έτσι φαίνεται ότι η δράση των παγετώνων είχε ήπιο χαρακτήρα για το νότιο τμήμα της Ευρώπης, όπου βρίσκεται και ο ελληνικός χώρος. Το περιβάλλον ήταν μάλλον τύπου ανοικτής στέππας και, όπως φαίνεται από τη συχνή παρουσία των υαινών, ρινοκερώτων, και κυρίως του νέου είδους αλόγου ήταν ξηρό και με έδαφος σκληρό.

Για τη θέση του κρανίου των Πετραλώνων στο εξελικτικό δέντρο του ανθρώπου, έχουν διατυπωθεί πολλές απόψεις, αλλά το μόνο το οποίο έχει γίνει ευρύτατα αποδεκτό είναι ότι ανήκει σε αρχαϊκό πληθυσμό της Ευρώπης και αποτελεί εξελικτικά ενδιάμεσο ανθρωπολογικό τύπο μεταξύ του *Homo erectus* και του Ανθρώπου του Νεάντερταλ.

Όσον αφορά την χρονολόγηση του κρανίου έχουν γίνει διάφορες απόπειρες κατά καιρούς. Τα μέχρι στιγμής μορφολογικά και ραδιοχρονολογικά στοιχεία συμπίπτουν σε μια ηλικία του κρανίου των Πετραλώνων που ανέρχεται στα 200-300.000 χρόνια.

ΠΑΛΑΙΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Είναι ο κλάδος της Κλιματολογίας, ο οποίος, με τη βοήθεια ειδικών δεικτών που δημιουργήθηκαν κάτω από συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες, διερευνά τους κλιματικούς χαρακτήρες (κατάσταση θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης, πίεσης κλπ) που επικράτησαν στη διάρκεια μεγάλων χρονικών διαστημάτων του παρελθόντος, των ονομαζόμενων γεωλογικών περιόδων.

Η μελέτη των κλιμάτων και των τάσεων που επικράτησαν σε αυτές τις περιόδους βοηθά στην κατανόηση της λειτουργίας των μηχανισμών που προκαλούν τις κλιματικές μεταβολές στον πλανήτη μας. Έτσι, γνωρίζοντας τις επιδράσεις των διαφόρων φυσικών παραγόντων στο κλίμα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, είναι δυνατόν να εντοπισθούν με βάση τα επιστημονικά συμπεράσματα, εξελικτικά φαινόμενα, που μπορεί να οδηγήσουν σε μελλοντικές κλιματικές μεταβολές.

Πηγές πληροφοριών για τη μελέτη του κλίματος του παρελθόντος.

Για το χρονικό διάστημα των τελευταίων 100-200 ετών, που χαρακτηρίζεται ως περίοδος ενόργανης παρατήρησης, οι πληροφορίες λαμβάνονται από συγκεκριμένες μετρήσεις μετεωρολογικών οργάνων. Για τους ιστορικούς χρόνους υπάρχουν αρκετές μαρτυρίες, που βοηθούν στη μελέτη των κλιματικών χαρακτήρων που επικράτησαν τότε. Πληροφορίες που αφορούν κλιματικές συνθήκες που επικράτησαν 2.000-3.000 χρόνια πριν από την ενόργανη παρατήρηση αναζητούνται σε γραπτά εκείνης της εποχής, που περιέχουν λεπτομερείς καθημερινές καταγραφές καιρικών φαινομένων ή αναφορές έντονων καιρικών καταστάσεων τοπικής ή παγκόσμιας κλίμακας, όπως ξηρασίες, τυφώνες, καταρρακτώδεις βροχές κλπ.

Σημαντικές πληροφορίες για τη μελέτη των κλιμάτων διαφόρων περιοχών προέρχονται από τις φυσικές συνθήκες που επικράτησαν στο παρελθόν, όπως η δημιουργία ιζηματογενών στρωμάτων, η διάβρωση των πετρωμάτων, η δημιουργία κοιτασμάτων, καθώς και η ύπαρξη και διατήρηση ζώντων οργανισμών, που εξαρτώνται από τα όρια συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών παραγόντων. Τέτοιες πληροφορίες επιτρέπουν την εκτίμηση των κλιματικών συνθηκών για συγκεκριμένες περιόδους, που φτάνουν μέχρι το Κάμβριο.

Σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης οι πληροφορίες που αφορούν την απολιθωμένη πανίδα και χλωρίδα. Ιδιαίτερη σημασία έχει η εφαρμογή μεθόδων για τον προσδιορισμό παλαιοθερμοκρασιών από το ποσοστό του ισοτόπου του οξυγόνου O16 στα απολιθωμένα απομεινάρια υδροβίων ζώων. Έχει διαπιστωθεί ότι ο λόγος του ποσοστού του ισοτόπου O18 προς το ποσοστό του ισοτόπου O16 στα κελύφη των υπολειμμάτων θαλάσσιων οργανισμών εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία έζησαν οι οργανισμοί αυτοί. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί επίσης δείγματα που λαμβάνονται από τους πυρήνες πολικών πάγων. Επίσης, σημαντικές πληροφορίες για τη μελέτη κλιματικών καταστάσεων που επικράτησαν σε παρελθούσες περιόδους προσφέρουν οι ετήσιοι δακτύλιοι ανάπτυξης των δέντρων. Οι δακτύλιοι αυτοί αποκαλύπτουν βραχύχρονες διακυμάνσεις και η δομή τους είναι ενδεικτική των γενικών κλιματικών συνθηκών. Έχει αποκαλυφθεί στενή σχέση μεταξύ της ετήσιας βροχόπτωσης και του ρυθμού ανάπτυξης των δακτυλίων. Σε περιπτώσεις που τα δέντρα έχουν πληγεί από παγετώνες, αλλά τελικά κατάφεραν να επιζήσουν, παρατηρείται απώλεια της συμμετρίας των δακτυλίων, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυνατότητα προσδιορισμού της χρονολογίας εμφάνισης των παγετώνων. Τέλος, υπάρχει δυνατότητα άντλησης πληροφοριών για την ένταση και τις επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου από τη μορφή απολιθωμένων αμμόλοφων και θινών αλλά και από την κλίση των κορμών και των κλάδων των απολιθωμένων δέντρων.

Παλαιοκλίματα

Οι κλιματικές συνθήκες που επικράτησαν στη διάρκεια των γεωλογικών αιώνων και των περιόδων τους, αρχίζοντας από τους παλαιότερους και φτάνοντας στους πλέον πρόσφατους, είναι οι εξής:

Κοσμικός ή Προγεωλογικός αιώνας. Αφορά την αστρική περίοδο της Γης, όταν ο πλανήτης αποσπάστηκε από το αερώδες νεφέλωμα, τον προήλιο, και βρέθηκε να περιστρέφεται σε διάπυρη και τετρκυία κατάσταση στο Διάστημα. Κατά το τέλος αυτού του αιώνα σημειώθηκε η δημιουργία του πρώτου σκωριώδους φλοιού.

Αρχαϊκός ή Αζωικός αιώνας. Υφίστανται δύο διαπιστωμένες περιοδοί, με πυριγενή πετρώματα και μεγάλη ανυδρία η μία, με ιζηματογενή και ωκεάνια πετρώματα η άλλη. Το τέλος αυτού του αιώνα χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη πάνω στον πλανήτη κατάλληλων συνθηκών για την εμφάνιση των πρώτων μορφών ζωής.

Ηωζικός ή Αρχαιοζωικός ή Προτεροζωικός αιώνας. Χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις, σημαντική ηφαιστειακή δράση και ύπαρξη αυξημένων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα, που προκύπτει κυρίως εξαιτίας της έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας. Επίσης, χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση των πρώτων ισχνών παγετώνων στον πλανήτη. Στα τέλη του αιώνα αυτού δημιουργήθηκαν, εξαιτίας εντονότατων ορογενετικών κινήσεων, οι μεγάλες οροσειρές.

Παλαιοζωικός αιώνας. Στη διάρκεια των τριών πρώτων περιόδων του, η θερμοκρασία διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα, στη συνέχεια παρατηρήθηκε μικρή κάμψη, την οποία ακολούθησε σημαντική άνοδος, που στις αρχές της τελευταίας περιόδου διακόπηκε από εντονότατη πτώση, εξαιτίας εκτεταμένων παγοκαλύψεων, που σημειώθηκαν στην Νότια Αμερική, στην κεντρική και νότια Αφρική, στην Ανταρκτική και στην Αυστραλία.

Μεσοζωικός αιώνας. Το κλίμα ήταν μάλλον ομοιόμορφο. Στην μεγαλύτερη έκταση του πλανήτη το κλίμα ήταν θερμό και ξηρό, ενώ στα μεγάλα πλάτη ήταν πιο ήπιο, με μικρές εποχικές διακυμάνσεις. Συνθήκες υγρασίας πιο ομοιόμορφες σε σχέση με τις σημερινές. Επίσης, επισημαίνεται η απουσία πολικών πάγου.

Καινοζωικός αιώνας. Χαρακτηρίζεται από ποικιλία κλιμάτων. Κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων υποπεριόδων, το κλίμα ήταν θερμό, σε σημείο που οι πολικές περιοχές παρουσίαζαν κλίμα εύκρατο (τροπικά είδη δέντρων) με σημαντική επέκταση των δασών προς τους πόλους. Κατά το Μειόκαινο το κλίμα ήταν θερμότερο από το σημερινό, ψυχρότερο όμως από εκείνο των τριών πρώτων περιόδων του Τριτογενούς. Κατά την τελευταία περίοδο, το Πλειόκαινο, επικράτησε κλίμα παρεμφερές με το σημερινό, με τις ίδιες κλιματικές ζώνες, όπως διαμορφώνονται και σήμερα, αλλά ελαφρώς θερμότερο στο βόρειο ημισφαίριο, μια και στο νότιο από την περίοδο αυτή άρχισε από το νότιο πόλο η επέκταση των παγετώνων, που κυριάρχησαν κατά το Τεταρτογενές.

Η περίοδος του Τεταρτογενούς χαρακτηρίζεται από την τεράστια επέκταση των παγετώνων, που κάλυψαν το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, ενώ επικράτησαν και οι χαμηλότερες θερμοκρασίες της μετακάμβριας περιόδου. Στο διάστημα του Τεταρτογενούς έλαβαν χώρα διαδοχικές επεκτάσεις (παγετώδεις περιοδοί) και υποχωρήσεις παγετώνων. Η τελευταία έναρξη των παγετώνων υποχώρησε με τήξη, που ήταν ταχύτατη, με αποτέλεσμα το μέσο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας να ανέβει κατά 100 μέτρα, γεγονός που ολοκληρώθηκε πριν από 6.000 χρόνια. Το όριο των παγετώνων σήμερα σε ξηρά και θάλασσα είναι περίπου ο παράλληλος των 72° Β και η μέση θερμοκρασία εκεί ανέρχεται σε -10° C. Με την υπόθεση ότι η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται, γίνεται φανερό ότι η σφαιρική ζώνη της Γης με θερμοκρασίες μικρότερες ή ίσες των -10° C επεκτείνεται.

Οι Παγετώδεις περιοδοί του Τεταρτογενούς με ειδικότερες αναφορές στην Ελλάδα.

Η Αν. Μεσόγειος αποτελεί μία κλειστή θάλασσα η οποία συνδέεται με τις δυτικές λεκάνες της Μεσογείου με ρηχές αύλακες. Σήμερα αποτελεί μια κλιματική ζώνη όπου η εξάτμιση υπερτερεί των βροχοπτώσεων και της ποτάμιας παροχής ύδατος παρόλο το γεγονός ότι τροφοδοτείται από τον ποταμό Νείλο. Ο μεγάλος βαθμός εξατμίσεως έχει ως αποτέλεσμα η ισοτοπική σύσταση των επιφανειακών και των βαθέων υδάτων της Αν. Μεσογείου η οποία κυμαίνεται στο 1,5‰ να είναι περισσότερο εμπλουτισμένη όσον αφορά στο O18 συγκριτικά με τα βαθεία ύδατα του Β. Ατλαντικού και η αλμυρότητα να φθάνει το 39,5‰.

Στην Μεσόγειο κατά το όριο Πλειοκαίνου-Πλειστοκαίνου, λαμβάνει χώρα ένα τοπικό ψυχρό συμβάν που σχετίζεται με την εμφάνιση του θαλάσσιου Μαλακίου *Arctica islandica*. Επίσης τα ισότοπα οξυγόνου υποδεικνύουν μια απότομη πτώση της θερμοκρασίας κατά μήκος του ορίου.

Χαρακτηριστική είναι η παρουσία σαπροπηλών και σαπροπηλιτικών οριζόντων στο Κατ. Πλειοτόκαινο. Η δημιουργία αυτών των οριζόντων σχετίζεται άμεσα με ισχυρές βροχοπτώσεις και αυξημένη εισροή γλυκού ύδατος στα θαλάσσια περιβάλλοντα κατά τη διάρκεια μεσοπαγετώδων περιόδων.

Ο ελλαδικός χώρος βρίσκεται στην εύκρατο γεωγραφική περιοχή, σε χαμηλό γεωγραφικό πλάτος όπου παγετώνες μπορούν να λάβουν χώρα μόνο σε μεγάλα υψόμετρα και οι διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων παίζουν σημαντικό ρόλο. Γενικά έχει πιστοποιηθεί από διάφορες μελέτες, επίδραση του παγετώδους κλίματος στον ελλαδικό χώρο, η παρουσία όμως παγετώνων δεν έχει τεκμηριωθεί. Τοπικής σημασίας ενδείξεις έχουν περιγραφεί από την Πίνδο και τον Ολυμπο, οι οποίες όμως δεν αποτελούν τεκμήριο για την εκτεταμένη παρουσία παγετώνων.

ΑΠΟΛΙΘΩΜΕΝΑ ΔΑΣΗ

Παλαιοβοτανική

Είναι ο κλάδος της Παλαιοντολογίας που έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των απολιθωμένων φυτικών λειψάνων. Η Παλαιοβοτανική αφορά τη μελέτη των φυτικών μεγαλοαπολιθωμάτων (φύλλα, σπόροι, καρποί, ρίζες κλπ) σε αντίθεση με την Παλυνολογία ή Γυρεολογία η οποία έχει ως αντικείμενο μελέτης τους κόκκους της γύρης και τα σπόρια.

Τα μεγαλοαπολιθώματα βρίσκονται συνήθως μέσα στα ιζήματα στις εξής μορφές:

- Μορφή αποτυπώματος, το οποίο αφήνει ολόκληρος ο οργανισμός ή τμήματά του, φαίνεται το μέγεθος, το σχήμα και άλλα γενικά χαρακτηριστικά της εξωτερικής μορφολογίας του οργανισμού.
- Συμπιεσμένη μορφή, η οποία αποτελείται από οργανικά υπολείμματα, επιπεδοποιημένα μεταξύ των στρωμάτων μιας απόθεσης. Με κατάλληλες τεχνικές είναι δυνατή η απομάκρυνση και ο καθαρισμός του συμπιεσμένου απολιθώματος από το ιζημα, με αποτέλεσμα οι διάφορες κυτταρικές λεπτομέρειες της επιδερμίδας και άλλων στοιχείων να γίνουν πιο εμφανείς.
- Μορφή εκμαγείου του οργανισμού, το οποίο σχηματίζεται όταν φυτικά τμήματά του καλύπτονται από ιζημα και στη συνέχεια αυτά απομακρύνονται από το ιζημα. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία εξωτερικού εκμαγείου και εσωτερικού πυρήνα.
- Λιθοποιημένη μορφή, η οποία σχηματίζεται όταν δομές φυτών εμπλουτίζονται σε ανθρακικά και πυριτικά άλατα. Εάν το μέγεθος των κρυστάλλων παραμείνει μικρό και ο ρυθμός εμπλουτισμού χαμηλός, τότε μπορεί να διατηρηθεί σημαντική κυτταρική λεπτομέρεια.

Τα τελευταία χρόνια στην παραδοσιακή μελέτη των φυτικών μεγαλοαπολιθωμάτων έχουν προστεθεί νέες τεχνικές και καινούριες φιλοσοφίες, που αφορούν τον ρόλο της Παλαιοβοτανικής στην κατανόηση της προέλευσης και ανάπτυξης της βλάστησης της Γης. Ειδικότερα, η διαθεσιμότητα που υπάρχει σήμερα στις μεθόδους για απόλυτες χρονολογήσεις τελειοποίησε τη στρωματογραφία των απολιθωματοφόρων αποθέσεων, επιτρέποντας έτσι την κριτική μελέτη των εξελικτικών τάσεων, της ανάπτυξης των κυριότερων τύπων βλάστησης, των κλιματικών μεταβολών, της μετανάστευσης της πανίδας και των υπολογισμών και εκτιμήσεων των απόλυτων ρυθμών εξέλιξης.

Τα πρώτα φυτικά λείψανα έχουν βρεθεί σε γεωλογικά στρώματα προκαμβρικής ηλικίας. Πρόκειται για Πρώτιστα, Προκαρυωτικά Βακτήρια και Κυανοφύκη και Μύκητες, τα οποία βρέθηκαν σε ιζήματα της Νότιας Αφρικής που χρονολογούνται πριν από 3.400-3.100 εκατομ. Χρόνια.

Στον κατώτερο Παλαιοζωικό αιώνα συνέχισαν οι διάφορες ομάδες των φυκών, οι οποίες συναντώνται σε όλη τη διάρκεια του Παλαιοζωικού.

Στο Δεβόνιο η κλωρίδα διαφοροποιήθηκε και εμφανίστηκαν νέες ομάδες φυτών. Μεταξύ των μεγάλων συμβάντων του Δεβονίου είναι η ανάπτυξη γλύσσας κερσαίας κλωρίδας, η εμφάνιση των Πτεριδόφυτων.

Στο Λιθανθρακοφόρο η κλωρίδα γνώρισε την μεγαλύτερή της ανάπτυξη. Σε καμιά άλλη γεωλογική περίοδο δεν υπήρξαν τόσο ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και την εξέλιξη της κλωρίδας. Συνέπεια της μεγάλης αυτής βλάστησης ήταν η δημιουργία τεράστιων κοιτασμάτων λιθανθράκων. Κατά το Λιθανθρακοφόρο εμφανίστηκαν τα

Πτεριδόσπερμα και τα Γυμνόσπερμα. Τα φυτά αυτά αποτελούν μέρος της πλούσιας κλωρίδας της περιόδου και συμμετείχαν στην λιθανθρακογένεση. Σε περιοχές όπου εξορύσσεται ο λιθανθρακας είναι γνωστά φυτικά λείψανα του Λιθανθρακοφόρου.

Μια σημαντική μεταβολή στη βλάστηση έλαβε χώρα μεταξύ Περμίου και Τριαδικού. Κλιματολογικά και ορογενετικά συμβάντα συνέβαλαν στην αντικατάσταση της βλάστησης του Λιθανθρακοφόρου, από τα περισσότερο προσαρμοσμένα στην ξηρασία Γυμνόσπερμα του Τριαδικού και του Ιουρασικού. Κατά το μέσο και ανώτερο Τριαδικό από τα φύκη παρουσίασαν μεγάλη ανάπτυξη κυρίως τα *Dasycladaceae*, που συμμετέχουν στον σχηματισμό ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Σε ότι αφορά τα ανώτερα φυτά επικρατούν τα Γυμνόσπερμα, ικανά να επιζούν στις κλιματικές (ξηρασία) συνθήκες της εποχής. Όλοι συμφωνούν ότι η κερσαία κλωρίδα είναι πολύ φτωχή, λόγω των δυσμενών κλιματικών συνθηκών της εποχής αυτής, όπου μεγάλες εκτάσεις της Γης καλύπτονταν από ερήμους.

Η παλαιοκλωρίδα του Ιουρασικού – κατώτερου Κρητιδικού χαρακτηρίζεται από την έντονη παρουσία των Φυκών, που εμφανίζονται σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη. Την παλαιοκλωρίδα αυτή παλαιότερα την θεωρούσαν ομοιόμορφη, αλλά από νεότερες έρευνες προέκυψε ότι τη χρονική αυτή περίοδο υπήρχαν τουλάχιστον δύο κλωρίδικές επαρχίες, μία βόρεια και μία νότια.

Η παλαιοκλωρίδα του Αν. Κρητιδικού-Νεοφυτικού χαρακτηρίζεται από την παρουσία των Φυκών (Ροδοφύκη) με μεγαλύτερη συμμετοχή στον σχηματισμό των ασβεστόλιθων. Τα διάτομα σχηματίζουν επίσης ιζήματα μεγάλου πάχους, τους διατομίτες. Η κλωρίδα του ανωτέρου Κρητιδικού – Καινοφυτικού χαρακτηρίζεται από την επικράτηση και πρωτοφανή ανάπτυξη των Αγγειοσπέρμων σε βάρος των Γυμνοσπέρμων, πράγμα το οποίο ισχύει ακόμα και σήμερα. Τα Αγγειόσπερμα επικράτησαν σε θερμούς τελματώδεις βιότοπους, οι οποίοι ήταν πλούσιοι σε θρεπτικά συστατικά.

Η γεωγραφική κατανομή της παλαιοκλωρίδας

Η κατανομή των φυτών του παρελθόντος ήταν εντελώς διαφορετική απ' ότι συμβαίνει σήμερα.

Στην Ελλάδα τη χρονική περίοδο του Παλαιογενούς υπήρχαν θερμόφιλα τροπικά δάση, τροπικού-υποτροπικού κλίματος σε πολλές περιοχές του Αιγαίου, π.χ. το απολιθωμένο δάσος της Λέσβου, της λιγνιτοφόρου λεκάνης Κύμης Εύβοιας κλπ.

Η ανάπτυξη της κλωρίδας είναι συνάρτηση του κλίματος που επικρατούσε στις διάφορες περιοχές. Την περίοδο του Παλαιοτριτογενούς (Παλαιογενές – Ηώκαινο - Ολιγόκαινο) επικρατούσε στη Γη κατά μέσο όρο κλίμα θερμό, ήπιο υποτροπικό, ακόμη και στις σημερινές εύκρατες περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου. Στη βόρεια Αμερική και την Ευρώπη π.χ. ευδοκίμουσαν τα πάντοτε πράσινα τροπικά βροχερά δάση. Αντιπροσωπευτικά φυτά της τροπικής κλωρίδας έφταναν και ως τις σημερινές αρκτικές περιοχές της Αλάσκας και της Γροιλανδίας.

Οι βόρειες ήπειροι την εποχή εκείνη βρίσκονταν πιο κοντά η μία στην άλλη και έτσι θα ήταν δυνατή η ανταλλαγή κλωρίδων την εποχή του Παλαιογενούς γύρω από τις πολικές περιοχές.

Στην κεντρική Ευρώπη υποθέτει κανείς ότι στο Ηώκαινο η μέση ετήσια θερμοκρασία ανερχόταν στους 22° C. Τα αίτια της επικράτησης του ήπιου θερμού κλίματος σε παγκόσμια κλίμακα δεν έχουν εξακριβωθεί ακόμη, ίσως η έλλειψη υψηλών οροσειρών και ο σχηματισμός μεγάλων θαλάσσιων επιηπειρωτικών υδάτινων μαζών, καθώς και η θέση των δύο πόλων πάνω από τη θάλασσα να έπαιξαν σημαντικό ρόλο. Σήμερα συγγενικές ομάδες αυτών των φυτών περιορίζονται στις τροπικές περιοχές και κυρίως στις περιοχές υποχώρησης της νοτιοανατολικής Ασίας. Η κλωρίδα της εποχής εκείνης θα πρέπει να έχει μεγάλες ομοιότητες με τη σημερινή, πλούσια σε δαφνοειδή κλωρίδα της ίδιας περιοχής.

Από το Ηώκαινο έως και το Μειόκαινο σχηματίστηκαν στην κεντρική Ευρώπη αρκετά κοιτάσματα ανθράκων. Ο σχηματισμός τους προϋποθέτει ανάλογη κερσαία υδρόβια βλάστηση και ανάλογο κλίμα, καθώς και ευνοϊκές συνθήκες τυρφογένεσης. Χαρακτηριστικά γένη φυτών που συμμετέχουν στο σχηματισμό των τριτογενών λιγνιτών, τα ονομαστά λιγνιτικά δάση, φύονται σήμερα στις θερμές περιοχές της Βόρειας

Αμερικής και της νοτιοανατολικής Ασίας ως υπολείμματα της άλλοτε πλούσιας κλωρίδας.

Κατά το Νεογενές (Μειόκαινο-Πλειόκαινο) το κλίμα μεταβλήθηκε παγκοσμίως προς ψυχρότερο και η μεταβολή αυτή του κλίματος κορυφώθηκε με την εμφάνιση των παγετώνων του Τεταρτογενούς. Εκτός από αυτό, την εποχή εκείνη παρατηρήθηκαν ανυψώσεις οροσειρών των Άλπεων και των Ιμαλαΐων, καθώς και αποξήρανση μεγάλων θαλάσσιων και λιμναίων υδάτινων μαζών. Έτσι επικράτησε το ηπειρωτικό κλίμα σε μεγάλες περιοχές. Αυτή η κλιματική εξέλιξη είχε ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση της παλαιογενούς κλωρίδας και βλάστησης προς τις νότιες περιοχές.

Στην Ευρώπη σχηματίστηκαν εγκάρσιες υψηλές οροσειρές που μαζί με την Μεσόγειο και τις προς νότο ξηρές περιοχές, όπως τη Σαχάρα αποτέλεσαν φράγματα στη μετατόπιση των κλωρίδων του Τριτογενούς και του Τεταρτογενούς. Τα φράγματα αυτά συνέβαλαν στην εξαφάνιση των τροπικών αλλά και των θερμόφιλων αρκτοτριτογενών φυτών.

Η σημερινή κλωρίδα της κεντρικής Ευρώπης παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με τις απολιθωμένες κλωρίδες των τελευταίων γεωλογικών εποχών.

Τα φοινικόδεντρα εξαφανίστηκαν από την Ευρώπη στο τέλος του Μειοκαινού μαζί με το μεγαλύτερο μέρος των δαφνοειδών δασών, ενώ στην Ελλάδα κατόρθωσαν να επιζήσουν μέχρι σήμερα, όπως τα φοινικοδάση της Κρήτης, που είναι αυτοφυή και αποτελούνται από το είδος *Phoenix theophrasti*. Στο Πλειόκαινο κυριάρχησαν φυτά του εύκρατου κλίματος έναντι των ξηρόφυτων. Στο τέλος του Πλειοκαινού-αρχή Πλειστοκαινού αναπτύχθηκαν στα Βαλκάνια εκτεταμένα δάση των εύκρατων θερμών κλιμάτων. Πολλά από αυτά τα δάση φύονται σήμερα στις κλωρίδες των Βαλκανίων.

Η σύγχρονη κλωρίδα της Ελλάδας είναι σχετικά πλούσια σε σχέση με αυτές των άλλων χωρών της Ευρώπης. Η κλωρίδα κατά το Τεταρτογενές αποδεκατίστηκε από την επίδραση των παγετώνων.

Απολιθωμένα δάση

Τα απολιθωμένα δάση θεωρούνται διεθνώς φυσικά μνημεία ανυπολόγιστης επιστημονικής αξίας και ταυτόχρονα αποτελούν εθνική περιουσία και κληρονομιά. Τα απολιθωμένα δάση οφείλουν τη γένεσή τους στις ευνοϊκές συνθήκες απολίθωσης των δασών του παρελθόντος. Έτσι, έχουν διατηρηθεί μέχρι σήμερα με κύρια απολίθωση ή ενανθράκωση ή εκμαγείωση ή επιφλοίωση.

Η χώρα μας έχει το ευτύχημα να έχει αρκετά απολιθωμένα δάση και γι' αυτό το λόγο επιβάλλεται το ταχύτερο δυνατό η άμεση και αποτελεσματική προστασία τους. Τα απολιθωμένα δάση της Ελλάδας εμφανίζονται σε πολλές περιοχές σε τριτογενείς αποθέσεις και κατά κανόνα έχουν υποστεί κύρια απολίθωση. Αριστο υλικό απολίθωσης για τη γένεση των απολιθωμένων δασών είναι ο χαλαζίας ή ο οπάλιος. Με την κύρια απολίθωση διατηρούνται πολύ καλά τα μορφολογικά γνωρίσματα των κορμών και σε εγκάρσια αλλά και σε εφαπτομενική τομή. Σχεδόν σε όλους τους πυριτιωμένους κορμούς είναι εμφανείς οι αυξητικοί δακτύλιοι και τα εξωτερικά μορφολογικά γνωρίσματα του φλοιού, στον οποίο είναι ακόμη εμφανείς οι θέσεις από όπου εκφύονται τα κλαδιά. Διατηρείται επίσης σε άριστη κατάσταση η εσωτερική δομή του ξύλου, από τη μελέτη της οποίας προσδιορίζεται το γένος και το είδος του δέντρου στο οποίο ανήκει αυτό.

Με τη διαδικασία της ενανθράκωσης έχουν σχηματιστεί τα γνωστά λιγνιτοφόρα κοιτάσματα της χώρας μας. Τα λιγνιτοφόρα κοιτάσματα διάφορων περιοχών, όπως οι ξυλίτες Αλιβερίου, Βεύης και Βεγόρων, αποτελούνται κατά 80% από ενανθρακωμένους κορμούς δέντρων. Οι κορμοί που βρίσκονται μέσα στους λιγνίτες μαζί με τα άλλα απολιθωμένα φυτικά τμήματα, όπως απολιθωμένα φύλλα, θα μπορούσαν να αποτελέσουν άριστο μουσειακό υλικό, δεδομένου ότι με την εκμετάλλευση του λιγνίτη τα φυτικά απολιθώματα καταστρέφονται ολοκληρωτικά και έτσι χάνονται αξιόλογα παλαιοντολογικά ευρήματα, τα οποία μαρτυρούν την ιστορική εξέλιξη των φυτών του παρελθόντος.

Οι κύριες εμφανίσεις απολιθωμένων δασών βρίσκονται στη Λέσβο, στη Θράκη, στη βόρεια Εύβοια, στην Κοζάνη και την Καστοριά. Η γένεση των απολιθωμένων δασών είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ηφαιστειακή δράση. Στα ηφαιστειακά αναβλήματα

αφθονούν τα άλατα του πυριτίου, τα οποία αποτελούν το βασικό υλικό της κύριας απολιθώσης.

Το απολιθωμένο δάσος της Λέσβου βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού. Δομείται από εναλλαγές ηφαιστειακών τόφφων και ηφαιστειακών λατυποκροκαλοπαγών. Οι κύριες εμφανίσεις των απολιθωμένων κορμών βρίσκονται στο τρίγωνο Σίγρι-Αντισσα-Ερεσσός, καθώς επίσης και στις περιοχές Μεγαλονήσι, Χαμανδρούλα, Χερσόνησο Σαρακίνα, Κουγιούκι. Το απολιθωμένο δάσος έχει μεγάλη εξάπλωση και είναι αυτόχθονο, δηλαδή τα δέντρα απολιθώθηκαν στη θέση όπου φύονταν, χωρίς μεταφορά. Στοιχεία που επιβεβαιώνουν την άποψη αυτή είναι τα εξής:

□ Οι κορμοί βρέθηκαν όρθιοι, κάθετοι προς την στρώση των ηφαιστειακών τόφφων.

□ Η πολύ καλή διατήρηση ριζών και κλάδων στο Σίγρι, δεξιά του ανεμόμυλου και στο Μεγαλονήσι.

Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της αυτόχθονης προέλευσης του απολιθωμένου δάσους.

Τα απολιθωμένα δέντρα είναι κατεσπαρμένα μέσα σε περιοχές, κατά κανόνα αραιά, ενώ σε μερικές θέσεις η πυκνότητα είναι πολύ μεγαλύτερη. Εικάζεται ότι η κύρια ανάπτυξη του απολιθωμένου δάσους βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, μέσα στους ηφαιστειακούς τόφφους.

Το απολιθωμένο δάσος της Θράκης εμφανίζεται εντός των τριτογενών αποθέσεων των νομών Ροδόπης και Εβρου. Οι κυριότερες εμφανίσεις βρίσκονται στις περιοχές Δορίσκου, Προβατώνα, Τριφυλλίου Πετρωτών και Δίλοφου.

Οι έρευνες στην περιοχή του απολιθωμένου δάσους της Θράκης βρίσκονται στο αρχικό στάδιο, οπότε δεν είναι δυνατόν να καθοριστούν επακριβώς περιοχές απολιθωμένων δασών που προσφέρονται για εθνικά πάρκα.

Οι απολιθωμένοι κορμοί της Θράκης βρίσκονται διάσπαρτοι μέσα στα αγροκτήματα και σε δασικές εκτάσεις. Κατά καιρούς έχει συλλεγεί μεγάλος αριθμός πυριτιωμένων κορμών από ιδιωτικούς και δημόσιους χώρους, χωρίς συστηματική απογραφή στο ύπαιθρο. Έτσι, σήμερα δεν είναι δυνατόν να γίνει γνωστή η πραγματική πυκνότητα του απολιθωμένου δάσους, στις διάφορες περιοχές. Τα ιζήματα που φιλοξενούν του απολιθωμένους κορμούς είναι οι ηφαιστειακοί τόφφοι, και η γένεση του απολιθωμένου δάσους είναι στενά συνδεδεμένη με την ηφαιστειακή δράση.

Έχει διαπιστωθεί ότι οι απολιθωμένοι κορμοί μακροσκοπικά ανήκουν σε δύο κατηγορίες:

□ Τεμάχια πυριτιωμένων κορμών συνεκτικά, καστανού χρώματος μήκους 1-8 τουλάχιστον μέτρων και διαμέτρου 1-2 μέτρων. Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των κορμών είναι η κοίλη εμφάνιση των περισσότερων, από την εντεριώνη προς το φλοιό, και η άριστη διατήρηση των μακροσκοπικών γνωρισμάτων του εξωτερικού μέρους του φλοιού, με εμφανή τα σημεία έκφυσης των κλάδων και με ευδιάκριτους αυξητικούς δακτυλίους στο εγκάρσιο επίπεδο. Οι κορμοί του τύπου αυτού είναι διάσπαρτοι στους αγρούς της περιοχής Δορικού Φερρών.

□ Απολιθωμένα δέντρα ανοικτού λευκού χρώματος και μαύρα στο εσωτερικό, λόγω μερικής απανθράκωσης. Εμφανίζονται βόρεια των τοποθεσιών των περιοχών Φυλακτά, Προβατώνας, Λευκόμη, Λυκόφη κοντά στο Σουφλί. Στα στρώματα του Προβατώνα σε μια φυσική τομή οι απολιθωμένοι κορμοί βρίσκονται μέσα στους ηφαιστειακούς τόφφους και μάλιστα σε διάταξη παράλληλη προς τη στρώση.

Απολιθωμένο δάσος της βόρειας Εύβοιας. Προσφάτως ανακαλύφθηκαν σημαντικά ευρήματα απολιθωμένων κορμών στη βόρεια Εύβοια, στις περιοχές Κερασιά, Αγία Άννα, Παπάδες, Αχλάδι κλπ. Η κύρια εμφάνιση των απολιθωμένων κορμών βρίσκεται στη θέση Ψηλή Ράχη, δυτικά του χωριού Κερασιά, όπου μέσα σε αγροκτήματα και δασικές εκτάσεις εμφανίζονται από τη διάβρωση πυριτιωμένοι κορμοί μεγάλων διαστάσεων ή τεμάχια απολιθωμένων κορμών, που οφείλουν την γένεσή τους κατά κύριο λόγο στην κύρια απολίθωση. Οι προαναφερθείσες περιοχές, που φιλοξενούν τα απολιθωμένα δάση, σε συνδυασμό με τα άλλα απολιθώματα που βρίσκονται στις ίδιες γεωλογικές αποθέσεις, θα αποτελέσουν άριστο μουσειακό υλικό για τον εμπλουτισμό

των τοπικών μουσείων μέσα σε εθνικά «απολιθωμένα» πάρκα αυτόχθονης προέλευσης ή εκτός των πάρκων.

ΓΕΩΤΟΠΟΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

I. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΩΝ

Οι βράχοι (κροκαλοπαγή) των Μετεώρων αποτελούν ένα σημαντικό γεωμορφολογικό φαινόμενο, το οποίο στον Ευρωπαϊκό χώρο απαντάται μόνο στην Ισπανία (κροκαλοπαγή Montserrat, κοντά στην Βαρκελώνη). Μόνο δύο ή τρεις παρόμοιες θέσεις υπάρχουν σε παγκόσμια κλίμακα.

Τα Μετέωρα βρίσκονται κοντά στην Καλαμπάκα, στην έξοδο του Πηνειού ποταμού από την ορεινή περιοχή Αντικασίων-Χασίων-Κόζιακα προς την ορεινή Θεσσαλία.

Η χαρακτηριστική και μοναδική μορφολογία των απόκρημνων βράχων που αποτελούν τα Μετέωρα κίνησε το ενδιαφέρον σε πολλούς επιστήμονες να ασχοληθούν με το σχηματισμό και την εξέλιξή τους. Η φαντασία του ανθρώπου έπλασε διάφορους μύθους σχετικά με τον σχηματισμό τους, παρατηρώντας και συγκρίνοντας τη νεκρή και περιεργη μορφή τους, που δίνουν την εντύπωση παλιών και εγκαταλειμμένων φρουριών, με τις γύρω κατάφυτες ορεινές περιοχές.

Τα κροκαλοπαγή των Μετεώρων εμφανίζονται στο νότιο τμήμα της Μεσοελληνικής αύλακας στην κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα. Μεγάλες ποσότητες κροκαλών με μικρό ποσοστό αδρομερούς υλικού μεταφέρθηκαν μέσα στη λεκάνη με αποτέλεσμα την απόθεση αρκετών εκατοντάδων μέτρων κροκαλοπαγών σε αλλουβιακά έως δελταϊκά περιβάλλοντα. Κατακόρυφοι κρημνοί καθιστούν ικανή την παρατήρηση μεγάλης κλίμακας δομών με ποικίλους προσανατολισμούς, καθώς και την τρισδιάστατη απεικόνιση των κροκαλοπαγών αυτών. Μεγάλης κλίμακας χαρακτηριστικά των κροκαλοπαγών των Μετεώρων περιέχουν ασυνήθεις δελταϊκές φάσεις και καναλοειδείς αποθέσεις οι οποίες δεν είναι δυνατόν να κατανοηθούν μόνο με τη χρήση σύγχρονων περιβαλλόντων ως αναλόγων τους.

Τα κροκαλοπαγή των Μετεώρων εμφανίζονται ως γεωμορφές ύψους 100-200 μ. και εύρους 300-1000μ. Αν και ο τύπος του τοπίου διευκολύνει τις παρατηρήσεις μεγάλης κλίμακας η εκ του πλησίον παρατήρηση και οι μετρήσεις τομών είναι δύσκολες.

Γεωλογικό καθεστώς - Η Μεσοελληνική Αύλακα

Στον Ελληνικό χώρο διαπιστώθηκαν τρεις αύλακες που πληρώθηκαν με μολασσικά ιζήματα: η αύλακα του Εβρου, με ηλικία σχηματισμού Ηώκαινο-Ολιγόκαινο, του Αξίου στο Αν. Ηώκαινο και η Μεσοελληνική Αύλακα στο Αν. Ηώκαινο - Μ. Μειόκαινο.

(**μόλασσα:** κλαστικός ιζηματογενής σχηματισμός, αρκετά μεγάλου πάχους, ο οποίος αποτελείται από τουρβιδιτικά και κερσογενή μη τουρβιδιτικά στρώματα - ψαμμίτες, κροκαλοπαγή - που αποτίθενται σε μια ορογενετική ζώνη, στο τέλος του τεκτονισμού και σε τυπική ασυμφωνία με τα υποκείμενα στρώματα. Είναι δηλαδή ένας μεταορογενετικός σχηματισμός.

Ορογένεση: όρος που προσδιορίζει το σύνολο των διαδικασιών, οι οποίες οδηγούν στον σχηματισμό των οροσειρών. Τα ιζήματα που αποτίθενται πτυχώνονται, μεταμορφώνονται, γρανιτοποιούνται και σχηματίζουν συχνά γραμμικές οροσειρές. Στην Ευρώπη είναι γνωστές οι Καληδόνιες οροσειρές (δημιουργία πριν από 600-400 εκατομ. Χρόνια) οι Ερκύνιες οροσειρές (δημιουργία πριν από 400-200 εκατομ. Χρ.) και οι Αλπικές οροσειρές, όπου βρίσκεται και η Ελλάδα (δημιουργία πριν από 200 εκατομ. Χρ. έως σήμερα). Οι αλπικές οροσειρές είναι οι πλέον προφανείς εξαιτίας των ισχυρών τους αναγλύφων και, κυρίως, γιατί η ιστορία τους αντιστοιχεί μόνο στα τελευταία 200 εκατομ. Χρ. της ιστορίας της Γης. Άλλες οροσειρές προηγήθηκαν στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, πολύ πριν αρχίσει η διαδικασία δημιουργίας των αλπικών οροσειρών. Όλες αυτές οι οροσειρές τελείωσαν με την ισοπέδωσή τους, έτσι ώστε η ύπαρξή τους να γίνεται γνωστή με έμμεσο τρόπο, δηλαδή από την συσσώρευση των κλαστικών σειρών, ενώ ανυψώνονταν τα αντίστοιχα όρη, και από την ασυμφωνία των μεταγενέστερων εδαφών, όταν μετά την οριστική ισοπέδωση της οροσειράς, η θάλασσα επανήλθε με επίκλυση.

Ορογενετικός κύκλος: ονομάζεται το χρονικό διάστημα στη διάρκεια του οποίου προετοιμάζεται, αναπτύσσεται, ολοκληρώνεται και διαβρώνεται μια οροσειρά.

Αύλακες: οι ενότητες οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλη καταβύθιση.)

Η σπουδαιότερη από τις αύλακες αυτές που είναι και η σχετικά νεώτερη, είναι η Μεσοελληνική αύλακα η οποία διατηρεί μια πλήρη δομή και στρωματογραφία.

Η διεύθυνση αναπτύξεως της Μεσοελληνικής αύλακας είναι ΒΔ-ΝΑ και συμπίπτει με τη διεύθυνση του ορογενετικού τόξου. Αρχίζει από την περιοχή της Αλβανίας και επεκτεινόταν προς νότο στις περιοχές Καστοριάς-Γρεβενών-Καλαμπάκας, διέτρεχε το σημερινό Κρητικό πέλαγος και έφθανε μέχρι την Μ. Ασία.

Η Μεσοελληνική Αύλακα βρίσκεται στο κέντρο των Ελληνίδων μεταξύ των γεωτεκτονικών ζωνών της Πίνδου και της Πελαγονικής. Οι διαφορετικές φάσεις των μολασικών αποθέσεων επιτρέπουν την διάκριση στρωματογραφικών ενότητων εντός της Μεσοελληνικής αύλακας, από τις παλαιότερες προς τις νεώτερες:

1. Σχηματισμός Κρανιάς. Τα πρώτα μολασικά ιζήματα είναι κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, θαλάσσια, ηλικίας Αν. Ηωκαίνου, με πάχος μεγαλύτερο των 200μ.
2. Σχηματισμός Επταχωρίου. Ο σχηματισμός επικείται ασυμφώνως του προηγούμενου και αποτελείται από στρώματα μαργών, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών με λιγνιτικές ενδιαστρώσεις. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού φθάνει τα 600μ. και η ηλικία αποθέσεως είναι του Αν. Ολιγοκαίνου, περίπου 26-24 εκ. Χρ.
3. Σχηματισμός Πενταλόφου-Μετεώρων. Πρόκειται για την κυρίως ενότητα των Μετεώρων με κροκαλοπαγή και ψαμμίτες του Κατ. Μειοκαίνου (περίπου 22 εκ. Χρ.). Είναι σημαντικού πάχους με γενικά χαρακτηριστικά θαλάσσιας και ποταμοχειμάρριας φάσεως. Τα κατώτερα στρώματα του σχηματισμού παρουσιάζουν και διασταυρούμενη στρώση και πιθανώς να πρόκειται για υποθαλάσσιους κώνους.
4. Σχηματισμός Τσοτυλίου. Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από μάργες λιμναίας φάσεως με ενδιαστρώσεις λιγνιτικές ηλικίας Αν. Ακουιτανίου (περίπου 20 εκ. Χρ.)
5. Σχηματισμός Καστοριάς ή Οντρια. Τέλος ακολουθεί ο σχηματισμός Καστοριάς που περιλαμβάνει ψαμμίτες, ασβεστολίθους, μάργες, ψαμμιτομαργαϊκούς ασβεστολίθους με παρεμβολές λιγνιτών λιμναίας φάσεως και ηλικίας Μέσου Μειοκαίνου (περίπου 12-14 εκ. Χρ.).

Οι κατακόρυφες κινήσεις του Πλειοκαίνου είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία των ταφροειδών λεκανών της Λάρισας στην Αν. Θεσσαλία και των Τρικάλων-Καρδίτσας στη Δυτική με ταυτόχρονη απόθεση λιμναίων και ποταμοχειμάρριων ιζημάτων. Κατά τις αρχές του Πλειστοκαίνου έλαβε χώρα εκ νέου καταβύθιση και δημιουργία της σημερινής ταφροειδούς λεκάνης της Δυτ. Θεσσαλίας, ενώ τα περιθώριά της συμπεριλαμβανομένων και των μολασικών αποθέσεων ανυψώθηκαν. Το γεγονός αυτό έδωσε την δυνατότητα στην έντονη διάβρωση των ευαίσθητων σημείων των μολασικών αποθέσεων, όπως ήταν οι διάφορες τεκτονικές ασυνέχειες (ρήγματα κλπ) και οι χαλαρές από πλευράς πετρωμάτων περιοχές.

Ετσι κατά μήκος των ασυνεχειών η διάβρωση ήταν έντονη σε συνδυασμό με την χαλαρότητα, ενώ τα ενδιάμεσα τμήματα μεταξύ των ασυνεχειών άντεξαν στην διάβρωση με αποτέλεσμα να σχηματισθούν οι σημερινές μορφές.

Γενικό συμπέρασμα για τα αίτια του σχηματισμού των Μετεώρων είναι α) τεκτονικά γεγονότα (καταβύθιση λεκάνης, ανύψωση μολασικών σχηματισμών, παρουσία ασυνεχειών στους μολασικούς σχηματισμούς) και β) η διάβρωση κυρίως του ρέοντος ύδατος.

Και η αιολική διάβρωση διαδραμάτισε δευτερεύοντα ρόλο στη σημερινή μορφολογία των Μετεώρων, με τη δημιουργία σπηλαιωδών σχηματισμών λόγω στροβιλισμού των διαφόρων υλικών εντός αυτών με την δράση του ανέμου. Η παρουσία των αιολικών αυτών μορφών μόνο σε ορισμένες κατακόρυφες επιφάνειες των Μετεώρων φανερώνει και την επικρατούσα διεύθυνση των ανέμων.

Η ηλικία του σχηματισμού των βράχων των Μετεώρων, σύμφωνα με την όλη τεκτονική ιστορία της περιοχής, θα πρέπει να άρχισε κατά τις αρχές του Τεταρτογενούς. Η διαδικασία της διάβρωσης κατά μήκος των ασυνεχειών που δημιουργήθηκαν κατά το Μειοκαίνο-Πλειόκαίνο, δραστηριοποιήθηκε έντονα μετά την ανύψωση των κρασπέδων της λεκάνης (Μετέωρα) που έλαβε χώρα κατά το Πλειόκαίνο-Πλειστόκαίνο.

Τέλος, σχετικά με την παραπέρα εξέλιξη των σχηματισμών των Μετεώρων στο μέλλον, λαμβάνοντας υπόψη τη σημερινή μορφολογία και την πρόσφατη παλαιογεωγραφική εξέλιξη, διαπιστώνουμε ότι: Σε περίπτωση τεκτονικής ηρεμίας εκβάθυνσης των κοιλάδων μεταξύ των βράχων των Μετεώρων θα συνεχισθεί, μέχρι που οι κοίτες των κοιλάδων θα φθάσουν το τοπικό βασικό επίπεδο της περιοχής που είναι η κοίτη του Πηνειού ποταμού. Σε περίπτωση που συμβούν ανοδικές κινήσεις των κρασπέδων της

λεκάνης Καλαμπάκας-Τρικάλων, όπως συνέβαινε μέχρι σήμερα, η διάβρωση θα συνεχίζεται με έντονο ρυθμό και το ανάγλυφο γενικά θα γίνεται τραχύτερο.

II. ΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΕΣ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

Παρατίθενται γεωλογικά στοιχεία που αφορούν την Παλαιογεωγραφία της περιοχής της Σαντορίνης και γίνεται μια προσπάθεια μέσα από στρωματογραφικά και άλλα δεδομένα αναπαράστασης των κυριότερων εκρήξεων του ηφαιστειακού συμπλέγματος της Θήρας.

Η επιλογή του νησιού γίνεται μεταξύ άλλων και για λόγους που το συνδέουν με μεγάλα και ανεξήγητα μέχρι σήμερα κοσμοϊστορικά γεγονότα σαν αποτέλεσμα της μεγάλης ηφαιστειακής έκρηξης που έγινε πριν 3370 χρ. περίπου. Στην εν λόγω έκρηξη αποδίδεται εν πολλοίς η απότομη πτώση του Μινωικού πολιτισμού. Θεωρείται επίσης ότι ο καταποντισμός της Ατλαντίδας που αναφέρει ο Πλάτωνας σαν μια άλλη ήπειρο, στην Μεσόγειο κάπου μεταξύ του χώρου των Νοτίων Κυκλάδων και της Κρήτης, δεν είναι τίποτα άλλο παρά η καταβύθιση της νήσου Στρογγύλης όπου κατά τον Καθηγ. Γαλανόπουλο (1960) τοποθετείται η «Μητρόπολη» της Ατλαντίδας ενώ η «Βασιλική Πολιτεία» κατά τον ίδιο ερευνητή κατελάμβανε τον χώρο του Νεογενούς της λεκάνης της κεντρικής Κρήτης.

Επίσης κατά τον ίδιο η παράδοση για τον κατακλυσμό του Δευκαλίωνα μπορεί να συσχετιστεί με την ίδια μεγάλη ηφαιστειακή έκρηξη. Οι ραγδαίες βροχές που προηγήθηκαν της τελευταίας φάσεως του κατακλυσμού του Δευκαλίωνα μπορούν να αποδοθούν στην συμπύκνωση των υδρατμών που εξήλθαν από το ηφαίστειο και που συμπυκνώθηκαν σε βροχή. Επίσης με τον ίδιο κατακλυσμό μπορούν να συσχετιστούν τα μεγάλα θαλάσσια σεισμικά κύματα (τσουνάμι) που προκλήθηκαν από την κατάρρευση του κώνου της Στρογγύλης και την δημιουργία μιας τεράστιας καλδέρας και που πρέπει να κατέκλυσαν τα παράλια της Ανατολικής Μεσογείου.

Ακόμα η γεωλογική θέση του νησιού στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου μας βοηθά στην κατανόηση και μελέτη της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών αλλά και στην μελέτη των χαρακτηριστικών της ηφαιστειακής δραστηριότητας σε παρόμοιες περιοχές καθώς επίσης και των χαρακτηριστικών γεωλογικών σχηματισμών και ιστορίας των Νοτίων Κυκλάδων.

Το νησί της Σαντορίνης βρίσκεται στον χώρο του Νοτίου Αιγαίου και αποτελείται από τις νησίδες Θήρα, Θηρασία, Παλαιά και Νέα Καμμένη. Πρόκειται για ένα ηφαιστειογενές νησί το οποίο είναι ακόμα και σήμερα ένα από τα ενεργά ηφαίστεια στην λεκάνη της Μεσογείου με έναρξη δραστηριότητας 1.6 εκ. χρ.



Εικ. 18 Χάρτης της ομάδας των νησιών της Σαντορίνης που περιλαμβάνει τη Θήρα, Θηρασία και τις νέες Καμμένες.

Γεωλογικά εντάσσεται στον χώρο του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου και σήμερα αποτελεί μια καλδέρα με μέση διάμετρο 13.6 χλμ εμβαδόν 84.9 χλμ² και βάθος 300 μ κάτω από την θάλασσα.

Η παρατηρούμενη ηφαιστειακή δραστηριότητα στο νησί δεν περιορίζεται σε ένα μόνο ηφαιστειακό κέντρο, αλλά είναι αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενης ηφαιστειακής δράσης διαφόρων κέντρων. Τέτοια κέντρα είναι του Ακρωτηρίου, του Μεγάλου Βουνού, Μικρού Προφήτη Ηλία, Σκάρου, Θηρασιάς και το πιο ενεργό με τον μεγαλύτερο χρόνο διάρκειας δράσης της Θήρας.

Στο νησί διακρίνονται τρεις χαρακτηριστικοί οριζόντες κίσηρης οι οποίοι χρησιμεύουν σαν στρωματογραφικοί δείκτες. Κάθε ένας από αυτούς φανερώνει περιόδους με έντονες ηφαιστειακές εκρήξεις, των οποίων τα πυροκλαστικά προϊόντα σκεπάζουν παλαιότερες εκχύσεις λάβας ή διάφορα προγενέστερα πυροκλαστικά υλικά και δημιουργούν διαφορετικά καλδερικά βυθίσματα, των οποίων το σύνολο δίνει την σημερινή μορφή της Σαντορίνης. Αυτοί οι χαρακτηριστικοί οριζόντες κίσηρης είναι οι εξής από κάτω προς τα επάνω:

1. Κατώτερη Σειρά Κίσηρης. Έχει πάχος σχεδόν 80 μ, το πιθανό κέντρο εξόδου αυτού του υλικού βρισκόταν στη θέση που καταλαμβάνει σήμερα η Νέα Καμένη και η έκρηξη έγινε πριν από 100.000 χρ.
2. Μεσαία Σειρά Κίσηρης. Έχει πάχος περί τα 10μ και η έκρηξη πιθανολογείται ότι έγινε πριν 50.000 χρ.
3. Ανώτερη Σειρά Κίσηρης. Πρόκειται για το στρώμα της κίσηρης που αντιστοιχεί στην τελευταία μεγάλη έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Το πάχος της υπολογίζεται περί τα 60μ, το κέντρο εντοπίζεται στην θέση που καταλαμβάνει σήμερα η Παλαιά Καμένη και η ηλικία της εκρήξεως τοποθετείται πριν 3400 χρ, ενώ με τελευταίες μελέτες τοποθετείται στο 1645 π.Χ. Χαρακτηριστικό αυτού του οριζοντα είναι ότι υπέρκειται σημαντικών αποθέσεων τόσο γεωλογικού όσο και αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Έτσι παρατηρείται ότι μεταξύ αυτού του οριζοντα κίσηρης και του μεσαίου αναπτύσσεται μια εναλλαγή πυροκλαστικών στρωμάτων, 21 στον αριθμό, μέσα στα οποία εμφανίζονται χαρακτηριστικά φυτικά απολιθώματα, όπως φύλλα, κορμοί και ρίζες. Χαρακτηριστικός είναι τέλος και ο οριζοντας ο οποίος εμφανίζεται αμέσως κάτω από αυτό το στρώμα κίσηρης. Πρόκειται για ένα παλαιοέδαφος πλούσιο σε αρχαιολογικά ευρήματα τα οποία ανήκουν στην Μινωική εποχή.



Εικ. 19. Οι διαδοχικοί ηφαιστειακοί κώνοι που έδρασαν στον ευρύτερο χώρο της Σαντορίνης.

Παλαιότερες έρευνες οι οποίες προσπαθούσαν να δώσουν την μορφολογία του νησιού πριν από την μεγάλη Μινωική έκρηξη θεωρούσαν ότι υπήρχε ένα ηφαιστειογενές νησί, το οποίο εξερχόταν μέσα από την θάλασσα όπως το όρος Fuji και το ονόμαζαν Στρογγύλη. Το ηφαιστειο που αποτελούσε αυτό το νησί, αμέσως μετά την μεγάλη Μινωική έκρηξη, κατέρρευσε τα τοιχώματά του και σχηματίστηκε μια καλδέρα η οποία καταποντίστηκε με θαλάσσιο νερό και συγχρόνως δημιουργήθηκαν τα μικρότερα νησιά Θήρα, Θηρασιά και Ασπρονήσι.

Σήμερα όμως φαίνεται ότι αυτή η θεωρία δεν ισχύει, αλλά πιστεύεται ότι προϋπήρχε μια καλδέρα γεμάτη με θαλασσινό νερό στο βόρειο τμήμα του νησιού προτού γίνει η μεγάλη Μινωική έκρηξη. Έτσι προτείνεται ότι υπήρχε ένας μεγάλος κόλπος με βορειοανατολική διεύθυνση στο εσωτερικό του νησιού Στρογγύλη, με μήκος 3-4 χλμ και διάμετρο σχεδόν 6 χλμ

Σύμφωνα με τους περισσότερους ηφαιστειολόγους, η Μινωική έκρηξη στο νησί της Σαντορίνης έγινε σε τρία ή τέσσερα στάδια. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αυτή η δραστηριότητα έλαβε χώρα λίγες εβδομάδες ή μέρες πριν την κύρια έκρηξη. Η έκρηξη αυτή θεωρείται σαν το πιο βίαιο ηφαιστειακό επεισόδιο κατά την δεύτερη χιλιετηρίδα π.Χ. και έχει σαν δείκτη ηφαιστειακής εκρηκτικότητας την τιμή 6, την στιγμή που οι δύο πιο ισχυρές ηφαιστειακές εκρήξεις των τελευταίων δύο αιώνων των ηφαιστειών Krakatoa (1883 μ.Χ.) και Tambora (1815 μ.Χ.) είχαν σαν δείκτες 6 και 7 αντιστοίχα, της ίδιας κλίμακας.

Σύμφωνα με τελευταίες μελέτες ο αγωγός εξόδου του μάγματος αυτής της έκρηξης πρέπει να βρισκόταν στην περιοχή βόρεια του σημερινού νησιού Νέα Καμένη. Στο αρχικό του στάδιο πρέπει να βρισκόταν κάτω από το επίπεδο της θάλασσας και σταδιακά να διευρυνόταν μέχρι που έφτασε τα όρια της προγενέστερης καλδέρας. Έτσι ιξώδες μάγμα με θερμοκρασία 850° C που περιείχε μικρές αλλά θανατηφόρες ποσότητες από διαλυμένο αέριο, κόχλαζε με μεγάλη εκρηκτικότητα καθώς έφτανε στην επιφάνεια της γης. Σαν αποτέλεσμα μεγάλα ποσά ενέργειας ελευθερώνονταν και διασκορπούσαν το μάγμα σαν κομμάτια κίσηρης και τέφρας, μέσα στην ατμόσφαιρα με ταχύτητα που έφτανε τα 300μ/sec και σε ύψος 30 χλμ, πάνω από την επιφάνεια της γης. Κατόπιν, από αυτά τα ηφαιστειακά αναβλήματα τα βαρύτερα ξαναέπεφταν στο νησί καλύπτοντας ολόκληρη την περιοχή. Αυτή η φάση της ηφαιστειακής δραστηριότητας ονομάζεται Πλίνια και έδωσε στο νησί μεγάλες αποθέσεις από θραύσματα κίσηρης.

Κατόπιν παρατηρούνται στρώσεις από λεπτή κίσηρη και στάχτη, και διακρίνονται και οριζόντες όπου μεγάλα μπλοκ έχουν παραμορφώσει τα στρώματα της τέφρας. Αυτό οφείλεται στην αλληλεπίδραση νερού και μάγματος, καθώς το νερό σε αυτό το στάδιο της έκρηξης διεισδύει μέσα στον ηφαιστειακό αγωγό.

Στο επόμενο στάδιο υπάρχουν αποθέσεις τέφρας και κίσηρης άστρωτες και μη διαβαθμισμένες με πολλούς ξενόλιθους,

Κατά το τελικό στάδιο κυριαρχούν ροές από διαφορετικά είδη, όπως τέφρας, κίσηρης ή αερίων, οι οποίες κινούνται από τις απότομες πλευρές του ηφαιστείου, με υψηλές θερμοκρασίες, και συσσωρεύονται σαν ριπίδια γύρω από αυτό. Τέλος υπολογίζεται ότι κατά αυτό το στάδιο εκχύθηκαν πάνω από 30 χλμ³ μάγματος.

Ο προσδιορισμός της ηλικίας της Μινωικής εκρήξεως του νησιού της Σαντορίνης αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον και σπουδαιότητα λόγω του μεγάλου αρχαιολογικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει ο αμέσως υποκείμενος στρωματογραφικός ορίζοντας. Πρόκειται για ένα παλαιοέδαφος, όπου από αρχαιολογικές ανασκαφές που γίνονται στην περιοχή του Ακρωτηρίου και από τα σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα που έχουν βρεθεί, γίνεται σαφές ότι στην περιοχή είχε αναπτυχθεί ένας πολιτισμός της ηλικίας του Χαλκού, ο οποίος θάφτηκε κάτω από την τέφρα που εκχύθηκε από το ηφαιστειο κατά την τελευταία σφοδρή έκρηξή του.

Σύμφωνα με τα αρχαιολογικά ευρήματα, και βασιζόμενοι στην τεχνοτροπία των κεραμικών οι αρχαιολόγοι πιστεύουν ότι ο πολιτισμός που αναπτύχθηκε στο νησί ανήκει στην ύστερη-Μινωική ΙΑ περίοδο, η οποία αντιστοιχεί σε ένα χρονικό διάστημα 50 χρόνων και καλύπτει την περίοδο από το 1550 έως το 1500 π.Χ.. Βασιζόμενοι στο παραπάνω συμπέρασμα καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι πιθανόν η έκρηξη του ηφαιστείου να έγινε γύρω στο 1520 π.Χ.

Επίσης προσπάθειες που έγιναν για μια προσέγγιση της ηλικίας της εκρήξεως του ηφαιστείου βασιζόμενες σε ραδιοχρονολογήσεις που έγιναν σε κορμούς ενανθρακωμένου ξύλου που βρέθηκαν στις ανασκαφές έδωσαν τις ηλικίες 1420 και

1456 π.Χ., οι οποίες όμως παρουσίαζαν μια σημαντική απόκλιση για τα αρχαιολογικά δεδομένα της τάξεως των 150 χρόνων.

Τα τελευταία όμως χρόνια με έρευνες που έχουν γίνει στην τέφρα που έχει βρεθεί μέσα σε πυρήνες γεωτρήσεων στην Γροιλανδία, οι γεωεπιστήμονες έχουν καταφέρει να δώσουν την ακριβή ηλικία της εκρήξεως του ηφαιστείου της Σαντορίνης την οποία και τοποθετούν κατά το 1645 π.Χ. Οι ερευνητές αυτοί θεωρούν ότι κατά το αρχικό στάδιο της εκρήξεως, στην Πλίνια φάση τεράστια ποσά τέφρας εκτοξεύτηκαν στην ατμόσφαιρα και το ύψος στο οποίο έφτασαν υπολογίζεται περίπου στα 29 χλμ. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα αυτή η τέφρα να διεισδύσει στην στρατόσφαιρα και έτσι να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι σε γεωτρήσεις στους πάγους της βορείου Γροιλανδίας έγινε μελέτη στις μεταβολές της οξύτητας της ραδιενεργούς σκόνης που παγιδεύτηκε μέσω των ετήσιων χιονοπτώσεων στα στρώματα πάγου της περιοχής.

Στην προσπάθεια για την καλύτερη ερμηνεία του παλαιοκλίματος της περιοχής της Σαντορίνης αλλά και της Μεσογείου αυτά τα οποία θα δώσουν τα αποτελέσματα είναι τα φυτικά απολιθώματα που βρίσκονται σε αφθονία συγκεντρώσεως μέσα στους ηφαιστειακούς τόφρους οι οποίοι αναπτύσσονται μεταξύ της Μεσαιάς Σειράς Κίσηρης και της Ανώτερης Σειράς Κίσηρης. Αυτή η παλαιοκλωρίδα που συναντάτε στην Σαντορίνη δίνει μοναδικά στοιχεία για την Τεταρτογενή βλάστηση της Ελλάδος και για το κλίμα που επικρατούσε τότε.

Τα σημαντικότερα φυτικά απολιθώματα που συναντούνται είναι τα *Phoenix theophrasti* (είδος φοίνικα), *Pistacia lentiscus* (είδος φυσικιάς), *Olea europea* (είδος ελιάς). Τα φυτικά απολιθώματα που συναντούμε στην περιοχή της Σαντορίνης συγκρίνονται με αυτά που έχουν βρεθεί και σε άλλες περιοχές με τόφρους, στον Ελλαδικό χώρο όπως αυτές της Λέσβου και της Εύβοιας. Τέλος, η ομοιότητα της απολιθωμένης κλωρίδας της Σαντορίνης, με αυτή της Ελλάδας αλλά και της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου φανερώνει τις ελάχιστες μεταβολές που έχει υποστεί το κλίμα από τότε μέχρι σήμερα.

Βάση λοιπόν του ότι ο φοίνικας είναι χαρακτηριστικός κλιματολογικός δείκτης και του ότι εμφανίζεται τόσο σαν απολιθωμένη μορφή ως και σαν ζώσα στην Σαντορίνη, μπορούμε να πούμε, βασιζόμενοι στις κλιματικές συνθήκες που ζουν τώρα οι φοίνικες, ότι στο νησί επικρατούσε πριν από 50.000 χρ. μια μέση ετήσια θερμοκρασία 18° C, με τρεις μήνες χειμώνα και το χειμώνα η θερμοκρασία να μην πέφτει κάτω από τους 0° C, δηλαδή συνθήκες παρόμοιες με τις σημερινές.

Μετά από ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα το ηφαίστειο της Σαντορίνης ξαναπαρουσιάζει για πρώτη φορά ηφαιστειακή δράση το 157 π.Χ. την οποία αναφέρει ο Στράβων και εντοπίζεται στην θαλάσσια περιοχή του κέντρου της καλδέρας, στην περιοχή που καταλαμβάνει η σημερινή Παλαιά Καμμένη. Στην ίδια περιοχή έντονη εκρηκτική δράση και παραγωγή τέφρας, κίσηρης και λάβας είχε σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί η Π. Καμμένη στην βορειοανατολική της πλευρά.

Η τελευταία ηφαιστειακή δραστηριότητα στην Π. Καμμένη εντοπίζεται το 1457, ενώ το μετέπειτα ηφαιστειακό κέντρο μετατοπίζεται βορειοανατολικότερα, με έναρξη δραστηριότητας το 1573 και τον σχηματισμό της Μικρής Καμμένης.

Σημαντική είναι και η έντονη δράση του ηφαιστείου κατά το 1650 με κέντρο δράσης 6.5 χλμ, βορειοανατολικά του ακρωτηρίου Κολούμπο, όπου παρατηρήθηκε εκτίναξη μεγάλων ποσοτήτων κίσηρης και αερίων φάσεων και δημιουργία μεγάλου ηφαιστειακού κύματος που έφτασε ως την Κρήτη.

Συνεχής σταδιακή ηφαιστειακή δραστηριότητα στην περιοχή κατά τα διαστήματα 1707-1711, 1866-1870, 1925-1926, 1928, 1931-1941 και η πιο πρόσφατη του 1950 είχε ως αποτέλεσμα την συνεχή πρόσθεση νέων τμημάτων στην Ν. Καμμένη.

Η παραπάνω ηφαιστειακή δραστηριότητα είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία νέων ηφαιστειακών προϊόντων των οποίων ο συνολικός όγκος εκτιμάται σε 2.5 χλμ³. Σήμερα θεωρείται ότι τα νησιά Παλαιά και Νέα Καμμένη συνεχίζουν αργά αλλά σταθερά να αυξάνουν το μέγεθός τους και να γεμίζουν σταδιακά την καλδέρα. Έτσι υπολογίζεται ότι σε μερικές χιλιάδες χρόνια η δραστηριότητα του νησιού θα ηρεμήσει και το ηφαίστειο θα προετοιμαστεί για μια νέα έκρηξη.

Εκτός από την γεωλογική σημασία του νησιού της Σαντορίνης σαν ένα ενεργό ηφαίστειο, με την ύπαρξη μίας από τις πιο αξιόλογες καλδέρες του κόσμου, σημαντική

θέση καταλαμβάνει το νησί και στον χώρο της αρχαιολογίας. Αυτό γιατί στο νησί υπάρχει ένας πολιτισμός θαμμένος, με παρόμοιο τρόπο όπως η Πομπηία στην σκιά του Βεζούβιου, κάτω από τα προϊόντα ηφαιστειακής δραστηριότητας, αλλά παλαιότερος κατά 1500 χρ.

Η κύρια ανασκαφική δραστηριότητα εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά της Θήρας στην περιοχή του Ακρωτηρίου και έχει φέρει στην επιφάνεια μια ολόκληρη πολιτεία.

III. ΠΙΚΕΡΜΙΚΗ ΠΑΝΙΔΑ

Η ανακάλυψη της απολιθωματοφόρου θέσεως στο Μεγάλο Ρέμα του Πικερμίου το 1835, αποτέλεσε σημαντικό σταθμό για την επιστήμη της Παλαιοντολογίας και Γεωλογίας γενικότερα. Ο μοναδικός πλούτος απολιθωμάτων αυτής της θέσεως την έχει καταστήσει ονομαστή σε όλον τον κόσμο, και την έχει αναδείξει σε μνημείο φυσικής ιστορίας των απολιθωμένων πανίδων της Ελλάδος. Η πανίδα του Πικερμίου προσελκύει το ενδιαφέρον πλήθους επιστημόνων από την Ελλάδα και το εξωτερικό, και αποτελεί σημείο αναφοράς πολλών επιστημονικών δημοσιεύσεων.

Τα πρώτα απολιθώματα βρέθηκαν στην κλασική θέση του Πικερμίου από τον Αγγλο αρχαιολόγο Finlay (1835) ο οποίος μαζί με τον ορνιθολόγο Lindermayer, έκανε τις πρώτες ανασκαφές. Τα ευρήματα των ανασκαφών αυτών εδωρήθησαν στην τότε ιδρυθείσα Φυσιογραφική Εταιρία των Αθηνών, και τα μελέτησε για πρώτη φορά ο Γερμανός Roth, το 1837.

Εξαιρετικά σημαντική για τη συνέχιση των ανασκαφών στο Πικέρμι υπήρξε η ανακάλυψη το 1838 ορισμένων απολιθωμάτων από έναν Βαυαρό στρατιώτη. Αυτός θεώρησε τους κρυστάλλους ασβεσίτη που είχαν σχηματιστεί εντός των κοιλοτήτων ορισμένων οστών διαμάντια, και μετέβη στο Μόναχο όπου ο καθηγητής Ζωολογίας και Παλαιοντολογίας Wagner αναγνώρισε μια κάτω γνάθο πρωτεύοντος. Αυτά ήταν και τα πρώτα απολιθώματα που με βεβαιότητα ανήκαν σε πρωτεύον και δημοσιεύονται για πρώτη φορά από τον Wagner το 1839.

Η περιοχή του Πικερμίου είναι γνωστή χάρη στην πληθώρα απολιθωμένων ζώων που βρέθηκαν εκεί στις κατά καιρούς ανασκαφές. Ο ζωικός αυτός κόσμος έζησε κατά τον ανώτερο Μειόκαινο, δηλαδή περίπου πριν από 9,5-5,5 εκ. χρ. Τυπικές εμφανίσεις της πικερμικής πανίδας βρέθηκαν κατά καιρούς και σε άλλες περιοχές της χώρας μας, όπως στους Αγίους Αναργύρους (Πύργος Βασιλίσσης), στα Κιούρκα, στο Χαλκούτσι, στην Τανάγρα, στην Εύβοια (Αλμυροπόταμος, Αγ. Τριάδα, Αχμέτ Αγά, Ροβιές, Αχλάδια), στη Σάμο, στην Κω, στη Ρόδο, στις Σποράδες, στη Θεσσαλία (Αλίφακας), στη Χαλκιδική, στο Βαθύλακκο του Αζιού, καθώς και σε διάφορες θέσεις της Ευρώπης και της Μεσογείου.

Η πεδινή περιοχή γύρω από το χωριό Κάτω Πικέρμι καλύπτεται από τεταρτογενούς και νεογενούς ηλικίας ιζημάτα, τα οποία περιβάλλονται από λόφους προνεογενών οχιστόλιθων και μαρμάρων. Από το βουνό Πεντελικό ρέει τους χειμερινούς μήνες με διεύθυνση Βορράς-Νότος ο χειμαρρος Μεγάλο Ρέμα, στο βαθύτερο τμήμα της κοίτης του οποίου βρέθηκαν πλούσια απολιθώματα ζώων, που είναι γνωστά παγκοσμίως ως πικερμική πανίδα. Στα στρώματα του ποταμού και στη γύρω περιοχή απαντώνται αργλικές αποθέσεις ερυθρού χρώματος, γνωστές ως πικερμική άργιλος.

Περιγραφή της πικερμικής πανίδας

Η περίφημη και παγκοσμίως γνωστή πικερμική πανίδα αποτελείται από τα: *Hipparion gracile brachypus*, *Hipparion mediterraneum*, *Bunolophodon pentelici*, *Dinotherium giganteum*, *Pliohyrax graecus*, *Ancylotherium pentelicum*, *Pliocervus pentelici*, *Tragoceras amaltheus*, *Gazella brevicornis*, *Microstonyx major erymanthius*, *Simacyon primigenius*, *Ictitherium robustum*, *Machairodus aphanistus*, *Diceras pachygnathus*, *Helladotherium duvernoyi*, *Giraffa attica*, *Felis attica*, *Hyaenictis graeca*, *Crocota eximia*, *Mesopithecus pentelici*, *Struthio sp.*, *Palaeotragus romeni*, *Testudo schaferi*, *Testudo marmorum* κλπ.

Η πανίδα χαρακτηρίζεται από την άφθονη παρουσία οστών του γένους *Hipparion*, προγόνου του σημερινού αλόγου. Πρόκειται για ένα τριδάκτυλο ίππο που είχε το μέγεθος της σύγχρονης ζέμπρας. Ακολουθεί μεγάλος αριθμός βοοειδών (αντιλόπες και κατσίκες), καμηλοπαρδάλεις. Μεταξύ των σαρκοφάγων διάφορα είδη υαινών. Ένα από τα πλέον αξιόλογα ευρήματα από τα πρωτεύοντα είναι ο *Mesopithecus pentelicus*, που

απαντάται σε σχετική αφθονία. Σήμερα ο αντιπρόσωπος αυτός των πρωτευόντων είναι πλέον από τα πλήρως γνωστά απολιθωμένα είδη των κερκοπιθήκων και πολύ συγγενές προς τα σύγχρονα *Colobines*. Εκτός από τα παραπάνω έχουν βρεθεί τα μεγάλα σαρκοφάγα των μαχαιρόδοντων, διάφοροι ρινόκεροι και προβοσκιδωτά, αγριόχοιροι, ελαφοειδή, σκαντζόχοιροι και διάφορα άλλα ζώα. Έχουν βρεθεί επίσης υπερμεγέθεις χελώνες και διάφορα είδη πτηνών. Επίσης, βρέθηκαν δύο είδη ρινόκερων της οικογένειας χωρίς κέρατα, η οποία δεν άφησε απογόνους, καθώς και ρινόκεροι με 2 κέρατα, οι οποίοι είναι συγγενείς των σημερινών Αφρικανικών ρινόκερων, καθώς και του ρινόκερου της Σουμάτρας. Ένα από τα πιο αξιόλογα για το μέγεθός τους ζώα είναι και το γιγαντιαίο *Dinotherium* το οποίο δεν έχει κανέναν απόγονο στο σημερινό ζωικό κόσμο. Στην κάτω γνάθο του είχε μάλιστα δύο καυλιόδοντες ισχυρούς και κυρτωμένους προς τα κάτω.

Στο Πικέρμι αντιπροσωπεύονται και διάφορα αρπακτικά ζώα, αν και ο αριθμός τους είναι μικρός συγκριτικά με τα άλλα ζώα. Την πρώτη θέση κατέχει ένα μεγάλο σαρκοφάγο ζώο, ο Μαχαιρόδους, τιγροειδές με πεπλατυσμένους κοφτερούς κυνόδοντες, το οποίο δεν έχει κανέναν εκπρόσωπο σήμερα. Η επιμήκυνση των δοντιών αυτών ήταν υπερφυσική (περίπου 20 εκατοστά), ώστε δύσκολα μπορεί κανείς να φανταστεί τη χρήση των φοβερών αυτών όπλων.

Ο χαρακτήρας της πικερμικής πανίδας είναι πανομοιότυπος με αυτόν της ανατολικής Αφρικής, με περιβάλλον ανοικτής σαβάνας. Όμως, αν και η πανίδα αυτή είχε ήδη μελετηθεί τόσο πολύ, οι τελευταίες ανασκαφικές έρευνες πρόσθεσαν αρκετά νέα στοιχεία και συμπεράσματα. Μια ενδιαφέρουσα ανακάλυψη υποδηλωτική του χαρακτήρα της πανίδας και του οικολογικού περιβάλλοντος ήταν η ανακάλυψη της στρουθοκαμήλου *Struthio cf. Karatheodoris*. Επίσης, η επανεξέταση του υλικού των απολιθωμένων χελωνών έφερε στο φως στοιχεία για την ύπαρξη μιας γιγαντιαίας χελώνας *Testudo cf. Schafferi*, το μέγεθος του καλύμματός της οποίας πρέπει να έφτανε τα 2,80μ και αντιπροσωπεύεται με παχέα τμήματα του καλύμματος και οστά του σκελετού. Η χελώνα είναι η μεγαλύτερη που έζησε σε ευρωπαϊκό έδαφος.

Εμφάνιση και θεωρίες σχετικά με την προέλευση των ιζημάτων. Η κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου

Οι ανασκαφές της κλασικής τοποθεσίας στο Μεγάλο Ρέμα αποκάλυψαν έναν μεγάλο πάχος σχηματισμό ερυθρών αργίλων με ενδιαστρώσεις από κροκάλες και λατύπες. Ολοι οι γεωλόγοι που έχουν εργαστεί στο Μεγάλο Ρέμα περιγράφουν τα οστεοφόρα στρώματα ως φακοειδείς ενδιαστρώσεις εντός των ερυθρών αργίλων με πάχος μεγαλύτερο του μισού μέτρου. Κατά τον Γουντγουορντ πρόκειται περί ποταμοχειμάρριου περιβάλλοντος.

Η ανεύρεση συνδεδεμένων σκελετικών τμημάτων (άκρα διαφόρων ζώων ή συνδεδεμένα τμήματα της σπονδυλικής στήλης) δείχνει ότι αυτά θα ήταν συνδεδεμένα με αποξηραμένους μυς προ της απολιθωματοποίησης. Πάντως, τα περισσότερα οστά και κρανία είναι απομονωμένα και θραυσμένα λόγω της ποταμοχειμάρριας μεταφοράς. Κατά μία θεωρία η κρημνώδης χαράδρα του Μεγάλου Ρέματος υπήρξε θέατρο κατακρημνίσεων πανικόβλητων ζώων κατά αγέλες, εξαιτίας των πυρκαγιών της φυτικής έκτασης που υπήρχε τότε στην περιοχή. Απόδειξη του γεγονότος αυτού αποτελεί και η πληθώρα των θραυσμένων οστών. Άλλη θεωρία δέχεται την ποταμοχειμάρρια μεταφορά, καθώς και το ότι φακοειδείς συγκεντρώσεις οστών αντιπροσωπεύουν θέσεις τροφής σαρκοφάγων. Μια διαφορετική θεωρία δέχεται ότι οι τοπικές συγκεντρώσεις των οστών οφείλονται κυρίως στις τρομερές ξηρασίες καταστροφικής έκτασης, οι οποίες επηρέασαν τα κοπάδια οπληφόρων ζώων. Στις τελευταίες εστίες νερού βρέθηκαν ζώα που προέρχονται από διαφορετικούς βιοτόπους. Στο μαζικό θάνατο των ζώων αυτών οφείλεται η δημιουργία των οστεοπαγών θέσεων. Κατόπιν, δυνατές βροχοπτώσεις ξέπλυναν τα οστά και τους ερυθρούς πηλούς και σχημάτισαν τα στρώματα των ερυθρών πηλών με τις τοπικές φακοειδείς συγκεντρώσεις απολιθωμάτων. Πολυάριθμες άλλες λεπτομερείς παρατηρήσεις απέδειξαν αυτή την τελευταία θεωρία. Υπάρχουν υπολείμματα σκελετών όπου είναι εμφανές ότι τα οστά τους ήταν συνδεδεμένα πριν της λιθοποίησης. Υπάρχουν κρανία με κάτω σαγώνα και φραγμένες οπές καθώς και ίχνη δαγκωμάτων και κοπρόλιθοι. Βρέθηκε επίσης ένα κρανίο μεσοπιθήκου συνδεδεμένο με σπονδύλους.

Ενώ στην παλαιότερη βιβλιογραφία υπερείχε η ιδέα ότι τα οστά εγκλείσθηκαν από ποταμοχειμάρριες αποθέσεις που προκλήθηκαν από έναν παλιό ποταμό, όπως το

Μεγάλο Ρέμα, αντίθετα οι εκτεταμένες αποθέσεις στις χωματερές δείχνουν μια άλλη κατάσταση. Οι κλασικές τοποθεσίες με τα φακοειδή απολιθωματοφόρα στρώματα έδωσαν την εντύπωση μιας τοπικά πολύ περιορισμένης εμφάνισης και ο Αμπελ κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αυτοί οι πηλοί του Πικερμίου ήταν μόνο τοπικοί και πολύ περιορισμένοι στην εξάπλωσή τους. Εντούτοις, οι μεγάλες εμφανίσεις στις Χωματερές παρουσιάζουν τον ερυθρό πηλό σαν ένα παχύ, στρωμένο σχηματισμό με πάχος μέχρι 15μ, που δεν έχει φτάσει το μητρικό πέτρωμα. Ανακαλύφθηκαν δύο φακοειδή στρώματα με οστά, το ένα από τα οποία είχε πάχος μέχρι 0,8μ και γύρω στα 7μ κάτω από την επιφάνεια της εμφάνισης. Περίπου 25μ² από το μεγαλύτερο έχουν εκτεθεί τεχνητά για να αποτελέσουν ένα μουσείο in situ και να γίνεται επίδειξη των σπουδαίων αυτών συγκεντρώσεων οστών. Το οστεροφόρο αυτό στρώμα είναι σημαντικό, γιατί η συγκέντρωσή του δεν μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με μια ποταμοχειμάρρια μεταφορά.

Παρατηρείται, λοιπόν, μια συγκέντρωση εν μέρει μεγάλων οστών που δεν μπορεί να εξηγηθεί, αν υποτεθεί ότι πρόκειται για ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, εφόσον λείπουν κάθε είδους κροκάλες. Χωρίς αμφιβολία πρόκειται για το κεντρικό τμήμα μιας ιζηματογενούς λεκάνης, όπου οι κλασικές τοποθεσίες στο Μεγάλο Ρέμα τοποθετούνται μάλλον στο εξωτερικό όριο της λεκάνης. Όσον αφορά αυτό το είδος των αποθέσεων, πρέπει να λάβει υπόψη κανείς μερικές άλλες πιθανότητες. Ετσι, θα ήταν δυνατό οι ερυθροί πηλοί του Πικερμίου να έχουν εκτυλιχθεί σε επίπεδες λεκάνες από τις εποχιακές βροχοπτώσεις. Οι επίπεδες αυτές λεκάνες ξηράνθηκαν και πάλι εντελώς, πριν μπορέσει να αναπτυχθεί οποιαδήποτε λιμναία ζωή. Γι' αυτό τα χερσαία γαστερόποδα σπάνια βρίσκονται μέσα στους πικερμικούς πηλούς, ενώ θα ταίριαζαν πολύ σε αυτό το περιβάλλον. Κατά τη διάρκεια αυτής της ξηρασίας θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι μεγάλος αριθμός ζώων συγκεντρώθηκε γύρω από τις τελευταίες μικρές λίμνες ύδατος αυτής της λεκάνης και πέθαναν εκεί. Τα σαρκοφάγα ξέσχισαν τα πτώματα και ειδικά οι ύαινες, που μασούσαν τα οστά αφήνοντας πολύ χαρακτηριστικά βιοδηλωτικά ίχνη. Η γενική έλλειψη πλευρών και ο μεγάλος αριθμός σπασμένων και εν μέρει κατεστραμμένων σκελετικών υπολειμμάτων μπορεί να εξηγηθεί με αυτόν τον τρόπο πιο εύκολα. Καθώς αυτές οι προσωρινές λεκάνες γέμιζαν πάλι με νερό, τα ακίνητα συνδεδεμένα σκελετικά υπολείμματα αποσυνδέθηκαν από τις ελαφρές κινήσεις του νερού και αργότερα καλύφθηκαν από ερυθρές ιλύες. Η ερμηνεία των ερυθρών πηλών του Πικερμίου δίνεται από τους Μαρίνο και Συμεωνίδη (1973), οι οποίοι βασιζόμενοι στο γεγονός των μη αποστρογγυλεμένων άκρων των οστών αποδεικνύουν ότι δεν πρόκειται περί μηχανικής μεταφοράς αλλά συνάγεται μεταφορά αδιάλυτων πτωμάτων υπό του ύδατος και συσσώρευσή τους σε θέσεις ευνοϊκές γι' αυτό, όπου και γινόταν η φυσική ταφή τους με άμμους αργίλους και κροκάλες. Στην ίδια περιοχή ήταν πιθανό επίσης να συγκεντρώνονται πολλά ζώα σε αποξηραίνόμενα τενάγη, να πεθαίνουν λόγω δίψας και να μεταφέρονται κατά τις εποχές των ραγδαίων βροχών.

ΑΛΛΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ

Μεταλλεία

- > Λαυρεωτική
- > Μεταλλεία των Κυκλάδων
- > Παγγαίο
- > Παλαιά Καβάλα
- > Λευκή (Καβάλα)
- > Κουπανάδα - αρχαία μεταλλεία της Θάσου

Σπήλαια και καρστικά φαινόμενα

- > Θαλάσσιοι μύλοι Αργοστολίου
- > Σπήλαιο Γλυφάδα Δυρού
- > Σπήλαιο Αλεπότρυπα
- > Σπήλαιο Λιμνών Καστριών Καλαβρύτων
- > Σπήλαιο Κουτούκι Αττικής
- > Σπήλαιο Παραστά Καστελλόριζου
- > Σπήλαιο Πετραλώνων Χαλκιδικής

- Σπήλαιο Περάματος Ιωαννίνων

Φαράγγια

- Φαράγγι της Σαμαριάς
- Χαράδρα του Βουραϊκού
- Χαράδρα Ρέκας (όρος Γκιώνα)
- Χαράδρα Κλεισούρας Αιτωλικού
- Κοιλάδα των Τεμπών
- Χαράδρα του Βίκου

Ράχεις

- Ράχη Λαγκαδά – Ταυγέτου
- Ράχη Πέτρα (Ηπειρος)

Νησιά

- Ποντικονήσι
- Μαδούρι
- Σφακτηρία –Ναυαρίνο

Καταρράκτες

- Καταρράκτες της Εδεσσας
- Καταρράκτες της Αραπίτσας – Νάουσα
- Καταρράκτες των Τζουμέρκων

Άλλες περιοχές

- Η παραλία Γέρακα στη Ζάκυνθο όπου το θαλάσσιο πάρκο αναπαραγωγής της χελώνας *Caretta caretta* συνδυάζεται με ένα γεωλογικό μνημείο – το όριο Πλειοκαίνου/Πλειστοκαίνου που έχει προσδιορισθεί στα ιζήματα συνεχούς φυσικής τομής που εκτείνεται στην συγκεκριμένη παραλία.
- Λίμνη Κουρνά Κρήτης (η μοναδική στο νησί).
- Ο βράχος της Μονεμβασιάς
- Παλαμήδι
- Ακροκόρινθος
- Η περιοχή του αρχαίου θεάτρου της Επιδαύρου
- Τα αρχαία λατομεία μαρμάρου στη Νάξο, Πάρο και Θάσο
- Η περιοχή Ξηροβουνίου – Σκοτεινής Ευβοίας με καρστικά φαινόμενα
- Η μεγάλη παραλία της Ποταμιάς στην Κύμη Ευβοίας
- Η περιοχή «Ζωστήρας» που διαχωρίζει τη θάλασσα από την λιμνοθάλασσα του Λαγκαδά.
- Το πλήθος των σπηλαίων του ελλαδικού χώρου

ΣΕΙΣΜΟΙ

Στην επιφάνεια της Γης παρατηρούνται καθημερινά διάφορες εδαφικές κινήσεις μικρής ή μεγάλης περιόδου. Οι εδαφικές κινήσεις μικρής περιόδου, οι οποίες παράγονται από φυσικά αίτια που βρίσκονται στο εσωτερικό της Γης χαρακτηρίζονται γενικά ως σεισμοί.

Οι σεισμοί, όταν εξετάζονται ως προς τα αίτια τους, είναι γεωλογικά φαινόμενα, η έκλυση όμως της ενεργείας των σεισμών και ο τρόπος μετάδοσής τους διέπονται από τους νόμους της Φυσικής.

Για την έρευνα του φαινομένου των σεισμών εφαρμόζονται συνήθως δύο μέθοδοι εργασίας: η Γεωλογικογεωγραφική και η Φυσικομαθηματική.

Η Γεωλογικογεωγραφική έρευνα των σεισμών βασίζεται σε παρατηρήσεις, που γίνονται απ' ευθείας με τις αισθήσεις του ανθρώπου, πάνω στα σεισμικά αποτελέσματα. Οι

υποκειμενικές αυτές παρατηρήσεις καλούνται μακροσεισμικές (Μακροσεισμική μέθοδος).

Η Φυσικομαθηματική έρευνα των σεισμών βασίζεται στις αναγραφές από κατάλληλα ευαίσθητα όργανα των ελαστικών σεισμικών κυμάτων που παράγονται στο εσωτερικό της Γης. Οι παρατηρήσεις που γίνονται μέσω των οργάνων τούτων ονομάζονται μικροσεισμικές (Μικροσεισμική μέθοδος).

Η Σεισμολογία είναι κλάδος της Γεωφυσικής, ο οποίος ασχολείται με την Φυσιολογία και Ανατομία του Εσωτερικού της Γης, που είναι απρόσιτο στην άμεση παρατήρηση. Η έρευνα των σεισμικών αναγραφών παρέχει τα πλέον άμεσα και ακριβή δεδομένα όσον αφορά τη δομή του εσωτερικού της Γης. Η έρευνα του Εσωτερικού της Γης έχει μεγάλη πρακτική αξία για την ευημερία του ανθρώπου. Από τους διάφορους πρακτικούς σκοπούς της Εφηρμοσμένης Σεισμολογίας περιοριζόμαστε να αναφέρουμε ότι όλα τα κοιτάσματα πετρελαίου ανευρίσκονται σήμερα με σεισμολογικές μεθόδους. Όσα κοιτάσματα πετρελαίου παρουσιάζουν επιφανειακές εκδηλώσεις και μπορούν να εντοπισθούν με καθαρά γεωλογικές μεθόδους έχουν εξαντλητικά ερευνηθεί.

Τρόπος γένεσης των Σεισμών

Το τμήμα της λιθόσφαιρας γύρω από το ρήγμα, το οποίο παραμορφώνεται πριν από τη γένεση ενός σεισμού και περιέχει όλη την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη γένεση του σεισμού λέγεται σεισμογόνος χώρος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χώρος αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η σεισμική ενέργεια που θα απελευθερωθεί, δηλαδή τόσο μεγαλύτερος είναι ο σεισμός που θα γίνει.

Επειδή οι τεκτονικές δυνάμεις εξακολουθούν να ασκούνται στα πετρώματα, η διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω επαναλαμβάνεται μέχρι τη γένεση νέου σεισμού.

Η διάρρηξη αρχίζει σε ορισμένο σημείο F του ρήγματος και προχωράει πάνω στο ρήγμα προς ορισμένη κατεύθυνση και με ορισμένη ταχύτητα διάρρηξης (3 κλμ/sec) μέχρις ότου φθάσει σε ένα άλλο σημείο R του ρήγματος, όπου θα σταματήσει. Το σημείο F του ρήγματος όπου αρχίζει η διάρρηξη λέγεται εστία του σεισμού. Έτσι, αν διαιρέσουμε το μήκος διάρρηξης FR με την ταχύτητα διάρρηξης βρίσκουμε τον χρόνο διάρρηξης. Η διάρρηξη μπορεί να προχωρήσει από την εστία προς μια μόνο κατεύθυνση (μονοκατευθυντική) προς δύο αντίθετες κατευθύνσεις (δικατευθυντική) ή προς διάφορες κατευθύνσεις (πολυκατευθυντική).

Το σημείο E της επιφάνειας της Γης που βρίσκεται ακριβώς πάνω από την εστία (στην ίδια κατακόρυφο) λέγεται επίκεντρο του σεισμού, ενώ η απόσταση EF=h μεταξύ του επίκεντρου και της εστίας λέγεται εστιακό βάθος του σεισμού.

Είναι γνωστό ότι γένεση ενός σεισμού είναι η απελευθέρωση ενέργειας στην εστία του, η οποία είχε συσσωρευτεί στο σεισμογόνο χώρο του με τη μορφή ενέργειας παραμόρφωσης των πετρωμάτων του χώρου αυτού. Κατά την απελευθέρωση της, η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε κυματική ενέργεια στην οποία οφείλονται τα σεισμικά κύματα.

Επειδή κατά τη γένεση ενός σεισμού πραγματοποιείται μεταβολή τόσο του όγκου όσο και του σχήματος των πετρωμάτων, παράγονται δύο είδη σεισμικών κυμάτων στην εστία κάθε σεισμού: Τα επιμήκη σεισμικά κύματα (P) και τα εγκάρσια σεισμικά κύματα (S). Κατά τη διάδοση των επιμήκων κυμάτων τα υλικά σημεία του μέσου διάδοσης ταλαντώνονται παράλληλα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος ενώ κατά τη διάδοση των εγκαρσίων κυμάτων τα υλικά σημεία ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Σε μικρές αποστάσεις από την εστία του σεισμού τα πλάτη των εγκαρσίων κυμάτων είναι μεγαλύτερα από τα πλάτη των άλλων κυμάτων και γι' αυτό αυτά προκαλούν κατά κύριο λόγο τις καταστροφές.

Κατά τον κύριο σεισμό δεν εκλύεται όλη η ενέργεια, που οφείλεται στην παραμόρφωση του πετρώματος αλλά μέρος αυτής. Η υπόλοιπη ενέργεια είναι συσσωρευμένη σε ασθενή σημεία του πετρώματος που δημιουργήθηκαν κατά τον κύριο σεισμό και εκλύεται με τη μορφή μετασεισμών. Ο αριθμός των μετασεισμών είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των προσεισμών, γιατί ο κύριος σεισμός προκαλεί νέες ρωγμές και

αυξάνεται έτσι ο αριθμός των ανώμαλων σημείων. Όταν το υλικό του σεισμικού χώρου είναι ομογενές, δε συμβαίνουν προσεισμοί αλλά μόνο μετασεισμοί, ενώ όταν το υλικό είναι ανομοιογενές συμβαίνουν και προσεισμοί.

Τόσο για πρακτικούς όσο και για θεωρητικούς λόγους υπάρχει ανάγκη να μπορούμε να μετράμε τη σεισμική ενέργεια που απελευθερώνεται στην εστία του σεισμού και τα μακροσεισμικά αποτελέσματα των σεισμών (στα κτίρια, στο έδαφος, στους ανθρώπους κλπ). Η παραδοσιακή ποσότητα που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων του λέγεται ένταση του σεισμού.

Ο κλασσικός τρόπος προσδιορισμού του μεγέθους ενός σεισμού βασίζεται σε μετρήσεις των πλατών των διαφόρων ειδών σεισμικών κυμάτων, όπως τα κύματα αυτά γράφονται από τα σεισμόμετρα στους σεισμολογικούς σταθμούς.

Όσον αφορά την ένταση του σεισμού, ο καθορισμός ενός μόνο φυσικού μεγέθους ως μέτρο των σεισμικών βλαβών είναι αδύνατος, γιατί οι βλάβες εξαρτώνται από διάφορα στοιχεία της σεισμικής κίνησης (εδafική επιτάχυνση, ταχύτητα, περίοδος, διάρκεια) και της τεχνικής κατασκευής (ιδιοπερίοδος, παράγοντας απόσβεσης, πλαστικότητα). Για το λόγο αυτό, αντί της ακριβούς μέτρησης των σεισμικών βλαβών γίνεται συνήθως ποιοτική εκτίμηση αυτών με βάση εμπειρικές κλίμακες μακροσεισμικών εντάσεων.

Τα αίτια γένεσης των σεισμών στον ελλαδικό χώρο

Σήμερα η πιο επιτυχής αντιμετώπιση ενός σεισμού είναι η εφαρμογή σωστής αντισεισμικής πολιτικής, στην οποία υπάγονται πολλά θέματα, όπως αυτό των αντισεισμικών κατασκευών ανάλογα με τη σεισμική επικινδυνότητα του τόπου, το θέμα των εκτάκτων μέτρων προστασίας κατά τη σεισμική περίοδο και διάφορα άλλα. Κάθε κανονισμός για τη μελέτη και κατασκευή αντισεισμικών κατασκευών λαμβάνει υπόψη του τα κοινωνικά - τεχνικά - οικονομικά - σεισμολογικά - περιβαλλοντικά και λοιπά δεδομένα που ισχύουν σε μια χώρα την εποχή που φτιάχτηκε. Όλα αυτά βασίζονται στην πείρα, που έχει αποκτήσει ο άνθρωπος και ιδιαίτερα οι ειδικοί επιστήμονες από τις μελέτες για τη συμπεριφορά των σεισμικών φαινομένων και των βλαβών που έχουν προξενήσει αυτά στις οικοδομές. Οι αντισεισμικές κατασκευές δεν αποτελούν πάντοτε πανάκεια, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και οι γεωλογικές συνθήκες κάθε περιοχής. Στην Καλαμάτα π.χ. τα κτίρια στις προσχώσεις του Πάμισου δεν έπρεπε να χτιστούν, γιατί οι αντισεισμικές κατασκευές που προβλέπονταν, αδυνατούσαν να αποδώσουν στις υπάρχουσες συνθήκες σε μελλοντικούς σεισμούς, όπως συνέβη στις 13-9-1986, στο σεισμό της Καλαμάτας.

Η περιοχή της Καλαμάτας κατά τα 13 χρόνια, που πέρασαν από τον καταστρεπτικό σεισμό της 13-9-1986, μελετήθηκε τόσο από σεισμολογικής άποψης όσο και από πλευράς αντισεισμικού σχεδιασμού όσο καμιά άλλη σεισμόπληκτη ελληνική περιοχή.

Πολλά λάθη θα είχαν αποφευχθεί αν δεν είχαν αγνοηθεί βασικά πορίσματα προηγούμενων μελετών, που αναφέρονται στις συνθήκες, οι οποίες καθορίζουν την επικινδυνότητα του εδάφους θεμελίωσης κτιρίων.

Εντύπωση στους νεότερους μελετητές προξένησε ότι ένας σεισμός με μέγεθος 6,2 R προκάλεσε πολύ μεγαλύτερες καταστροφές σε ορισμένες περιοχές της πόλης, απ' ότι έχουν προξενήσει ισχυρότεροι σεισμοί σε άλλες ελληνικές περιοχές. Έτσι, αυτό αποδόθηκε στο μεγάλο μέγεθος του σεισμού, στο ότι η εστία βρίσκεται "σχεδόν" κάτω από την πόλη, στα παλιά κτήρια που έχουν καταπονηθεί σε προηγούμενους σεισμούς χωρίς να έχουν κατασκευαστεί σωστά, στην ποιότητα και τη σύνθεση των εδαφών και στο έδαφος.

Πολύ μεγάλη σημασία στη διερεύνηση των παραγόντων, οι οποίοι συνήθως επηρεάζουν τη σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής περισσότερο απ' ότι το μέγεθος του σεισμού, έχουν οι τοπικοί παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι ακόλουθοι: 1. Σε πολλά τμήματα της Καλαμάτας το έδαφος θεμελίωσης αποτελείται από χαλαρά ιζήματα με μικρό πάχος πάνω σε στερεό υπέδαφος, με αποτέλεσμα την αύξηση του πλάτους της σεισμικής δόνησης και συνεπώς της επικινδυνότητας. 2. Η ανισοπαχής ανάπτυξη του χαλαρού εδάφους, που μερικές φορές ευνοεί τα φαινόμενα συντονισμού των ιδιοκυμάνσεων των κτιρίων με ιδιοκυμάνσεις του εδάφους θεμελίωσης, ενώ σε άλλες περιπτώσεις αιτία των καταστροφών ήταν η ανισομερής κατακάθιση του χαλαρού εδάφους θεμελίωσης. 3. Η εμφάνιση χαλαρών πετρωμάτων με μικρές διαστάσεις πάνω

σε συμπαγή, που και αυτό ευνοεί τα φαινόμενα συντονισμού, όπως και η παρουσία μεταπτώσεων αυξάνουν την επικινδυνότητα.

Είναι γνωστό ότι η ένταση ενός σεισμού σε μια περιοχή δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος του σεισμού αλλά και από τη σύσταση του εδάφους θεμελίωσης, τη θέση και τη φυσική κατάσταση των πετρωμάτων του, το πάχος τους και από τη γεωλογική τους θέση σε σχέση με τα γειτονικά πετρώματα. Επίσης εξαρτάται και από τη διεύθυνση της πρόσπτωσης των σεισμικών κυμάτων. Έτσι, σε μια πόλη με μεγάλη έκταση, στην οποία το έδαφος θεμελίωσης διαφέρει από γειτονιά σε γειτονιά, τα αποτελέσματα του σεισμού αναμένεται να είναι διαφορετικά στα διάφορα τμήματα της πόλης αυτής. Αν λάβουμε υπόψη ότι κάθε οικοδόμημα συμπεριφέρεται κατά τους σεισμούς σαν απλούστατος σειсмоγράφος και κατά προσέγγιση σαν σειсмоγράφος με χαλαρή εξασθένηση, η εξέταση των πολυάριθμων κτιρίων μιας πόλης, τα οποία επλήγησαν από τον σεισμό, μπορεί να μας δώσει πολύτιμα σεισμολογικά στοιχεία, που έχουν σχέση με το πάχος του εδάφους θεμελίωσης, την ποιότητα κατασκευής κτιρίων κλπ.

Η επικινδυνότητα του εδάφους θεμελίωσης αυξάνει, όταν σε μικρό βάθος κάτω από χαλαρά ιζήματα υπάρχει στερεό πέτρωμα. Όταν το πάχος των χαλαρών ιζημάτων είναι μεγάλο γίνεται εξασθένηση της σεισμικής ενέργειας (απορρόφηση) και συνεπώς μείωση της έντασης του σεισμού, ενώ στην αντίθετη περίπτωση γίνεται το αντίθετο, δηλ. ενίσχυση της σεισμικής ενέργειας (αύξηση του πλάτους δονήσεως) και δυνατότητα εμφάνισης συντονισμού εδαφικών και κτιριακών δονήσεων.

Οι πρόσφατοι σεισμοί στην Τουρκία και την Ελλάδα

Ο σεισμός της Νικομήδειας της 17^{ης} Αυγούστου 1999.

Στις 17 Αυγούστου 1999, στις 03.01 ισχυρός σεισμός συγκλόνισε τη βορειοδυτική Τουρκία. Ο σεισμός έγινε αισθητός και στην Ελλάδα, ιδιαίτερα στη Θράκη και στη Μακεδονία. Ήταν ο δεύτερος καταστρεπτικός σεισμός που έγινε στην Τουρκία στο διάστημα της δεκαετίας του '90. Ο προηγούμενος σεισμός, έγινε στο Ερζινκαν το Μάρτιο του 1992.

Οι συνέπειες του σεισμού είναι

- Νεκροί: 15.135. Άλλοι τόσοι περίπου θεωρούνται αγνοούμενοι.
- Τραυματίες: 24.000
- Κατασκευές: κατέρρευσαν περίπου 52.000 κατοικίες, ενώ άλλες 120.000 κατοικίες έχουν υποστεί μη επισκευάσιμες βλάβες.
- Αστεγοί: 600.000

Ο σεισμός αυτός έγινε στο δυτικό άκρο του ρήγματος της βόρειας Ανατολίας. Παρατηρήθηκαν μη συνεχείς διαρρήξεις σε μήκος 110 κλμ ενώ μετρήθηκαν μεταθέσεις των δύο τεμαχών (οριζόντια μετατόπιση) της τάξης των 2,5-3 μ. Ο σειсмоγόνος χώρος έχει διεύθυνση Α-Δ, η οποία συμπίπτει με τη διεύθυνση του ρήγματος.

Ο σεισμός της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 στην Πάρνηθα.

Στις 24.56 ώρα Ελλάδας της 7^{ης} Σεπτεμβρίου 1999 έγινε ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους $M=5,9$. Το επίκεντρο του σεισμού εντοπίστηκε στην περιοχή της Πάρνηθας, 10 κλμ βόρεια της Αθήνας και το εστιακό βάθος σε 30κλμ. Του σεισμού αυτού προηγήθηκαν τέσσερεις προσεισμοί που έγιναν στις 14.38, 14.40, 14.43 και 14.54 ενώ ακολούθησε τλούσια μετασεισμική ακολουθία.

Ο σειсмоγόνος χώρος που ορίζεται από τα επίκεντρα έχει μήκος περίπου 15 κλμ. Το μήκος αυτό δικαιολογεί τη γένεση σεισμού με μέγεθος της τάξης του μεγέθους του κύριου σεισμού της ακολουθίας.

Οι έρευνες πεδίου, στην πλειόσειστη περιοχή, έδειξαν ότι η ζώνη που επλήγη περισσότερο αφορά τις παρυφές της Πάρνηθας, καθώς και τη μεταξύ Πάρνηθας και Πεντέλης περιοχή. Οι μέχρι τώρα παρατηρήσεις δεν έδειξαν επιφανειακή εκδήλωση του σεισμικού ρήγματος, ανάλογη του μεγέθους και του εστιακού βάθους του σεισμού. Εντοπίστηκαν όμως και χαρτογραφήθηκαν μικρού μεγέθους και μήκους εδαφικές ρωγμές, που εκτείνονται από το Δαφνί και τη Φυλή μέχρι τους Θρακομακεδώνες, τόσο σε πρόσφατους γεωλογικούς σχηματισμούς, όσο και σε παλαιότερα συμπαγή

πετρώματα. Οι εδαφικές ρωγμές ακολουθούν συστηματική διεύθυνση και σε ορισμένες θέσεις το ίχνος νεοτεκτονικού ρήγματος τμήμα του οποίου εμφανίζεται στις νότιες κλιτύς της Πάρνηθας. Ακόμη οι μακροσεισμικές παρατηρήσεις (προσανατολισμός και κατανομή βλαβών σε κατασκευές, αστοχίες πρανών, αποκολλήσεις και καταπτώσεις βράχων) ταυτίζονται με την επικρατούσα ΒΑ διεύθυνση της ρηξιγενούς ζώνης.

Οι τεχνικογεωλογικές παρατηρήσεις που ακολουθούν αναφέρονται σε γενικές εκτιμήσεις και αφορούν το σύνολο της πλειόσειστης περιοχής:

1. Παρατηρείται επιλεκτική εκδήλωση των σοβαρότερων βλαβών και καταρρέψεων σε συγκεκριμένες διευθύνσεις. Ακόμη διαπιστώθηκε κατάρρευση τοίχων και γραμμικών κατασκευών προς την ίδια κατεύθυνση.
2. Στους χαλαρούς τεχνικογεωλογικούς σχηματισμούς - ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, κορήματα, καστανέρυθρες άργιλοι και επικωματώσεις - τμήματα των περιοχών Μεταμόρφωσης, Ν. Φιλαδέλφειας, Αδάμων, Μενιδίου, Θρακομακεδόνων) και κατά μήκος μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών (ρέμα Χελιδονούς), όπου ευνοείται τοπικά η αύξηση της έντασης του σεισμού, εντοπίζεται το μεγαλύτερο μέρος των σοβαρών βλαβών και καταρρέψεων των κατασκευών. Αντίθετα σε συνεκτικούς σχηματισμούς (λατυπο-κροκαλοπαγή, στεφρές μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους), οι αστοχίες και οι βλάβες είναι περιορισμένες. Τονίζεται βέβαια εδώ ότι οι εδαφικές συνθήκες αποτελούν τον κύριο παράγοντα αλλά όχι και αποκλειστικό των καταστροφών από τον σεισμό.
3. Στις κλιτύς της Πάρνηθας καταγράφηκαν καταπτώσεις βράχων και εδαφικές μετακινήσεις που προκάλεσαν προβλήματα λειτουργικότητας στο οδικό δίκτυο και οι οποίες σε μεμονωμένες κατασκευές εγκυμονούν κινδύνους ατυχημάτων ή ζημιών από τις καταπτώσεις.

Από τις πρώτες παρατηρήσεις γίνεται αντιληπτό ότι οι επικρατούσες τεκτονικές δομές στην Απτική είναι ΒΑκής διεύθυνσεως, καθώς και η ανάπτυξη σε ίδια διεύθυνση των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών, με συγκεκριμένη γεωμηχανική συμπεριφορά, έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη γενική διαμόρφωση της κατανομής των βλαβών από το σεισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bornovas, J., 1996. Report on the natural landscapes of Greece that require protection. Description of various natural landscapes. *Geological balcanica*, 26, 73-79.
- Δερμιτζάκης, Μ.Δ., 1991. Στρωματογραφικά συμβάντα και γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης κατά τον Ανώτερο Καινοζωικό Αιώνα. *Πεπραγμένα ΣΤ Διεθνούς Κρητολογικού Συνεδρίου*, τομ. Β, 215-252.
- Δερμιτζάκης, Μ.Δ. & Σ. Λέκκας, 1986. Διερευνώντας τη Γη, Εισαγωγή στη Γενική Γεωλογία, *Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών*, σ.500, Αθήνα, cum. Lit.
- Τριανταφύλλου, Μ.Β., 1992. Ελληνικά σπήλαια και Τουριστική ανάπτυξη. *Bull. Soc. Spec. Greece*, XX, 28-76.
- Εκπαιδευτική Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια: Επιστήμες της Γης και του Διαστήματος, Εκδοτική Αθηνών.