



ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

Οι Κύριες Τεκτονικές Μεγαδομές του Πλανήτη

2.1 Εισαγωγή

Τα κύρια τεκτονικά γνωρίσματα της Γης και οι μορφές των δομών που παρατηρούνται σε αυτά, παρέχουν στους γεωλόγους τα κλειδιά για να κατανοήσουν τις μεγάλης κλίμακας δυναμικές διαδικασίες που έλαβαν χώρα στη Γη και τον τρόπο που αυτές εξελίχθηκαν με τη πάροδο του χρόνου. Στο κεφάλαιο αυτό σχολιάζονται αυτά τα τεκτονικά γνωρίσματα, αρχίζοντας από τις ωκεάνιες λεκάνες και τον ηπειρωτικό φλοιό, ο οποίος υποδιαιρείται ανάλογα με την ηλικία των πετρωμάτων που τον αποτελούν. Αν και οι ωκεανοί καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της γήινης επιφάνειας, ο ωκεάνιος φλοιός είναι στην πραγματικότητα αρκετά νεότερος από τον ηπειρωτικό. Μάλιστα, ο νεότερος ωκεάνιος φλοιός καταλαμβάνει μία πολύ μεγάλη έκταση κοντά στα υποθαλάσσια κέντρα εξάπλωσης από ότι ο παλαιότερος, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου έχει εξαφανιστεί στις ζώνες υποβύθισης. Έτσι, το μεγαλύτερο τμήμα του ωκεάνιου φλοιού έχει μία σχετικά απλή γεωλογική εξέλιξη, στην οποία αντανakλώνται μόνο τα πιο πρόσφατα γεγονότα της τεκτονικής εξέλιξης της Γης.

Από την άλλη μεριά, ο ηπειρωτικός φλοιός έχει ηλικία που κυμαίνεται από 0 έως 3.96 δισεκατομμύρια χρόνια και παρουσιάζει πολύπλοκη γεωλογική εξέλιξη. Δηλαδή η ηλικία, η οποία χρησιμοποιείται για να περιγραφεί ο ωκεάνιος φλοιός, δεν αρκεί για να περιγραφούν τα γνωρίσματα των ηπείρων. Αντίθετα, διακρίνονται προκάμβριες ασπίδες, χαμηλές τοπογραφικά περιοχές στα εσωτερικά τμήματα των ηπείρων, ορογενετικές αλυσίδες, ηπειρωτικές τάφροι και ηπειρωτικά περιθώρια.

Αν και ο ωκεάνιος φλοιός παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση, οι ηπειρωτικές περιοχές μελετώνται ευκολότερα καθώς είναι πιο προσβάσιμες από τους γεωλόγους. Επίσης, οι πληροφορίες σχετικά με τις τεκτονικές διαδικασίες που προηγήθηκαν του σχηματισμού του παλιότερου σε ηλικία ωκεάνιου φλοιού, μπορούν να εξαχθούν μόνο από τον ηπειρωτικό φλοιό, λόγω της μεγαλύτερης διακύμανσης της ηλικίας του. Ωστόσο, η ερμηνεία πολλών παλαιάς ηλικίας ηπειρωτικών γνωρισμάτων, παρεμποδίζεται από τις επιδράσεις μίας μακρίας και πολύπλοκης γεωλογικής ιστορίας κατά τη διάρκεια της οποίας τα παλαιότερα γεγονότα μπορεί να έχουν καταστραφεί, θαφτεί ή να έχουν επικαλυφτεί από νεότερα.

2.2 Ωκεάνιες Λεκάνες

Τεράστιες περιοχές του ωκεάνιου πυθμένα είναι επίπεδες ή σχεδόν επίπεδες. Ο ωκεάνιος φλοιός αυτών των περιοχών είναι αξιοσημείωτα ομοιόμορφος, τόσο στο πάχος όσο και στη σύσταση. Το πάχος του κυμαίνεται από 3 έως 10 km, με μέση τιμή τα 5 km. Το πάχος αυτό είναι σημαντικά μικρότερο του ηπειρωτικού φλοιού, ο οποίος έχει πάχος περίπου 35 km. Ο ωκεάνιος φλοιός συνίσταται κυρίως από ηφαιστειακά πετρώματα βασαλτικής σύστασης.

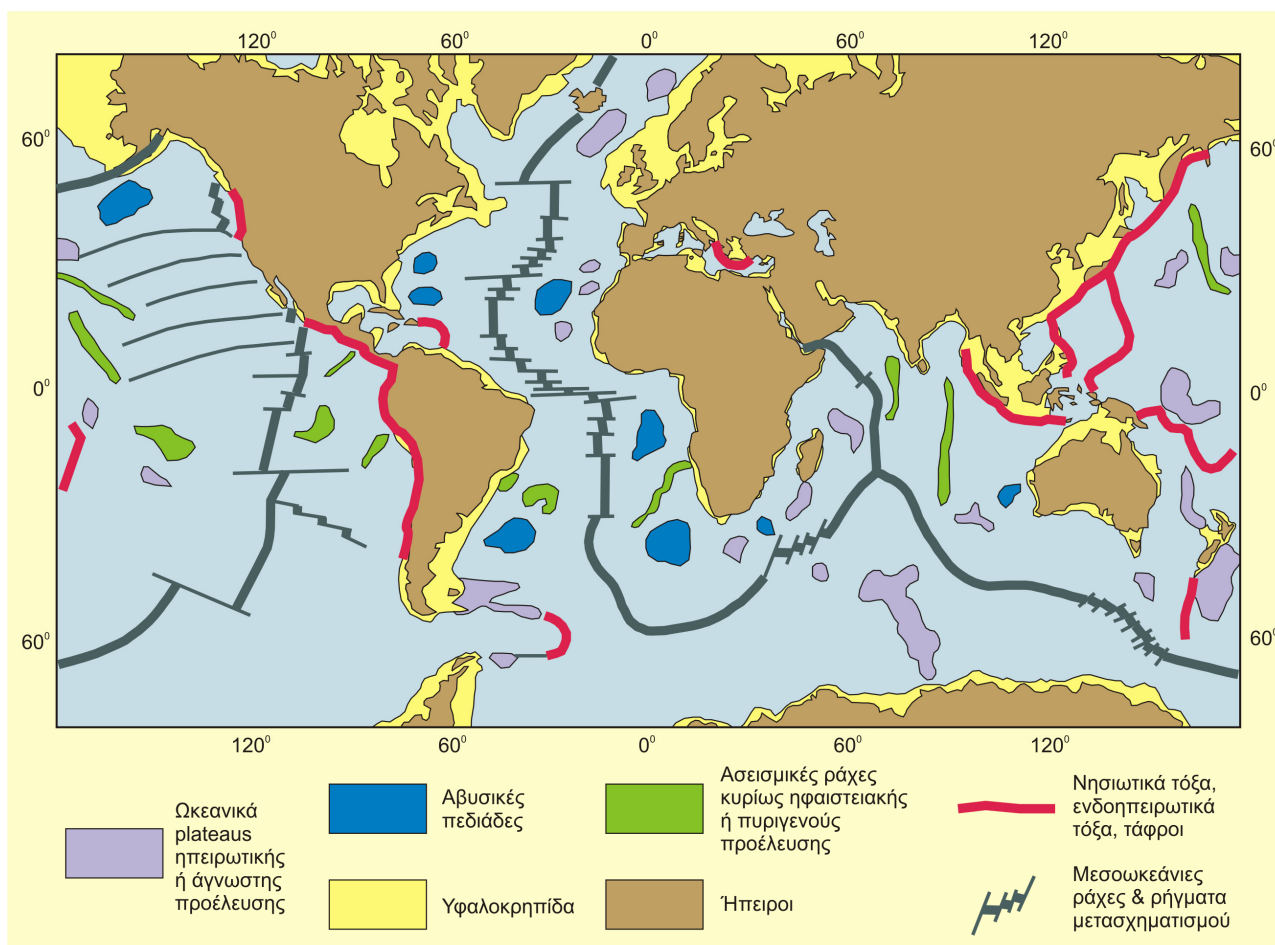
Αυτές οι σχεδόν επίπεδες περιοχές των ωκεάνιου πυθμένα περιλαμβάνουν τις ράχες και τις αβυσσικές πεδιάδες. Διασκορπισμένες μέσα στις ωκεάνιες λεκάνες υπάρχουν ωκεανικά οροπέδια (plateaus) που έχουν ανώμαλα παχύ φλοιό, συστήματα νησιωτικών τόξων και ασεισμικές ράχες με σχετικά παχύ φλοιό (Εικ. 2.1).

Οι βαρυντικές μετρήσεις σε όλες τις περιοχές των ωκεανών δείχνουν σε γενικές γραμμές ανωμαλία ελεύθερου αέρα κοντά στο μηδέν. Έτσι, για το μεγαλύτερο μέρος των ωκεανών, οι ωκεάνιες λεκά-

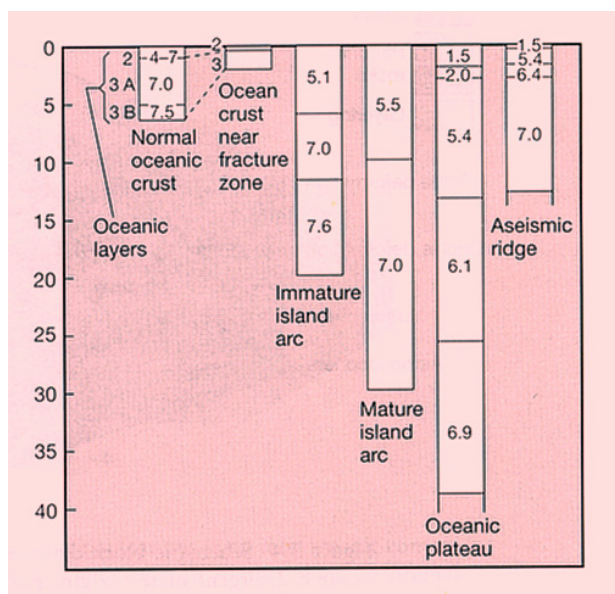
νες βρίσκονται σε ισοστατική ισορροπία και οι οποιεσδήποτε διαφοροποιήσεις αντανακλούν διαφορές στην πυκνότητα ή το πάχος του υποκείμενου φλοιού ή του μανδύα.

Ένα μέσο πρότυπο στρωμάτωσης του ωκεάνιου φλοιού, (Εικ. 2.2) βασίζεται στις μετρήσεις της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων P. Η λιθολογική ερμηνεία αυτών των στρωμάτων είναι αποτέλεσμα άμεσης δειγματοληψίας του ωκεάνιου φλοιού και από συγκρίσεις με ακολουθίες πετρωμάτων που εμφανίζονται στη ξηρά και που πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύουν παλαιό ωκεάνιο φλοιό.

Το ανώτερο στρώμα 1 έχει ταχύτητα V_p μεταξύ 3-5 km/sec και ερμηνεύεται ως ιζηματα πελαγικής, ημιπελαγικής ή τουρβιδιτικής προέλευσης. Το στρώμα 2, που συχνά υποδιαιρείται σε στρώματα 2A, 2B και 2C, έχει ταχύτητα V_p 5 - 6 km/sec και ερμηνεύεται ως υποθαλάσσιες βασαλτικές εκχύσεις και ρηχές διεισδύσεις εκρηξιγενών πετρωμάτων. Το στρώμα 2A έχει αρχικά μία σχετικά μικρή ταχύτητα που αυξάνει γρήγορα με το βάθος, το στρώμα 2B έχει μία σχετικά σταθερή ταχύτητα και το στρώμα 2C συμπεριφέρεται όπως το 2A, με αυξα-



Εικόνα 2.1 Χάρτης όπου παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ωκεάνιων περιοχών, όπως μεσο-ωκεάνιες ράχες, ρήγματα μετασχηματισμού, ωκεανικά οροπέδια, ασεισμικές ράχες, νησιωτικά τόξα κλπ.



Εικόνα 2.2 Πρότυπα σεισμικών ταχυτήτων για τον τυπικό ωκεανικό φλοιό και τις άλλες ωκεάνιες δομές.

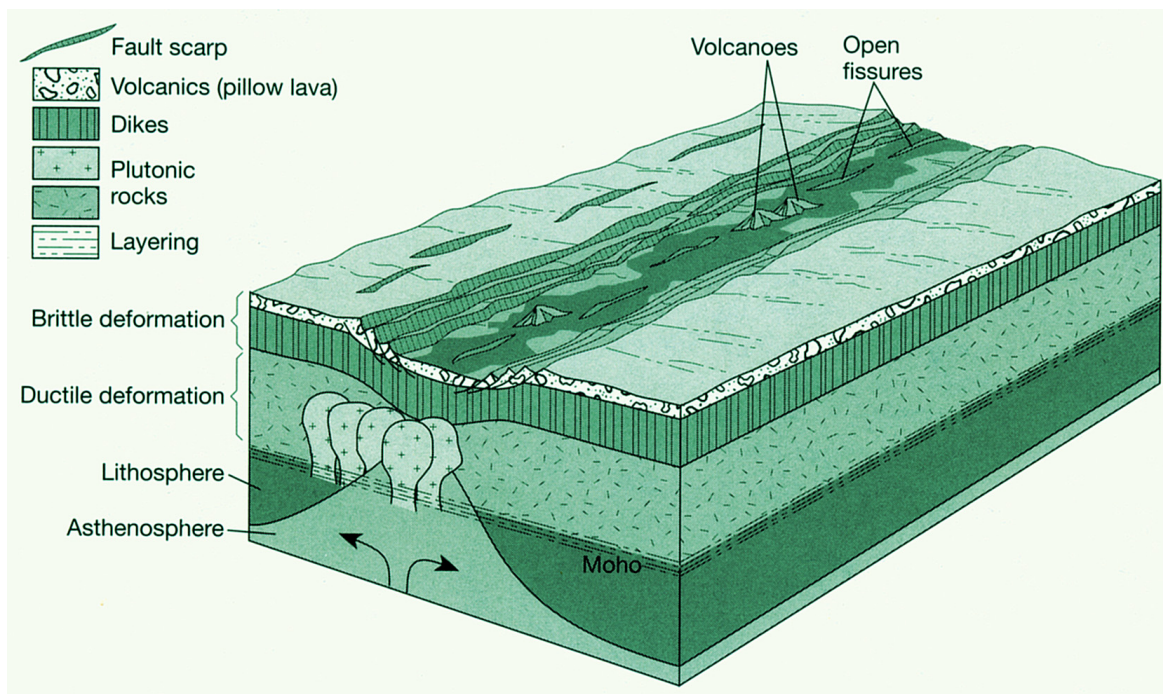
νόμενη ταχύτητα με το βάθος. Το στρώμα 3, το οποίο επίσης υποδιαιρείται σε 3Α και 3Β, παρουσιάζει ταχύτητες V_p μεταξύ 6 και 7.5 km/sec και πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύει μαφικά – υπερμαφικά πλουτώνια πετρώματα ή σερπεντιωμένους μανδουακούς περιδοτίτες. Οι υποδιαιρέσεις του στρώματος 3 πιθανά αντανakλούν διαφορετικά πο-

σοστά συμμετοχής του ολιβίνι στα πλουτώνια πετρώματα.

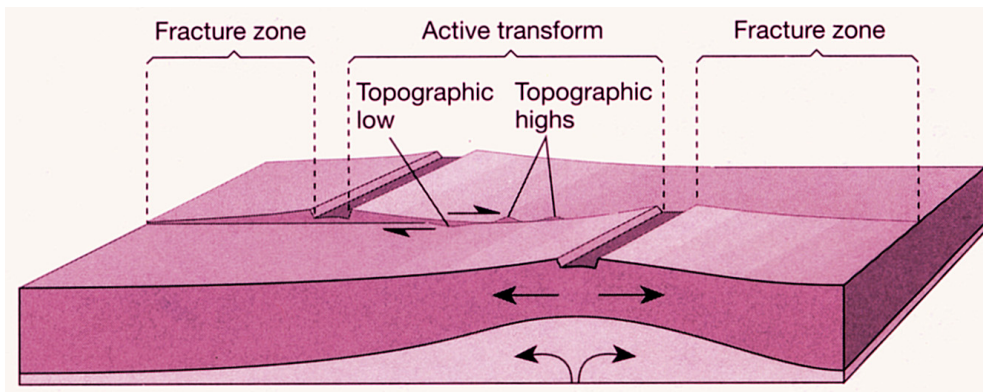
Γνωρίσματα των Περιθωρίων των Ωκεάνιων Πλακών

Τα αποκλίνοντα περιθώρια των πλακών είναι τοπογραφικά υψηλές υποθαλάσσιες περιοχές στη μέση των ωκεάνιων λεκανών (εξαιρέση αποτελούν αυτές στον Ειρηνικό Ωκεανό και στο βορειοδυτικό Ινδικό Ωκεανό). Αυτές οι μεσο-ωκεάνιες ράχες σχηματίζουν ένα συνεχές φούσκωμα που περιζώνει τη γη, έχουν μήκος περίπου 40.000 km, ανυψώνονται πάνω από 2,5 km από τον αβυσσικό πυθμένα των ωκεάνιων λεκανών και το πλάτος τους φτάνει τα 1.000 – 3.000 km. Οι δομές που κυριαρχούν σε αυτές είναι κυρίως ενεργά κανονικά ρήγματα, όπως διαπιστώνεται από τη μορφολογία και τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών (Εικ. 2.3). Η διάρρηξη δείχνει εφελκυσμό κάθετο στον άξονα των ραχών και παράλληλο στην αναφερόμενη σχετική κίνηση των πλακών.

Τα ρήγματα μετασχηματισμού στους ωκεανούς είναι τα σεισμικά ενεργά τμήματα των ζωνών διάρρηξης (σπασίματος), που είναι τεράστια γραμμικά σπασίματα μέσα στον ωκεάνιο φλοιό (βλπ. Κεφάλαιο 5). Χαρακτηρίζονται από έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο με ράχες και τάφρους με απότομα όρια, μεγάλης κλίσης ρήγματα και παραμορ-



Εικόνα 2.3 Σχηματικό block-διάγραμμα όπου παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά μιας μεσο-ωκεάνιας ζώνης απόκλισης των πλακών. Εφελκυστικές δομές κανονικών ρημάτων αναπτύσσονται στην επιφάνεια που στο βάθος περνούν σε μια ζώνη μαγματικών διεισδύσεων με πλαστική παραμόρφωση. Η λιθόσφαιρα παχαίνει με την απομάκρυνση από το όριο των πλακών.



Εικόνα 2.4 Σχηματικό block-διάγραμμα που παρουσιάζει ένα όριο – ρήγμα μετασχηματισμού σε ωκεάνιο φλοιό, που μεταθέτει μια μεσο-ωκεάνια ράχη.

φωμένα ωκεάνια πετρώματα (Εικ. 2.4). Το μήκος τους φτάνει τα 10.000 km και παρόλο που είναι σχετικά ρηχές δομές, μερικά ρήγματα μετασχηματισμού φτάνουν τα 100 km σε πλάτος. Τα σεισμικά ανενεργά τμήματα αυτών των ζωνών θραύσης αντιπροσωπεύουν απολιθωμένα ρήγματα μετασχηματισμού. Μελέτες των μηχανισμών γένεσης των σεισμών, που λαμβάνουν χώρα κατά μήκος των ενεργών ρηγμάτων μετασχηματισμού, φανερώουν την ύπαρξη οριζοντιολισθητικών ρηγμάτων με χαρακτηριστική οριζόντια ολίσθηση αντίθετη της φαινόμενης μετατόπισης της μεσο-ωκεάνιας ράχης. Ο ωκεάνιος φλοιός κοντά στις ζώνες θραύσης και στα ρήγματα μετασχηματισμού τείνει να είναι λεπτότερος από τον μέσο όρο (Εικ. 2.2, στην προηγούμενη σελίδα).

Τα συγκλίνοντα περιθώρια στους ωκεανούς παρουσιάζουν αλυσίδες από ηφαιστειακά νησιά που συνοδεύονται από παράλληλες τάφρους, οι οποίες είναι τα βαθύτερα τμήματα των ωκεάνιων λεκανών. Γενικά, αυτά τα ζεύγη νησιωτικού τόξου και βαθιών τάφρων παρατάσσονται σε μία σειρά από τόξα που εφάπτονται στις άκρες τους και εκτείνονται για χιλιάδες χιλιόμετρα. Η απόσταση ανάμεσα στα ηφαιστειακά νησιά είναι της τάξης των 80 km και αναπτύσσονται πάνω από υποθαλάσσιες ράχες που το πλάτος τους μπορεί να φτά-

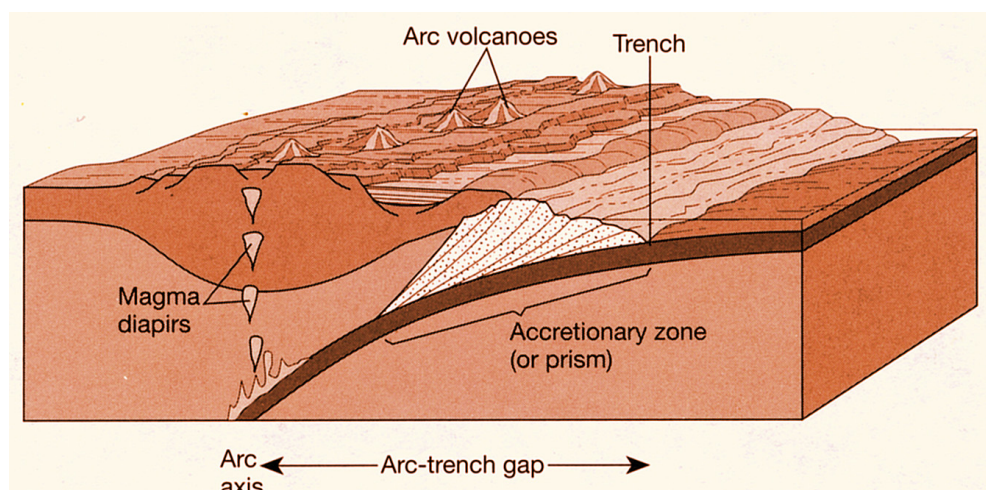
σει αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Το βάθος των τάφρων φτάνει τα 12 km και σε το πλάτος τους τα 100 km. Στη μία πλευρά των τάφρων αναπτύσσονται συστήματα από επιπεύσεις και επωθήσεις, ενώ ενεργά κανονικά ρήγματα παρατηρούνται στα νησιωτικά τόξα και στις περιοχές πίσω από τα τόξα (Εικ. 2.5). Οι τάφροι σχετίζονται με αρνητικές βαρυτικές ανωμαλίες Bouguer, κάτι που φανερώνει μία αξιοσημείωτη έλλειψη μάζας κάτω από των θαλάσσιο πυθμένα.

Ο φλοιός στις περιοχές των νησιωτικών τόξων έχει μέσο πάχος 25 km, σημαντικά πιο παχύς από τον κανονικό ωκεάνιο φλοιό. Ωστόσο λεπταίνει απότομα μέχρι το ωκεάνιο πάχος και από τις δύο πλευρές του τόξου. Νεότερα, ανώριμα τόξα έχουν λεπτότερο φλοιό από τα παλαιότερα και πιο ώριμα τόξα.

Γνωρίσματα του Εσωτερικού των Ωκεάνιων Πλακών

Μακριά από τα περιθώρια των πλακών, οι βαθύτερες περιοχές των ωκεανών είναι τεράστιες εκτάσεις από επίπεδο ωκεάνιο πυθμένα, οι λεγόμενες **αβυσσικές πεδιάδες**. Αυτές αντιπροσωπεύουν εκτάσεις με κανονικό ωκεάνιο φλοιό που καλύπτεται από πελαγικά και τουρβιδιτικά ιζήματα.

Εικόνα 2.5 Σχηματικό block-διάγραμμα όπου παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά ενός ενδο-ωκεάνιου ορίου σύγκλισης πλακών. Η μια πλάκα υποβυθίζεται κάτω από την άλλη κατά μήκος μιας ζώνης επωθητικών ρηγμάτων. Η μερική τήξη της κατερχόμενης πλάκας δημιουργεί μάγμα το οποίο ανέρχεται και δημιουργεί ηφαίστεια.



Πλατιές ανυψωμένες περιοχές, ή **ωκεάνια οροπέδια** έχουν ποικιλία ως προς τη προέλευσή τους. Μερικά είναι προφανώς ηπειρωτικής προέλευσης, άλλα είναι ανενεργά ηφαιστειακά τόξα και κάποιων άλλων η προέλευση είναι αιγιματική. Η έκτασή τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες σε μερικές χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα και βρίσκονται 1 μέχρι 4 km πάνω από τον ωκεάνιο πυθμένα. Το πάχος του φλοιού είναι περισσότερο ηπειρωτικών παρά ωκεάνιων διαστάσεων (βλπ. Εικ. 2.2, στα προηγούμενα).

Γραμμικές ράχες που χαρακτηρίζονται από υψηλό μορφολογικό ανάγλυφο, ανώμαλα παχύ ωκεάνιο φλοιό και από απουσία σε γενικές γραμμές σεισμικής δραστηριότητας, καλούνται **ασεισμικές ράχες**. Η απουσία σεισμικής δραστηριότητας και οι αρκετά μικρότερες διαστάσεις τους τις ξεχωρίζουν από τις μεσο-ωκεάνιες ράχες. Στις περισσότερες περιπτώσεις αντιπροσωπεύουν γραμμικές κατασκευές που σχηματίστηκαν από αλυσίδες βασαλτικών ηφαιστείων. Τα νησιά της Χαβάης που εκτείνονται από τη Χαβάη μέχρι τη νήσο Midway και από εκεί μέχρι τη τάφρο της Καμτσάκας (βλπ. Εικ. 2.1, στα προηγούμενα), αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα. Το πάχος του φλοιού των ασεισμικών ραχών είναι σημαντικά μεγαλύτερο από του κανονικού ωκεάνιου φλοιού και συγκρίνεται με αυτό των νησιωτικών τόξων (βλπ. Εικ. 2.2, στα προηγούμενα).

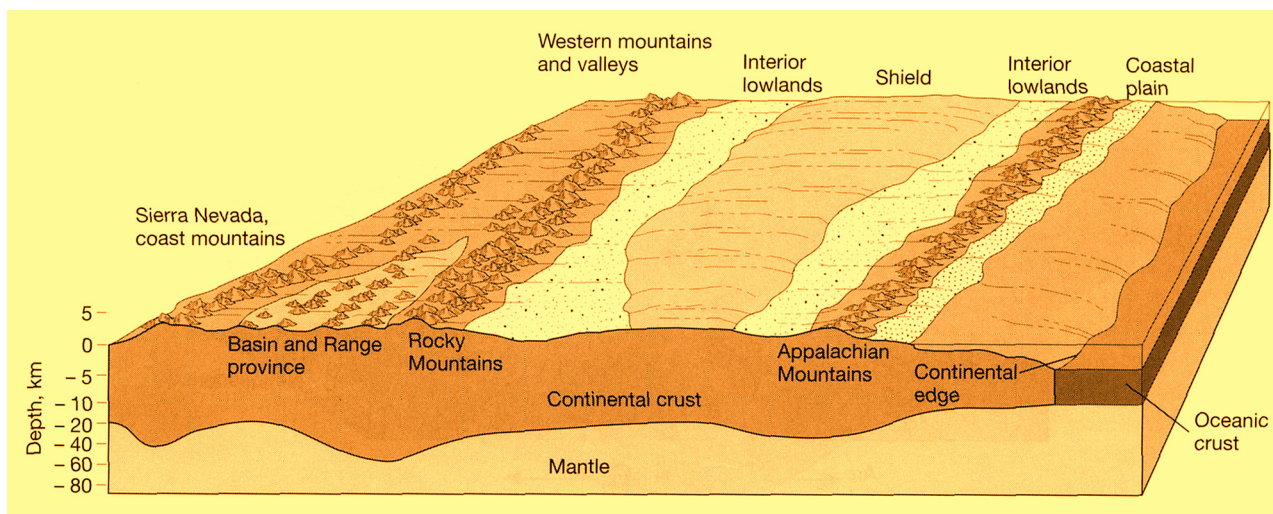
2.3 Δομές του Ηπειρωτικού Φλοιού

Ο ηπειρωτικός φλοιός είναι παχύτερος και λιγότερο πυκνός από τον ωκεάνιο φλοιό, έχει μικρότερη σει-

σμική ταχύτητα και η δομή του είναι πολύ πιο πολύπλοκη καθώς έχει μεγαλύτερη ηλικία και έχει υποστεί μία μακρά ιστορία τεκτονικών επεισοδίων. Η Εικόνα 2.6 παρουσιάζει μία εξιδανικευμένη εγκάρσια τομή της Βόρειας Αμερικής, η οποία αποτελεί ένα παράδειγμα ηπειρωτικού φλοιού με πολλά από τα γνωρίσματα που τον διακρίνει.

Το μέσο πάχος του ηπειρωτικού φλοιού είναι περίπου 35 km. Υπάρχει, όμως, αξιοσημείωτη απόκλιση από αυτή τη τιμή, η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τη θέση και το τεκτονικό καθεστώς. Ο φλοιός τείνει να είναι παχύτερος (>70 km) στις περιοχές των μεγάλων οροσειρών, στις περιοχές με παχιές ιζηματογενείς πλατφόρμες και σχετικά πιο λεπτός στις περιοχές των τάφρων, όπως για παράδειγμα των Η.Π.Α., στις προκάμβριες ασπίδες και στα περιθώρια. Η σεισμική ταχύτητα αυξάνει σε γενικές γραμμές με το βάθος, αν και υπάρχουν περιπτώσεις που συμβαίνει το αντίθετο (π.χ. στην επαρχία Basin & Range).

Ενδείξεις σχετικά με τις ιδιότητες του ηπειρωτικού φλοιού σε μεγάλο βάθος λαμβάνονται από την άμεση εξέταση των πετρωμάτων που έχουν σχηματιστεί σε μεγάλο βάθος και εμφανίζονται σήμερα στην γήινη επιφάνεια λόγω ανύψωσής τους ή διάβρωσης των υπερκείμενων πετρωμάτων, αλλά και από γεωφυσικές έρευνες. Εμφανίσεις των μικρού βάθους πετρωμάτων του φλοιού δείχνουν ότι η διάρρηξη, η πτύχωση, η μεταμόρφωση και οι εκρηξιγενείς διεισδύσεις είναι χαρακτηριστικά τεκτονικής δραστηριότητας. Υψηλού βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα του κατώτερου φλοιού εμφανίζονται σε περιοχές που έχουν υποστεί μεγάλη διάβρωση. Αυτά τα πετρώματα περιέχουν πολύ σύνθετες δομές, όπως είναι οι πτυχωμένες και επαναπτυχωμένες ενδιαστρώσεις πυροξενικών γρανουλιτών και γρανιτικών γνεύσιων στην Γροιλαν-



Εικόνα 2.6 Σχηματικό block-διάγραμμα του ηπειρωτικού φλοιού της Βόρειας Αμερικής, όπου παρουσιάζονται οι διαφοροποιήσεις στο πάχος στις διάφορες γεωτεκτονικές ενότητες.

δία. Τέτοιες δομές είναι σχετικά συχνές σε πολλές προκάμβριες ασπίδες και στις πολύ διαβρωμένες κεντρικές ζώνες των φανεροζωικών ορογενετικών αλυσίδων. Φαίνεται λογικό να υποστηριχτεί ότι είναι συχνές παντού στον κατώτερο φλοιό.

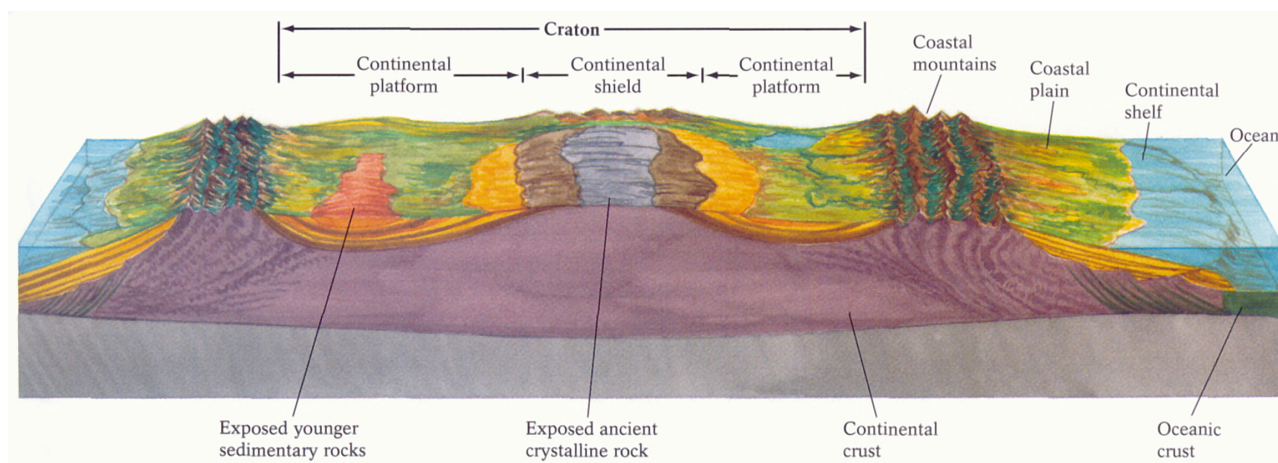
Οι συσχετίσεις των δεδομένων πεδίου με τις σεισμικές ταχύτητες του ηπειρωτικού φλοιού δείχνουν την ύπαρξη σημαντικής πλευρικής και κατακόρυφης ετερογένειας στο είδος των πετρωμάτων. Παρόλα αυτά, ο φλοιός χαρακτηρίζεται από μία σχετική αύξηση της σεισμικής ταχύτητας με το βάθος.

Η ακριβής φύση των βαθύτερων πετρωμάτων είναι αδιευκρίνιστη επειδή τα πετρώματα που είναι γνωστά είναι αυτά που παρατηρούνται σε περιοχές που έχουν υποστεί έντονη ανύψωση και διάβρωση και τέτοιες περιοχές μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές για όλο το φλοιό.

2.4 Προκάμβριες Ασπίδες

Όλοι οι ήπειροι έχουν περιοχές όπου προκάμβρια πετρώματα, ηλικίας μεγαλύτερης των 600 εκατομμυρίων χρόνων, εμφανίζονται στη γήινη επιφάνεια. Αυτές οι περιοχές σχηματίζουν υψίπεδα και γι' αυτό καλούνται προκάμβριες **ασπίδες**.

Αυτές υποδιαιρούνται σε Αρχαϊκά και Πρωτεροζωικά Πεδία, με βάση την ηλικία των πετρωμάτων τους. Η υποδιαίρεση αυτή έχει ιδιαίτερη τεκτονική σημασία με παγκόσμια εφαρμογή. Τα περισσότερα αρχαϊκά πετρώματα έχουν ηλικία μεγαλύτερη από 2.500 Ma, ενώ των πρωτεροζωικών η ηλικία τους κυμαίνεται από 2500 έως 550 Ma. Τα αρχαϊκά πετρώματα παρουσιάζουν στοιχεία που δείχνουν ότι συνδέονται με μεγαλύτερη αστάθεια ή κινητικότητα του φλοιού, από ότι αυτή των πρωτε-



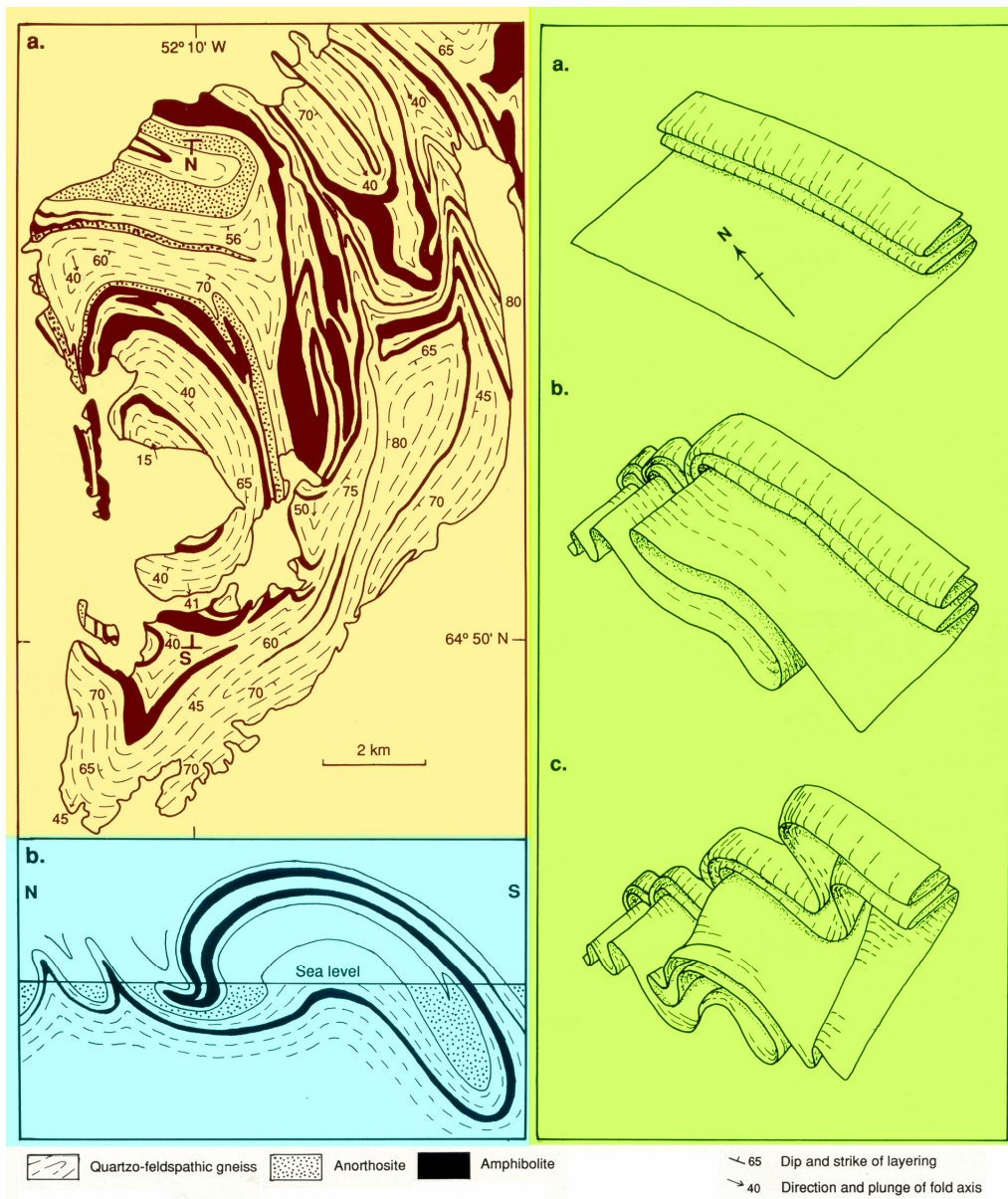
Εικόνα 2.7 Κάθε ήπειρος περιλαμβάνει μια σταθερή, από τεκτονική άποψη, περιοχή, η οποία ονομάζεται κρατονική περιοχή και αποτελείται από μία, ή περισσότερες, κρυσταλλικές ηπειρωτικές ασπίδες και από ηπειρωτικές πλατφόρμες ιζηματογενών πετρωμάτων. Οι εξωτερικότερες περιοχές της ηπείρου αποτελούνται από τις νεότερες πτυχωμένες οροσειρές και πεδιάδες, που καταλήγουν στην κρηπίδα.

Ένα πετρολογικό και σεισμικό μοντέλο, το οποίο μπορεί να μην είναι τελείως αντιπροσωπευτικό για όλο τον ηπειρωτικό φλοιό, είναι το ακόλουθο:

Κάτω από το ιζηματογενές κάλυμμα, τα ανώτερα επίπεδα του φλοιού αποτελούνται κυρίως από μεταϊζηματογενή και μεταηφαιστειακά πετρώματα, ενώ σε ορισμένες θέσεις μέσα σε αυτά έχουν διεισδύσει γρανιτικά πετρώματα. Τα ενδιάμεσα επίπεδα του φλοιού φαίνεται να αποτελούνται από εκτεταμένους μιγματίτες, ένα πυριτικό πέτρωμα που σχηματίστηκε από μερική τήξη κατά τη μεταμόρφωση. Τα κατώτερα επίπεδα του φλοιού αποτελούνται από πολυπτυχωμένα πετρώματα, συνήθως μεταμορφωμένα σε γρανουλιτική φάση, ενώ μέσα σε αυτά έχουν διεισδύσει μαφικά και πυριτικά πλούτνια πετρώματα.

ροζωικών περιοχών. Η τεκτονική αυτή διάκριση δεν είναι καθολική και απότομη, αλλά η μετάβαση από το ένα τεκτονικό πεδίο στο άλλο διαφέρει από περιοχή σε περιοχή μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια.

Στην Εικόνα 2.7 παρουσιάζεται η ανατομία μιας ηπείρου, όπου διακρίνεται η γεωτεκτονική θέση των ηπειρωτικών ασπίδων. Κάθε ήπειρος περιλαμβάνει μια σταθερή, από τεκτονική άποψη, περιοχή, η οποία ονομάζεται **κρατονική περιοχή** και αποτελείται: α) από μία, ή περισσότερες, παλαιάς ηλικίας κρυσταλλικές **ηπειρωτικές ασπίδες**, που αποτελούν και τον πυρήνα της κρατονικής περιοχής και β) από **ηπειρωτικές πλατφόρμες** ιζηματογενών πετρωμάτων, που αναπτύσσονται εκατέρωθεν της ασπίδας. Οι εξωτερικότερες περιοχές της ηπείρου αποτελούνται από τις νεότερες πτυχω-



Εικόνα 2.8 Πολυ-πτυχωμένα αρχαϊκά πετρώματα από την περιοχή της Γρουιλανδίας. Στον χάρτη, την τομή και το παρατιθέμενο επεξηγηματικό σχήμα, φαίνονται οι διαδοχικές φάσεις ισοκλινών επαναπτυχώσεων, σε χιλιομετρική κλίμακα εμφάνισης.

μένες οροσειρές και πεδιάδες, που καταλήγουν στην κρηπίδα.

Αρχαϊκά Πεδία

Τα πετρώματα των αρχαϊκών πεδίων διακρίνονται βάση του μεταμορφικού τους βαθμού σε υψηλού βαθμού γνευσιακές περιοχές, που επιδεικνύουν αμфиболитικές ή γρανουλιτικές μεταμορφικές φάσεις και σε ζώνες πρασινοπετρωμάτων που χαρακτηρίζονται από πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής ή χαμηλότερου βαθμού μεταμόρφωσης. Κα στις δύο αυτές περιοχές έχουν διεισδύσει νεότερα γρανιτικά πλουτώνια πετρώματα.

Υψηλού βαθμού γνεύσιοι σχηματίζουν την κύρια μάζα των Αρχαϊκών πεδίων. Αποτελούνται από χαλαζιοαστριούχους γνεύσιους που προέρχονται από μεταμόρφωση φελσικών ηφαιστειακών πετρωμάτων αλλά περιέχουν επίσης και μεταϊζημα-

τογενή πετρώματα, όπως χαλαζίτες, ηφαιστειακής προέλευσης ιζήματα, σιδηρούχους σχηματισμούς και ανθρακικά πετρώματα. Παραμορφωμένα βασικά και υπερβασικά συμπλέγματα δομούν το υπόλοιπο μέρος των γνευσιακών περιοχών.

Σε αυτές τις περιοχές έχουν αναμιχθεί και οι χαμηλού βαθμού ζώνες των πρασινοπετρωμάτων, οι οποίες καλύπτουν περιοχές δεκάδων ή και εκατοντάδων χιλιομέτρων. Αυτές περιέχουν βασικά και πυριτικά ηφαιστειακά πετρώματα και εκρηξιγενή σώματα που έχουν διεισδύσει μέσα στα προηγούμενα, ηφαιστειακής προέλευσης και ανάλογης σύστασης ιζήματα, καθώς και μικρότερης κλίμακας μαγματικές ροές, από πλούσιο σε ολιβίνη μάγμα.

Τρία τεκτονικά και δομικά γνωρίσματα είναι κοινά σε όλα τα αρχαϊκά πεδία. Πρώτον, σχεδόν όλα τα πετρώματα είναι πολύ παραμορφωμένα με περισσότερες της μίας γενέες πτυχώσεων (Εικ. 2.8). Τα πιο κοινά δομικά γνωρίσματα είναι ορθές

πτυχές και λιγότερο συχνά είναι επαναπτυχωμένα μικρής κλίσης ρήγματα και κεκλιμένες πτυχές.

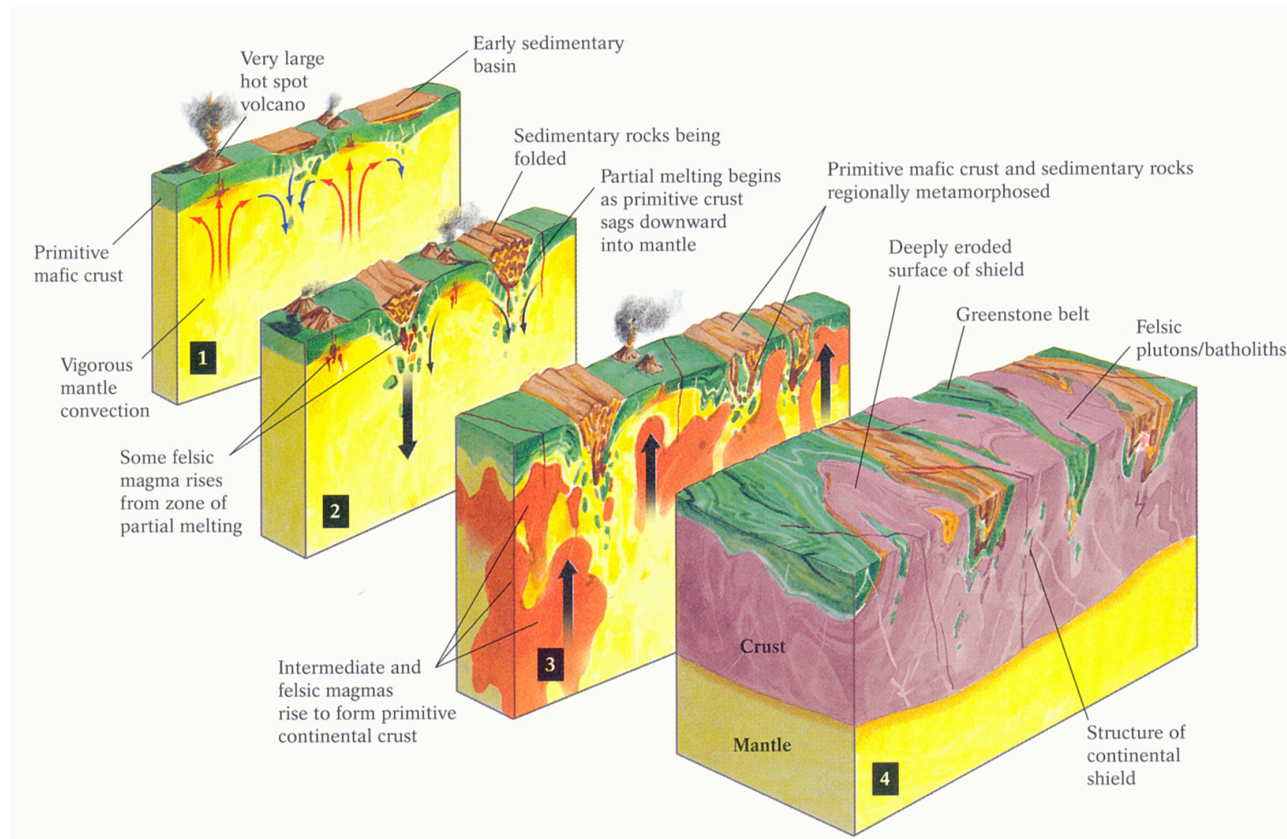
Δεύτερον, οι επαφές ανάμεσα στα πρασινοπετρώματα και των υψηλού βαθμού γνευσιακών περιοχών είναι σύνθετες. Σε μερικές θέσεις, οι επαφές είναι διαμητικές ζώνες που έχουν επικαλύψει την αρχική τους σχέση. Αλλού, τα πρασινοπετρώματα έχουν αποτεθεί πάνω σε παλαιότερο γνευσιακό υπόβαθρο, ενώ σε κάποιες άλλες θέσεις γνευσιακά γρανιτικά πετρώματα έχουν διεισδύσει μέσα στις ζώνες των πρασινοπετρωμάτων.

Τρίτον, τα ιζηματογενή πετρώματα ανήκουν σε μία από τις δύο γενικές ομάδες: είτε είναι ανώριμα ηφαιστειακής προέλευσης ιζήματα και παρατηρούνται και στις δύο κατηγορίες πετρωμάτων των αρχαϊκών πεδίων, είτε είναι χαλαζιακοί – ανθρακικοί – σιδηρούχοι σχηματισμοί που σε πολλές περιοχές συνδέονται με πολλαπλά παραμορφωμένα βασικά και υπερβασικά εστρωμένα ηφαιστειακά συμπλέγματα και βρίσκονται μόνο μέσα στα γνευσιακά πεδία.

Η μελέτη της τεκτονικής των αρχαϊκών περιοχών αποτελεί ένα σχετικά νέο πεδίο έρευνας επειδή μεγάλης κλίμακας λεπτομερείς χάρτες και ραδιομετρικά δεδομένα είναι διαθέσιμα μετά το 1975. Τα ιζηματογενή και τεκτονικά χαρακτηριστικά τους,

που παρατηρούνται σε όλα τα αρχαϊκά πεδία, δείχνουν ότι οι ίδιες ιζηματογενείς και τεκτονικές συνθήκες επικρατούσαν παντού σε όλη τη γη κατά την Αρχαϊκή περίοδο και ότι αυτές οι συνθήκες διαφέρουν σημαντικά από αυτές που χαρακτηρίζουν τη Φανεροζωϊκή περίοδο. Ιδιαίτερα, η διαδομένη μεταμόρφωση και η παρουσία των υπερβασικών μαγματικών πετρωμάτων δείχνουν υψηλότερες θερμοκρασίες στη Γη κατά την Αρχαϊκή περίοδο. Η πετρολογία των υπερμαφικών μαγμάτων φανερώνει ότι αυτά σχηματίστηκαν κατά 50% από τήξη μίας μανδυακής πηγής σε θερμοκρασίες περίπου 1500° C. Οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος στη Γη (η γεωθερμική κλίμακα) ήταν περίπου δύο ή τρεις φορές μεγαλύτερη από τη σημερινή.

Στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία δημιουργίας και εξέλιξης των ηπειρωτικών ασπίδων, με βάση τις ιδιαίτερες συνθήκες που, όπως αναφέρθηκε, επικρατούσαν την εποχή αυτή. Δεδομένου ότι το εσωτερικό της γης ήταν πολύ πιο θερμό απ' ότι σήμερα, τα θερμικά ρεύματα μεταφοράς λειτουργούσαν με πιο ταχύ ρυθμό, φέρνοντας τον ζεστό μανδυακό υλικό στην επιφάνεια με τη μορφή των βασικών και υπερβασικών λαβών. Καθώς οι λάβες ψύχονταν και γίνονταν πυκνότερες,



Εικόνα 2.9 Οι ηπειρωτικές ασπίδες σχηματίστηκαν όταν το εσωτερικό της γης ήταν πολύ πιο θερμό απ' ότι σήμερα, με γεωτεκτονικές διαδικασίες που διαφέρουν σημαντικά από τις σημερινές και αυτές των νεότερων οροσειρών (βλπ. κείμενο για λεπτομέρειες).

καταβυθίζονταν σε βαθύτερους τεκτονικούς ορόφους. Εκεί υφίσταντο μερική τήξη και διαφοροποίηση και τελικά στερεοποιούνται ως ενδιάμεσης ή όξινης σύστασης πλουτωνίτες. Αυτά οι "αρχαίοι" χαμηλής πυκνότητας πλουτωνίτες, αντιπροσωπεύουν τα παλαιότερα πετρώματα στη Γη και μαζί με τα μεταμορφωμένα πρασινοπετρώματα σχηματίζουν τις ηπειρωτικές ασπίδες.

Πρωτεροζωϊκά Πεδία

Τα πρωτεροζωϊκά πεδία χαρακτηρίζονται τόσο από ελαφρά παραμορφωμένες σταθερές (από τεκτονική άποψη), περιοχές όσο και από πολύ παραμορφωμένες και με έντονη κινητικότητα περιοχές, σε αντίθεση με τα αρχαϊκά πεδία που χαρακτηρίζονταν μόνο από περιοχές με έντονη τεκτονική κινητικότητα. Περιοχές του γήινου φλοιού στις οποίες έχει επιτευχθεί τεκτονική σταθερότητα καλούνται κρατονικές περιοχές και πρωτοεμφανίστηκαν κατά την περίοδο του Πρωτεροζωϊκού. Σε αυτές τις περιοχές, τεράστιες αποθέσεις ελαφρά παραμορφωμένων, αμεταμόρφωτων πρωτεροζωϊκών ιζημάτων υπέρκεινται ενός υποβάθρου από διαβρωμένα, παραμορφωμένα και μεταμορφωμένα αρχαϊκά πετρώματα. Τα πρωτεροζωϊκά κρατονικά ιζήματα παρουσιάζουν στοιχεία ενός σχετικά σταθερού τεκτονικού περιβάλλοντος, ώριμα ιζήματα όπως οι χαλαζίτες και χαλαζιακά κροκαλοπαγή είναι συχνά σε τέτοιες περιοχές. Οι χαλαζίτες συχνά ενδιαστρώνονται με σιδηρούχους σχηματισμούς που αποτελούνται από σιδηρούχα οξείδια, σιδηρούχα ανθρακικά και πυρτικά ιζήματα, τα οποία έχουν αποθεθεί πάνω σε ένα προϋπάρχον παλαιότερο υπόβαθρο. Περιέχουν μερικά από τα πλουσιότερα κοιτάσματα σε χρυσό και ουράνιο, όπως και σε σιδηρομεταλλεύματα.

Οι πρωτεροζωϊκές παραμορφωμένες ζώνες είναι σε γενικές γραμμές δύο ειδών. Μερικές είναι περιοχές πολλαπλά παραμορφωμένες πλούσιες σε ηφαιστειακά πετρώματα και θυμίζουν τα αρχαϊκά πεδία αλλά και πολλές φανεροζωϊκές ορογενετικές αλυσίδες πλούσιες σε ηφαιστειότητα. Άλλες περιοχές επιδεικνύουν παχιές ιζηματογενείς ακολουθίες που έχουν αποθεθεί σε λεκάνες με γραμμική διάταξη, πιθανά κατά μήκος αρχαίων ηπειρωτικών περιθωρίων που στη συνέχεια παραμορφώθηκαν με πτύχωση και ανάστροφα ρήγματα, όμοια με αυτές που παρατηρούνται στις φανεροζωϊκές ορογενετικές αλυσίδες.

Τα πρωτεροζωϊκά εκρηξιγενή πετρώματα παρουσιάζουν επίσης σημαντικές διαφορές αν συγκριθούν με παλαιότερα και νεότερα πεδία. Πολλές αρχαϊκές περιοχές τέμνονται από εκτεταμένες συγκεντρώσεις φλεβών βασαλτικής σύστασης.

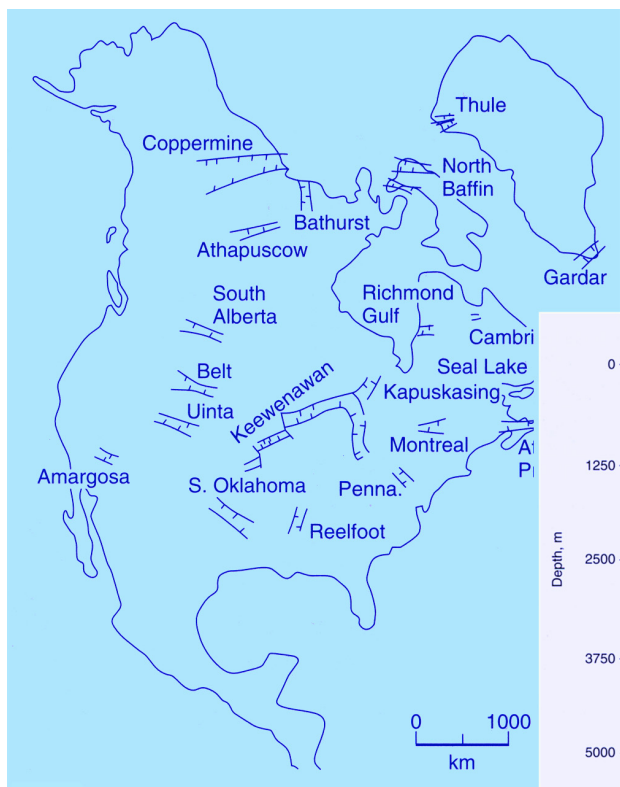
Ένας αριθμός συστημάτων πρωτεροζωϊκών

φλεβών σχετίζεται με εκτεταμένα βασικά και υπερβασικά στρωματομόρφα συμπλέγματα, τα οποία ουσιαστικά αποτελούνται από απαραμόρφωτες μάζες ενστρωμένων ηφαιστειακών πετρωμάτων, εκατοντάδων έως δεκάδων χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Υπενθυμίζουν τα ενστρωμένα ηφαιστειακά συμπλέγματα των Αρχαϊκών πεδίων αλλά διαφέρουν στο γεγονός ότι είναι μόνο ελαφρά παραμορφωμένα.

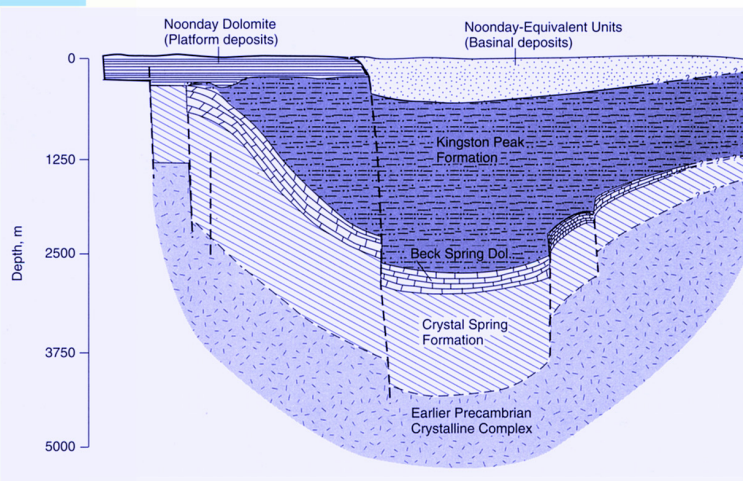
Τεράστιες διεισδυτικές μάζες ανορθοσίτη σχηματίζουν άλλα ξεχωριστά εκρηξιγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα που εμφανίζονται στο Ανώτερο Πρωτεροζωϊκό, 1.000-2.000 Ma πριν από σήμερα. Σε μερικές περιπτώσεις αυτά τα πετρώματα είναι καθαρά εκρηξιγενούς προέλευσης ενώ σε άλλες η παραμόρφωση και η ανακρυστάλλωση έχουν τόσο πολύ αλλοιώσει τον πρωτογενή ιστό των πετρωμάτων, που η προέλευσή τους είναι δύσκολο να διαπιστωθεί.

Πολλές πρωτεροζωϊκές περιοχές επιδεικνύουν μία σειρά από γραμμικές τάφρους, που καλούνται **αυλακογενή (aulacogen, βλπ. και Κεφ. 4)**, οι οποίες σε γενικές γραμμές είναι σχεδόν κάθετες στη διεύθυνση των γειτονικών ορογενετικών αλυσίδων (Εικ. 2.10). Η προσεκτική χαρτογράφηση αυτών έχει δείξει ότι τα ιζήματα που έχουν αποθεθεί σε αυτά σχετίζονται με τα παχιά ιζήματα των γειτονικών ορογενετικών αλυσίδων, όπως και με τα γειτονικά μικρότερου πάχους απαραμόρφωτα ιζήματα πλατφόρμας. Τα ιζήματα είναι ουσιαστικά απαραμόρφωτα ή ελαφρά πτυχωμένα (Εικ. 2.10), με άξονες πτυχών παράλληλους στον άξονα της αύλακας.

Έτσι, οι τεκτονικές συνθήκες κατά το Πρωτεροζωϊκό διαφέρουν καθαρά από αυτές του Αρχαϊκού Αιώνα. Οι διαδεδομένες εκείνη τη περίοδο απαραμόρφωτες ακολουθίες πλατφόρμας δείχνουν την παρουσία (κατά το Πρωτεροζωϊκό), τεράστιων σταθερών ηπειρωτικών περιοχών. Τοπικού χαρακτήρα φλεβικές συγκεντρώσεις και γραμμικής διάταξης ιζηματογενείς λεκάνες, όπως τα αυλακογενή, δείχνουν ότι αυτές οι περιοχές υπόκειντο σε θραυστιγενή εφελκυσμό. Αυτή η εκτίμηση φανερώνει ότι οι τεκτονικές συνθήκες του Πρωτεροζωϊκού ήταν πιο κοντά σε αυτές του Φανεροζωϊκού, παρά σε αυτές του Αρχαϊκού. Μερικοί μελετητές έχουν προτείνει ότι η μετάβαση από τον Αρχαϊκό στον Πρωτεροζωϊκό αιώνα είναι το μοναδικό πραγματικά σημαντικό τεκτονικό γεγονός σε όλη την ιστορία της Γης. Τι προκάλεσε αυτή τη μετάβαση, και τι αυτή δείχνει; Γιατί ο Αρχαϊκός αιώνας ήταν τόσο διαφορετικός από τους μεταγενέστερους αιώνες; Πόσο και σε τι ο Πρωτεροζωϊκός διαφέρει από τους μεταγενέστερους χρόνους; Ποια ήταν τα χαρακτηριστικά της παγκόσμιας τεκτονικής κατά τους αιώνες του Αρχαϊκού και Πρωτεροζωϊκού; Η τεκτονική των πλακών σε αυτές τις περιόδους έχει



Εικόνα 2.10 Χάρτης της Βόρειας Αμερικής με τα πιστοποιημένα πρωτεροζωϊκά αυλακογενή. Στη διπλανή τομή φαίνεται η στρωματογραφική και τεκτονική δομή του αυλακογενούς Amargosa στην Καλιφόρνια. Σημειώνεται η αύξηση του πάχους των ιζημάτων στο κέντρο της λεκάνης και τα κανονικά ρήγματα, που καλύπτονται από τα νεότερα ιζήματα.



κάποια ομοιότητα με αυτή του Φανεροζωϊκού; Κάποιες από αυτές τις ερωτήσεις θα απαντηθούν στις επόμενες παραγράφους του κεφαλαίου και κάποιες άλλες σε άλλα κεφάλαια.

2.5 Φανεροζωϊκές Περιοχές

Στις φανεροζωϊκές περιοχές, δηλαδή από το Κάμβριο και μετά, τα διαθέσιμα στοιχεία αυξάνουν σημαντικά και η εικόνα που οι γεωλόγοι έχουν για τα τεκτονικά χαρακτηριστικά τους είναι πολύ πιο λεπτομερή από τα αντίστοιχα για τις προκάμβριες περιοχές. Σε αυτό το κεφάλαιο σχολιάζονται γνωρίσματα των ιζημάτων ηπειρωτικής πλατφόρμας, των ορογενετικών αλυσίδων, των ηπειρωτικών τάφρων και των ηπειρωτικών περιθωρίων.

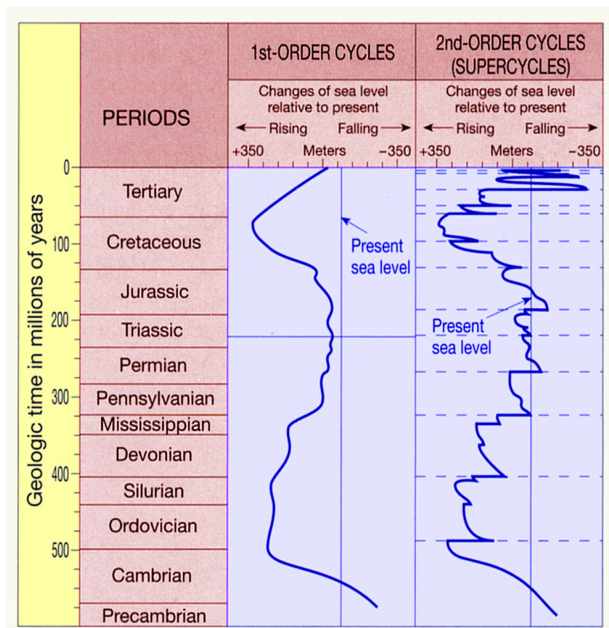
Ηπειρωτικές Πλατφόρμες

Όλοι οι ήπειροι περιέχουν εσωτερικές περιοχές με χαμηλά υψόμετρα και κρατονικές πλατφόρμες όπου σχετικά μικρού πάχους ακολουθίες από ιζηματογενή πετρώματα υπέρκεινται πετρωμάτων του Προκάμβριου, που αποτελούν την υπόγεια προέκταση των ασπίδων (βλπ. Εικ. 2.7 στα προηγούμενα). Με μικρές εξαιρέσεις, αυτά τα ιζηματογενή πετρώματα είναι οριζόντια στρωμένα και αποτελούνται από λιθολογικές ενότητες που είναι συνεχείς για τεράστιες εκτάσεις, μεγαλύτερες από εκείνες των προκάμβριων ασπίδων. Πρόκειται κυρίως

για πεδινές εκτάσεις που κείτονται μερικές εκατοντάδες μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Για ένα τεκτονικό γεωλόγο, αυτές οι περιοχές είναι σχετικά μονότονες. Όμως, η οικονομική τους σημασία, όσον αφορά τα κοιτάσματα όπως το πετρέλαιο, το κάρβουνο κλπ., είναι τόσο μεγάλη που η έρευνά τους έφερε ένα τεράστιο όγκο γνώσεων, έτσι ώστε ο αμερικανός τεκτονικός γεωλόγος P. B. King να ονομάσει την έρευνα σχετικά με αυτές τις περιοχές ως "επιστήμη των ελαφρά κεκλιμένων στρωμάτων".

Οι περισσότερες εσωτερικές ιζηματογενείς πλατφόρμες ξεκινούν με ιζήματα του Μέσου Καμβρίου ή νεότερα. Ιζήματα του Κατώτερου Καμβρίου ή παλαιότερα πετρώματα του Φανεροζωϊκού εμφανίζονται μόνο στα περιθώρια της πλατφόρμας. Σε όλο τον κόσμο οι επαφές των ιζημάτων αυτών με τα υποκείμενα πετρώματα των προκάμβριων ασπίδων είναι μία μεγάλης σημασίας ασυμφωνία, που σηματοδοτεί, σε παγκόσμιο επίπεδο, μία προέλαση της θάλασσας στο εσωτερικό των ηπείρων. Στις περισσότερες περιοχές αυτή η ασυμφωνία αντιπροσωπεύει ένα στρωματογραφικό κενό δεκάδων ή και εκατοντάδων εκατομμυρίων χρόνων.

Τα περισσότερα ιζήματα που αναπτύσσονται σε αυτές τις πλατφόρμες είναι θαλάσσια και αντιπροσωπεύουν αποθέσεις ηπειρωτικών θαλασσών. Μία σημαντική εξαίρεση στον κανόνα αυτό είναι οι ιζηματογενείς ακολουθίες στην πάλαι τότε Γκοτβάννα, οι οποίες αποτελούνται από μη θαλάσσια ιζήματα. Τα θαλάσσια ιζήματα αποτυπώνουν μεγά-



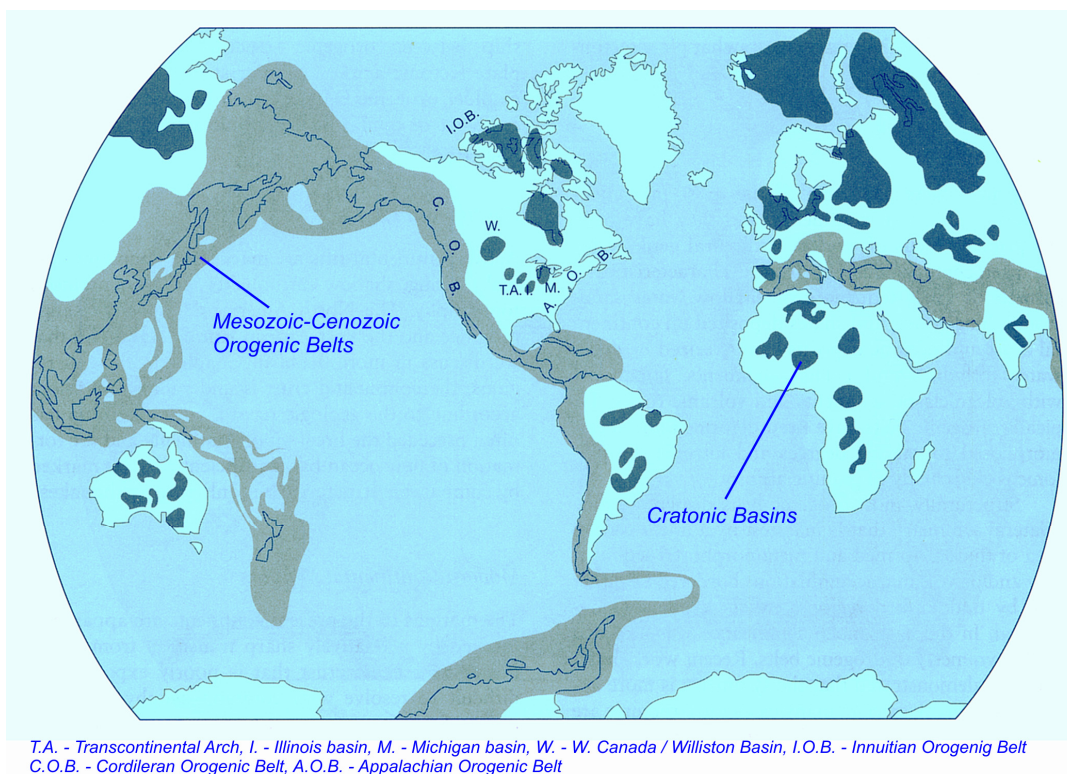
Εικόνα 2.11 Καμπύλες επίκλησης και απόσυρσης της θάλασσας στις ηπείρους. Παρουσιάζονται οι μακράς διάρκειας, πρώτης τάξης, μεταβολές, καθώς και οι μικρότερης διάρκειας και δεύτερης τάξης μεταβολές της στάθμης της θάλασσας.

λες περιόδους προέλασης και οπισθοχώρησης της θάλασσας καθ' όλη τη διάρκεια του Φανεροζωικού, οι οποίες με τη σειρά τους υποδηλώνουν σημαντικές διακυμάνσεις του επιπέδου της στάθμης

των ωκεανών σε σχέση με αυτό των ηπείρων (Εικ. 2.11).

Το κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό σε αυτές τις πλατφόρμες είναι μία ομάδα από κρατονικές λεκάνες, που διαχωρίζονται από ενδιάμεσους δόμους ή αψίδες (Εικ. 2.12). Πολλά από αυτά τα γνωρίσματα δίνουν στοιχεία για τις κατακόρυφες κινήσεις του φλοιού, οι οποίες κράτησαν περιοδικά πάνω από δεκάδες έως εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Οι αψίδες λειτούργησαν ως πηγές ιζημάτων κατά τη διάρκεια κάποιων μεσοδιαστημάτων ενώ σε άλλα διαστήματα καλύφθηκαν από μικρού πάχους ιζηματογενείς ακολουθίες, οι οποίες όμως ήταν μικρότερου πάχους σε σχέση με αυτές στις γειτονικές πλατφόρμες. Οι λεκάνες μπορεί να περιέχουν, παχιές σειρές που έχουν αποτεθεί σε βαθύτερα νερά. Στα διαστήματα εκείνα όπου λάμβανε χώρα οπισθοχώρηση της θάλασσας, οι λεκάνες δείχνουν στοιχεία περιορισμένης κυκλοφορίας ακόμη και αποξήρανσης.

Η ύπαρξη δόμων και λεκανών στις ηπειρωτικές πλατφόρμες και η αντανάκλαση της διακύμανσης του επιπέδου της θάλασσας στα ιζήματα τους είναι γνωστά εδώ και δεκαετίες. Δύο ερωτήσεις όμως μπορούν να προκύψουν σχετικά με το τι σήμερα είναι γνωστό για τη τεκτονική των πλακών και τη δράση της κατά τη διάρκεια του Φανεροζωικού: Τι τεκτονικές διαδικασίες δημιούργησαν την εναλλαγή δόμων και λεκανών και ποια η σχέση τους με τη τεκτονική των πλακών;



Εικόνα 2.12 Η κατανομή των κρατονικών λεκανών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ορογενετικές Ζώνες

Οι ορογενετικές ζώνες αποτελούν ίσως το πιο σημαντικό τεκτονικό γνώρισμα των ηπείρων και έχουν αποτελέσει το πρωταρχικό πεδίο έρευνας στη τεκτονική γεωλογία τον περασμένο αιώνα. Αυτές οι ζώνες αποτελούνται από παχιές ακολουθίες ψαμμιτών, ασβεστόλιθων και αργίλων που έχουν αποτεθεί σε περιβάλλον ρηχών νερών πάνω σε ένα ηπειρωτικό φλοιό και τουρβιδίτες και πελαγικά ιζήματα που είχαν αποτεθεί πάνω σε ένα ωκεάνιο φλοιό, συνοδευόμενα συχνά από ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα και ηφαιστειακά πετρώματα. Τυπικά, οι ορογενετικές ζώνες έχουν παραμορφωθεί και μεταμορφωθεί σε μία ποικιλία φάσεων, ενώ πλουτώνια πετρώματα, κυρίως γρανιτικής σύστασης, έχουν διεισδύσει εντός αυτών.

Τεκτονικά, οι περισσότερες ορογενετικές ζώνες επιδεικνύουν μία αδρή αμφίπλευρη συμμετρία, εκατέρωθεν από μια κεντρική αξονική περιοχή, όπου έχουν συσσωρευθεί μεγάλου πάχους παραμορφωμένα και μεταμορφωμένα ιζηματογενή ή/και ηφαιστειακά πετρώματα, η οποία οριοθετείται και από τις δύο πλευρές από απαραμόρφωτες, ωκεάνιες ή ηπειρωτικές περιοχές. Στο παρελθόν είχε δοθεί μεγάλη σημασία στη συμμετρία των ορογενετικών ζωνών. Ωστόσο, οι νεότερες έρευνες έχουν δείξει ότι αυτή η συμμετρία είναι περισσότερο φαινομενική παρά πραγματική, καθώς σε πολλές περιπτώσεις οι δομές είναι διαφορετικής ηλικίας στις δύο πλευρές εκατέρωθεν του κέντρου.

Η εφαρμογή της τεκτονικής των πλακών στη μελέτη των ορογενετικών ζωνών έφερε επανάσταση στις απόψεις σχετικά με τον τρόπο που δημιουργούνται οι ζώνες αυτές. Έτσι, σήμερα πιστεύεται ότι δημιουργούνται σε συγκλίνοντα περιθώρια, είτε ως αποτέλεσμα μίας μακράς περιόδου υποβύθισης κάτω από ένα περιθώριο, είτε μίας σύγκρουσης δύο ηπείρων μεταξύ τους, είτε ηπείρου με νησιωτικό τόξο, είτε ηπείρου με κάποιο άλλο παχύ φλοιό, ωκεάνιας προέλευσης. Διαφορετικοί τύποι οροσειρών σχηματίζονται σε κάθε περίπτωση, καθώς εξαρτώνται από το χαρακτήρα των συγκρουόμενων τεμαχών, όσο και ποιο από τα δύο συγκρουόμενα τεμάχια του φλοιού επωθείται το ένα πάνω στο άλλο.

Έτσι, η τεκτονική ιστορία μίας ορογενετικής ζώνης μπορεί να αποτυπώνει κάποιες όψεις της ιστορίας της τεκτονικής των πλακών. Μελετώντας την τεκτονική ιστορία των νεότερων ορογενετικών ζωνών, αποκαλύπτεται μία σχέση μεταξύ των ορογενετικών δομών και της τεκτονικής δραστηριότητας των πλακών. Παρόμοιες δομές σε ανενεργές ή παλιές ορογενετικές ζώνες μπορούν να έχουν προκύψει κάτω από παρόμοιες τεκτονικές δραστηριότητες των πλακών στο γεωλογικό παρελθόν.

Ηπειρωτικές Τάφροι

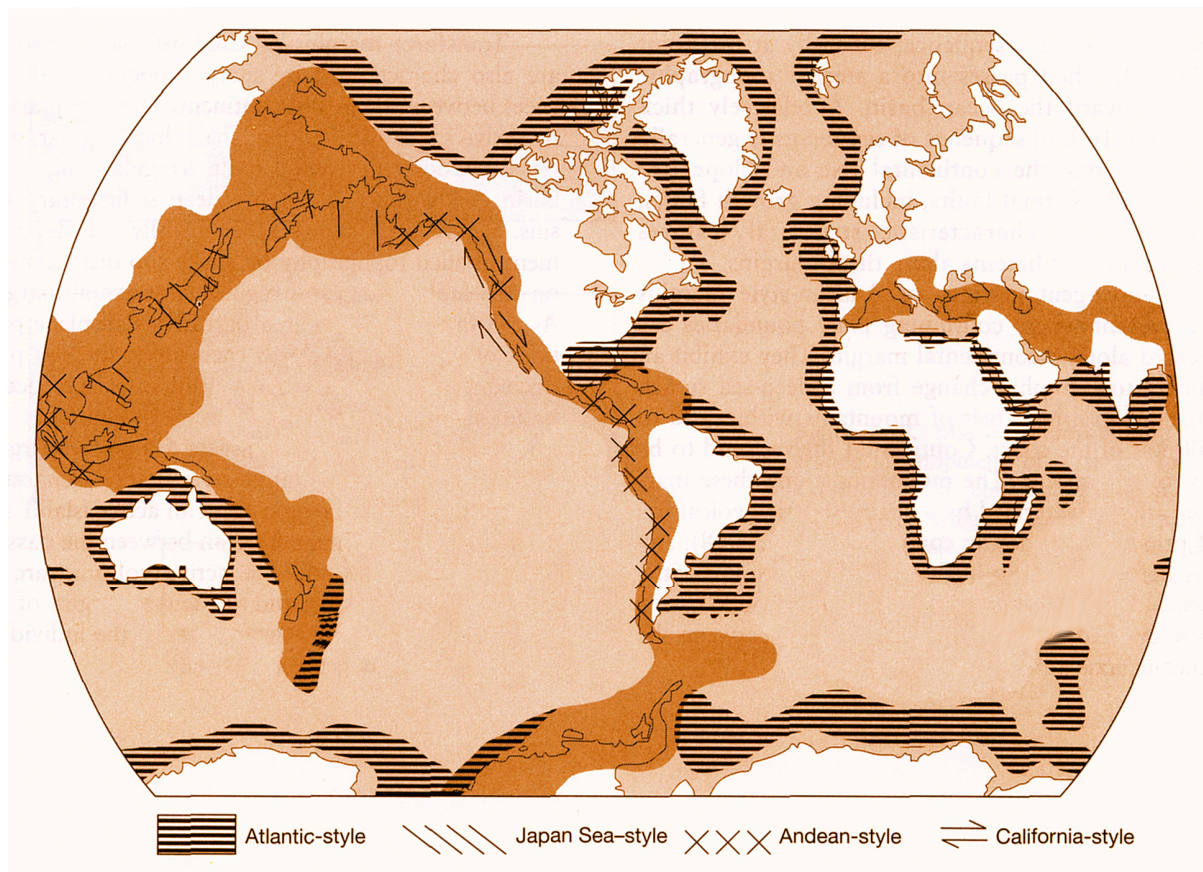
Οι ενεργές ηπειρωτικές τάφροι χαρακτηρίζονται από κανονικά ρήγματα, μικρού βάθους σεισμούς και ορεινή τοπογραφία. Η επαρχία Basin & Range στη Βόρεια Αμερική και η Τάφρος της Ανατολικής Αφρικής, είναι τέτοια παραδείγματα και θα σχολιαστούν σε επόμενα κεφάλαια. Σε τέτοιες περιοχές ο ηπειρωτικός φλοιός υπόκειται σε εφελκυσμό, που στο παρελθόν πολλές φορές οδήγησε στον τεμαχισμό των ηπείρων και το σχηματισμό νέων ωκεάνιων λεκανών ανάμεσά τους. Πολύ παλαιάς ηλικίας τάφροι χαρακτηρίζονται από αντίστοιχες τεκτονικές δομές, αλλά από σπάνιους σεισμούς.

Σύγχρονα Ηπειρωτικά Περιθώρια

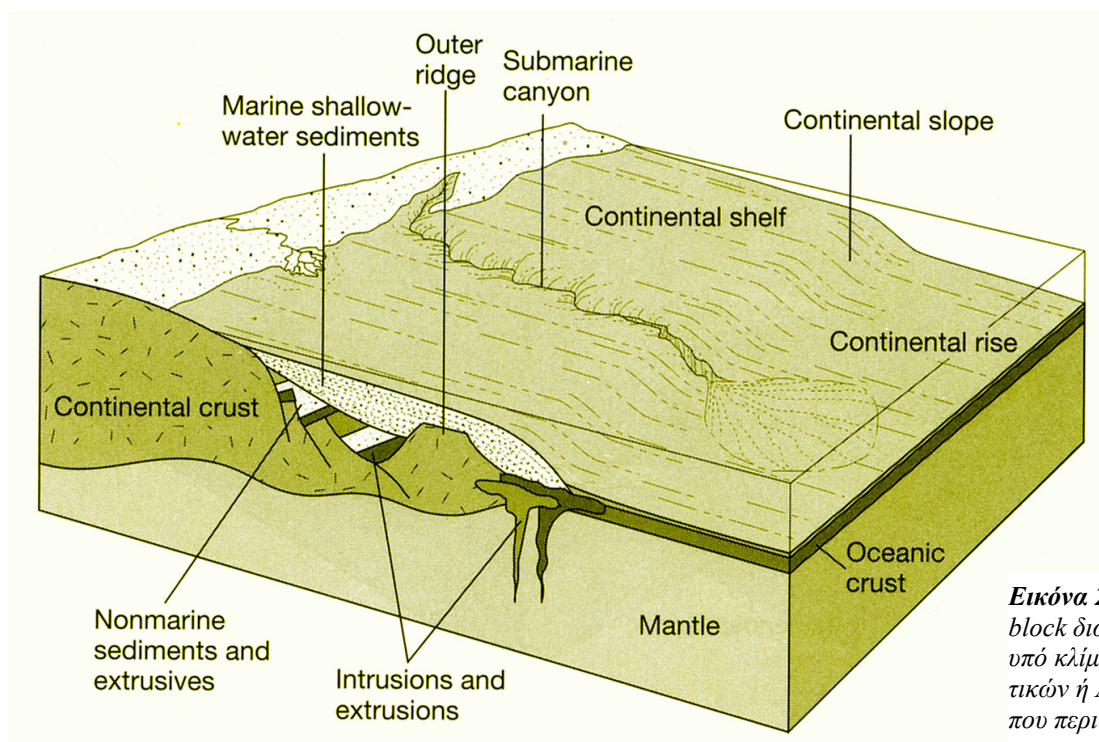
Τα περιθώρια των σύγχρονων ηπείρων χαρακτηρίζονται από μία σχετικά απότομη μετάβαση από ηπειρωτικό σε ωκεάνιο φλοιό, που τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο να αναλυθεί με τις συνήθεις γεωφυσικές τεχνικές. Η σεισμική διάθλαση, η οποία χρησιμοποιεί πρότυπα διαστρωμένων πετρωμάτων, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου τα στρώματα είναι ασυνεχή, όπως συμβαίνει στα περιθώρια των ηπείρων. Μόνο πρόσφατα το πρόβλημα αυτό φαίνεται να έχει ξεπεραστεί με τη χρησιμοποίηση μεθόδων σεισμικής ανάκλασης και έτσι οι γεωλόγοι να έχουν στα χέρια τους τις πρώτες εικόνες της μετάβασης από τον ηπειρωτικό στον ωκεάνιο φλοιό. Συμπερασματικά, λοιπόν, μπορεί να ειπωθεί ότι η δομή των ηπειρωτικών περιθωρίων δεν έχει ακόμη αποσαφηνιστεί πλήρως.

Τέσσερις τύποι ηπειρωτικών περιθωρίων έχουν αναγνωριστεί, βάσει του τεκτονικού τους περιβάλλοντος (Εικ. 2.13): i) παθητικά ή ατλαντικού τύπου περιθώρια, ii) συγκλίνοντα περιθώρια ή περιθώρια τύπου Άνδεων, iii) περιθώρια μετασχηματισμού ή τύπου Καλιφόρνιας και iv) περιθώρια οπισθοτόξου ή τύπου Ιαπωνικής Θάλασσας. Το γεωγραφικό όνομα, που χρησιμοποιείται μερικές φορές για να χαρακτηρίσει ένα περιθώριο, είναι δανεισμένο από την περιοχή με την πιο τυπική εμφάνιση αυτού του τύπου περιθωρίου.

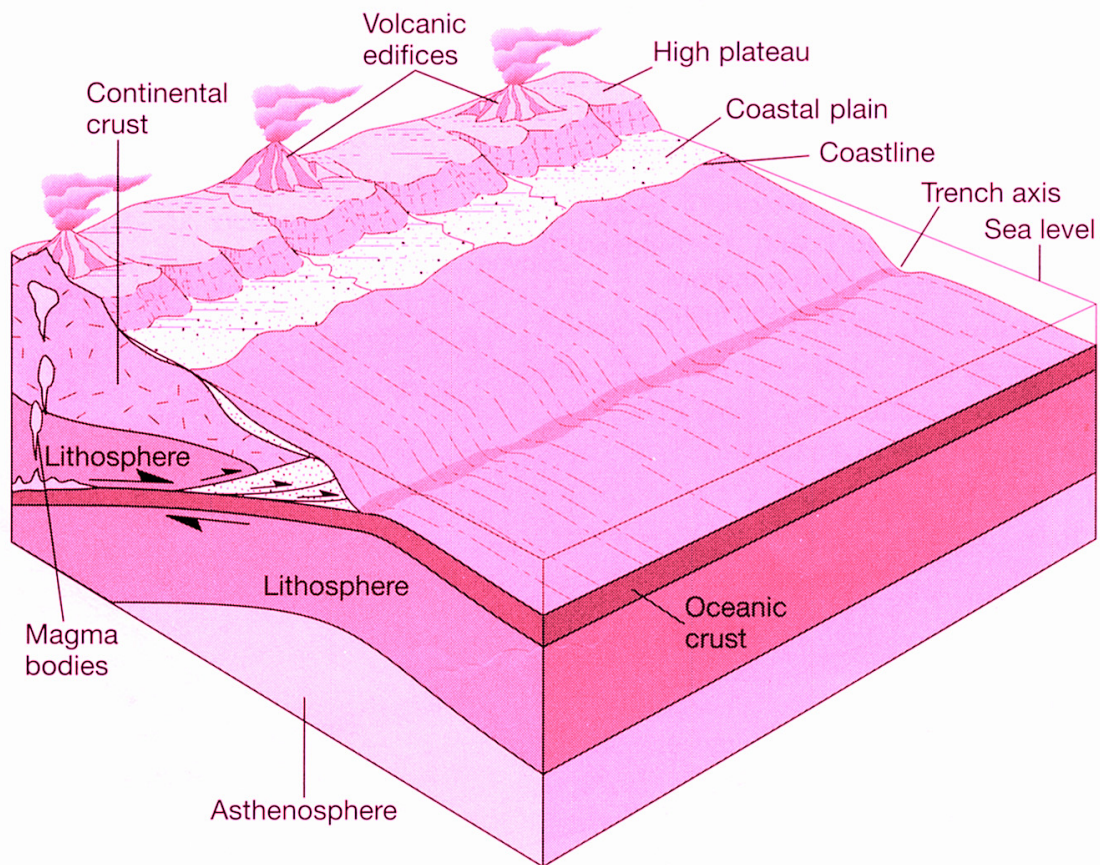
Τα **παθητικά περιθώρια (ταφρογενή περιθώρια – rifted margins)** ή **περιθώρια Ατλαντικού τύπου**, παρατηρούνται και στις δύο πλευρές του Ατλαντικού ωκεανού, όπως και στην Ινδία, στους Αρκτικούς ωκεανούς και γύρω από την Ανταρκτική. Αρχικά αναπτύχθηκαν ως ένα όριο απομάκρυνσης των δύο τεμαχών της ηπείρου, αλλά καθώς η διάνοιξη της ωκεάνιας λεκάνης συνεχιζόταν και η ωκεάνια λεκάνη πλάταινε, κατέληξαν να βρίσκονται σήμερα στη μέση της πλάκας (Εικ. 2.14).



Εικόνα 2.13 Οι διάφοροι τύποι ηπειρωτικών περιθωρίων: παθητικά ή ατλαντικού τύπου περιθώρια, περιθώρια οπισθοτόξου ή τύπου Ιαπωνικής Θάλασσας, συγκλίνοντα περιθώρια ή περιθώρια τύπου Άνδεων και περιθώρια μετασχηματισμού ή τύπου Καλιφόρνιας.



Εικόνα 2.14 Σχηματικό block διάγραμμα (όχι υπό κλίμακα), των παθητικών ή Ατλαντικού τύπου περιθωρίων.



Εικόνα 2.15 Σχηματικό block διάγραμμα (όχι υπό κλίμακα), των συγκλινόντων ηπειρωτικών περιθωρίων ή περιθωρίων τύπου Άνδεων.

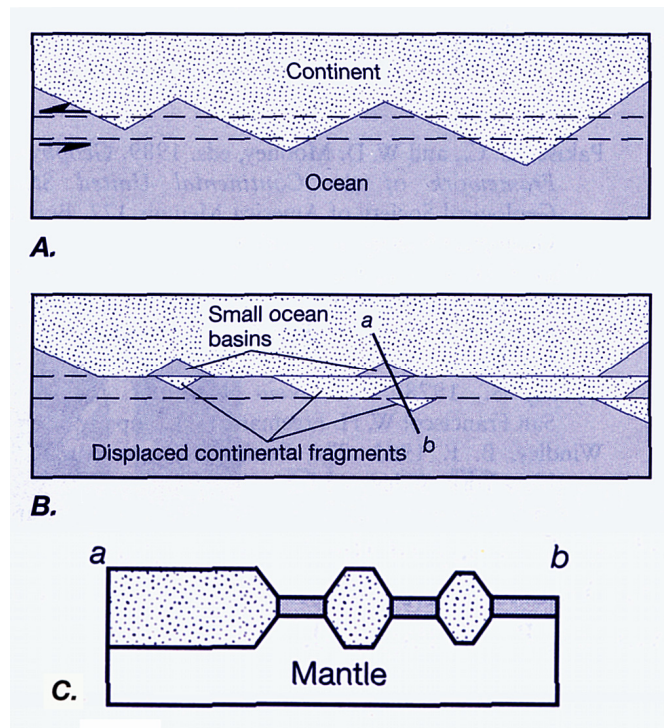
Τα παθητικά περιθώρια περιλαμβάνουν μία παραλιακή πεδιάδα και μία υποθαλάσσια τοπογραφική κρηπίδα ποικίλου πλάτους, που σε γενικές γραμμές αποτελείται από μία παχιά ακολουθία (10-15 km) ιζημάτων ρηχών νερών, κλαστικής ή βιοχημικής σύστασης. Κατά μήκος κάποιων περιθωρίων, παρατηρείται μία εξωτερική ράχη κάτω από τη προηγούμενη παχιά ιζηματογενή ακολουθία, η οποία συνήθως βρίσκεται στο σημείο όπου η κρηπίδα μεταβαίνει σε μία σχετικά απότομη πλαγιά προς την ωκεάνια λεκάνη.

Μία σχετικά παχιά σειρά ιζημάτων (περίπου 10 km) αναπτύσσεται κατά μήκος της ηπειρωτικού υψώματος και της πλαγιάς. Τα κανονικά ρήγματα είναι οι πιο σημαντικές τεκτονικές δομές κατά μήκος αυτών των περιθωρίων.

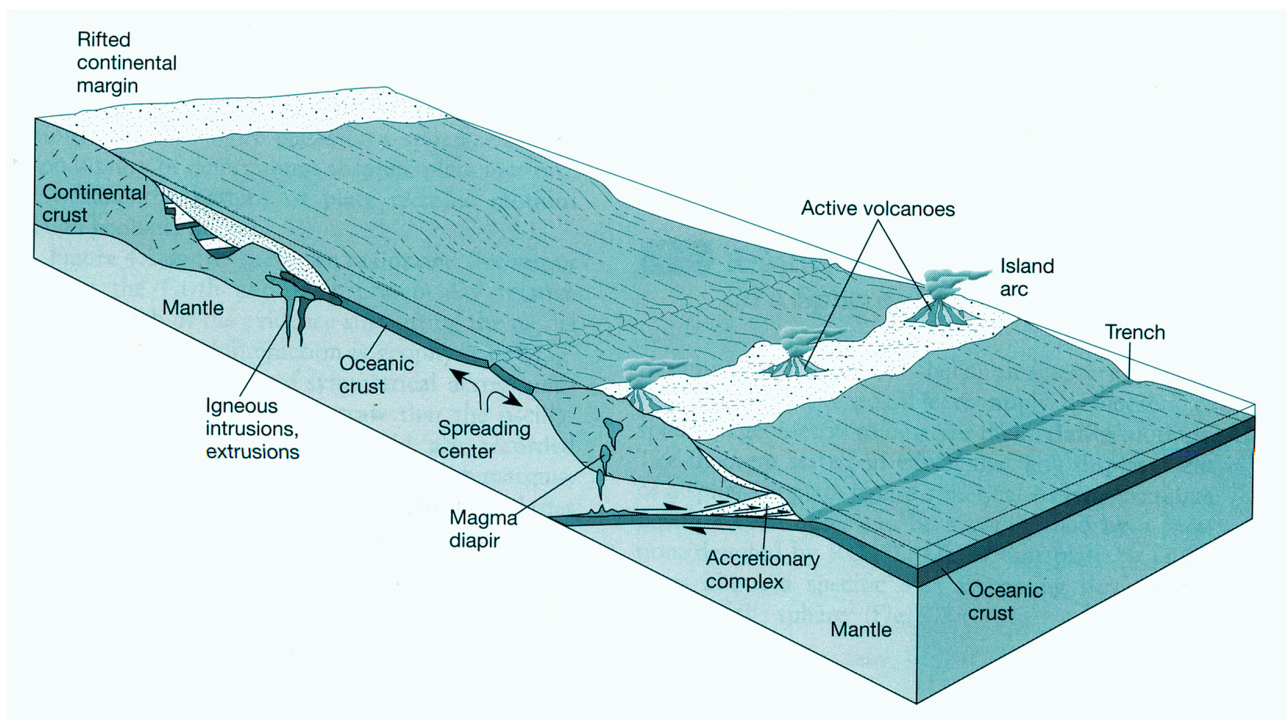
Τα **συγκλινόντα περιθώρια** ή **περιθώρια τύπου Άνδεων** παρατηρούνται εκεί όπου καταναλισκόμενα όρια πλακών βρίσκονται κατά μήκος ηπειρωτικών περιθωρίων. Παρουσιάζουν μία απότομη τοπογραφική αλλαγή, από μία βαθιά υποθαλάσσια τάφρο σε μία υψηλή οροσειρά, μέσα σε μια απόσταση 100-200 km από την ακτή. Οι ηπειρωτι-

κές κρηπίδες τείνουν να είναι ρηχές ή απουσιάζουν τελείως. Οι οροσειρές κατά μήκος αυτών των περιθωρίων χαρακτηρίζονται από μία αλυσίδα ενεργών ηφαιστειών, κυρίως ανδεσιτικής σύστασης (Εικ. 2.15). Η ενεργός παραμόρφωση έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εφίπνεύσεων και επωθήσεων κοντά στην τάφρο, μεγάλης κλίσης κανονικών ρηγμάτων κοντά στον ηφαιστειακό άξονα και κανονικών ή ανάστροφων μικρής κλίσης ρηγμάτων, ανάμεσα στο ηφαιστειακό τόξο και την ήπειρο.

Τα **περιθώρια μετασχηματισμού** ή **περιθώρια τύπου Καλιφόρνιας** χαρακτηρίζονται επίσης από απότομη τοπογραφική διαφοροποίηση ανάμεσα στον ωκεανό και την ήπειρο. Σηματοδοτούνται από ενεργά οριζοντιολισθητικά ρήγματα, απότομο τοπικά τοπογραφικά ανάγλυφο, μία φτωχά αναπτυγμένη κρηπίδα, μία ακανόνιστη τοπογραφία από ράχες και λεκάνες και πολλές βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες. Η Εικόνα 2.16 παρουσιάζει σχηματικά την ανάπτυξη μίας τέτοιας τοπογραφίας, λόγω οριζόντιας ολίσθησης σε δύο παράλληλα ρήγματα, κατά μήκος ενός ακανόνιστου ηπειρωτικού περιθωρίου. Καθώς τα ρήγματα δραστηριοποιούνται,



Εικόνα 2.16 Σχηματικός χάρτης και τομή ενός ηπειρωτικού περιθωρίου μετασχηματισμού ή τύπου Καλιφόρνιας (όχι υπό κλίμακα). Α. Το ηπειρωτικό περιθώριο είναι ακανόνιστο και διασχίζεται από ένα σύστημα δύο ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης. Β. Μετά την κίνηση και στα δύο ρήγματα, τεμάχια της ηπείρου έχουν μετατεθεί σε νέες θέσεις. Γ. Η εγκάρσια τομή ab παρουσιάζει την τεκτονική mega-δομή με εναλλαγές ράχων και λεκανών.



Εικόνα 2.17 Σχηματικό block διάγραμμα (όχι υπό κλίμακα), των ηπειρωτικών περιθωρίων ή περιθωρίων οπισθοτόξου ή τύπου Ιαπωνικής Θάλασσας.

μετακινούν προοδευτικά τμήματα του ηπειρωτικού μετώπου και παράγουν τελικά μία εναλλαγή από στενές ωκεάνιες λεκάνες και ηπειρωτικά θραύσματα.

Τα **περιθώρια οπισθοτόξου** ή **τύπου Ιαπωνικής Θάλασσας** αποτελούν ουσιαστικά παθητικά ατλαντικού τύπου περιθώρια, που διαχωρίζονται

από ένα ενεργό νησιωτικό τόξο μέσω ενός στενού ωκεανού (Εικ. 2.17). Η Ιαπωνική Θάλασσα είναι ένας στενός ωκεανός ανάμεσα στην παθητική ανατολική ακτή της Ασίας και του ενεργού ηφαιστειακού τόξου της Ιαπωνίας. Τόσο το παθητικό όσο και το ενεργό περιθώριο, των σύνθετων αυτών περιθωρίων, φέρουν τα γνωρίσματα των περιθωρίων που περιγράφησαν στα προηγούμενα.

