ΚΕΦΑΛΑΙΟ

11 Δομή των Κυριότερων Ορογενετικών Αλυσίδων

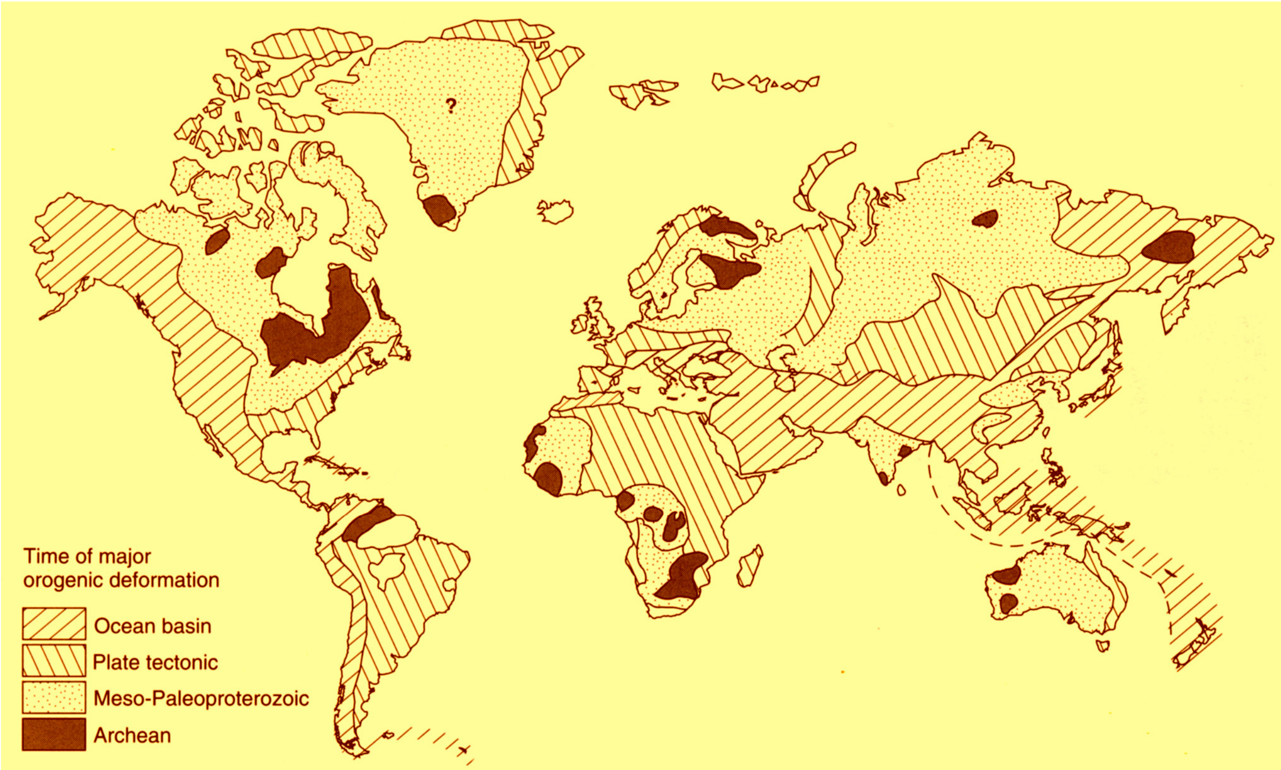
11.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται τα χαρακτηριστικά διάφορων ορογενετικών συστημάτων και συσχετίζονται με τις διαδικασίες της Τεκτονικής των Πλακών που είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία και εξέλιξή τους. Στην ουσία, ο συσχετισμός αυτός αφορά στα ορογενετικά συστήματα που είναι νεότερα των 200 Ma, δεδομένου ότι, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 9, οι παλαιομαγνητικές ανωμαλίες δείχνουν ότι δεν υφίσταται ωκεάνιος πυθμένας παλαιότερης ηλικίας. Για παλαιότερης ηλικίας ορογενετικά συστήματα βασιζόμαστε μόνο στα παλαιομαγνητικά στοιχεία για την μετακίνηση των ηπείρων αλλά και στους έμμεσους πετροτεκτονικούς δείκτες της δραστηριότητας των πλακών, που εντοπίζονται στα ίδια τα ορογενετικά συστήματα.

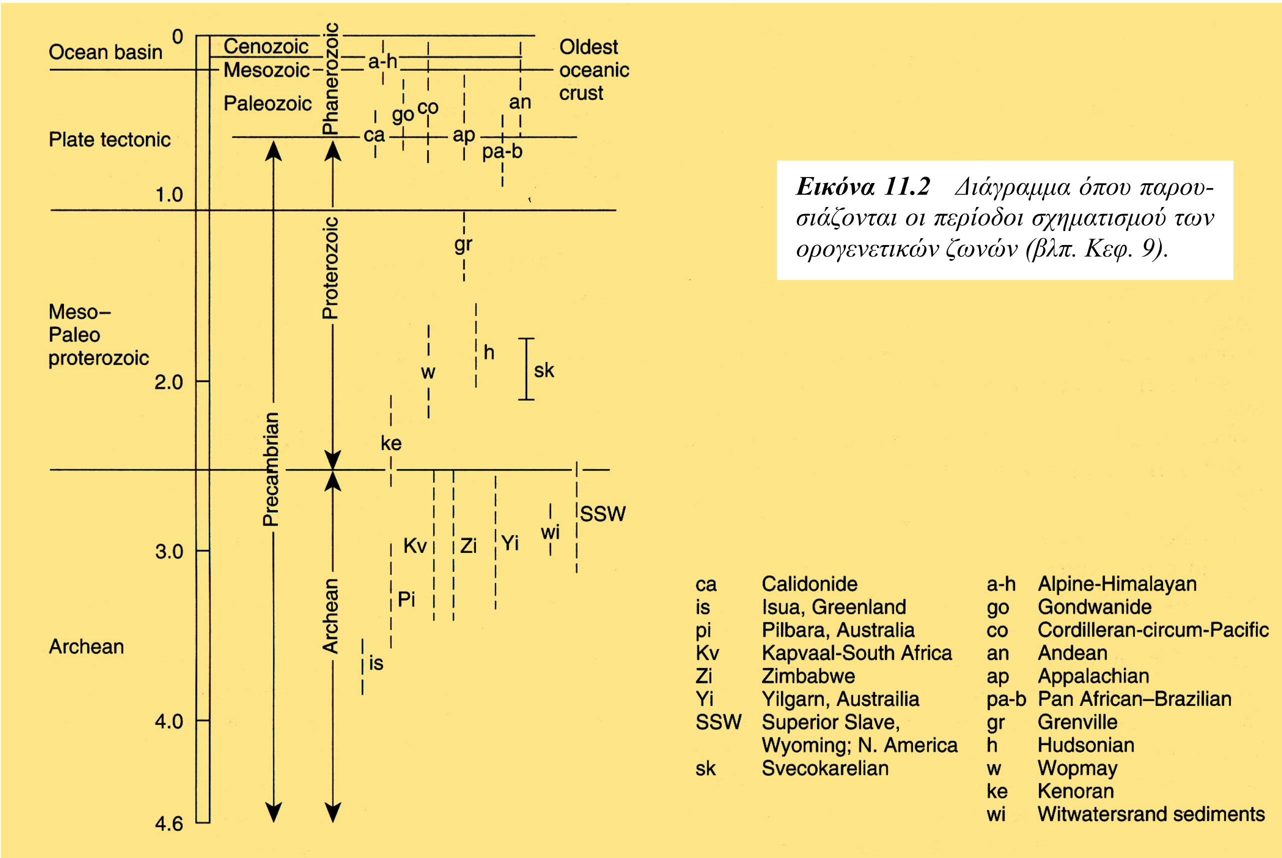
Στην Εικ. 11.1 παρουσιάζεται η κατανομή των ορογενετικών συστημάτων και του υποβάθρου που σχηματίσθηκαν στις διάφορες περιόδους της τεκτονικής ιστορίας και εξέλιξης της Γης (βλπ. Κεφ. 9). Στην επόμενη εικόνα (Εικ. 11.2), παρουσιάζονται, με τη μορφή πίνακα, τα χρονικά διαστήματα και περίοδοι εξέλιξης της τεκτονικής ιστορίας της Γης, κατά τις οποίες σχηματίσθηκαν τα διάφορα ορογενετικά συστήματα.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν πέντε από τα κυριότερα ορογενετικά συστήματα του πλανήτη και πιο συγκεκριμένα: οι Άνδεις, η Κορδιλιέρα της Βόρειας Αμερικής, οι Ευρωπαϊκές Άλπεις, τα Ιμαλάϊα και τα Απαλάχια. Η συγκεκριμένη επιλογή έχει γίνει γιατί τα ορογενετικά αυτά συστήματα καλύπτουν δύο βασικούς συσχετισμούς. Πρώτον τη διάκριση ανάμεσα σε ορογενετικά συστήματα τύπου Κορδιλιέρας και τύπου Άλπεων και δεύτερον τη δημιουργία και εξέλιξη ορογενετικών συστημάτων τόσο κατά την περίοδο των ωκεάνιων λεκανών, όσο και κατά την περίοδο της τεκτονικής των πλακών (βλπ. Κεφ. 9).

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα, τα ορογενετικά συστήματα τύπου Κορδιλιέρας σχηματίζονται από την αλληλεπίδραση ανάμεσα σε μια ωκεάνια και μία ηπειρωτική πλάκα, ενώ τα ορογενετικά συστήματα τύπου Άλπεων σχηματίζονται από την αλληλεπίδραση αρχικά μιας ωκεάνιας με μια ηπειρωτική πλάκα που στη συνέχεια εξελίσσεται σε αλληλεπίδραση ανάμεσα σε δύο ηπειρωτικές πλάκες. Η κλίμακα και η έκταση των οροσειρών είναι σε γενικές γραμμές της ίδιας τάξης μεγέθους, ενώ η περιγραφή ξεκινά με τα συστήματα τύπου



Εικόνα 11.1 *Η κατανομή των ορογενετικών ζωνών ανάλογα με την περίοδο κατά την οποία σχηματίσθηκαν, δηλαδή ανάλογα με την περίοδο που έλαβαν χώρα τα παραμορφωτικά επεισόδια που τις δημιούργησαν (βλπ. Κεφ. 9).*



Εικόνα 11.2 *Διάγραμμα όπου παρουσιάζονται οι περίοδοι σχηματισμού των ορογενετικών ζωνών (βλπ. Κεφ. 9).*

Κορδιλιέρας και συνεχίζει με τα συστήματα τύπου Άλπεων.

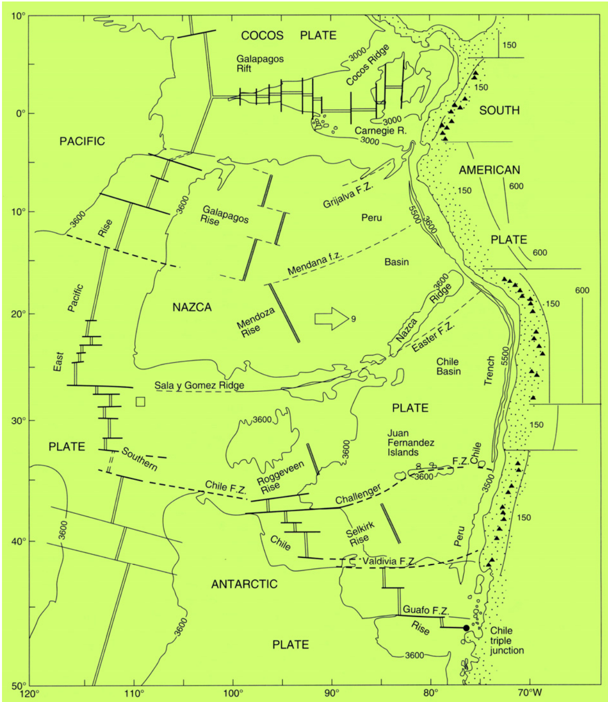
Αν και η εξέλιξη των Άνδεων και της Κορδιλιέρας της Β. Αμερικής (παριστάνονται με τα σύμβολα an και co στην Εικ. 11.2), καλύπτουν κατά κύριο λόγο την περίοδο των ωκεάνιων λεκανών, αλλά και τμήμα της περιόδου των τεκτονικών πλακών, έμφαση δίνεται στην εξέλιξη της νεότερης περιόδου των ωκεάνιων λεκανών. Το Αλπικό Σύστημα (a-h στην Εικ. 11.2) εξελίσσεται κυρίως κατά την περίοδο των ωκεάνιων λεκανών. Τα Απαλάχια (ap στην Εικ. 11.2), εξελίσσονται κατά την περίοδο των τεκτονικών πλακών.

Το συνθετικό, αλλά απλοποιημένο, μοντέλο της δομής μιας ορογενετικής ζώνης, που παρουσιάσθηκε στην Εικ. 9.8 (βλπ. Κεφ. 9), μπορεί να ληφθεί ως πρότυπο αναφοράς, ώστε να γίνει τόσο ο συσχετισμός του με τα αναφερόμενα ορογενετικά συστήματα, όσο και ο συσχετισμός μεταξύ των ορογενετικών συστημάτων. Στη βασική του θεώρηση το μοντέλο αυτό, προϋποθέτει ότι η ορογένεση είναι το αποτέλεσμα της σύγκρουσης δύο ηπείρων. Για το λόγο αυτό το ορογενές των Απαλαχίων βρίσκεται πιο κοντά στο μοντέλο αυτό. Το Αλπικό Σύστημα, η Κορδιλιέρα της Β. Αμερικής και οι Άνδεις προυσιάζουν αρκετές ομοιότητες με το μοντέλο αυτό, αλλά και σημαντικές επιμέρους διαφορές, κυρίως επειδή αποτελούν ενεργά ορογενετικά συστήματα, που ακόμα βρίσκονται σε εξέλιξη.

11.2 Η Οροσειρά των Άνδεων

Οι Άνδεις είναι μία οροσειρά, μήκους περίπου 9.000 km, που εκτείνεται κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Νότιας Αμερικής (Εικ. 11.3). Ερμηνεύοντας την οροσειρά από την οπτική της γεωτεκτονικής, οι Άνδεις είναι το αποτέλεσμα της προς τα ανατολικά υποβύθισης της ωκεάνιας πλάκας της Ανταρκτικής και της ωκεάνιας μικροπλάκας της Νάζκα (Nazca Plate), κάτω από την ηπειρωτική πλάκα της Νότιας Αμερικής.

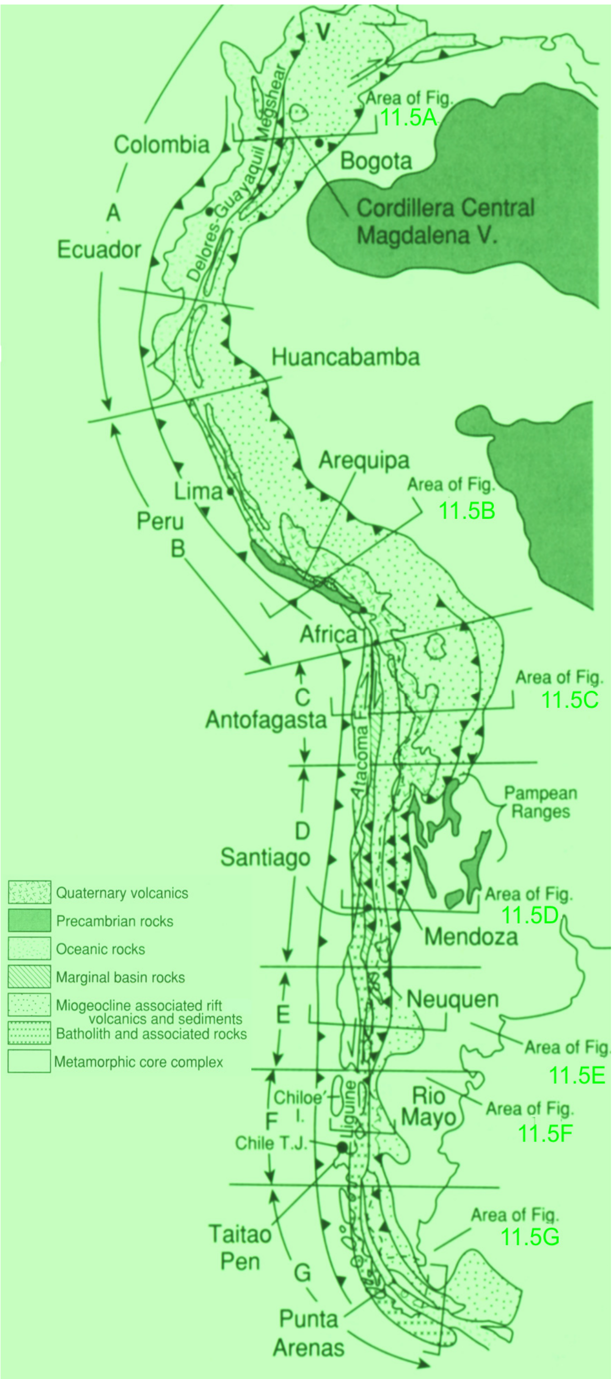
Εξωτερικά της δυτικής ακτογραμμής της Νότιας Αμερικής, αναπτύσσεται η τάφρος Περού – Χιλής, όπου και αρχίζει η ζώνη υποβύθισης. Κατά μήκος της οροσειράς έχει σχηματιστεί ένα ενεργό ηφαιστειακό τόξο, ενώ κατά μήκος του ανατολικού περιθωρίου της μία ενεργή ζώνη πτυχώσεων και επωθήσεων. Επίσης, νότια της Χιλής υπάρχει ένα σημείο τριπλής συμβολής (triple junction), όπου οι παραπάνω πλάκες εφάπτονται. Πρόκειται για το σημείο, όπου έρχονται σε επαφή η τάφρος κατά μήκος της οποίας υποβυθίζεται η μικροπλάκα Νάζκα, η τάφρος κατά μήκος της οποίας υποβυθίζεται η πλάκα της Ανταρκτικής και το ρήγμα μετασχηματισμού που χωρίζει τις δύο αυτές ωκεάνιες πλάκες.



Εικόνα 11.3 *Γεωτεκτονικός χάρτης του δυτικού περιθωρίου της Νότιας Αμερικής και του ΝΑ τμήματος του Ειρηνικού Ωκεανού, που παρουσιάζει τα όρια των πλακών και τις περιοχές ενεργού ηφαιστειότητας (μαύρα τρίγωνα), που αντιστοιχούν στα, με μέτρια κλίση, υποβυθιζόμενα τμήματα της πλάκας Nazca.*

Η κατανομή της σεισμικότητας κατά μήκος της οροσειράς, δείχνει ότι η πλάκα Νάζκα έχει σπάσει σε μικρότερα τεμάχη, τα οποία υποβυθίζονται με διαφορετική κλίση. Έτσι, διακρίνονται δύο τμήματα, που βρίσκονται βόρεια και νότια της υποθαλάσσιας ράχης Νάζκα, όπου η σεισμικότητα παρατηρείται σε βάθη μέχρι και 600 km. Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι υπάρχουν τμήματα στα οποία η ηφαιστειότητα απουσιάζει και αυτά αντιστοιχούν σε εκείνα όπου η ζώνη υποβύθισης παρουσιάζει μικρές κλίσεις. Αντίθετα τα ενεργά ηφαίστεια αναπτύσσονται στα τμήματα εκείνα στα οποία η ζώνη υποβύθισης έχει κλίση της τάξης των 30^{o} ή και περισσότερο.

Συγκρίνοντας μία εγκάρσια τομή των Άνδεων με την αντίστοιχη τομή του πρότυπου ορογενούς (Εικ. 9.8, Κεφ. 9), παρά τις όποιες ομοιότητες, υπάρχουν πολύ σημαντικές διαφορές. Έτσι, όπως και στο πρότυπο ορογενές, οι Άνδεις παρουσιάζουν κατά μήκος όλου του ανατολικού τους περιθωρίου, μία ζώνη πτυχώσεων και επωθήσεων με φορά των κινήσεων προς την ήπειρο (Εικ. 11.4). Αντίθετα, όμως, με το πρότυπο ορογενές, οι Άνδεις δε φέρουν χαρακτηριστικό κεντρικό μεταμορφικό πυρήνα. Επίσης, αν και υπάρχουν μεσοζωικοί οφιόλιθοι,



Εικόνα 11.4 *Απλοποιημένος γεωτεκτονικός χάρτης της οροσειράς των Άνδεων, όπου παρουσιάζονται οι κύριες τεκτονικές δομές. Σημειώνεται και η θέση των τομών της Εικ. 11.5.*

αυτοί παρατηρούνται μόνο στο νοτιότατα και βορειότατα τμήματα της οροσειράς, δηλαδή στη Βολιβία και την Αργεντινή. Οι ζώνες επωθήσεων, που στο μοντέλο υπάρχουν και από τις δύο πλευρές του ορογενούς με φορά ολίσθησης προς τα εξωτερικά τμήματα του ορογενούς, υπάρχουν μόνο κατά μήκος ενός τμήματος της οροσειράς, και μάλιστα εκεί όπου δεν έχει τεκμηριωθεί η ύπαρξη της ζώνης υποβύθισης.

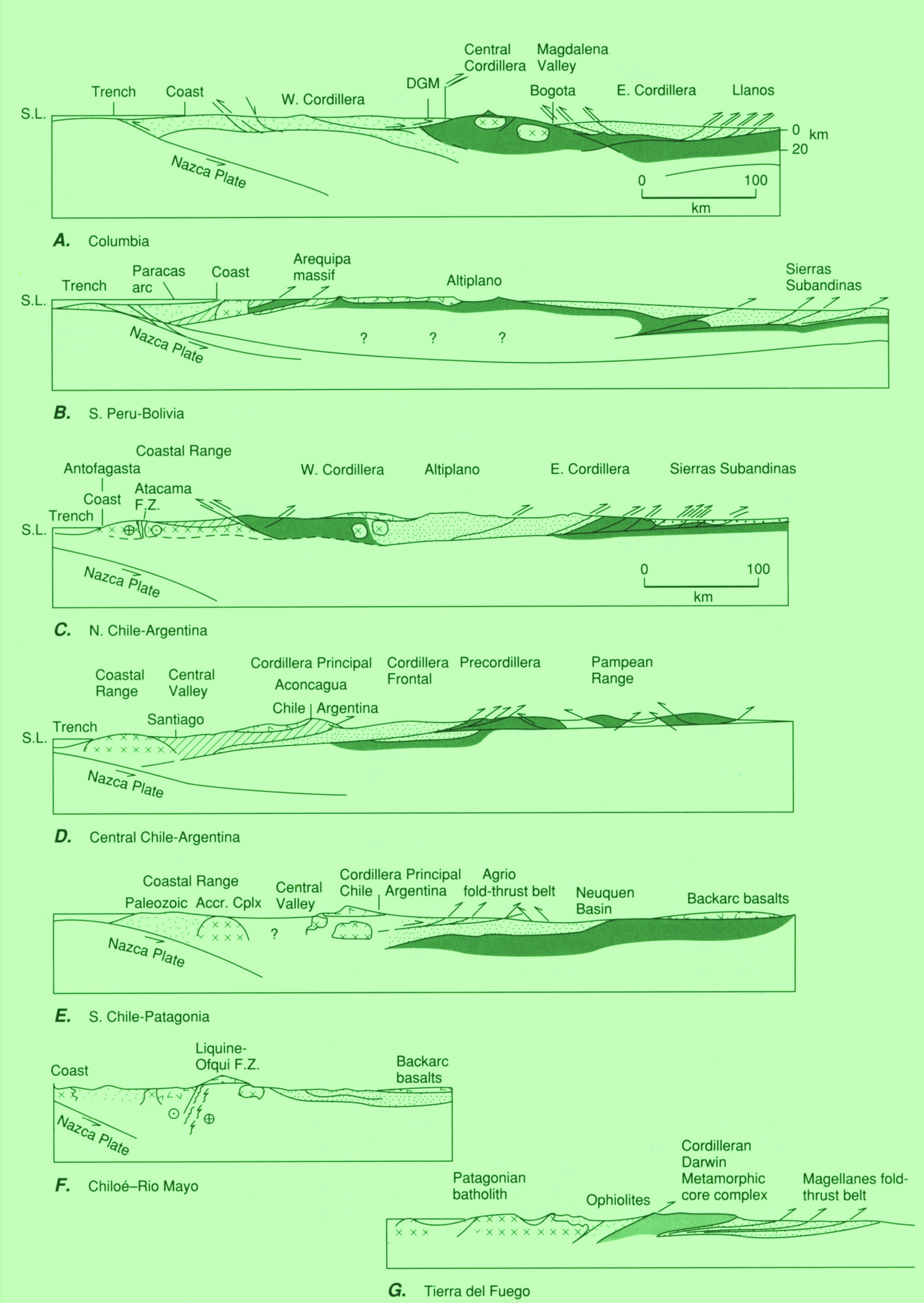
Το ποσό της βράχυνσης του φλοιού κατά μήκος της οροσειράς, ποικίλει σημαντικά. Έτσι, στα κεντρικά τμήματα έχει υπολογιστεί μία βράχυνση της τάξης των 250 km για την ανατολική ζώνη πτυχώσεων και επωθήσεων, αλλά στην κεντρική περιοχή της Χιλής αυτή είναι μηδενική. Αν και έχουν αναφερθεί εφελκυστικές κινήσεις σε περιοχές ενεργού ηφαιστειακής δράσης, δεν έχει παρατηρηθεί κανένα εφελκυστικό πεδίο, εκτός από μία ζώνη μήκους περίπου 1.000 km στην κεντρική κοιλάδα της Χιλής.

Επίσης, η υποτιθέμενη μακροχρόνια ενεργή ζώνη υποβύθισης, είναι ένα μεγάλο ερωτηματικό και αυτό γιατί απουσιάζουν τελείως συμπλέγματα προσαύξησης (accretionary complex) ηλικίας Μεσοζωικού – Καινοζωικού. Αντίθετα, έχουν παρατηρηθεί μόνο μικρά πρίσματα προσαύξησης του Ανώτερου Παλαιοζωικού και αυτά, πολλές φορές, όχι καλά αναπτυγμένα.

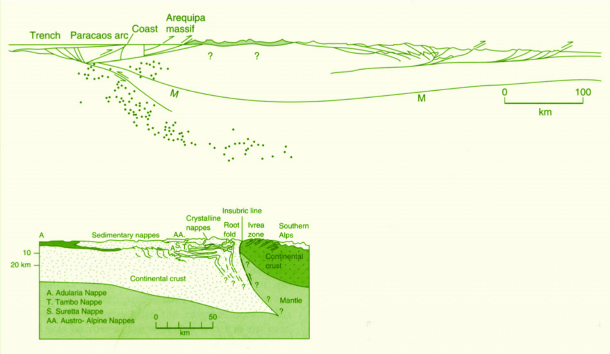
Οι περισσότεροι ερευνητές αποδίδουν την εξέλιξη των Άνδεων σε διαδικασίες που σχετίζονται με την απόλυτη κίνηση της πλάκας της Νότιας Αμερικής, όπως αυτή συνάγεται από το καθεστώς των θερμών κηλίδων (hot spots) και σε αυτές δε περιλαμβάνεται η σύγκρουση. Παρόλα αυτά, η τοποθέτηση των οφιολίθων στο νοτιότατο και βορειότατο τμήμα των Άνδεων πρέπει να έλαβε χώρα μέσω διαδικασιών σύγκρουσης. Άλλωστε, είναι δύσκολο να προσαρμοστεί η ύπαρξη των τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων και οι επωθήσεις που υπάρχουν, με διαδικασίες ορογενετικής εξέλιξης που δε περιλαμβάνουν σύγκρουση.

Τα κυριότερα τεκτονικά επεισόδια που έχουν λάβει χώρα στις Άνδεις από το Κατώτερο Μεσοζωικό μέχρι σήμερα παρουσιάζονται στην Εικόνα 11.5. Από αυτό φαίνεται ότι η ηφαιστειότητα άρχισε κυρίως στο Τριαδικό. Περιθωριακές λεκάνες ή οπισθολεκάνες αναπτύχθηκαν στο Ιουρασικό. Το κλείσιμο των οπισθολεκανών και η παραμόρφωση ξεκίνησαν στις νότιες και βόρειες Άνδεις στο Ανώτερο Ιουρασικό και σταδιακά στο Κρητιδικό επεκτάθηκε και στα κεντρικά τμήματα των Άνδεων. Το ξεκίνημα της κυρίας παραμόρφωσης διαφέρει κατά μήκος του ορογενούς. Έτσι, εκτός από το απαραμόρφωτο τμήμα των Άνδεων που αναφέρθηκε, η παραμόρφωση ξεκίνησε νωρίτερα στο βόρειο και νότιο τμήμα και αργότερα στο κεντρικό, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 11.5.

Στην Εικ. 11.6 διακρίνεται μία τομή των Άνδεων και μία των Άλπεων στην ίδια κλίμακα. Το πλάτος των Άνδεων σε σύγκριση με αυτό των Άλπεων, είναι εντυπωσιακό. Όπως φαίνεται και από το ανάλογο κεφάλαιο, η εξέλιξη των Άλπεων παρουσιάζει ένα πολύ σύνθετο σενάριο σύγκλισης και σύγκρουσης. Γι’ αυτό πολλοί ερευνητές θεωρούν αρκετά δύσκολο να αποδώσουν την όλη εξέλιξη



Εικόνα 11.5 *Τα κυριότερα τεκτονικά επεισόδια που έχουν λάβει χώρα στις Άνδεις από το Κατώτερο Μεσοζωικό μέχρι σήμερα.*



Εικόνα 11.6 *Συγκριτικές, ίδιας κλίμακας, τομές των ορογενών των Άνδεων και των Άλπεων, όπου διακρίνεται η πολύ μεγάλη διαφορά στο πλάτος εμφάνισης.*

της, πολύ πιο πλατιάς ορογενετικής αλυσίδας των Άνδεων, σε μία απλή ζώνη υποβύθισης.

11.3 Η Κορδιλιέρα της Βόρειας Αμερικής

Η τεράστια σε έκταση και συγχρόνως εντυπωσιακή οροσειρά που καταλαμβάνει όλο το δυτικό τμήμα της Βόρειας Αμερικής, είναι γνωστή ως Κορδιλιέρα (Cordillera, ισπανική λέξη που σημαίνει οροσειρά). Πρόκειται για μία από τις πολλές οροσειρές που σχηματίζουν το περι-Ειρηνικό ορογενετικό σύστημα (circum-Pacific orogenic system). Η Κορδιλιέρα εκτείνεται ουσιαστικά από το κεντρικό Μεξικό μέχρι και την Αλάσκα, αν και τα όρια αυτά είναι μάλλον ασαφή, καθώς αποτελεί ουσιαστικά τμήμα μίας συνεχούς ζώνης παραμόρφωσης, από την Ανατολική Σιβηρία μέχρι και το νοτιότερο άκρο της Νότιας Αμερικής.

Η οροσειρά είναι στενά συνδεδεμένη με το ενεργό δυτικό περιθώριο της πλάκας της Βόρειας Αμερικής και επομένως ακόμη και σήμερα η οροσειρά βρίσκεται σε εξέλιξη. Το περιθώριο αυτό δεν παρουσιάζει σταθερά χαρακτηριστικά σε όλο το μήκος του και ως εκ τούτου παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στο είδος της παραμόρφωσης σε κάθε τμήμα του (Εικ. 11.7 & 11.8). Έτσι, το περιθώριο είναι ένα αναλισκόμενο (consuming, δηλαδή ενεργό) περιθώριο στην Αλάσκα, στις βορειοδυτικές Η.Π.Α., στον νοτιοδυτικό Καναδά και στην Κεντρική Αμερική. Τα τμήματα αυτά συνδέονται μεταξύ τους με ρήγματα μετασχηματισμού, με πιο χαρακτηριστικό το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα. Επίσης, η οροσειρά χαρακτηρίζεται και από σημαντικό εφελκυσμό και ταφροποίηση, όπως συμβαίνει στο μεξικάνικο τμήμα του Κόλπου της Καλιφόρνιας και στην Επαρχία Basin & Range των Η.Π.Α.

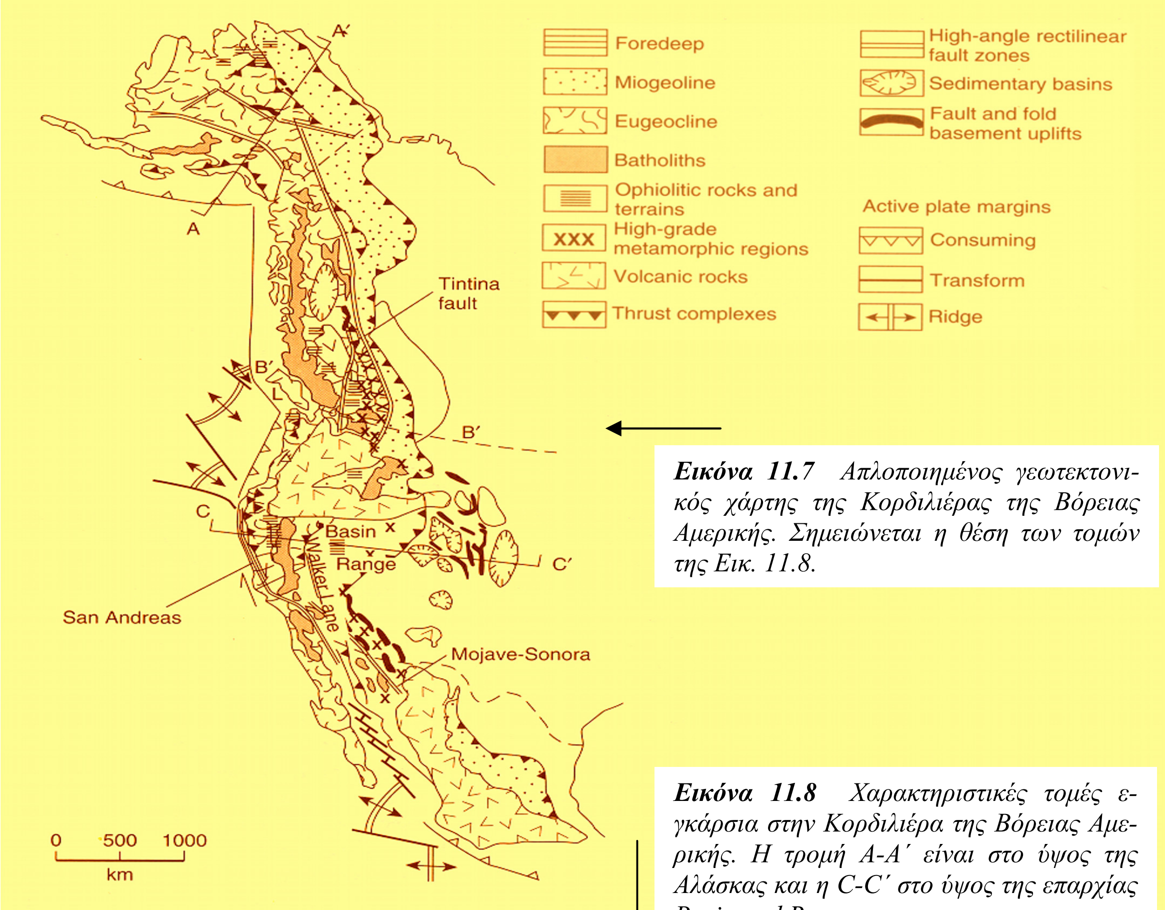
Η πολυπλοκότητα της Κορδιλιέρας δεν παρατηρείται μόνο σήμερα, αλλά φαίνεται να χαρακτηρίζει και τη μακρά ιστορία που η οροσειρά έχει να επιδείξει, η οποία φτάνει πίσω μέχρι και το Ανώτερο Προκάμβριο. Το γεγονός αυτό χαρακτηρίζει τη Κορδιλιέρα ως τη μακροβιότερη οροσειρά που είναι γνωστή πάνω στη Γη.

Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας στη Κορδιλιέρα έχει επικεντρωθεί στο ρόλο που έχουν διαδραματίσει τα πιθανά τεκτονοστρωματογραφικά πεδία (suspect terranes) στις διάφορες ορογενέσεις (Εικ. 11.9). Κατά τη διάρκεια του Παλαιοζωικού το δυτικό περιθώριο της Βόρειας Αμερικής ήταν ένα παθητικό περιθώριο, όπου αποτέθηκαν τυπικές ακολουθίες μειο-γεωσυγκλινικών ιζημάτων. Αυτό το παθητικό περιθώριο αν και υπέστη δύο παραμορφωτικές φάσεις, μία στο Δεβόνιο–Μεσσισσίπιο και άλλη μία στο Περμο-τριαδικό, καμία από τις δύο δε προκάλεσε αξιοσημείωτη παραμόρφωση, αντίθετα με την κύρια ορογένεση στο Ιουρασικό – Κατώτερο Τριτογενές, που οδήγησε στο σχηματισμό μίας ζώνης πτυχών–επωθήσεων (fold & thrust belt).

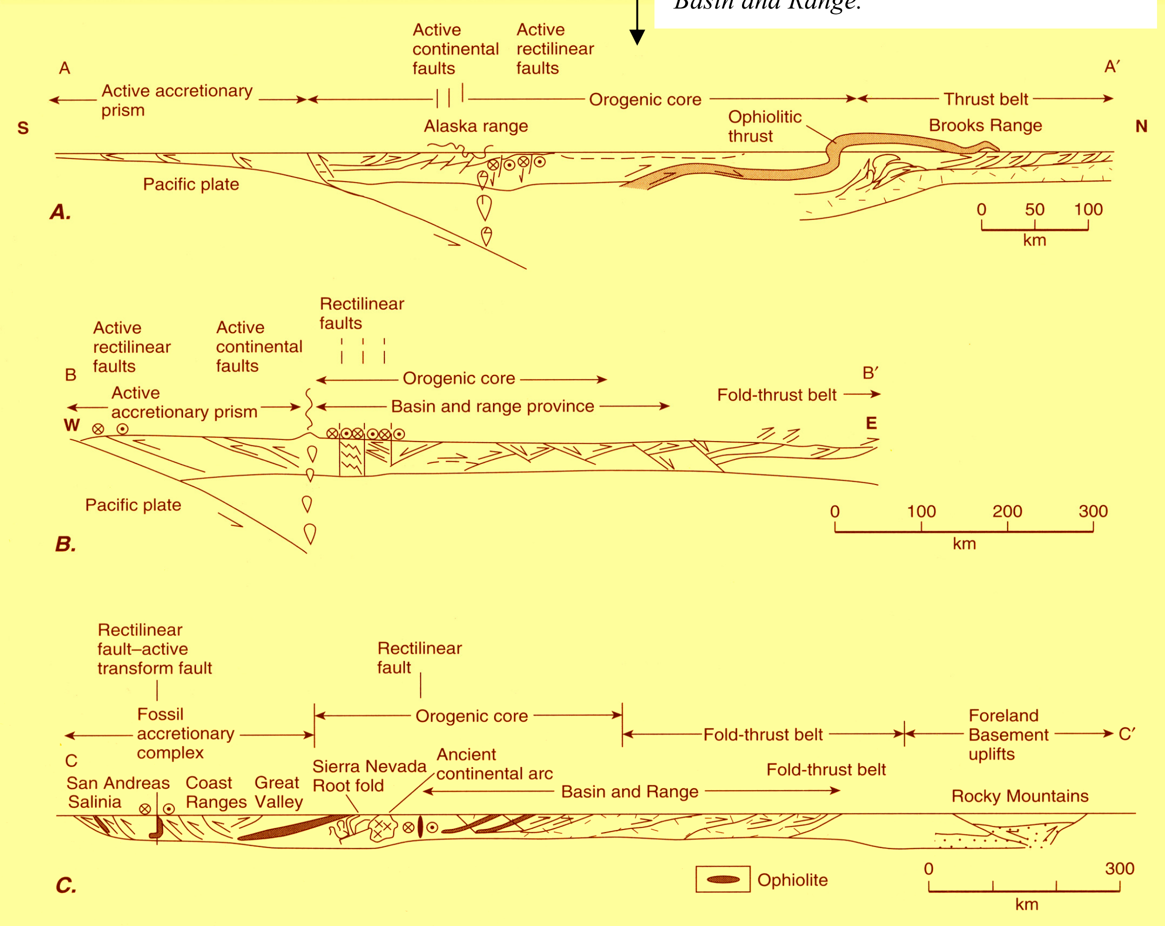
Δυτικά αυτής της ζώνης η οροσειρά αποτελείται αποκλειστικά από προσκολλημένα αλλόχθονα και πολύπλοκα τεκτονοστρωματογραφικά πεδία διαφόρων ηλικιών, προέλευσης και είδους πετρωμάτων. Κάποια από αυτά έχουν σχηματιστεί είτε στη θέση που βρίσκονται σήμερα είτε σχετικά κοντά, ενώ άλλα προέρχονται από πολύ μακρύτερα, γι' αυτό και ονομάζονται εξωτικά. Ο αριθμός, η πολυπλοκότητα και η ποικιλία των πεδίων, έχει ως αποτέλεσμα να έχουν διατυπωθεί πολλές απόψεις μέχρι σήμερα σχετικά με τη γεωδυναμική εξέλιξη του ορογενούς. Ωστόσο, στον Καναδά και στην Αλάσκα τα διάφορα πεδία μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο μεγαλύτερα πεδία, το υπερπεδίο Στικινία[1] (Stikinia) και το υπερπεδίο Ρανγκέλια[2] (Wrangellia), ονόματα που προέρχονται από δύο μικρότερα πεδία που απαντούν στον Καναδά και στην Αλάσκα (Εικ. 11.10 και 11.11).

Από αυτά αυτό της Στικινίας είναι το πιο πολύπλοκο. Περιλαμβάνει ιζήματα βαθιάς θάλασσας, πετρώματα ενδοωκεάνιου νησιωτικού τόξου και οφιολιθικά πετρώματα, με ηλικία από το Παλαιοζωικό έως και το Κατώτερο Μεσοζωικό, όπως και ασβεστόλιθους ρηχών νερών με *fusulinidae*, οι οποίοι απαντώνται είτε με τη μορφή τεμαχών σε τεκτονικά μίγματα (mélange) είτε με τη μορφή ολισθοστρωμάτων. Όλα αυτά τα πετρώματα σχηματίζουν το σύνθετο υπόβαθρο ενός τεράστιου ορογενετικού τόξου του Κατωτέρου Μεσοζωικού. Το υπερπεδίο Στικινία εκτείνεται από το τις νοτιοδυτικές Η.Π.Α. μέχρι τον Καναδά και πιθανά μέχρι τη

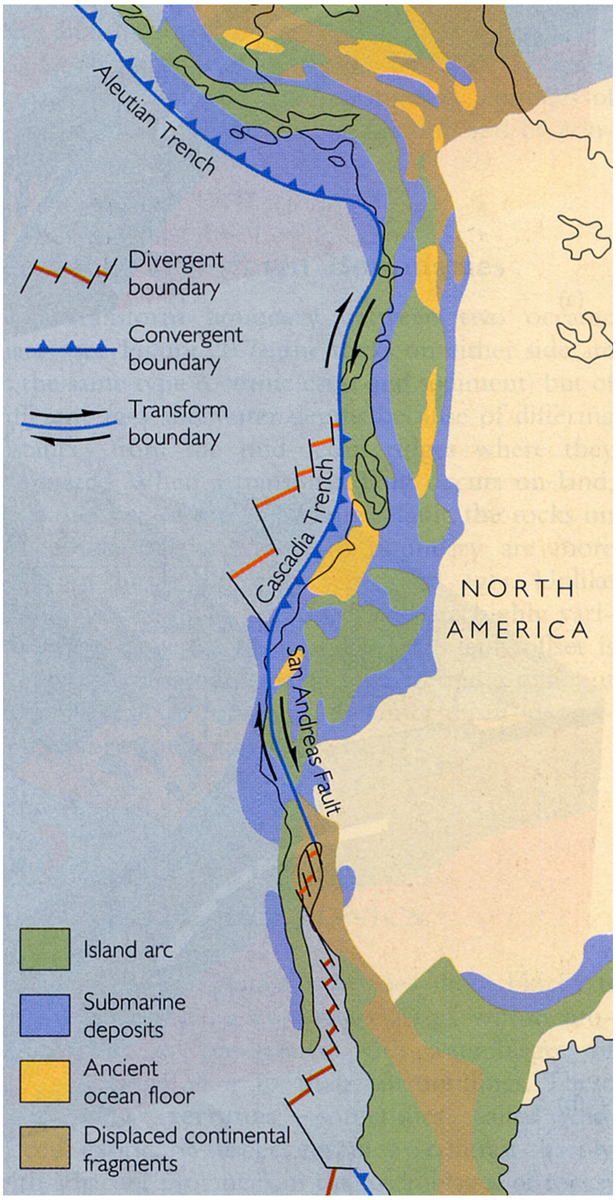
[1] Το όνομα προέρχεται από τον ποταμό Stikin (Στίκιν) του Δυτικού Καναδά.
[2] Η ονομασία προέρχεται από το νησί Wrangel (Ράνγκελ) της Αλάσκας.



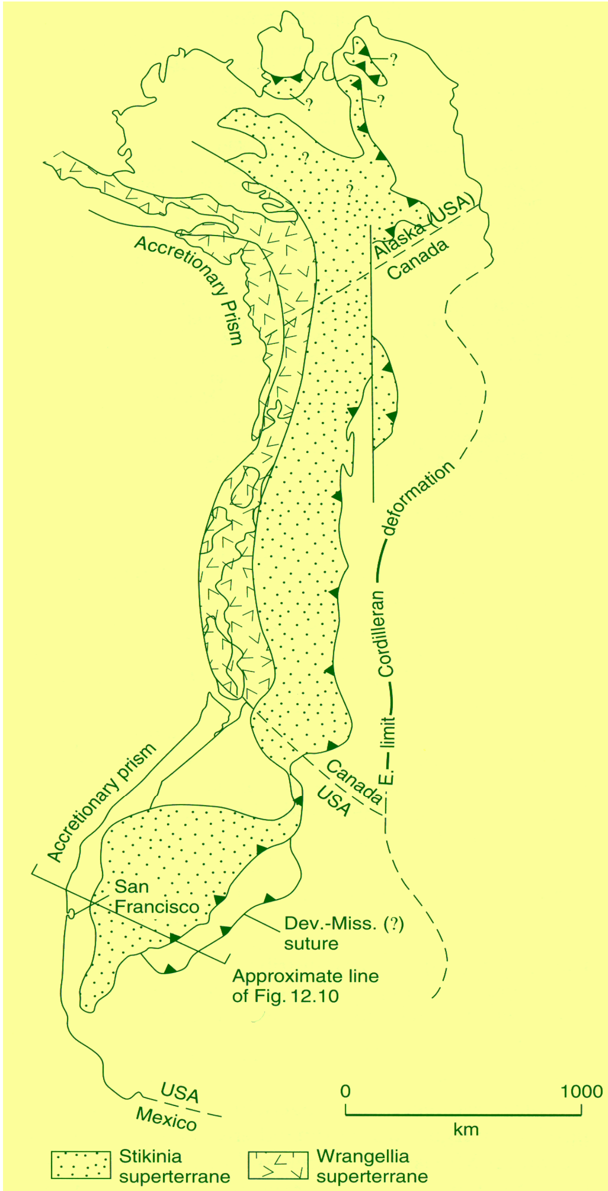
Εικόνα 11.7 Απλοποιημένος γεωτεκτονικός χάρτης της Κορδιλιέρας της Βόρειας Αμερικής. Σημειώνεται η θέση των τομών της Εικ. 11.8.



Εικόνα 11.8 Χαρακτηριστικές τομές εγκάρσια στην Κορδιλιέρα της Βόρειας Αμερικής. Η τρομή A-A΄ είναι στο ύψος της Αλάσκας και η C-C΄ στο ύψος της επαρχίας Basin and Range.



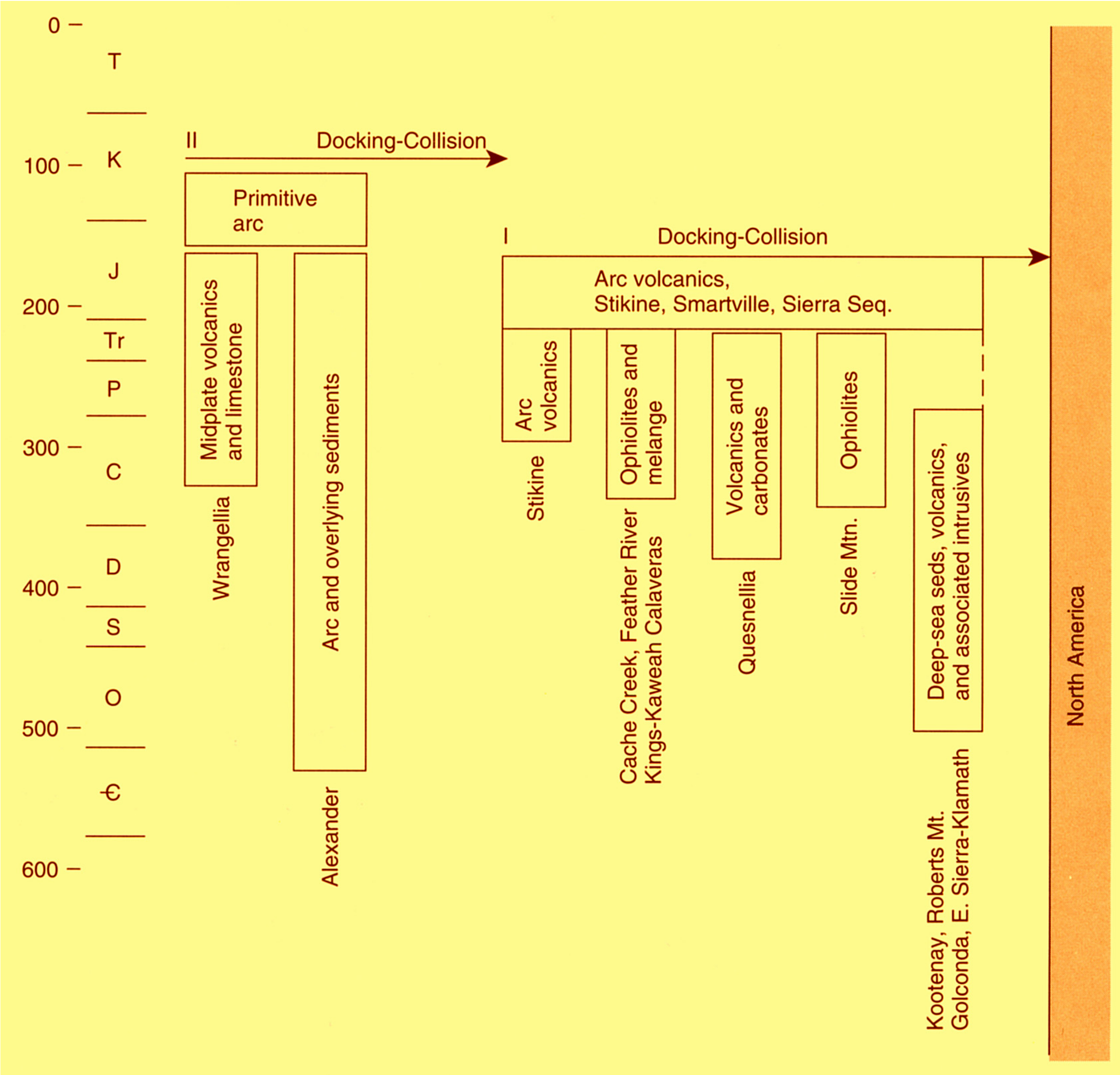
Εικόνα 11.9 Απλοποιημένος χάρτης των κύριων τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων (terranes) της Βόρειας Αμερικής, που έχουν προσκολληθεί στην αμερικάνικη ήπειρο τα τελευταία 200 m.y.



Εικόνα 11.10 Απλοποιημένος χάρτης των γενικευμένων τεκτονοστρωματογραφικών υπερ-πεδίων (super terranes) της Βόρειας Αμερικής. Τα πεδία αυτά είναι η Stikinia και η Wrangellia.

δυτική Αλάσκα, ενώ προς τα νότια μπορεί να φτάνει μέχρι το Μεξικό και την Κεντρική Αμερική. Αυτό το υπερπεδίο συγκρούστηκε με τη Βόρεια Αμερική στο Μέσο Ιουρασικό στις Η.Π.Α. στον Καναδά και πιθανά στο Μεξικό, και στο Κατώτερο Κρητιδικό στη Δυτική Αλάσκα και την Κεντρική Αμερική. Τεκτονικά και στρωματογραφικά δεδομένα από τον Καναδά, τη Σιέρα Νεβάδα της Καλιφόρνιας και από την πολιτεία της Νεβάδα, δείχνουν ότι το τόξο αυτό ήταν ενεργό, αλλά αν η πολικότητα της ζώνης υποβύθισης ήταν προς τα δυτικά ή προς τα ανατολικά, δεν έχει αποσαφηνιστεί ακόμη. Η προσκόλλησή του στο δυτικό περιθώριο της Βόρειας Αμερικής, οδήγησε στο αρχικό στάδιο δημιουργίας της ζώνης πτυχών–επωθήσεων στα ανατολικά τμήματα του οροσειράς.

Το υπερπεδίο Ρανγκέλια αποτελείται τουλάχιστον από δύο μικρότερα, το πεδίο Αλεξάντερ (Alexander) και το πεδίο Ράνγκελ (Wrangel). Το πρώτο συνίσταται από αποθέσεις ωκεάνιου τόξου, ηλικίας Κατωτέρου Παλαιοζωικού και το δεύτερο από ανάλογα πετρώματα, ηλικίας Ανωτέρου Παλαιοζωικού, τα οποία υπόκεινται πετρωμάτων που έχουν σχηματιστεί σε ένα ωκεάνιο υψίπεδο του Κατωτέρου Μεσοζωικού. Αυτά τα δύο πεδία φαίνεται να συγχωνεύτηκαν στο Ανώτερο Ιουρασικό, όταν αποτέλεσαν το υπόβαθρο ενός ωκεάνιου νησιωτικού τόξου, το οποίο ήταν ενεργό μέχρι την



Εικόνα 11.11 *Διάγραμμα όπου παρουσιάζεται η εξέλιξη των δύο super-terranes της Κορδιλιέρας της Βόρειας Αμερικής καθώς και η προσκόλλησή τους στην ομώνυμη ήπειρο.*

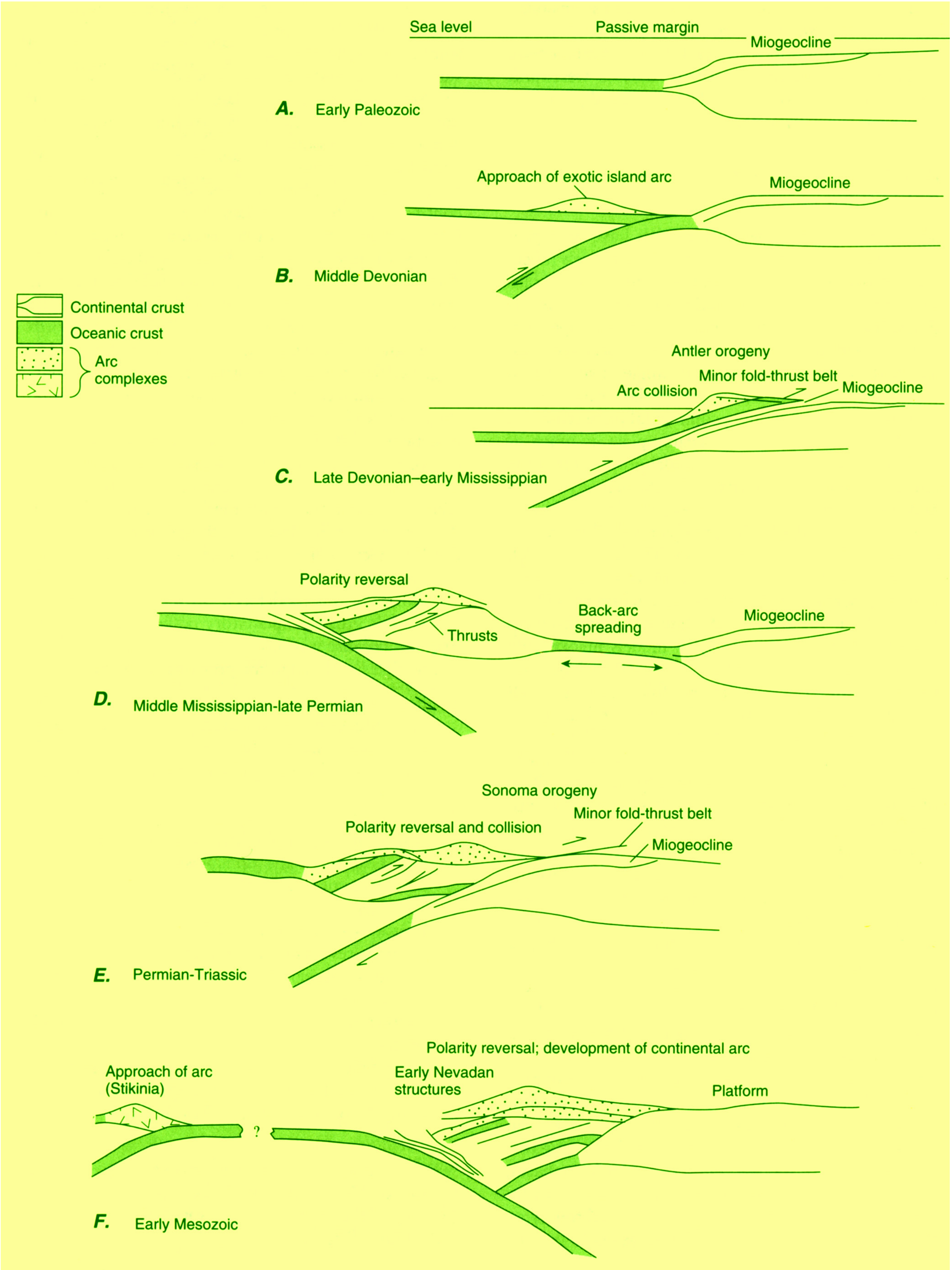
προσκόλλησή του στην πλάκα της Βόρειας Αμερικής, στο Ανώτερο Κρητιδικό.

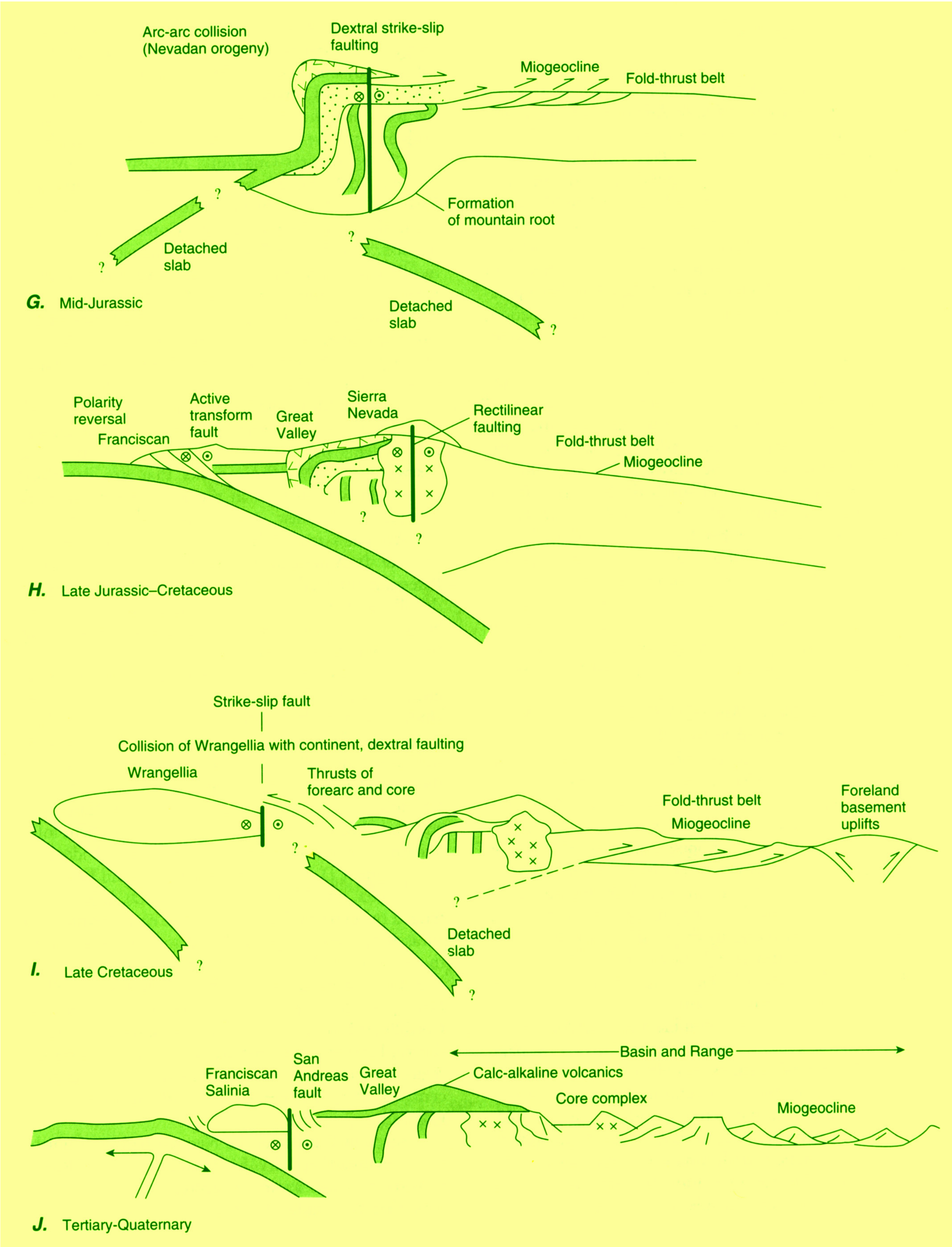
Στην Εικόνα 11.12 διακρίνεται η εξέλιξη της Κορδιλιέρας στο ύψος της βόρειας Καλιφόρνιας από το Παλαιοζωικό έως και το Τεταρτογενές. Αρχικά στο κατώτερο Παλαιοζωικό το δυτικό άκρο της Βόρειας Αμερικής χαρακτηρίζεται ως ένα παθητικό περιθώριο. Στο Ανώτερο Δεβόνιο – Κατώτερο Μισσισσίπιο έλαβε χώρα η ορογένεση Άντλερ (Antler orogenesis), οπότε το παθητικό περιθώριο συγκρούστηκε με ένα εξωτικό νησιωτικό τόξο.

Στο Μέσο Μισσισσίπιο αλλάζει η πολικότητα της ζώνης υποβύθισης και δημιουργείται μία οπισθοτοξική λεκάνη, οπότε το περιθώριο πλέον φέρει τα χαρακτηριστικά του σημερινού Ιαπωνικού περιθωρίου. Ακολούθως νέα αλλαγή στη πολικότητα της ζώνης υποβύθισης και το κλείσιμο της οπισθοτοξικής λεκάνης οδηγούν σε νέα σύγκρουση και στην ορογένεση Σονόμα (Sonoma).

Στο Κατώτερο Μεσοζωικό γίνεται αλλαγή στην πολικότητα της ζώνης υποβύθισης και σχηματίζεται ένα ενεργό ηπειρωτικό περιθώριο στο οποίο αναλίσκεται ωκεάνιος φλοιός.

Στο Μέσο Ιουρασικό το πλησίασμα ενός εξωτικού νησιωτικού τόξου (πιθανά πρόκειται για τη νότια συνέχεια του υπερπεδίου Στικινία) έχει ως αποτέλεσμα την ανάλωση του ωκεάνιου φλοιού σε δύο αντίρροπες ζώνες υποβύθισης, η οποία σταδιακά οδηγεί στη σύγκρουση του νησιωτικού τόξου με την πλάκα της Βόρειας Αμερικής και στα αρχικά στάδια της δημιουργίας της ζώνης πτυχών– επωθήσεων, στο πάλαι πότε μειογεωσύγκλινο.


Sea level
Passive margin
Miogeocline
A. Early Paleozoic
Approach of exotic island arc
Miogeocline
B. Middle Devonian
Continental crust
Oceanic crust
Arc complexes
Antler orogeny
Minor fold-thrust belt
Arc collision
Miogeocline
C. Late Devonian–early Mississippian
Polarity reversal
Thrusts
Back-arc spreading
Miogeocline
D. Middle Mississippian-late Permian
Sonoma orogeny
Minor fold-thrust belt
Polarity reversal and collision
Miogeocline
E. Permian-Triassic
Polarity reversal; development of continental arc
Approach of arc (Stikinia)
Early Nevadan structures
Platform
?
F. Early Mesozoic



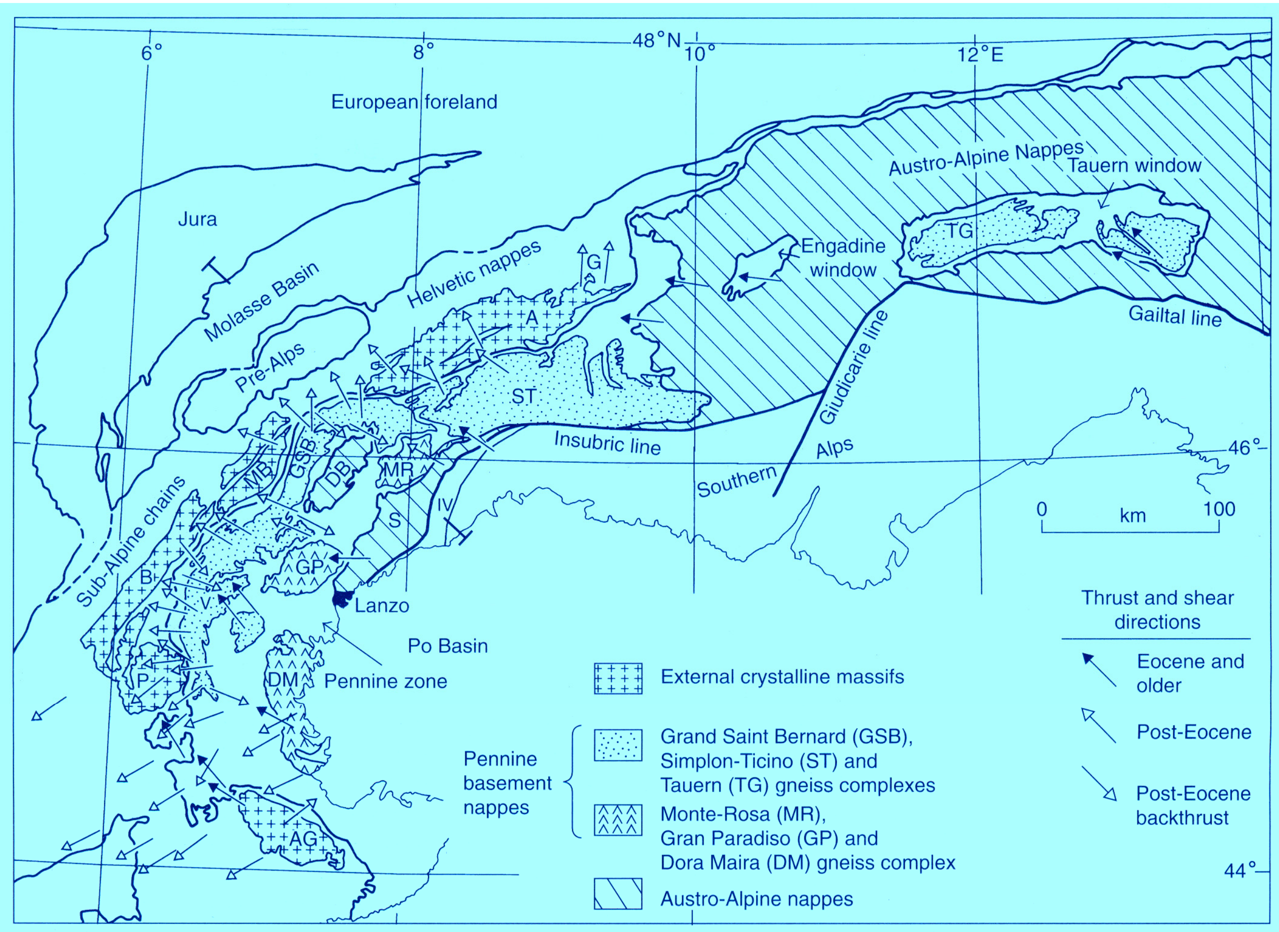
Εικόνα 11.12 *Ένα πιθανό μοντέλο για την εξέλιξη του κεντρικού τμήματος (περιοχή Η.Π.Α.), της Κορδιλιέρας της Βόρειας Αμερικής (τομή C-C΄ των Εικ. 11.7 και 11.8).*

Η υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού συνεχίζεται στο Αν. Μεσοζωικό, οπότε και σχηματίζεται ένα πρίσμα προσαύξησης που σήμερα καλείται "Σύμπλεγμα Φραγκίσκου" (Franciscan Complex). Η άφιξη πριν από 90 Ma του υπερπεδίου Ρανγκέλια προκάλεσε εκ νέου την παραμόρφωση του ηπειρωτικού περιθωρίου, δίνοντας τα τελευταία στάδια παραμόρφωσης της ζώνης πτυχών–επωθήσεων, αλλά πιθανά και την ανύψωση των Βραχωδών Ορέων στα ανατολικά. Η συνεχιζόμενη υποβύθιση κάτω από το ήδη προσαυξημένο ηπειρωτικό περιθώριο, η αλληλεπίδραση της τάφρου του ορογενετικού τόξου με την ράχη του Ανατολικού Ειρηνικού και η εγκαθίδρυση του εφελκυσμού στην επαρχία Basin & Range, ολοκληρώνουν το σενάριο της γεωδυναμικής εξέλιξης της Κορδιλιέρας.

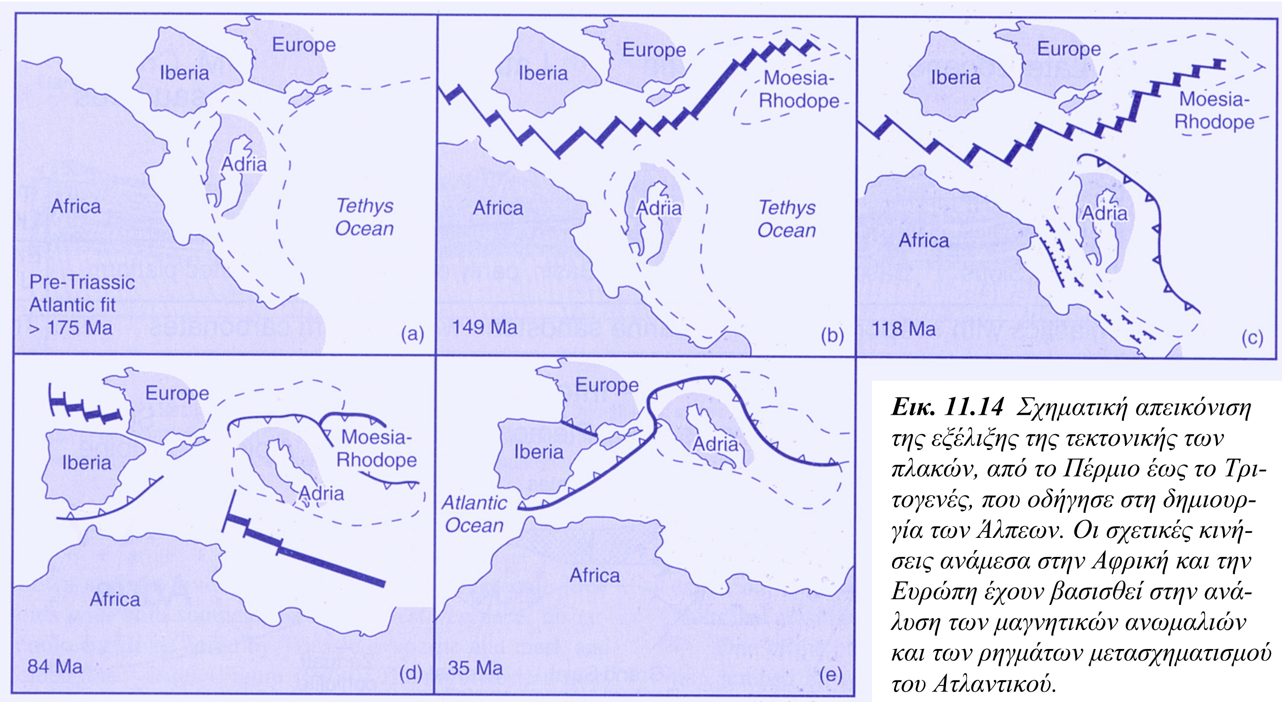
11.4 Το Ορογενές των Άλπεων

Οι Ευρωπαϊκές Άλπεις αποτελούν μέρος ενός πολύπλοκου συστήματος από τοξοειδείς οροσειρές και νεαρής ηλικίας εφελκυστικές λεκάνες, που σχηματίστηκαν στην περιοχή της Μεσογείου κατά τη διάρκεια της σύγκλισης των πλακών της Ευρώπης και της Αφρικής (Εικ. 11.13). Οι Άλπεις, αν συγκριθούν με άλλες οροσειρές, είναι μία αρκετά μικρή σε μέγεθος οροσειρά, όσο περίπου η πολιτεία της Καλιφόρνιας, αλλά αποτελεί την πιο καλά μελετημένη περιοχή παγκοσμίως, ενώ συχνά αναφέρεται ως χαρακτηριστικό παράδειγμα ορογενετικής ζώνης, που είναι το αποτέλεσμα της σύγκρουσης δύο πλακών. Η μελέτη των Άλπεων ξεκίνησε γύρω στα 1840 και από τότε έχει συνεισφέρει πολλές από τις βασικές αρχές της επιστήμης της γεωλογίας, ακόμη και στην ορολογία που χρησιμοποιείται, όπως για παράδειγμα οι όροι κάλυμμα (nappe), φλύσχης (flysch) και μόλασσα (molasse), αν και η έννοια μερικών από αυτών μπορεί να έχει αλλάξει σήμερα.

Από την οπτική γωνία της Γεωτεκτονικής, η ιστορία των Άλπεων αρχίζει στο Κατώτερο Μεσοζωικό, όταν οι περισσότερες από τις σημερινές ηπείρους ήταν ενωμένες και σχημάτιζαν την υπερήπειρο Παγγαία. Στο Τριαδικό το μεγαλύτερο μέρος της δυτικής Ευρώπης κειτόταν στο εσωτερικό της



Εικόνα 11.13 *Απλοποιημένος χάρτης των Άλπεων, όπου παρουσιάζονται οι κύριες γεωτεκτονικές ενότητες. Σημειώνονται επίσης η φορά κίνησης και διάτμησης των καλυμμάτων, όπως προκύπτει από τις γραμμώσεις έκτασης και άλλα κριτήρια διάτμησης.*



Εικ. 11.14 Σχηματική απεικόνιση της εξέλιξης της τεκτονικής των πλακών, από το Πέρμιο έως το Τριτογενές, που οδήγησε στη δημιουργία των Άλπεων. Οι σχετικές κινήσεις ανάμεσα στην Αφρική και την Ευρώπη έχουν βασισθεί στην ανάλυση των μαγνητικών ανωμαλιών και των ρηγμάτων μετασχηματισμού του Ατλαντικού.

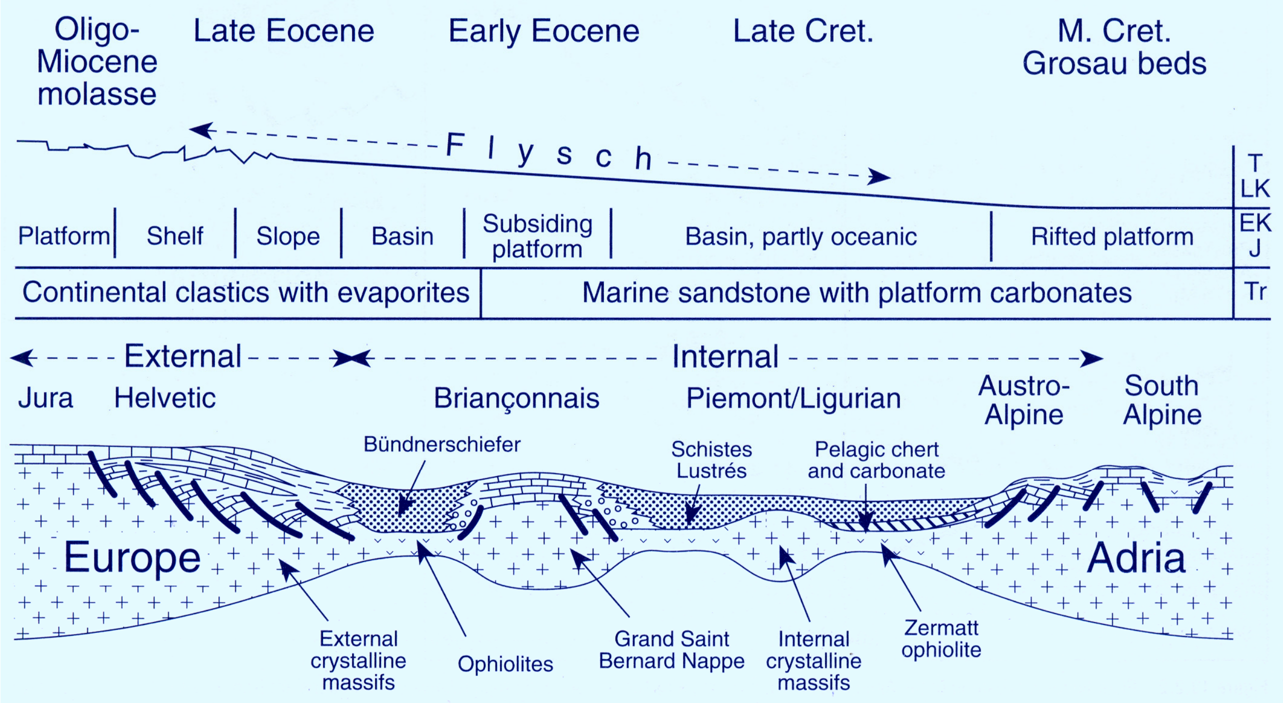
ηπείρου, όπου και επικρατούσαν ερημικές συνθήκες. Η απόθεση ηπειρωτικών κλαστικών ιζημάτων και εβαποριτών κατά τη περίοδο αυτή, έμελε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια της αλπικής παραμόρφωσης, που θα ακολουθούσε αρκετά αργότερα. Αρκετά νοτιότερα, στις ρηχές θάλασσες που οριοθετούσαν ένα τεράστιο σε μέγεθος κόλπο, γνωστό ως Τηθύς, υπήρχαν μεγάλες ανθρακικές πλατφόρμες, όπου συσσωρεύθηκαν παχιές ακολουθίες ασβεστόλιθων ρηχών νερών (Εικ. 11.14a).

Στο Κατώτερο Ιουρασικό η Παγγαία άρχισε να τεμαχίζεται με τη διάνοιξη, ανάμεσα στην Αφρική και την Αμερική, του κεντρικού και νότιου τμήματος του Ατλαντικού ωκεανού. Η αρχική τάφρος επεκτεινόταν ανάμεσα στην Ιβηρία–Αφρική και τη νότια Ευρώπη, δημιουργώντας μία στενή ωκεάνια λουρίδα, την Νεοτηθύ, η οποία προς τα ανατολικά ενωνόταν και με την Τηθύ (Εικ. 11.14b).

Το βόρειο περιθώριο της Νεοτηθύος ήταν ένα κλασικό ηπειρωτικό περιθώριο, που εκτεινόταν από τη νοτιοανατολική Γαλλία μέχρι την Ελβετία και την Αυστρία. Κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού, καταβυθιζόταν με σταθερή ταχύτητα, συσσωρεύοντας αρκετές εκατοντάδες μέτρα ασβεστόλιθων ρηχών νερών, οι οποίοι μεταβαίνανε προς τον ωκεανό σε αργίλους και πηλίτες βαθιών νερών (Εικ. 11.15). Το νότιο περιθώριο της Νεοτηθύος, στην περιοχή των Άλπεων, αποτελούσε ένα ταφροποιημένο όριο ενός ηπειρωτικού τεμάχους, της μικροπλάκας της Αδρίας. Η Αδρία είναι ο ηπειρωτικός φλοιός που σήμερα βρίσκεται σκεπασμένος κάτω από τα ρηχά νερά της Αδριατικής Θάλασσας και τις γύρω χερσαίες περιοχές αυτής, όπως είναι η βόρεια Ιταλία. Η στρωματογραφική διάρθρωση του βόρειου περιθωρίου της Αδρίας χαρακτηρίζεται από παχιές σειρές ανθρακικών ιζημάτων πλατφόρμας, τριαδικής ηλικίας (Εικ. 11.15), οι οποίες σήμερα εμφανίζονται κυρίως στις Νότιες Άλπεις (π.χ. η περιοχή Δολομίτες στη Βόρεια Ιταλία).

Ο πυθμένας της Νεοτηθύος ήταν, εν μέρει, ωκεάνιος, τμήματα του οποίου εμφανίζονται σήμερα ως οφιόλιθοι στην οροσειρά των Άλπεων. Το υπόλοιπο τμήμα του πυθμένα ήταν ένας εκτεταμένος και λεπτυσμένος ηπειρωτικός φλοιός, ο οποίος σήμερα σχηματίζει τεράστια καλύμματα από προτριαδικά κρυσταλλικά πετρώματα. Το πως κατανεμόταν αυτός ο φλοιός μέσα στο χώρο της Νεοτηθύος είναι ακόμη υπό συζήτηση. Πάντως φαίνεται, ότι κάποια μέρη αυτού αντιπροσώπευαν υπό εφελκυσμό άκρες των ηπειρωτικών περιθωρίων της νότιας Ευρώπης και της Αδρίας, ενώ κάποια άλλα ίσως σχημάτιζαν αποκομμένα και απομονωμένα ηπειρωτικά μικροτεμάχη μέσα στο χώρο της Νεοτηθύος (Εικ. 11.15).

Κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού η Αφρική και η Αδρία μετακινήθηκαν προς τα νοτιοανατολικά και έπειτα ανατολικά ως προς την Ευρώπη, περιστρεφόμενες ανάποδα με τους δείκτες του ρολογιού (Εικ. 11.14c). Γύρω στα μέσα του Κρητιδικού, η Αφρική άρχισε να κινείται προς τα βορειοανατολικά ως προς την Ευρώπη, με αποτέλεσμα να ξεκινήσει η υποβύθιση της Νεοτηθύος κάτω από το βόρειο περιθώριο της Αδρίας (Εικ. 11.14d). Από εκείνη τη περίοδο και μετά, οι Άλπεις άρχισαν να σχηματίζονται με τη προσαύξηση ιζημάτων και μεγάλων κομματιών φλοιού από τον πυθμένα της Νεοτηθύος. Σε αυτό το στάδιο, οι Άλπεις μπορούν

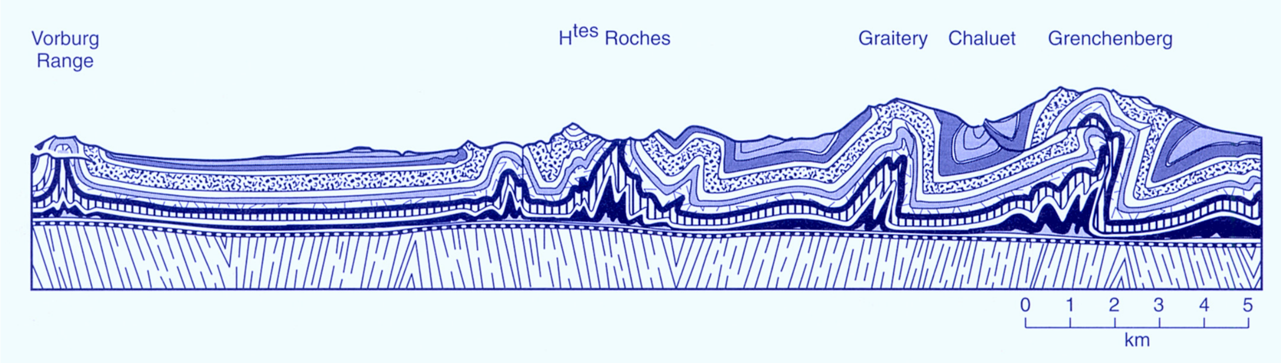


Εικόνα 11.15 *Παλινσπαστική τομή εγκάρσια στο ορογενές των Άλπεων, όπου παρουσιάζονται η σχετική γεωγραφική θέση και η τεκτονική τοποθέτηση των διάφορων γεωτεκτονικών ενοτήτων. Η τομή δεν είναι σχεδιασμένη υπό κλίμακα και τα διάφορα επιμέρους τμήματα της τομής δεν βρίσκονταν στην ίδια ευθεία κατά το παρελθόν (βλπ. και Εικ. 11.4).*

να περιγραφούν ως ένα πρίσμα προσαύξησης, όμοιο με αυτά που αναπτύσσονται πάνω από σημερινές ζώνες υποβύθισης. Ωστόσο, δεν υπάρχουν ενδείξεις μαγματισμού που να συνδέεται με αυτή την κρητιδική υποβύθιση. Στο Κατώτερο Τριτογενές η Νεοτηθύς κλείνει ολοκληρωτικά και αρχίζει η σύγκρουση του νότιου Ευρωπαϊκού περιθωρίου με το βόρειο της Αδρίας (Εικ. 11.14e), με αποτέλεσμα τη παραμόρφωση και τη βράχυνση και των δύο περιθωρίων και την ανύψωση των Άλπεων, διαδικασίες οι οποίες συνεχίστηκαν μέχρι το Πλειόκαινο.

Από τεκτονικής άποψης, οι Άλπεις μπορούν να υποδιαιρεθούν σε διάφορες περιοχές με διαφορετική τεκτονική και παραμορφωτική εξέλιξη. Αυτές οι διαφοροποιήσεις οφείλονται σε διαφορές στη στρωματογραφία, το τεκτονικό καθεστώς και τις συνθήκες της παραμόρφωσης. Οι περιοχές που βρίσκονται στο εξωτερικό τμήμα της τοξοειδούς οροσειράς των Άλπεων είναι γνωστές ως Εξωτερικές Ζώνες και αντιπροσωπεύουν την αλλοτινή ηπειρωτική πλατφόρμα, κρηπίδα και κατωφέρεια του νότιου περιθωρίου της Ευρώπης. Οι Εσωτερικές Ζώνες, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνουν τα σημερινά ισχυρά παραμορφωμένα και μεταμορφωμένα τμήματα του ωκεανού της Νεοτηθύος, όπως και το βόρειο περιθώριο της Αδρίας. Επειδή η κατεύθυνση της υποβύθισης ήταν προς το νότο, κάτω από την Αδρία, η παραμόρφωση άρχισε νωρίτερα στις Εσωτερικές Ζώνες και αργότερα προς την εξωτερική πλευρά της αλυσίδας. Η δομή των κυριότερων γεωτεκτονικών ενοτήτων των Άλπεων, αρχίζοντας από τις νεότερες και με απλή σχετικά δομή ενότητες του εξωτερικού τμήματος της οροσειράς, είναι η ακόλουθη:

(Α) Η **Οροσειρά του Ιούρα** (Jura Mountains) στη βορειοδυτική Ελβετία είναι μορφολογικά τελείως διαφορετική από τις Άλπεις, καθώς διαχωρίζονται μεταξύ τους από την Ελβετική πεδιάδα. Ωστόσο, συνιστά τη νεότερη έκφραση της αλπικής παραμόρφωσης, ως αποτέλεσμα της βράχυνσης στο Ανώτερο Μειόκαινο – Πλειόκαινο, μίας λεπτής ανθρακικής πλατφόρμας από ιουρασικούς κυρίως ασβεστόλιθους. Αυτό το ιζηματογενές επικάλυμμα αποκολλήθηκε από το υποκείμενο παλαιοζωικό υπόβαθρό του, κατά μήκος ενός ορίζοντα από τριαδικούς εβαπορίτες και παραμορφώθηκε, ενώ το υπόβαθρο δεν υπέστη καμία παραμόρφωση. Η οροσειρά του Ιούρα αποτελεί ένα κλασικό παράδειγμα επιδερμικής τεκτονικής (thin skinned tectonics), η οποία στην περιοχή της οροσειράς χαρακτηρίζεται από μεγάλης κλίμακας λοξοζωνικές πτυχές (kink folds), δυσαρμονικά αντίκλινα (που οφείλονται σε διαπειρισμούς των τριαδικών εβαποριτών) και πτυχωμένες εφιππεύσεις (Εικ. 11.16). Το βορειοδυτικό περιθώριο της οροσειράς ήταν σταθερά προσκολλημένο στον ηπειρωτικό φλοιό της Ευρώπης, επομένως η βράχυνση της οροσειράς απαιτεί



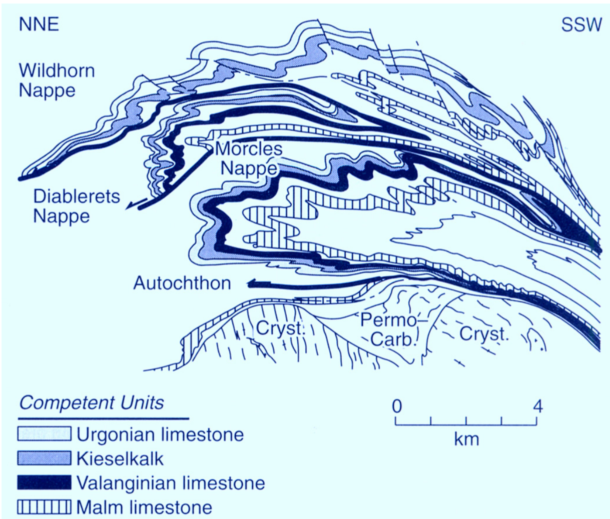
Εικόνα 11.16 Εγκάρσια τομή στην οροσειρά του Ιούρα, όπου παρουσιάζεται ο επιδερμικός (thin-skinned) τύπος πτυχών και επωθήσεων, πάνω από μια ζώνη ολίσθησης βάσης. Επισημαίνεται η πτυχωμένη επώθηση στο δεξιό τμήμα της τομής. Τα νεότερα σεισμικά δεδομένα αποδεικνύουν την απουσία αλπικής παραμόρφωσης στο προ-Τριαδικό υπόβαθρο.

το νότιο περιθώριό της να έχει μετακινηθεί προς τα βορειοδυτικά, σε μία οριζόντια απόσταση 40 km. Η επιφάνεια αποκόλλησης, πάνω στην οποία έλαβε χώρα η όλη κίνηση, περνάει κάτω από την Ελβετική πεδιάδα και φτάνει βαθιά κάτω από τις Άλπεις, κάτι που σημαίνει ότι τόσο η Ελβετική πεδιάδα, όσο και ο ορεινός όγκος των Άλπεων, έχουν επίσης μετακινηθεί περίπου 40 km προς τα βορειοδυτικά. Αυτή η κίνηση αντανακλά το τελικό στάδιο της σύγκλισης της Αδρίας με την Ευρώπη.

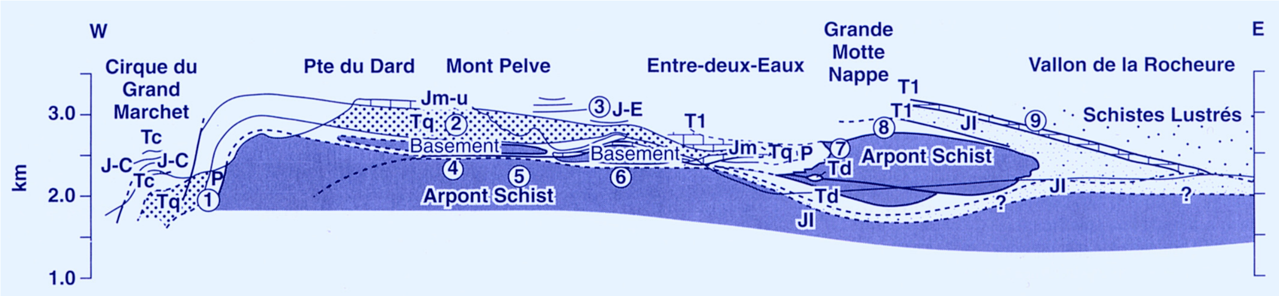
(Β) Η **Ελβετική Ζώνη** (Helvetic Zone) σχηματίζει το κύριο μέτωπο της οροσειράς των Άλπεων στην Ελβετία και ενώνεται με την οροσειρά του Ιούρα, δυτικά της λίμνης της Γενεύης όπου και σχηματίζουν μαζί στη Γαλλία τις Υπο-Άλπεις (Sub-Alps). Χαρακτηρίζεται από το στοίβαγμα, στο Μέσο Τριτογενές, μεγάλων καλυμμάτων από μεσοζωικά και τριτογενή ιζήματα. Πρόκειται για ιζήματα που αντιπροσωπεύουν αποθέσεις κρηπίδας και κατωφέρειας, αλλά και τουρβιδίτες του Κατωτέρου Τριτογενούς, η απόθεση των οποίων έγινε σε μία θαλάσσια εμπροσθο-λεκάνη (foreland basin). Ο σχηματισμός αυτός είναι γνωστός ως Ελβετικός Φλύσχης (Helvetic Flysch).

Στα καλύμματα αυτά χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ο όρος nappe, μία γαλλική λέξη που σημαίνει τραπεζομάντιλο και αναφέρεται στο γεγονός, ότι αυτά τα πετρώματα σχηματίζουν ένα εκτεταμένο, αλλά λεπτό στρώμα από πετρώματα, που έχουν μετακινηθεί οριζόντια σε σχέση με τα υποκείμενά τους. Πολλά από αυτά τα καλύμματα περιέχουν στο μετωπικό τους τμήμα μεγάλα κεκλιμένα έως ανεστραμμένα αντίκλινα, τα οποία χαρακτηρίζονται από έντονα λεπτυσμένα και ανεστραμμένα σκέλη (Εικ. 11.17), που βρίσκονται σε τεκτονική επαφή με τα υποκείμενα πετρώματα. Αυτές οι δομές έχουν περιγραφεί ως πτυχωσιγενή καλύμματα, σηματοδοτώντας μία στενή σχέση ανάμεσα στις ανεστραμμένες πτυχές και τις επωθήσεις.

Σε πολλά από τα Ελβετικά καλύμματα, π.χ. στο γνωστό κάλυμμα Γκλάρους (Glarus nappe), η βασική τους τεκτονική επαφή κλίνει προς τα βόρεια, κάτι που αρχικά θεωρήθηκε ως απόδειξη ότι και το κάλυμμα έχει ολισθήσει προς τα βόρεια και μάλιστα ότι είναι αποτέλεσμα βαρυτικής ολίσθησης. Σήμερα είναι αποδεδειγμένο ότι όταν αυτές οι επωθήσεις ήταν ενεργές, είχαν κλίση προς τα νότια και φορά ολίσθησης προς τα βόρεια, ενώ η σημερινή τους γεωμετρία οφείλεται σε κάμψη των επωθήσεων, λόγω τεράστιων αναθολώσεων στο εξωτερικό τμήμα των Άλπεων, που προέκυψαν από το στοίβαγμα μίας σειράς καλυμμάτων με πετρώματα



Εικόνα 11.17 Χαρακτηριστική τομή εγκάρσια στα δυτικά Ελβετικά καλύμματα. Τα τρία αυτά κύρια καλύμματα οριοθετούνται από μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες (επωθήσεις) και σχηματίζουν μια αντιθετική στοίβα. Παρουσιάζουν έντονη εσωτερική πτύχωση και όλκιμη παραμόρφωση. Το κάλυμμα του Morcle μάλιστα αποτελεί μια κατακεκλιμένη μεγα-πτυχή που το ανεστραμμένο σκέλος της είναι έντονα παραμορφωμένο και λεπτυσμένο.



Εικόνα 11.18 *Τεκτονική τομή εγκάρσια του νότιου Vanoise Massif, στο πεδίο του Brianconnais των Γαλλικών Πενινικών Άλπεων, όπου παρουσιάζεται ο τύπος παραμόρφωσης της Ζώνης Pennine. Επωθημένα τμήματα ανάμεσα στο υποβάθρο και το επικάλυμμα του Brianconnais, που καλύπτονται από το κάλυμμα των εσωτερικών τμημάτων της Ζώνης Pennine, κόβονται και επαναπτυχώνονται από μεταγενέστερες, προς ανατολή, αντίθετες επωθήσεις και πτυχές.*

του υποκείμενου κρυσταλλικού υποβάθρου. Η διαδικασία αυτή έλαβε χώρα μετά τη δημιουργία των Ελβετικών καλυμμάτων, έτσι ώστε η λεπιωμένη δομή του υποβάθρου να σχηματίζει μία τεράστιας κλίμακας διπλή επώθηση (duplex). Τα λέπη του υποβάθρου, ένα από τα οποία είναι και το γνωστό Mont Blanc Massif, εμφανίζονται εντός της Ελβετικής Ζώνης σχηματίζοντας την Εξωτερική Κρυσταλλική Μάζα.

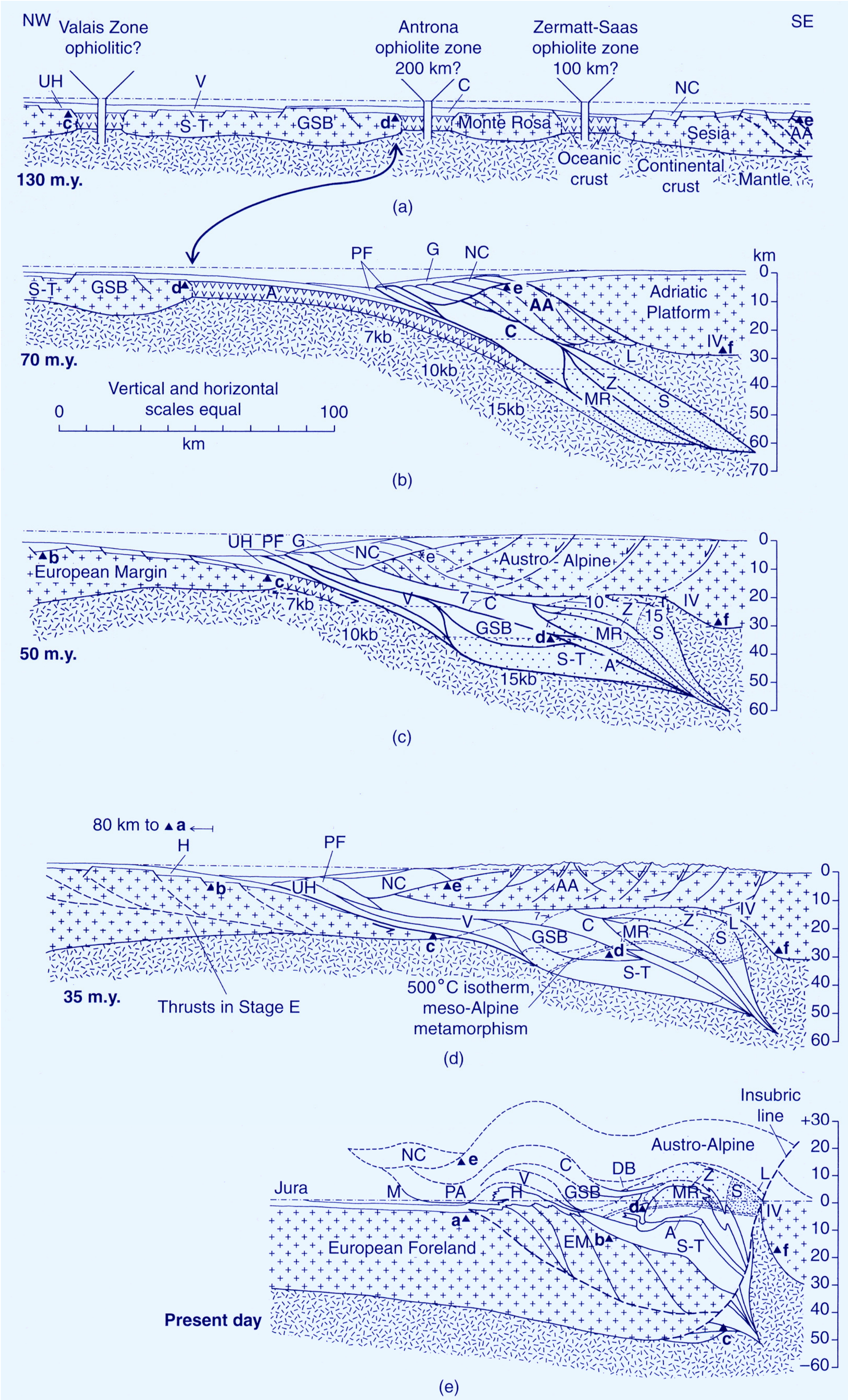
(Γ) Η **Ζώνη Πενίν** (Pennin Zone) είναι τεκτονικά η πιο πολύπλοκη περιοχή των Άλπεων. Αποτελείται από λέπη – καλύμματα με πετρώματα τόσο ωκεάνιου όσο και ηπειρωτικού φλοιού, μαζί βέβαια με τα ιζηματογενή επικαλύμματά τους (sedimentary covers), κάτι που φανερώνει μεγάλη ποικιλία περιβαλλόντων απόθεσης μέσα στο χώρο της Νεοτηθύος. Έτσι, παρατηρούνται τεμάχη μίας τριαδικής ανθρακικής πλατφόρμας, τεκτονικά λατυποπαγή που σχετίζονται με την ιουρασική ταφροποίηση, πελαγικοί πυριτιόλιθοι και ασβεστόλιθοι που έχουν αποτεθεί πάνω σε ωκεάνιο φλοιό, παχιές σειρές από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους βαθιών νερών και παχιά τουρβιδιτικά ριπίδια του Ανωτέρου Κρητιδικού, που σχετίζονται με ένα ενεργό περιθώριο. Μερικά από αυτά απαντούν με τη μορφή καλυμμάτων στην περιοχή των Προ-Άλπεων, βόρεια της Ελβετικής Ζώνης (Εικ. 11.13), αποτελώντας το μπροστινό τμήμα του πρίσματος προσαύξησης, το οποίο επωθήθηκε πάνω στο Ευρωπαϊκό περιθώριο, στα αρχικά στάδια της σύγκρουσης. Αργότερα, αυτό το τμήμα απομονώθηκε, λόγω των μεγάλων αναθολώσεων της Ελβετικής Ζώνης.

Σε αντίθεση με τις Εξωτερικές, στην Πενίν Ζώνη το υπόβαθρο και το ιζηματογενές του επικάλυμμα συμμετείχαν μαζί στη δημιουργία των καλυμμάτων. Τα καλύμματα αυτά ακολούθως επαναπτυχώθηκαν, σχηματίζοντας μερικές φορές ανεστραμμένες πτυχές, ενώ υπέστησαν έντονη πλαστική παραμόρφωση (Εικ. 11.18). Η πολυπλοκότητα των δομών στη ζώνη αυτή δημιουργήθηκε σε ένα χρονικό διάστημα 100 m.y., γεγονός που κάνει πολύ δύσκολη κάθε προσπάθεια ανακατασκευής της αρχικής τους γεωμετρίας και της θέσης τους στο χώρο της Νεοτηθύος.

Η παραμόρφωση της Πενίν Ζώνης συνοδεύτηκε και από μεταμόρφωση, η οποία ομαδοποιείται σε δύο είδη. Η πρώτη σχετίζεται με την υποβύθιση των πετρωμάτων στο νότιο περιθώριο της Νεοτηθύος και σε βάθη της τάξης των 25-70 km, η οποία άρχισε πριν περίπου 100 Ma, οπότε και υπέστησαν HP/LT μεταμόρφωση (υψηλής πίεσης / χαμηλής θερμοκρασίας), σε συνθήκες από 7-30 Kb. Η ηλικία της μεταμόρφωσης αυξάνεται από 50 Ma στα βόρεια και δυτικά, σε 100 Ma στα νότια και ανατολικά, πιθανά λόγω της προοδευτικής υποβύθισης.

Ανάμεσα στα 40 και 25 Ma, η Πενίν Ζώνη υπέστη μεταμόρφωση ενδιάμεσων πιέσεων (5-8 Kb) και τοπικά υψηλών θερμοκρασιών (400-700^{o} C), δηλαδή πρασινοσχιστολιθικής έως αμφιβολιτικής φάσης, η οποία κάλυψε μερικώς ή ακόμη και ολοσχερώς την πρώιμη υψηλής πίεσης μεταμόρφωση. Αυτή η αλλαγή στο είδος της μεταμόρφωσης οφείλεται πιθανά στο γεγονός ότι τότε άρχισε η μεγάλη ηπειρωτική σύγκρουση, η οποία συνοδεύτηκε με μείωση του ρυθμού σύγκλισης και με σημαντική αύξηση του πάχους του φλοιού.

Ένα μεγάλο πρόβλημα στη Πενίν Ζώνη είναι η διαδικασία με την οποία τα άλλοτε βαθιά ενταφιασμένα πετρώματα επέστρεψαν στην επιφάνεια της Γης, κάτι που απαιτεί την απομάκρυνση πετρωμάτων πάχους 25-70 km. Ιζηματογενείς μελέτες στις εμπροσθολεκάνες (foreland basins), φλυσχικές ή μολασσικές, δείχνουν ότι ένα τμήμα του φλοιού, πάχους γύρω στα 20 km, απομακρύνθηκε με τη διάβρωση. Τα υπόλοιπα πετρώματα φαίνεται να απομακρύνθηκαν μέσω τεκτονικών διαδικασιών, οι οποίες σχετίζονται με τη προσθήκη υλικού στη βάση του πρίσματος προσαύξησης, που σταδιακά προκαλούσε την οριζόντια απομάκρυνση των πετρωμάτων, που σχημάτιζαν το επάνω μέρος του



Εικόνα 11.19 *Τεκτονική εξέλιξη των κεντρικών Άλπεων (βλπ. κείμενο). Οι τομές είναι σχεδιασμένες υπό κλίμακα. Τα τρίγωνα αποτελούν σημεία αναφοράς για την παραμόρφωση.*

πρίσματος, έτσι ώστε το πρίσμα να παραμένει μηχανικά σταθερό (Εικ. 11.14 c & d).

(Δ) Τα **Αυστρο-Αλπικά καλύμματα** εμφανίζονται κυρίως στις Ανατολικές Άλπεις, όπου και σχηματίζουν ένα μεγάλο τεκτονικό κάλυμμα πάνω στη Πενίν Ζώνη. Περιλαμβάνουν τόσο πετρώματα του κρυσταλλικού υποβάθρου, όσο και το Μεσοζωικό ιζηματογενές επικάλυμμά τους και προέρχονται από το μπροστινό τμήμα της Αδρίας. Παραμορφώθηκαν ισχυρά στο Μέσο Κρητιδικό, όταν δημιουργήθηκε το ενεργό περιθώριο, ενώ τα πιο βαθιά τμήματα αυτών υπέστησαν ενδιάμεσης πίεσης μεταμόρφωση.

(Ε) Οι Εσωτερικές Ζώνες των Άλπεων οριοθετούνται προς τα νότια από μία σειρά διασυνδεδεμένων μεταξύ τους ρηγμάτων, τα οποία συνήθως αναφέρονται ως **(Τεκτονική) Γραμμή Ινσούμπρικ** (Insubric Line). Η Γραμμή αυτή έχει αρκετά πολύπλοκη δομή, καθώς μερικά από τα ρήγματα παρουσιάζουν σημαντική δεξιόστροφη συνιστώσα ολίσθησης κατά τη διάρκεια του Τριτογενούς, μάλλον λόγω της δυτικής – βορειοδυτικής κίνησης της Αδρίας ως προς την Ευρώπη. Επίσης, υπάρχουν ενδείξεις για βορειοδυτική υπο-ώθηση της Αδρίας κάτω από τις Άλπεις, κατά μήκος τμημάτων αυτού του συστήματος, κατά τη διάρκεια των τελευταίων σταδίων της σύγκρουσης.

(ΣΤ) Νότια από τη Γραμμή Ιμσούμπρικ, απαντούν οι **Νότιες Άλπεις**, οι οποίες αποτελούν τμήμα της καθαυτού Αδρίας πλάκας, το οποίο συμμετείχε στην αλπική παραμόρφωση. Κατά το Τριτογενές, το Μεσοζωικό ιζηματογενές επικάλυμμα του υποβάθρου της Αδρίας πλάκας (πρόκειται για τους γνωστούς Δολομίτες), δημιούργησε μία δομή πτυχών–επωθήσεων με φορά ολίσθησης προς τα νότια. Αρκετά δυτικότερα, στην Ιβρέα Ζώνη (Ivrea Zone) απαντά μία πλήρης τομή του φλοιού των Νότιων Άλπεων, ο οποίος πριν υποστεί την αλπική παραμόρφωση, είχε αρχικά επεκταθεί και λεπτυνθεί κατά τη ταφροποίηση του Ιουρασικού.

Στην Εικόνα 11.19 a-e της προηγούμενης σελίδας, παρουσιάζεται συνοπτικά η εξέλιξη του ορογενούς των Άλπεων, μέσα από μια σειρά γεωτεκτονικών τομών. Τα διάφορα στάδια είναι τα ακόλουθα:

(a). Μέσο Κρητιδικό. Στο σχήμα έχουν παραληφθεί αρκετές εκατοντάδες km ωκεάνιου φλοιού από τις τρεις λεκάνες.

(b). Ανώτερο Κρητιδικό. Η υποβύθιση κατά μήκος του περιθωρίου της Αδρίας, συνοδεύεται από HP/LT μεταμόρφωση του υποβυθιζόμενου τμήματος.

(c). Κατώτερο Ηώκαινο. Η συνεχιζόμενη υποβύθιση ηπειρωτικού και ωκεάνιου φλοιού συνοδεύεται από εφελκυσμό στο ανώτερο τμήμα της σφήνας των καλυμμάτων, οδηγώντας έτσι στην εκταφή των HP πετρωμάτων.

(d). Κατώτερο Ολιγόκαινο. Η απαρχή της ηπειρωτικής σύγκρουσης, καθώς το Ελβετικό περιθώριο της Ευρώπης εισέρχεται στη ζώνη υποβύθισης. MP/MT μεταμόρφωση λαμβάνει χώρα στα βαθύτερα τμήματα της σφήνας των καλυμμάτων.

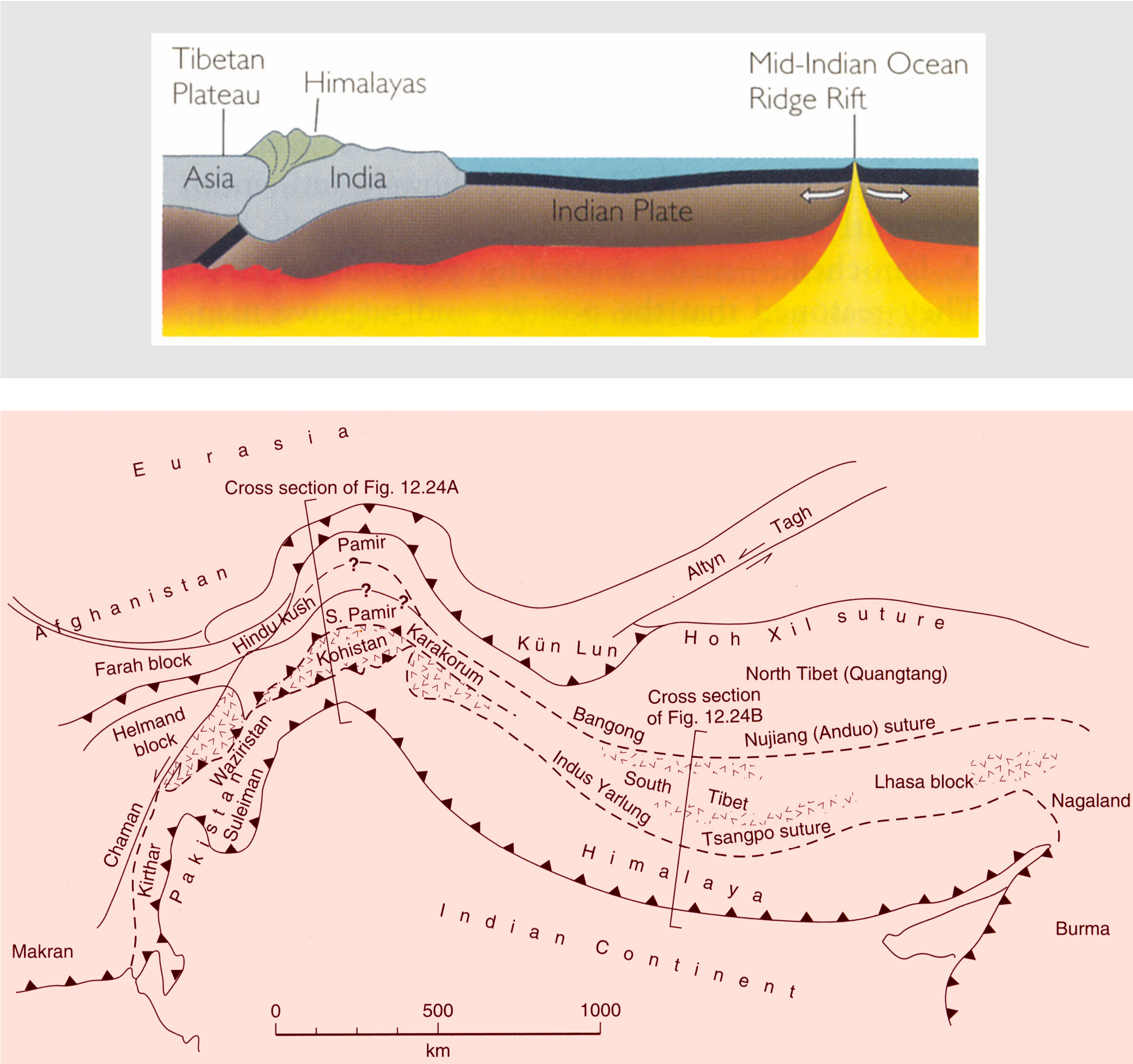
(e). Σημερινή εποχή. Η υπο-επώθηση και λεπίωση του ευρωπαϊκού ηπειρωτικού περιθωρίου έχει προξενήσει σημαντική άνοδο και διάβρωση του συνόλου της Αλπικής Οροσειράς, καθώς και αντίθετες επωθήσεις μέσα στις εσωτερικές ζώνες.

Στην ίδια εικόνα (Εικ. 11.19), οι δομές στο ευρωπαϊκό υπόβαθρο είναι σχηματικές. Το ποσό της βράχυνσης ανέρχεται στα 70 km. Η βράχυνση στο ελβετικό κάλυμμα είναι 120 km. Το ορογενές στο σύνολό του έχει βραχυνθεί από τα αρχικά 800-1000 km στα σημερινά 150 km.

11.5 Η Οροσειρά των Ιμαλαΐων

Το ανατολικό τμήμα του κλάδου Άλπεις – Ιμαλάϊα, του Αλπικού Ορογενετικού Συστήματος, εκτείνεται από το κεντρικό Αφγανιστάν στα δυτικά, μέχρι την νοτιοανατολική Κίνα στα ανατολικά, έχοντας μήκος περίπου 4.000 km και πλάτος που κυμαίνεται από 500 έως 2.000 km (Εικ. 11.20). Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει πέντε από τις υψηλότερες οροσειρές της Γης, τα Ιμαλάϊα (Himalayas), το Καρακόραμ (Karakorum), τον Ινδικό Καύκασο (ή αλλιώς Χίντου Κους – Hindu Kush), την οροσειρά Κουν Λουν (Kün Lun) στη νοτιοδυτική Κίνα και το Παμίρ (Pamir), στα βόρεια σύνορα Πακιστάν και Ινδίας. Τα μεγάλα υψόμετρα μαζί με τα πολιτικά προβλήματα που υπάρχουν στην περιοχή, έχουν ως αποτέλεσμα, αν και παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από γεωλογική άποψη, να είναι η λιγότερη μελετημένη περιοχή παγκοσμίως.

Σε γενικές γραμμές, το ανατολικό αυτό τμήμα του αλπικού συστήματος είναι ένα ορογενές που έχει προέλθει από πολλαπλές ηπειρωτικές συγκρούσεις, με εξέχουσα αυτή ανάμεσα στην Ευρασία και την Ινδία. Ανάμεσα σε αυτές τα διάφορα διακριτά ηπειρωτικά τεμάχη (ή τεκτονοστρωματογραφικά πεδία, terranes), διαχωρίζονται μεταξύ τους με ζώνες οφιολιθικών ραφών. Δυτικά της Ινδίας, ο ωκεάνιος φλοιός του βορειοδυτικού Ινδικού Ωκεανού συνεχίζει ακόμη και σήμερα να υποβυθίζεται κάτω από το πρίσμα προσαύξησης της οροσειράς Μακράν (Makran) του νοτιοδυτικού Πακιστάν και του Ιράν. Το ανατολικό περιθώριο της περιοχής, θεωρείται, κάπως αυθαίρετα, ότι αντιπροσωπεύεται από την τεράστια κάμψη του ορογενετικού συστήματος στη ζώνη πτυχώσεων και επωθήσεων του Ναγκαλάντ (Nagaland).



Εικόνα 11.20 *Απλοποιημένη γεωτεκτονική τομή όπου παρουσιάζονται οι κύριες τεκτονικές πλάκες στον ευρύτερο χώρο Ινδικού–Ιμαλαϊων και απλοποιημένος γεωτεκτονικός χάρτης του ανατολικού τμήματος (Αφγανιστάν-Ιμαλάϊα-Θιβέτ), του κλάδου Άλπεις-Ιμαλάϊα, του Αλπικού Συστήματος Ορογένεσης.*

Οι κυριότερες γεωτεκτονικές ενότητες της περιοχής, από νότο προς βορρά, είναι οι ακόλουθες (Εικ. 11.21, 11.22 & 11.23):

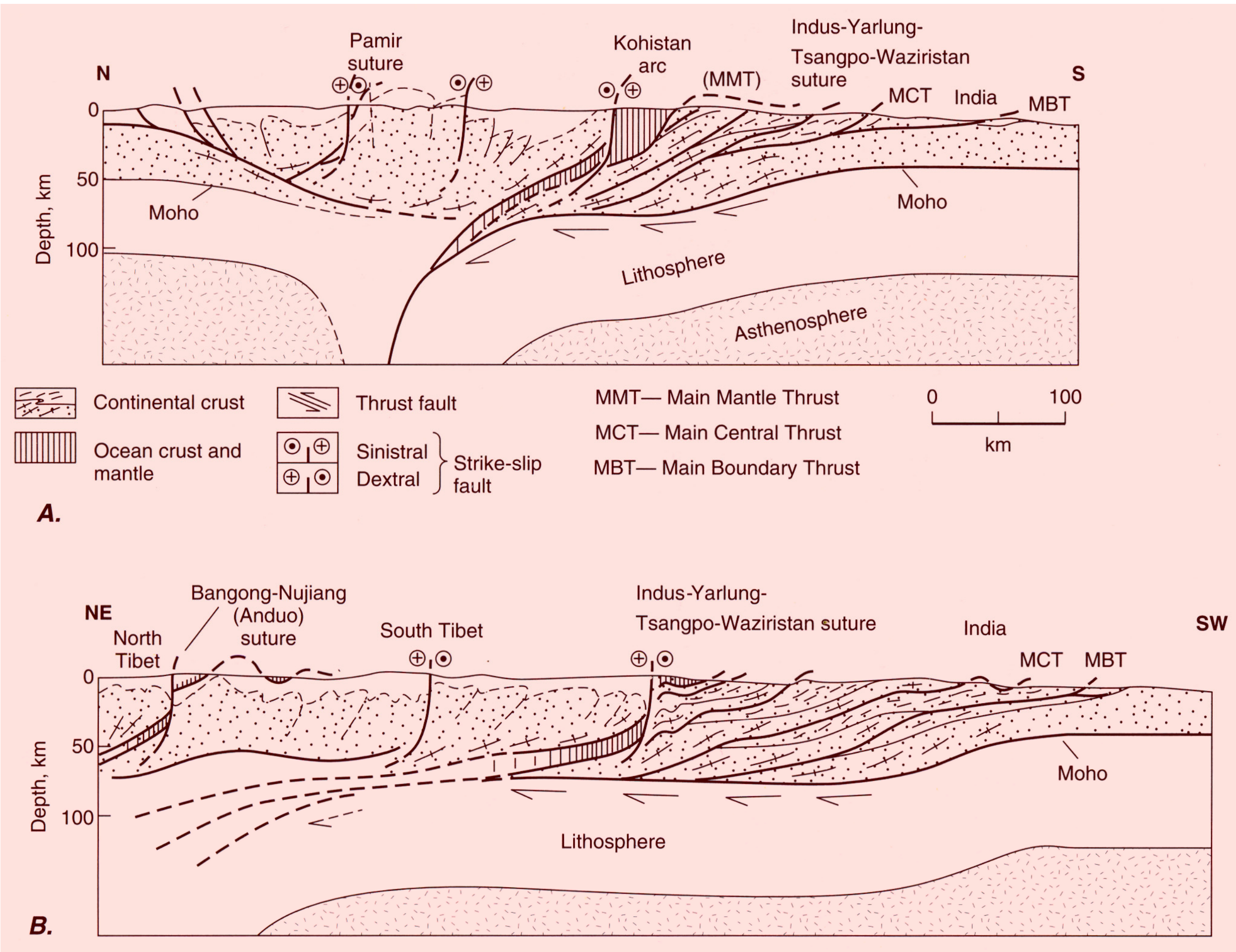
1. Η νοτιότατη ζώνη του ορογενούς αποτελείται από παραμορφωμένα πετρώματα των Ιμαλαΐων και των πλευρικών συνεχειών του στα δυτικά, τις οροσειρές Σουλεϊμάν (Suleiman) και Κίρταρ (Kirthar) στο Πακιστάν και Βίρμα (Burma) στο Μιανμάρ (Βιρμανία). Στη ζώνη αυτή, τα περιθωριακά πετρώματα της Ινδικής Ασπίδας έχουν επωθηθεί προς τα νότια, νοτιοανατολικά και δυτικά, αντίστοιχα. Οι παραπάνω κινήσεις ξεκίνησαν στο Μέσο και Ανώτερο Τριτογενές και συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Οι επωθήσεις στα Ιμαλάϊα περιλαμβάνουν την Κύρια Περιθωριακή Επώθηση (Main Boundary Thrust – MBT), κατά μήκος της οποίας πετρώματα του Ανώτερου Προκάμβριου και του Παλαιοζωικού έχουν επωθηθεί σε Πλειστοκαινικά ιζήματα, όπως και την Κύρια Κεντρική Επώθηση (Main Central Thrust – MCT), η οποία είναι μία ζώνη πλαστικής παραμόρφωσης πάχους αρκετών χιλιομέτρων, όπου Προκάμβρια κρυσταλλικά πετρώματα μαζί με τα υπερκείμενα αυτών Παλαιοζωϊκά, επωθούνται

σε Παλαιοζωϊκά πετρώματα της MBT. Στις οροσειρές Σουλειμάν και Κίρταρ, τα καλύμματα περιλαμβάνουν κυρίως πετρώματα ηπειρωτικών περιθωρίων του Ιουρασικού και του Κρητιδικού, ενώ στην οροσειρά Βίρμα, τα πετρώματα έχουν ηλικία κυρίως Τριτογενές.

2. Τα Ιμαλάϊα προς το Βορρά οροθετούνται από τη ζώνη ραφής Ινδός–Γιαρλούνγκ–Τσάνγκπο (Indus–Yarlung–Tsangpo suture zone). Πρόκειται για μία στενή ζώνη, η οποία κλίνει απότομα προς τα νότια και αποτελείται κυρίως από οφιολιθικά μίγματα (ophiolitic mélange). Η ραφή αυτή διαχωρίζει την Ινδία από το τέμαχος του Νοτίου Θιβέτ – Λάσας, που βρίσκεται βόρεια αυτής. Δυτικά συνεχίζει με το όνομα Κύρια Μανδυακή Επώθηση (Main Mantle Thrust – MMT) του Κοχιστάν (Kohistan) και ως Ζώνη Ραφής Βαζιριστάν (Waziristan Suture) στο Πακιστάν. Τα πετρώματα εντός της ζώνης ραφής είναι ηλικίας κυρίως Κρητιδικού – Κατώτερου Τριτογενούς.

3. Την προηγούμενη ζώνη ραφής οριοθετούν προς τα βόρεια τα πετρώματα του τόξου Κοχιστάν. Πρόκειται για πετρώματα νησιωτικού τόξου ηλικίας Μεσοζωικού – Κατώτερου Τριτογενούς (150 – 48 Ma). Στο Αφγανιστάν και στο Νότιο Θιβέτ, τα ηφαιστειακά και πλουτώνια πετρώματα έχουν διεισδύσει και καλύψει ηπειρωτικής προέλευσης κρυσταλλικά πετρώματα και τα υπερκείμενα αυτών ιζηματογενή επικαλύμματα, ηλικίας Προκάμβριο – Κατώτερο Μεσοζωϊκό. Τα ηφαιστειακά πετρώματα του Κοχιστάν φαίνεται να είναι τμήμα ενός ενδο-ωκεάνιου νησιωτικού τόξου.

4. Η Ζώνη Ραφής Μπανγκόνγκ – Νου-Γιάνγκ (Αντούο) [Bangong – Nu Jiang (Anduo) Suture Zone], είναι ένα τεκτονικό μίγμα, που περιέχει τεμάχη από οφιόλιθους, ηλικίας Ιουρασικού. Οι οφιόλιθοι έχουν επωθηθεί από το Βορρά προς το Νότο στο Ανώτερο Ιουρασικό. Η προέκταση αυτής της ζώνης προς τα δυτικά είναι προβληματική. Έτσι, μπορεί να συνδέεται είτε με μία ζώνη ραφής που χωρίζει τις νότιες από τις κεντρικές οροσειρές του Παμίρ, ή

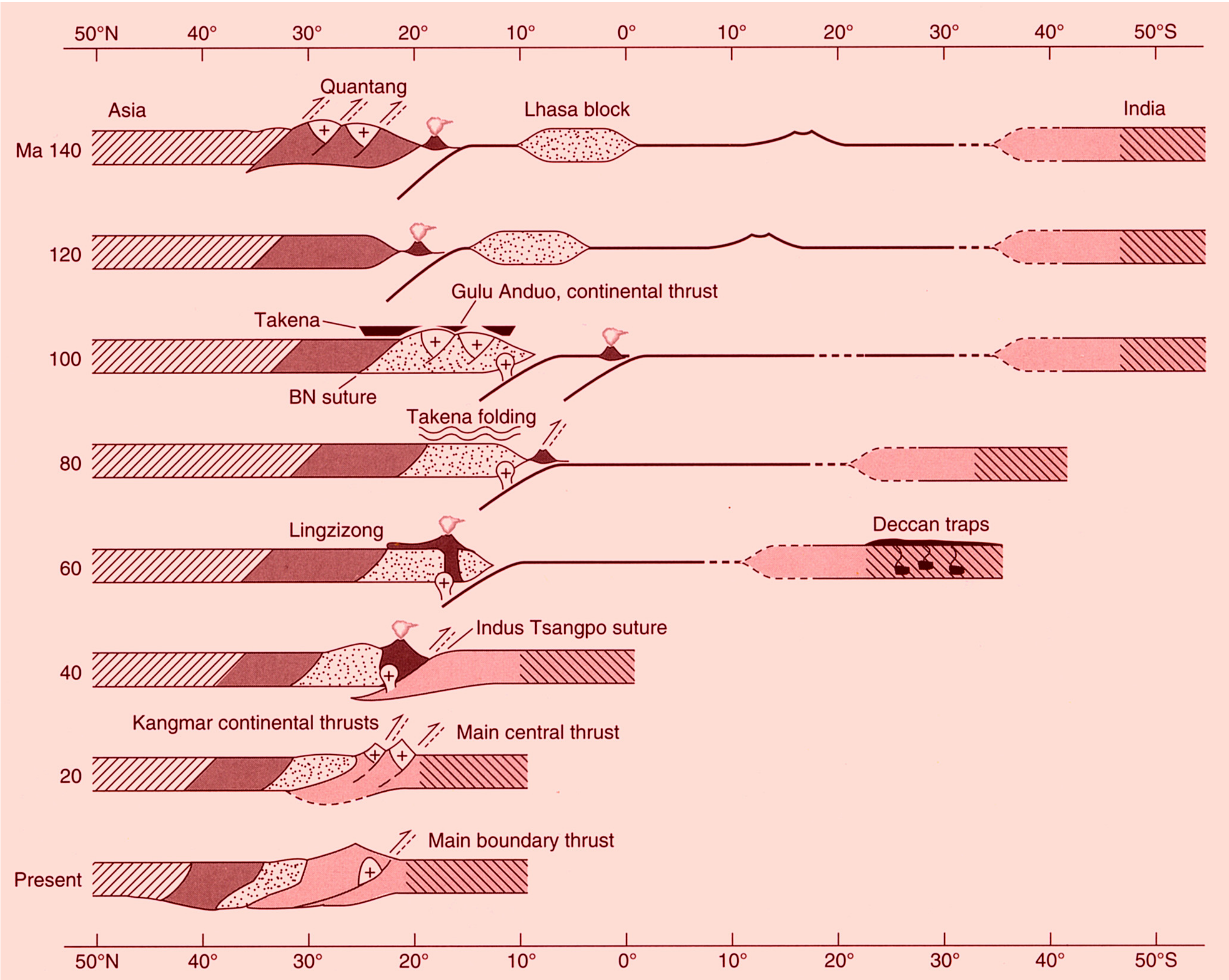


Εικόνα 11.21 *Χαρακτηριστικές γεωτεκτονικές τομές τμημάτων του τομέα Αφγανιστάν-Ιμαλάϊα-Θιβέτ, του κλάδου Άλπεις-Ιμαλάϊα, του Αλπικού Συστήματος Ορογένεσης.*

τις κεντρικές από τις βόρειες οροσειρές του Παμίρ. Δυτικά του Παμίρ, η ζώνη συνεχίζει ως Τέμαχος Φαράχ (Farah Block), το οποίο είναι μία περιοχή από τριαδικο-ιουρασικούς οφιολίθους, που συνοδεύονται από το ιζηματογενές επικάλυμμά τους, δηλαδή, είναι μία περιοχή όπου υπάρχουν ακόμη υπολείμματα του αρχικού ωκεανού.

ότι είναι ισοδύναμο με το τέμαχος του Κεντρικού Παμίρ.

6. Οι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την οροσειρά Κουν Λουν και τη ζώνη ραφής Χο Σιλ (Hoh Xil suture), δείχνουν ότι και οι δύο μαζί αντιπροσωπεύουν ένα πρίσμα προσαύξησης ηλικίας Ανώτερου Παλαιοζωικού – Κατωτέρου Μεσοζωικού, το οποίο έχει τοποθετηθεί

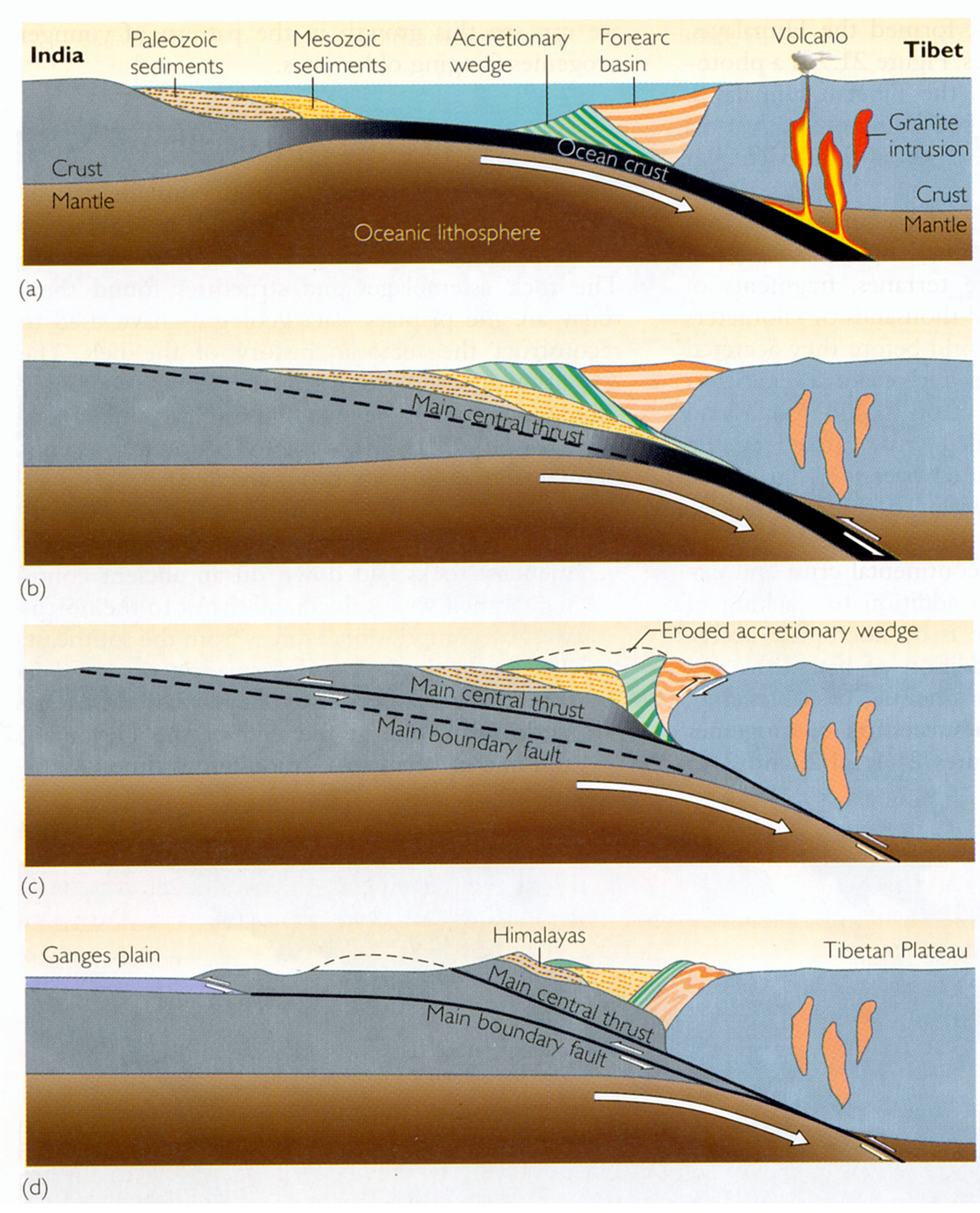


Εικόνα 11.22 *Ένα μοντέλο για τη γεωτεκτονική εξέλιξη του ορογενετικού συστήματος Κουν Λουν – Θιβέτ – Ιμαλάϊα, μέσα από χαρακτηριστικές τομές.*

5. Το Τέμαχος του Βορείου Θιβέτ (ή Γκουνγκτάνγκ) [North Tibet Block (ή Quangtang Block)], αποτελείται από πετρώματα υποβάθρου, ηλικίας Προκάμβριου, που υπόκεινται μίας ιζηματογενούς σειράς, ηλικίας Σιλούριο – Πέρμιο και η οποία σχετίζεται με την Γκοντβάνα. Επίσης, αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα ασβεσταλκαλικής σύστασης, ηλικίας Κρητιδικού, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη εξάπλωση καθώς και από μία παχιά σειρά Τριτογενούς ηλικίας. Θεωρείται σίγουρο

πάνω σε μία παλαιότερη ηπειρωτική πλατφόρμα. Αυτές οι οροσειρές και η προέκτασή τους στα δυτικά, το βόρειο Παμίρ, πιθανά να αντιπροσωπεύουν ένα Παλαιοζωϊκής – Μεσοζωϊκής ηλικίας αναλισκόμενο περιθώριο (consuming margin), κατά μήκος του νοτίου περιθωρίου της Ευρασίας.

Στην Εικόνα 11.21 διακρίνονται δύο εγκάρσιες τομές των ανατολικών Ιμαλαΐων. Αν και οι κυρίαρχες επωθητικές δομές δείχνουν κινήσεις προς τα νότια, υπάρχουν σημαντικές περιοχές με αντίρροπη



Εικόνα 11.23 *Απλοποιημένη παρουσίαση της εξέλιξης του ορογενούς των Ιμαλαΐων.* ***a****. Υποβύθιση της Ινδικής πλάκας, που μαζί της μεταφέρει την Ινδική μικρο-ήπειρο με τα ιζήματα κρηπίδας, κάτω από την Ευρασιατική (60 Ma). Γρανιτικές διεισδύσεις και ηφαιστειακά προξενούν πάχυνση του φλοιού. Δημιουργία πρίσματος συσσώρευσης και λεκάνης μπροστά από το τόξο.* ***b****. Σύγκρουση της Ινδίας με το Θιβέτ (40 Ma). Η αδυναμία υποβύθισης της Ινδικής ηπείρου οδηγεί στη δημιουργία της Κύριας Κεντρικής Επώθησης (MCT).* ***c****. Η σύγκρουση συνεχίζεται, καθώς και η δράση της MCT. Επώθηση του πρίσματος συσσώρευσης και των ιζημάτων της forarc basin προς τα βόρεια στο Θιβέτ.* ***d****. Δημιουργία και δράση της Κύριας Περιθωριακής Επώθησης (MBF, 10-20 Ma). Ο συνδυασμός των MCT και MBF ανυψώνει τα Ιμαλάϊα.*

φορά, κυρίως κατά μήκος της ζώνης ραφής Ινδός–Γιαρλούνγκ–Τσανγκπό και στο Παμίρ. Οι εφελκυστικές δομές που έχουν περιγραφεί από τα Ιμαλάϊα, είναι ίδιας ηλικίας με τις μεγάλες επωθήσεις. Πιθανά να πρόκειται για δομές που σχετίζονται με τη κατάρρευση του ορογενούς λόγω υπερβολικής πάχυνσης αυτού.

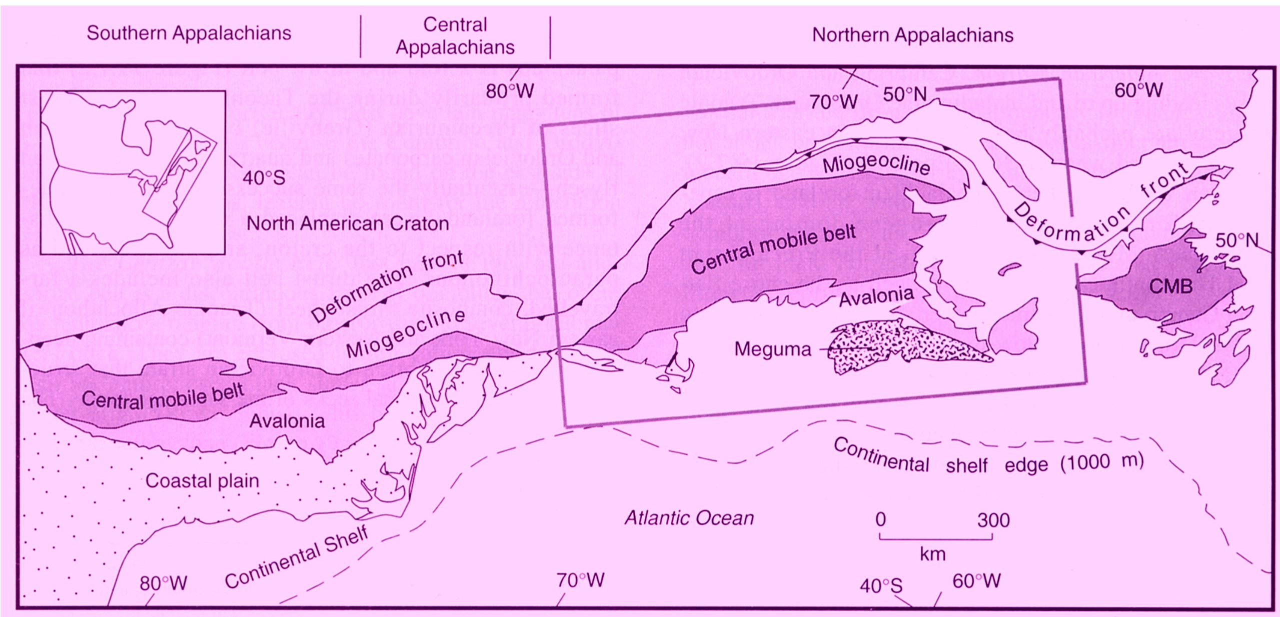
Η γενική εξέλιξη των Ιμαλάϊων σχετίζεται με τη προοδευτική προς τα βόρεια μετανάστευση μικρών ηπειρωτικών τεμαχών, τα οποία προέρχονται από το βόρειο περιθώριο της Γκοντβάνα, την προσκόλλησή τους στο νότιο περιθώριο της Ευρασίας και τη σταδιακή μεταπήδηση της ζώνης υποβύθισης προς τα νότια. Μία τέτοια εξέλιξη παρουσιάζεται στις Εικόνες 11.22 και 11.23. Το ξεκίνημα της ηπειρωτικής σύγκρουσης ανάμεσα στην Ευρασία και την Ινδία τοποθετείται από τους περισσότερους ερευνητές στο Ανώτερο Ηώκαινο (40 Ma). Η σύγκλιση συνεχίζεται ακόμη και σήμερα και εκφράζεται με συνδυασμό μίας εφελκυστικής δραστηριότητας σε διεύθυνση Α-Δ, μίας συμπιεστικής δράσης Β-Ν και ενός πολύπλοκου πεδίου ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης. Η ανύψωση του Οροπεδίου του Θιβέτ ξεκίνησε στο Μέσο Μειόκαινο.

11.6 Το Ορογενετικό Σύστημα των Απαλαχίων

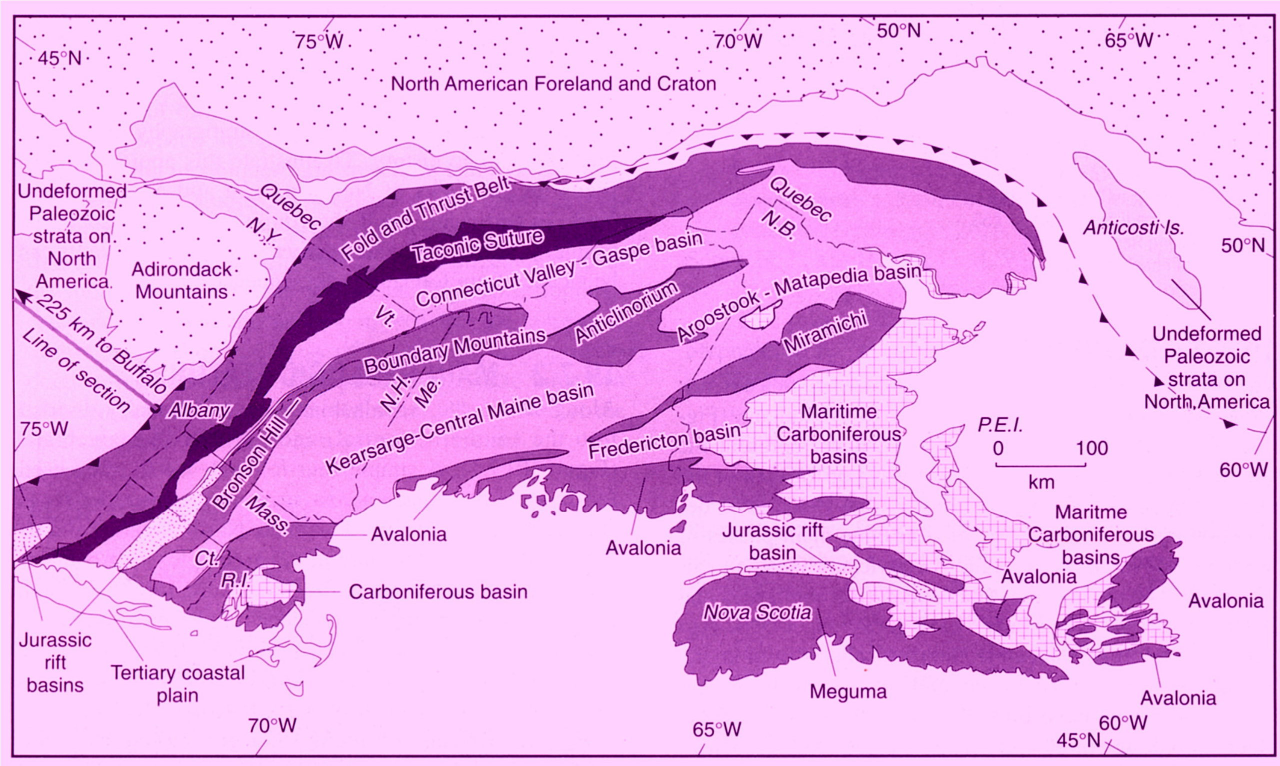
Τα Απαλάχια Όρη στην ανατολική Βόρεια Αμερική έχουν μήκος μεγαλύτερο από 3.000 km, εκτεινόμενα από την πολιτεία Αλαμπάμα των νοτιοανατολικών Η.Π.Α. μέχρι τη νήσο Νέα Γη (Newfoundland) του βορειοανατολικού Καναδά, έχοντας μέση ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση (Εικ. 11.24). Η ιδέα ότι η οροσειρά αντιπροσωπεύει μία πολύ παλιά, εξαφανισμένη σήμερα, ωκεάνια λεκάνη προτάθηκε στη κλασική εργασία του J. T. Wilson στα μέσα του 1960. Η εξάλειψη του ωκεανού αυτού έγινε κατά τη διάρκεια τριών ορογενετικών φάσεων, γνωστές ως Τακονική (Taconic), Ακάντια (Acadian) και Αλεγκένια (Alleghanian).

Τα Απαλάχια παραδοσιακά υποδιαιρούνται κατά το μεγάλο άξονά τους σε νότια, κεντρικά και βόρεια. Αντίθετα, η υποδιαίρεση εγκάρσια της οροσειράς γίνεται με βάση γεωλογικά κριτήρια, οπότε και διακρίνονται τέσσερις παράλληλες ζώνες, με τη δική της γεωδυναμική σημασία κάθε μία, οι οποίες από τα δυτικά προς τα ανατολικά είναι (Εικ. 11.24): (1) Το ανατολικό περιθώριο της πλάκας της Βόρειας Αμερικής του Κατωτέρου Παλαιοζωικού με ιζήματα τύπου μειογεωσυγκλίνου. (2) Μία σύνθετη ζώνη που περιέχει διάφορα υπολείμματα του Παλαιοζωικού Ωκεανού του Ιαπετού (ιζήματα βαθιάς θάλασσας, οφιόλιθοι και αποθέσεις νησιωτικών τόξων). Μερικές φορές αυτή η ζώνη αναφέρεται και ως Κεντρική Ευμετακίνητη Ζώνη (Central Mobile Belt). (3) Μία Ανωτέρου Προκαμβρίου – Κατωτέρου Παλαιοζωικού μικροήπειρο, η οποία καλείται Αβαλονία (Avalonia). (4) Μία φλούδα (ή φέτα, slice), από πετρώματα του Κατωτέρου Παλαιοζωικού, που σχηματίστηκαν κατά μήκος του ηπειρωτικού περιθωρίου της Αφρικής, η οποία καλείται Μεγκούμα (Meguma).

Κατά την περίοδο από το Κατώτερο Κάμβριο μέχρι το Μέσο Ορδοβίσιο (Εικ. 11.25), το ανατολικό περιθώριο της Βόρειας Αμερικής ήταν ένα



Εικόνα 11.24 *Γεωγραφική και γεωτεκτονική υποδιαίρεση του ορογενετικού συστήματος των Απαλαχίων.*



Εικόνα 11.25 *Γεωτεκτονικές ενότητες του ορογενετικού συστήματος των Βόρειων Απαλαχίων.*

παθητικό περιθώριο, τμήμα του παθητικού περιθωρίου της Λαυρέντιας ηπείρου, οπότε και αποτέθηκαν ψαμμίτες ρηχών νερών και ανθρακικά ιζήματα τύπου πλατφόρμας. Στα ανατολικά η πλατφόρμα γειτνίαζε με τον Ωκεανό του Ιαπετού.

Η Τακονική Ορογένεση χαρακτηρίζεται από την εξαφάνιση του ωκεανού αυτού στο Ορδοβίσιο, από μία μικρής διάρκειας ζώνη υποβύθισης, που βυθιζόταν προς τα ανατολικά. Τα υπολείμματα αυτού του ωκεανού εμφανίζονται σήμερα στην Κεντρική Ευμετακίνητη Ζώνη με τη μορφή ασυνεχών οφιολιθικών εμφανίσεων, οι οποίες εντοπίζονται εγκλεισμένες σε μια σειρά από μαύρους σχίστες και τουρβιδίτες βαθιών νερών, έντονα παραμορφωμένης και μεταμορφωμένης. Η επιμήκης αυτή εμφάνιση των οφιολίθων καλείται Τακονική Ζώνη Ραφής (Taconic Suture Zone), η οποία οριοθετεί τα πετρώματα του περιθωρίου της Βόρειας Αμερικής στα δυτικά από τα πετρώματα ενός νησιωτικού τόξου στα ανατολικά.

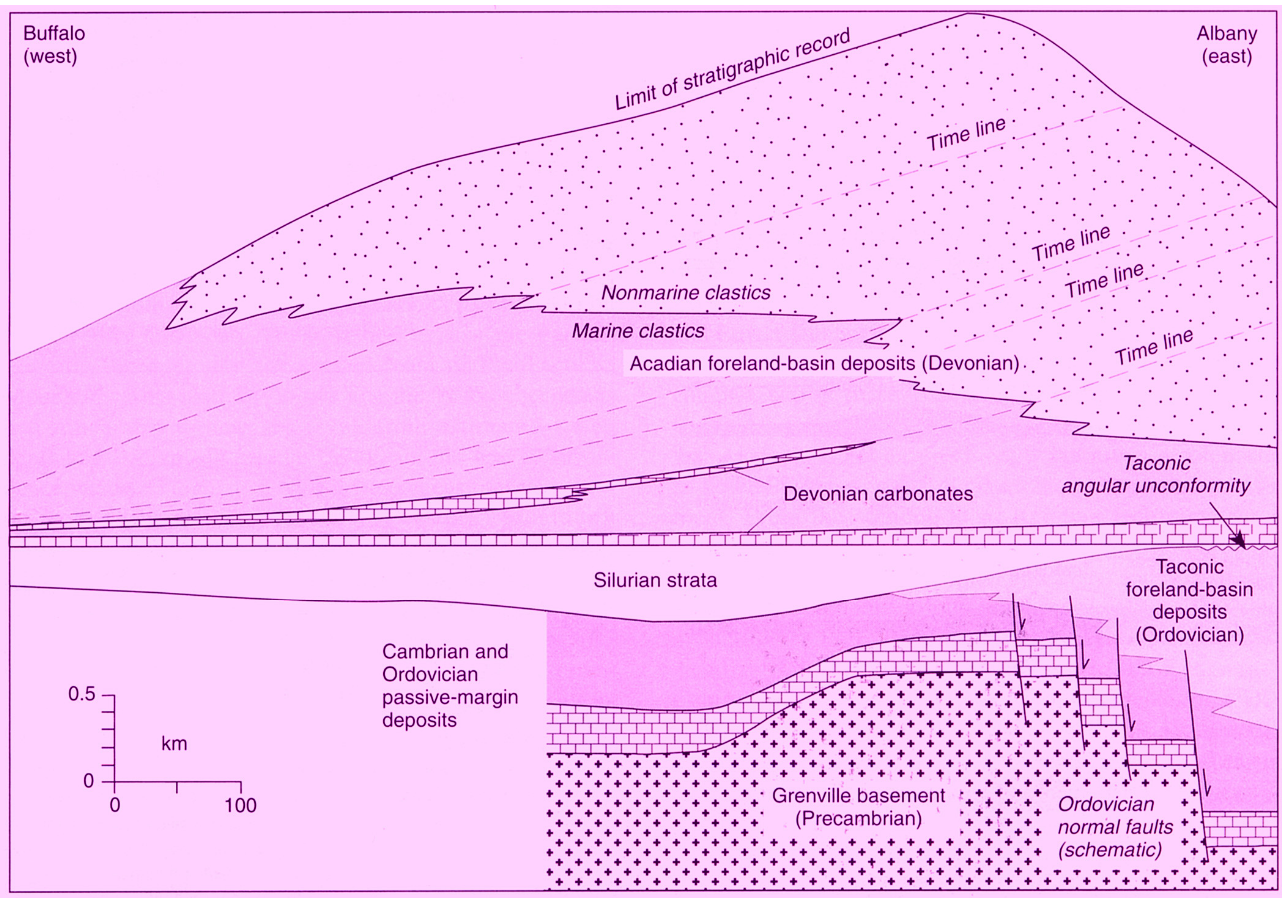
Στο Μέσο Ορδοβίσιο, η περιθωριακή πλατφόρμα της Βόρειας Αμερικής, κατακερματίστηκε από ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων, που οδήγησε στη γρήγορη βάθυνσή της και στην απόθεση μίας παχιάς σειράς από αργίλους και τουρβιδιτικούς γραουβάκες, η οποία είναι γνωστή ως Τακονικός Φλύσχης (Taconic Flysch, Εικ. 11.26). Το πάχος της σειράς αυτής αυξάνεται προς τα ανατολικά και οι κόκκοι των ψαμμιτών γίνονται πιο αδρομερείς, ενώ τα υλικά της είναι μεταμορφωμένα (χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση) και ηφαιστειακά πετρώματα, τα οποία προέρχονται από μία ανατολική πηγή που δεν είναι άλλη από το Τακονικό Ορογενές, που σχηματιζόταν εκείνη τη περίοδο. Η φλυσχική αυτή λεκάνη καλείται Τακονική εμπροσθολεκάνη ή λεκάνη προχώρας (Taconic foredeep ή foreland basin).

Το δυτικό τμήμα της περιοχής αυτής στο Ανώτερο Ορδοβίσιο παραμορφώθηκε δημιουργώντας μία ζώνη πτυχών–επωθήσεων (Εικ. 11.25), η οποία περιλαμβάνει λέπη από πετρώματα του Προκάμβριου υποβάθρου, πετρώματα της πάλαι πότε πλατφόρμας ηλικίας Καμβρίου – Ορδοβισίου και του Τακονικού Φλύσχη. Τα λέπη αυτά παρουσιάζουν σχετικά μικρή μετακίνηση και περιγράφονται ως παραυτόχθονα. Πάνω σε αυτά επωθείται το Τακονικό Αλλόχθονο, το οποίο περιλαμβάνει σχηματισμούς βαθιών νερών ηλικίας Ανωτέρου Προκαμβρίου – Ορδοβισίου. Οι σχηματισμοί αυτοί ερμηνεύονται ως αποθέσεις που σχετίζονται με ένα περιβάλλον ταφροποίησης (αρχικά στάδια ανοίγματος του Ωκεανού του Ιαπετού), κατωφέρειας (ανατολικά της περιθωριακής πλατφόρμας) και μίας πρώιμης εμπροσθολεκάνης (πλησίασμα του νησιωτικού τόξου).

Όλοι οι παραπάνω σχηματισμοί βρίσκονται δυτικά της Τακονικής Ζώνης Ραφής. Ανατολικά αυτής βρίσκεται η Λεκάνη της Κοιλάδας Κονέκτικατ (Connecticut Valley Basin, Εικ. 11.25), με συνεχείς αποθέσεις από το Ορδοβίσιο ως το Δεβόνειο, που η θέση της δείχνει ότι κατά τη διάρκεια της Τακονικής Ορογένεσης ήταν μία μπροστά-στο-τόξο λεκάνη, δηλαδή μία μολασσική λεκάνη (λεκάνη εμπροσθοτόξου, forearc basin). Ανατολικά αυτής παρατηρούνται ηφαιστειακά και πλουτώνια πετρώματα του Ορδοβισίου (στις οροσειρές Bronson Hill, Boundary Mountains Anticlinorium), τα οποία ερμηνεύονται ως το Τακονικό μαγματικό τόξο.

λικά, πιθανά ανατολικά των οροσειρών Bronson Hill – Boundary Mountains Anticlinorium.

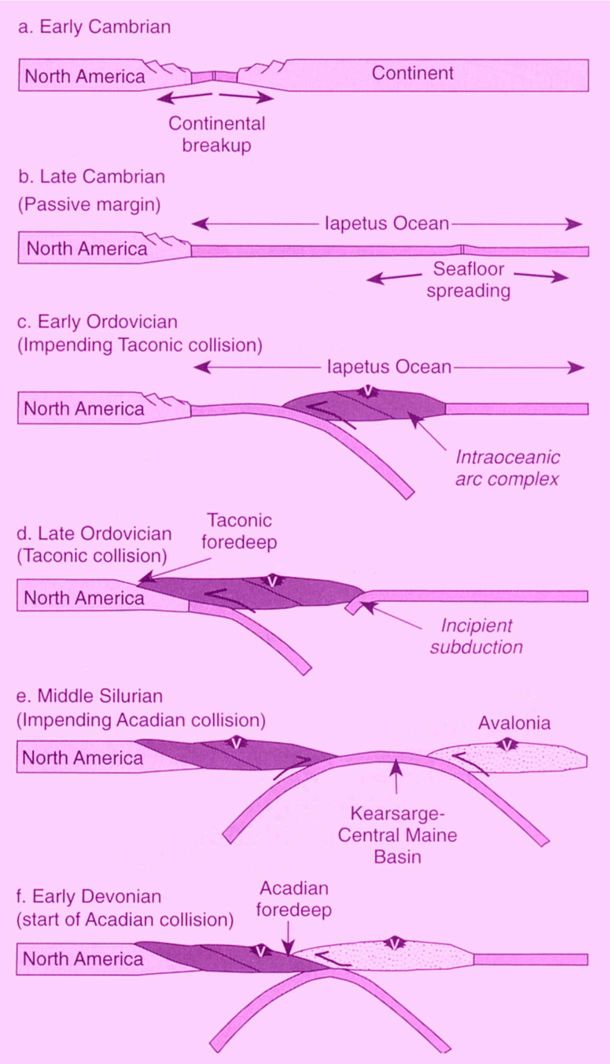
Η Ακάντια Ορογένεση είναι πιο πολύπλοκη από την Τακονική. Η κορύφωση αυτής λαμβάνει χώρα στο Κατώτερο Δεβόνειο, όταν στο ήδη εξελισσόμενο περιθώριο της Βόρειας Αμερικής προσκολλάται ένα μικρό ηπειρωτικό τέμαχος, η Αβαλονία. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η Αβαλονία δεν ήταν μία ξεχωριστή οντότητα, αλλά ένα συνάθροισμα από διάφορα τεκτονοστρωματογραφικά πεδία, κάποια από τα οποία έχουν Προκάμβριο υπόβαθρο. Το δυτικό περιθώριο του ηπειρωτικού αυτού τεμάχους, στο διάστημα από το Σιλούριο έως το Κατώτερο Δεβόνειο, ήταν ένα μαγματικό τόξο, όπως αποδεικνύεται από την ύπαρξη ηφαιστειακών και πλουτώνιων πετρωμάτων ανάλογης ηλικίας. Πιθανά το μαγματικό αυτό τόξο να συνδέεται με μία προς τα ανατολικά ζώνη υποβύθισης κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Αβαλονίας. Το τόξο σταμάτησε να λειτουργεί στο Κατώτερο Δεβόνειο όταν η Αβαλονία προσκολλήθηκε στη Βόρεια Αμερική κατά την κορύφωση της Ακάντιας Ορογένεσης.



Εικόνα 11.26 *Τομή δια μέσου της Τακονικής και Ακάντιας προχώρας στη Νέα Υόρκη, όπου διακρίνονται δύο σφήνες κλαστικών ιζημάτων και δύο ανθρακικές ακολουθίες.*

Στη πολιτεία Maine των Η.Π.Α., τα παραπάνω εκρηξιγενή πετρώματα υπέρκεινται ασύμφωνα δύο αντιδιαμετρικών τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων, ενός εσωτερικού από γνεύσιους του Προκαμβρίου και ενός εξωτερικού, το οποίο αποτελείται από οφιόλιθους του Καμβρίου και μία ηφαιστειακή σειρά, ένα μίγμα (mélange) του Καμβρίου και έναν φλύσχη ηλικίας Καμβρίου – Κατωτέρου Ορδοβισίου.

Τα δύο αυτά πεδία αποτελούσαν το νησιωτικό τόξο που στο Ανώτερο Ορδοβίσιο προσκολλήθηκε στο ανατολικό περιθώριο της Βόρειας Αμερικής. Κατά τη προσκόλλησή του αυτή το νησιωτικό τόξο δεν υπέστη σημαντική παραμόρφωση, ενώ την ίδια στιγμή ένα νέο περιθώριο σχηματιζόταν πιο ανατο-

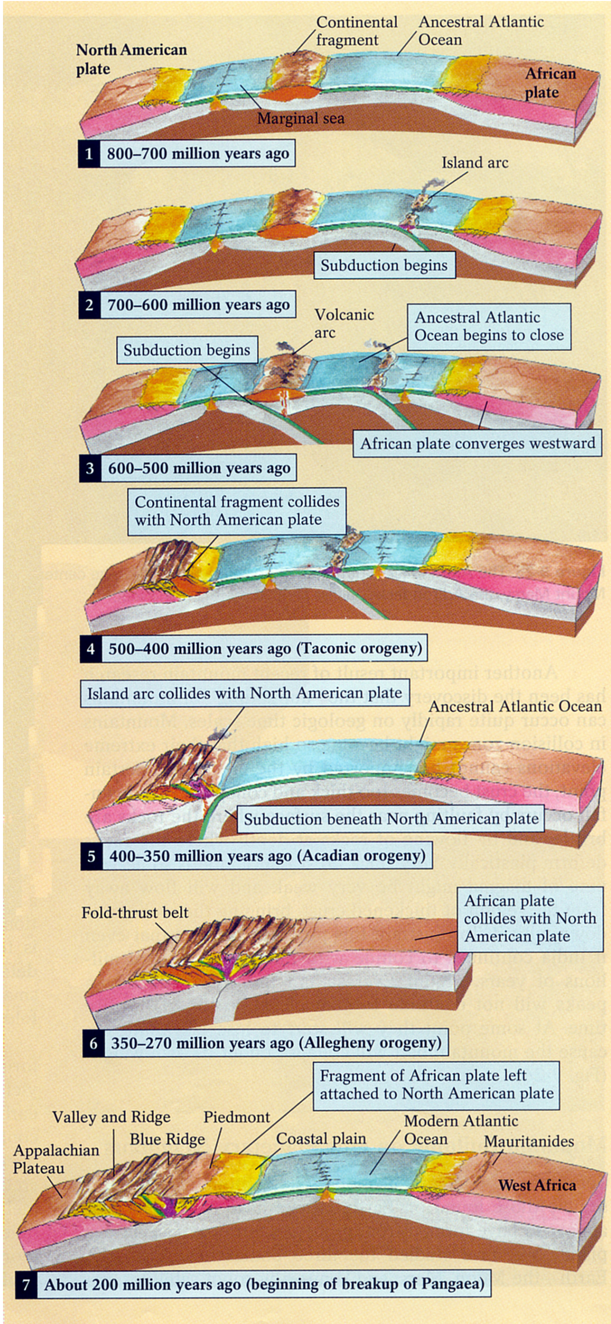


Εικόνα 11.27 *Σχηματικό διάγραμμα όπου παρουσιάζεται η γεωτεκτονική εξέλιξη των Βόρειων Απαλαχίων, το χρονικό διάστημα του Κατώτερου και Μέσου Παλαιοζωϊκού. **a**. Ταφρογένεση του Ανώτερου Προκάμβριου. **b**. Το παθητικό περιθώριο κατά το Κάμβριο. **c**. Σύγκρουση με ένα νησιωτικό τόξο κατά το Κατώτερο Ορδοβίσιο. **d**. Σύγκρουση τόξου-ηπείρου κατά το Μέσο-Άνω Ορδοβίσιο (Τακονική Ορογένεση). **e**. Υποβύθιση κατά το Σιλούριο που θα οδηγήσει στην επικείμενη Ακάντια σύγκρουση. **f**. Κατώτερο Δεβόνιο, κατά τη διάρκεια της έναρξης της Ακάντιας σύγκρουσης.*

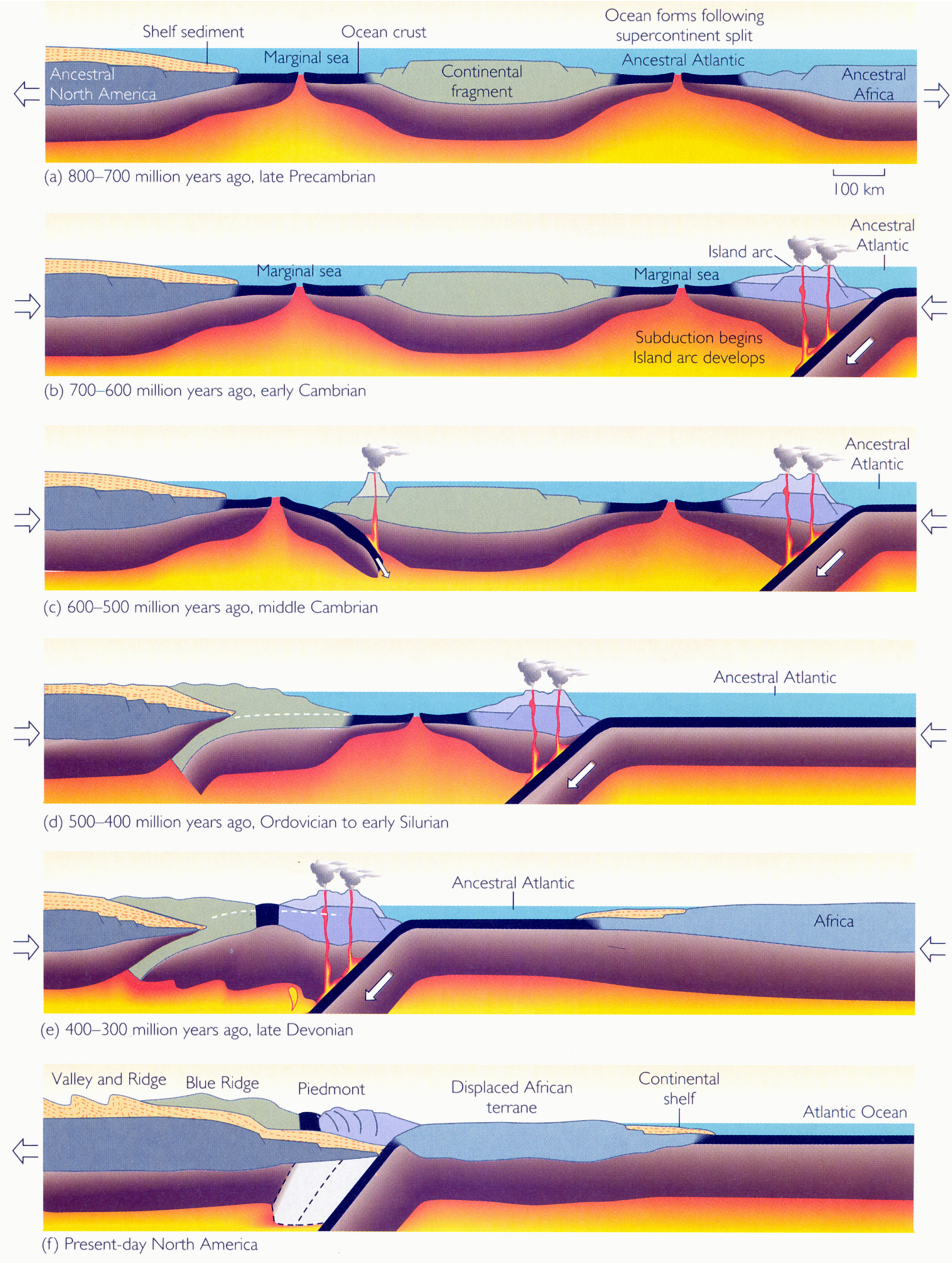
Στο εξελισσόμενο περιθώριο της Βόρειας Αμερικής, στην Κεντρική Ευκίνητη Ζώνη εγκαθίσταται από το Σιλούριο έως το Δεβόνιο ένα νέο μαγματικό τόξο πάνω στο παλαιό του Ορδοβισίου. Η παρουσία αυτού ίσως υποδηλώνει την ύπαρξη μίας ζώνης υποβύθισης που κλίνει προς τα δυτικά, κάτω από το εξελισσόμενο περιθώριο της Βόρειας Αμερικής. Επίσης, στο Σιλούριο σε γειτονικές περιοχές λάμβανε χώρα ιζηματογένεση ρηχών νερών από ψαμμίτες και ακάθαρτους ασβεστόλιθους, η οποία στο Δεβόνειο εξελίχτηκε σε κλαστική ιζηματογένεση βαθιών νερών, τύπου φλύσχη.

Η λεκάνη του Κεντρικού Μέην, μία μολασσικού τύπου λεκάνη έχει καλύψει ασύμφωνα ιζήματα βαθιάς θάλασσας, τα οποία είναι πτυχωμένα, μεταμορφωμένα και εντός των οποίων στο Δεβόνειο έχουν διεισδύσει πλουτωνίτες.

Πιο δυτικά στο παλαιό περιθώριο της Βόρειας Αμερικής και στο Κατώτερο Δεβόνειο, μία αργά



Εικόνα 11.28 *Ένα μοντέλο για την εξέλιξη των Νότιων Απαλαχίων. Η δημιουργία τους οφείλεται εν μέρει στη σύγκρουση με τη Δυτική Αφρική, σε αντίθεση με τα Βόρεια Απαλάχια που οφείλεται εν μέρει στη σύγκρουση με την Ευρώπη.*



Εικόνα 11.29 *Ένα ακόμα μοντέλο για την εξέλιξη των Νότιων Απαλαχίων. Είναι το αποτέλεσμα σύγκλισης, απόκλισης και σύγκρουσης πλακών, από το Ανώτερο Προκάμβριο μέχρι σήμερα. Διαδοχικές συγκρούσεις είχαν ως αποτέλεσμα την υποβύθιση και επώθηση του ηπειρωτικού περιθωρίου της Βόρειας Αμερικής.*

καταβυθιζόμενη ανθρακική πλατφόρμα έχει δημιουργηθεί πάνω στα πρώιμα ιζήματα της Τακονικής λεκάνης και στο διαβρωμένο μέτωπο του Τακονικού Ορογενούς. Στο Μέσο Δεβόνειο, ο ρυθμός καταβύθισης αυξήθηκε δραματικά με αποτέλεσμα την απόθεση μίας δεύτερης κλαστικής ακολουθίας, το υλικό της οποίας προερχόταν από την Ακάντια Ορογένεση.

Αν και στα Βόρεια Απαλάχια η ιζηματογένεση στις λεκάνες προχώρας σταματάει στο Δεβόνειο, στα Κεντρικά και Νότια συνεχίζεται με την απόθεση μίας τρίτης κλαστικής ακολουθίας, ηλικίας Λιθανθρακοφόρου. Τα υλικά προέρχονται επίσης από τα ανατολικά ως αποτέλεσμα της Αλεγκένιας Ορογένεσης, που σηματοδοτεί τη τελική σύγκρουση της Αφρικής με την Βόρεια Αμερική.

Στα Βόρεια Απαλάχια το Λιθανθρακοφόρο χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία μεγάλων ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης. Τα περισσότερα από αυτά έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ. Η κίνηση πάνω σε αυτά τα ρήγματα δημιουργεί αλλού διαεφελκυστικές λεκάνες (transtensional basins) και αλλού έντονη δια-συμπιεστική παραμόρφωση (transpressional deformation). Το καθεστώς αυτών των ρηγμάτων πιθανά να οφείλεται στη πλάγια σύγκλιση ανάμεσα στην Αφρική και τη Βόρεια Αμερική, πριν τη τελική σύγκρουση κατά την Αλεγκένια Ορογένεση, που ολοκλήρωσε το μωσαϊκό της Παγγαίας περίπου στο τέλος του Λιθανθρακοφόρου.

Ο διαμελισμός της Παγγαίας στο Μεσοζωικό δημιούργησε μία σειρά από τάφρους που πληρώθηκαν με ιζήματα του Ιουρασικού, ενώ κατά την απομάκρυνσης της Αφρικής, ένα κομμάτι της έμεινε πίσω, το τεκτονοστρωματογραφικό πεδίο Μεγκούμα στη Νέα Σκωτία, το οποίο χωρίζεται από την Αβαλονία μέσω ενός μεγάλης κλίμακας ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης.

Στην Εικόνα 11.27 (βλπ. προηγούμενες σελίδες), παρουσιάζεται σχηματικά η γεωτεκτονική εξέλιξη των Βόρειων Απαλαχίων, σύμφωνα με τα όσα περιγράφησαν στα προηγούμενα. Επισημαίνεται, βέβαια, ότι το μοντέλο αυτό δεν είναι το μοναδικό που περιγράφει την εξέλιξη των Απαλαχίων, δεδομένου ότι κατά καιρούς έχουν προταθεί και άλλα διαφορετικά μοντέλα, τόσο για το βόρειο τμήμα της οροσειράς, όσο και για το νότιο, που φαίνεται να έχουν σημαντικές διαφορές. Δύο από αυτά, με σημαντικές ή όχι μεταβολές και διαφοροποιήσεις, παρουσιάζονται συνοπτικά στα σχήματα των Εικόνων 11.28 και 11.29 (βλπ. προηγούμενες σελίδες), απλά για να δοθεί έμφαση στο θέμα των "διαφορετικών απόψεων και μοντέλων", φαινόμενο το οποίο φυσικά επαναλαμβάνεται σε όλα τα ορογενή που περιγράφησαν, άσχετα αν εκεί παρουσιάσθηκε μόνο η επικρατούσα άποψη.