



ΚΕΦΑΛΑΙΟ

8

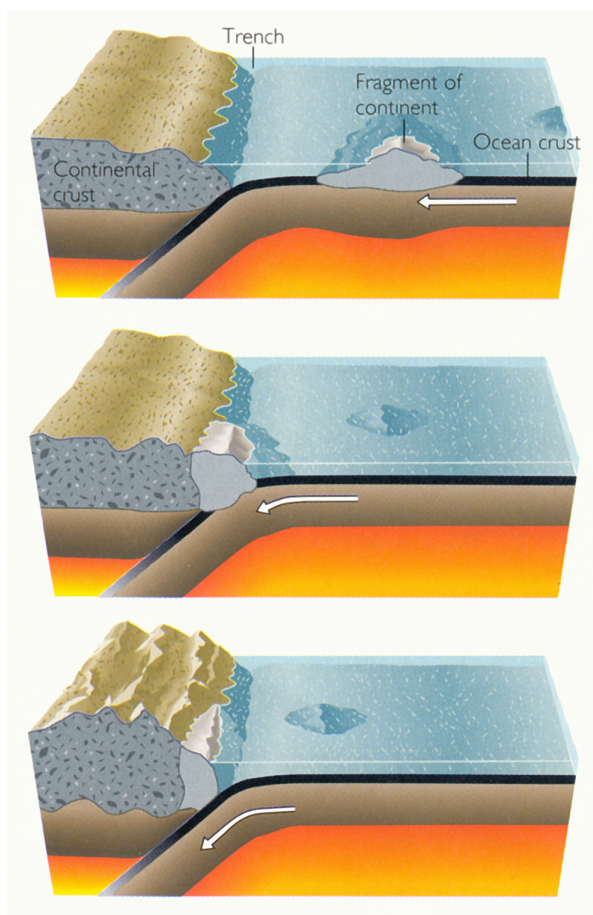
Τεκτονοστρωματογραφικά Πεδία (ΤΣΠ) – Terranes

8.1 Εισαγωγή

Εκτός από τη διαδικασία της σύγκρουσης ηπείρου με ήπειρο, που αποτελεί το πιο εντυπωσιακό φαινόμενο στη διαδικασία της ορογένεσης, σε πολλά ορογενή έχει αποδειχθεί ότι λαμβάνουν χώρα μικρότερης κλίμακας συγκρούσεις, μιας ηπείρου με μικρότερα ηπειρωτικά τεμάχια (μικροπλάκες), τα οποία ταξιδεύουν μέσα στον ωκεανό και αντιπροσωπεύουν συνήθως, είτε νησιωτικά τόξα, είτε θραύσματα ηπειρωτικού φλοιού, που έχουν αποσπασθεί από μια άλλη ήπειρο (Εικ. 8.1). Το θέμα του κεφαλαίου αυτού, λοιπόν, αφορά στην προσάνθηση (accretion) και την ακόλουθη διασπορά – διασκόρπιση (dispersal), των τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων (ΤΣΠ), στις ορογενετικές ζώνες. Η αρχική εφαρμογή της τεκτονικής των πλακών στις ορογενετικές ζώνες έδινε έμφαση στη χρήση μίας σειράς από εγκάρσιες τομές, οι οποίες παρουσίαζαν τα μεγάλα ορογενετικά γεγονότα, που έλαβαν χώρα, σε συνδυασμό πάντα, με τη θέση των οφιολιθικών ζωνών. Αυτές οι εγκάρσιες τομές, που ήταν σχεδόν κάθετες στον επιμήκη άξονα του ορογενούς, δεν μπορούσαν να δείξουν την ύπαρξη μεγά-

λης κλίμακας κινήσεων, που μπορεί να συνέβαιναν σχεδόν παράλληλα στη διεύθυνση του ορογενούς.

Η χρήση μοντέλων, όπου διάφορες ηπειρωτικές πλάκες συγκρούονταν μετωπικά μεταξύ τους, αν και αρχικά έδειξαν να ερμηνεύουν ικανοποιητικά τη γεωδυναμική εξέλιξη των παλαιών ορογενών, όπως π.χ. στο ορογενετικό σύστημα των Απαλάχιων, γρήγορα έγινε αντιληπτό ότι δεν μπορούσαν να εφαρμοστούν σε όλο το μήκος του ορογενούς. Το κύριο πρόβλημα σε πολλά από αυτά τα ορογενή, ήταν η παρουσία ενός δικτύου από ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, μέσω των οποίων πολλά τμήματα του ορογενούς είχαν μετατοπιστεί εκατοντάδες ή και χιλιάδες χιλιόμετρα. Επίσης, διάφοροι ερευνητές, όπως ο Irwin στη δεκαετία του '60 στη Κορδιλιέρα της Βόρειας Αμερικής, διαπίστωσαν ότι για να περιγράψουν τη γεωλογική εξέλιξη μίας ευρύτερης περιοχής του ορογενούς, έπρεπε αυτή να διαχωριστεί σε στενόμακρες ζώνες (belts) που έφεραν τα δικά τους γεωλογικά χαρακτηριστικά. Κάθε μία από αυτές τις ζώνες κατεχόταν από τη δική τους λιθοστρωματογραφία και δομή και σε μερικές περιπτώσεις αυτές οι ζώνες μπορούσαν να διαχωριστούν σε μικρότερες υπο-ζώνες (sub-belts), τις ο-



Εικόνα 8.1 Προσαύξηση των ηπείρων με την προσκόλληση μιας μικροπλάκας ή, το σωστότερο, ενός τεκτονοστρωματογραφικού πεδίου (ΤΣΠ, terrane). Συνήθως πρόκειται για ένα ωκεάνιο νησιωτικό τόξο ή ένα μεγα-θραύσμα μιας ηπείρου, που "ταξιδεύει" μαζί με την ωκεάνια πλάκα που υποβυθίζεται και εμπλέκεται στη ζώνη της σύγκρουσης. Η προέλευσή του συχνά είναι αρκετές εκατοντάδες km μακριά και ως εκ τούτου οι λιθολογικοί τύποι που το χαρακτηρίζουν, διαφέρουν από αυτούς της ηπείρου που προσκολλάται, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ο όρος *exotic terrane*.

ποίες ο Irwin (1972) ονόμασε τεκτονοστρωματογραφικά πεδία (ΤΣΠ), (terrane).

Μεγαλύτερη έμφαση στην πλάγια συνιστώσα ολίσθησης των ρηγμάτων, που η διεύθυνσή τους ακολουθούσε αυτή των ορογενών, δόθηκε μετά την ανακάλυψη "έξωτικών" απολιθωμάτων μέσα σε τεκτονικά οριοθετημένες ενότητες, όπως π.χ. η παρουσία fusulinidae στην βορειοδυτική Κορδιλιέρα της Βόρειας Αμερικής. Τα περμικά αυτά απολιθώματα είχαν δημιουργηθεί στην περιοχή του ισημερινού και ακολούθως τα πετρώματα που τα φιλοξενούσαν διέσχισαν τον Ειρηνικό Ωκεανό για να προσκολληθούν στην ήπειρο της Βόρειας Αμερικής. Όταν ανάλογα δεδομένα συνδυάστηκαν με παλαιομαγνητικές έρευνες στις περιοχές αυτές, τότε γεννήθηκε ένα πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον για

την πιθανότητα να έχουν λάβει χώρα μεγάλης κλίμακας μετακινήσεις των διαφόρων ενοτήτων, τόσο μέσα σε έναν ωκεανό, όσο και κατά μήκος του ηπειρωτικού περιθωρίου. Το πιο κλασικό παράδειγμα αποτελεί η ενότητα Ρανγκέλια στην Κορδιλιέρα της Βόρειας Αμερικής (βλπ. Κεφ. 11), όπου ο συνδυασμός γεωφυσικών, παλαιοντολογικών, στρωματογραφικών και παλαιοκλιματικών ερευνών, έδειξε ότι αφού η ενότητα δημιουργήθηκε στον Ειρηνικό Ωκεανό, ταξίδεψε ανατολικά και προσκολλήθηκε στην πλάκα της Βόρειας Αμερικής και ακολούθως μετατοπίστηκε κατά μήκος του ηπειρωτικού περιθωρίου, μέσω της δράσης μεγάλων ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης (Εικ. 8.2).

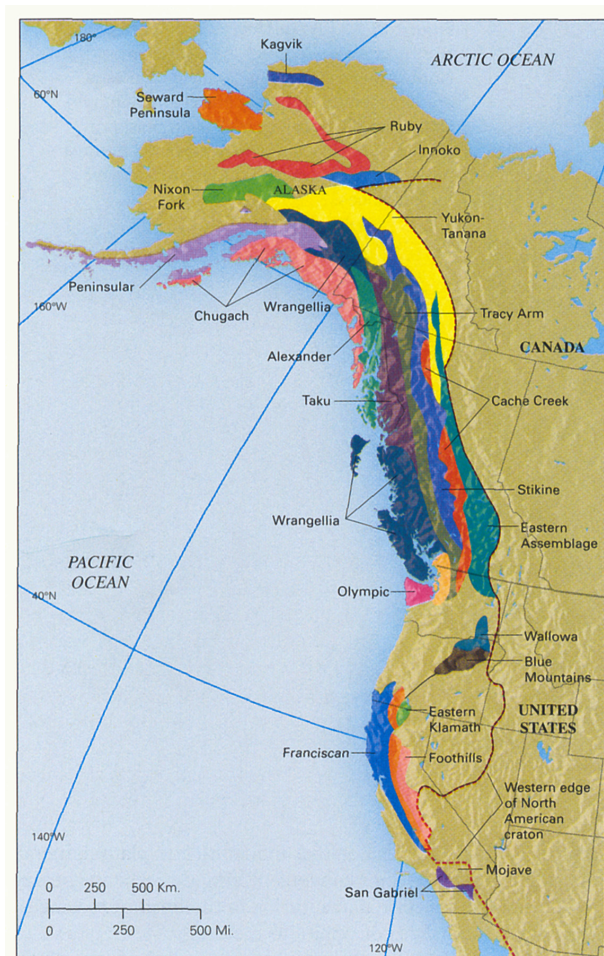
Εκτός από τη Ρανγκέλια, πολλές ακόμη ενότητες της Δυτικής Κορδιλιέρας, οριοθετημένες από ρήγματα, θεωρήθηκαν ότι προέρχονταν από πολύ μακριά, αλλά επειδή απουσίαζαν οι ισχυρές αποδείξεις, αυτές οι ενότητες έγιναν γνωστές ως πιθανά (ή ύποπτα) τεκτονοστρωματογραφικά πεδία (suspect terranes) (Εικ. 8.2). Σταδιακά γινόταν πιο καθαρή η διαπίστωση, ότι ο αριθμός των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στη Δυτική Κορδιλιέρα που μπορεί να είναι πιθανά ΤΣΠ (suspect terranes), ήταν πολύ μεγαλύτερος.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80, η διαπίστωση αυτή είχε γίνει πλέον συνείδηση για τους γεωλόγους που δούλευαν στη δυτική Βόρεια Αμερική. Ταυτόχρονα όμως, η θεωρία των ΤΣΠ γρήγορα εφαρμόστηκε και σε άλλα ορογενή ανά τον κόσμο. Τα Απαλάχια, στην ανατολική Βόρεια Αμερική, που από παλιά είχαν υποδιαιρεθεί σε μία σειρά από σχετικά παράλληλες ζώνες και τεμάχια, διαπιστώθηκε ότι συνιστούν μία συρραφή από πιθανά ΤΣΠ. Παρόμοια προσέγγιση εφαρμόστηκε στις Αγγλικές και στις Ιρλανδικές Καλιδονίδες, στις Τασμανίδες της Ανατολικής Αυστραλίας και στη Νέα Ζηλανδία, ανοίγοντας τον ερευνητικό ορίζοντα της γεωδυναμικής ανάλυσης αυτών των «αρχαίων» ορογενών.

8.2 Ορισμοί

Η λέξη "terrane" αναφέρεται σε μία περιοχή, η οποία κατέχεται από τη δική της διακριτή γεωλογία, δηλαδή πρόκειται για μία περιοχή ή επιφάνεια της γης, στην οποία επικρατεί ένα ιδιαίτερο πέτρωμα ή ομάδα πετρωμάτων (Longmans Dictionary of the English Language 1984). Ένας ορισμός του όρου terrane, όπως χρησιμοποιήθηκε στην αμερικάνικη Κορδιλιέρα, προτάθηκε από τον Irwin (1972) και αναφέρει ότι ένα terrane χαρακτηρίζεται από "ένα άθροισμα γεωλογικών γνωρισμάτων, όπως στρωματογραφικοί σχηματισμοί, συνοδά πετρώματα, ορυκτολογική σύνθεση και τεκτονική δομή, μερικά από

τα οποία, ή και όλα μαζί, προσδίδουν ένα ξεχωριστό χαρακτήρα σε μία συγκεκριμένη γεωτεκτονική ενότητα και τα οποία (γνωρίσματα), διαφέρουν από αυτά ενός γειτονικού *terrane*".



Εικόνα 8.2 Διακρίνονται τα διασκορπισμένα κομμάτια της Ρανγκέλια (*Wrangellia*), που αποτελεί ένα διασπασμένο ωκεάνιο *terrane* (ΤΣΠ), διασκορπισμένο κατά μήκος της κρατονικής μάζας της Βόρειας Αμερικής. Εκτός της Ρανγκέλια διακρίνονται και άλλα *terrane* ή *suspect terrane* (πιθανά ή ύποπτα ΤΣΠ), της Αμερικάνικης Κορδιλιέρας, τα οποία εντοπίζονται ανάμεσα στο περιθώριο της πλάκας της Βόρειας Αμερικής (που μπορεί να είναι είτε τάφος, είτε ρήγμα μετασχηματισμού, είτε μεσοωκεάνια ράχη) και το παραμορφωμένο τμήμα της κρατονικής μάζας της Βόρειας Αμερικής.

Μερικά λεξικά ορίζουν τον όρο *terrane* ως συνώνυμο του όρου *terrain*, ενώ άλλα ξεχωρίζουν τους παραπάνω όρους επισημαίνοντας και το γεωλογικό χαρακτήρα του *terrane*. Μάλιστα μερικοί Βρετανοί μελετητές έχουν προτείνει την απόρριψη του όρου *terrane* ως αδόκιμου και άχρηστου, λόγω και της προφοράς του, αγνοώντας τη χρήση του ως γεωλογικού όρου αλλά και την ισχυρή διαφορά του

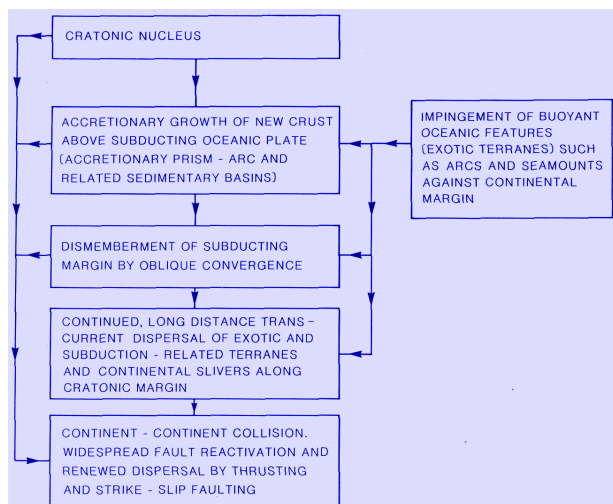
από τον περισσότερο γενικό και γεωγραφικό όρο *terrain*.

Ο ορισμός του Irwin το 1972, δεν κατόρθωσε να εκφράσει αυτό που αργότερα θα γινόταν το κυριότερο χαρακτηριστικό στο μωσαϊκό της Κορδιλιέρας, δηλαδή ότι κάθε ΤΣΠ σε αυτή την οροσειρά οριοθετείται από ρήγματα. Η έμφαση στο ρηξιγενή χαρακτήρα των περιθωρίων ήταν αρχικά αποτέλεσμα της βάσιμης υποψίας, ότι πολλά, αν όχι όλα, τα ΤΣΠ της Κορδιλιέρας είχαν υποστεί σημαντική μετακίνηση, λόγω της δράσης ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης, κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της κρατονικής περιοχής της Βόρειας Αμερικής. Γι' αυτό, η τεκτονική αυτή απομόνωση των ΤΣΠ της Κορδιλιέρας, συμπυκνώθηκε, από τους Coney et al. 1980 και McWilliam & Howell 1982, στον απλούστερο και ευρύτερα χρησιμοποιημένο, ορισμό των πιθανών (ή ύποπτων) ΤΣΠ (*suspect terranes*), ως "γεωλογικές οντότητες ευρύτερης έκτασης, οριοθετημένες από ρήγματα, η καθεμία από τις οποίες χαρακτηρίζεται από τη δική της γεωλογική εξέλιξη και η οποία και διαφέρει από αυτή των γειτονικών ΤΣΠ". Μέσα από αυτόν τον ορισμό αναδεικνύεται επίσης και η υποψία, ότι αυτά τα ΤΣΠ μπορεί να προέρχονται από πολύ μακριά και να μην έχουν καμία σχέση, ούτε με τα γειτονικά ΤΣΠ, ούτε και με το κρατονικό τέμαχος στον οποίο προσκολληθήκανε.

Οι όροι "αλλόχθονα" ΤΣΠ (*allochthonous terrane*) και "εξωτικά" ΤΣΠ (*exotic terrane*), χρησιμοποιήθηκαν από πολλούς ερευνητές για να περιγράψουν ΤΣΠ, τα οποία αποδεδειγμένα έχουν μετακινηθεί χιλιάδες χιλιόμετρα. Ο όρος αλλόχθονος είναι συνώνυμος με τον απλούστερο και ίσως πιο κατανοητό, όρο μετατοπισμένος (*displaced*). Ένα μετατοπισμένο ή αλλόχθονο ΤΣΠ ορίζεται, λοιπόν, ως μία ενότητα οριοθετημένη με ρήγματα, η οποία έχει μετατοπιστεί σε σχέση με τα γειτονικά ΤΣΠ, με έντονες γεωλογικές διαφορές εγκάρσια στα περιθώρια των ΤΣΠ. Πολλές φορές αντί για τον όρο "μετατοπισμένο" ΤΣΠ χρησιμοποιείται και ο όρος "transcurrent" για ΤΣΠ τα οποία έχουν έρθει σε επαφή με τα γειτονικά τους λόγω της δράσης ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης (*transcurrent faults*). Η χρήση του όρου "εξωτικό" ΤΣΠ περιορίζεται για εκείνα τα αλλόχθονα ΤΣΠ, τα οποία κατέχονται από μία γεωλογία που είναι απολύτως ξένη ως προς το κρατονικό περιθώριο στο οποίο έχουν προσκολληθεί, όπως π.χ. ένα ηπειρωτικό τέμαχος, ή μία ωκεάνια υποθαλάσσια οροσειρά, που έχουν ταξιδέψει χιλιάδες χιλιόμετρα μέσα σε έναν ωκεανό πριν προσκρούσουν στο κρατονικό περιθώριο. Η χρήση όλων αυτών των περιγραφικών όρων, δεν έχει να κάνει παρά με την αρχική διαπίστωση για το τι αντιπροσωπεύει αυτό που ονομάστηκε πιθανό ΤΣΠ (*suspect terrane*), δηλαδή ότι έχει μετατοπιστεί πο-

λύ μακριά από την αρχική του θέση λόγω της δράσης ρηγμάτων.

Διάφοροι όροι έχουν χρησιμοποιηθεί, επίσης, για να περιγράψουν μία ομάδα από ΤΣΠ, όπως "οικογένεια" (family), "συρραφή" (collage) και "σύμπλεγμα" (complex). Ο όρος "υπερπεδίο" (superterrane), που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μία ενότητα, η οποία αποτελείται από περισσότερα του ενός ΤΣΠ, έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ανάλογη με τους όρους "ομάδα" (group) και "υπερομάδα" (supergroup), που χρησιμοποιούνται στη λιθοστρωματογραφία.



Εικόνα 8.3 Διάγραμμα ροής, το οποίο παρουσιάζει τα τυπικά γεγονότα που μπορεί να λάβουν χώρα κατά την ανάπτυξη μίας ηπείρου, λόγω προσαύξεσης και διασποράς των ΤΣΠ από ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης. Ένα ενεργό ηπειρωτικό περιθώριο μπορεί να υποστεί μερικά ή και όλα αυτά τα γεγονότα καθώς η υποβύθιση θα εξελίσσεται.

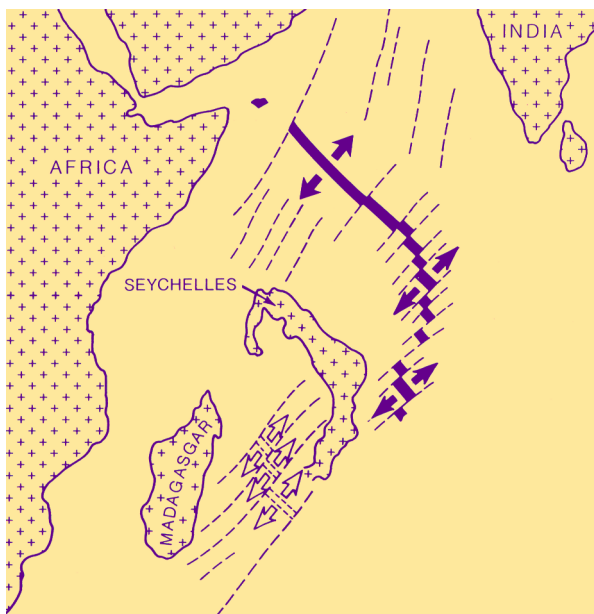
Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για να περιγράψουν διάφορα ΤΣΠ βάσει ορισμένων χαρακτηριστικών τους, με διαφορετική κάθε φορά επιτυχία. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η προσπάθεια του Jones et al. (1982), που ομαδοποίησε τα ΤΣΠ σε τέσσερις κατηγορίες: (i) σε διαστρωμένα (stratified), που κατέχονται από συναφή λιθοστρωματογραφία, (ii) σε διασπασμένα (disrupted – διερρηγμένα), για αυτά με χαρακτήρες τεκτονικού μίγματος (melange), (iii) σε μεταμορφικά (metamorphic), για εκείνα που οι πρωτόλιθοι έχουν υποστεί μεταμόρφωση και (iv) σε σύνθετα (composite). Αυτές οι τέσσερις κατηγορίες, ωστόσο, δεν καλύπτουν όλους τους τύπους ΤΣΠ και ακόμη περισσότερο δεν είναι αποκλειστικοί, καθώς, για παράδειγμα, ένα διαστρωμένο ΤΣΠ μπορεί να περιλαμβάνει διερρηγμένα ολισθοστρώματα, να έχει υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση και να αποτελεί τμήμα ενός σύνθετου ΤΣΠ. Ωστόσο ο όρος "σύνθετο"

ΤΣΠ συνεχίζει να χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει έναν ιδιαίτερο τύπο υπερπεδίου. Έτσι, ένα σύνθετο ΤΣΠ αποτελείται από δύο ή περισσότερα ΤΣΠ, τα οποία συνενώθηκαν για να σχηματίσουν ένα υπερπεδίο πριν την προσκόλλησή τους στο ηπειρωτικό περιθώριο.

Στη θεωρία των ΤΣΠ σημαντική θέση κατέχουν οι τρεις όροι "συνένωση" ή "αμαλγαμάτωση" (amalgamation), "προσαύξηση" ή "προσκόλληση" (accretion) και "διασκορπιση" ή "διασπορά" (dispersion) (Εικ. 8.3). Η τεκτονική συνένωση αναφέρεται ως η διαδικασία μέσω της οποίας δύο ΤΣΠ έρχονται σε επαφή μέσω ρηξιγενούς παραμόρφωσης, όπως συμβαίνει σήμερα στο αρχιπέλαγος των Φιλιππίνων. Η προσαύξηση αντιπροσωπεύει τη χρονική στιγμή κατά την οποία ένα ΤΣΠ προσκολλάται για πρώτη φορά σε ένα ηπειρωτικό περιθώριο, όπως, για παράδειγμα, η σημερινή προσαύξηση της Ταϊβάν στο ηπειρωτικό περιθώριο της Κίνας. Η διασπορά λαμβάνει χώρα, όταν ήδη προσανυξημένα ΤΣΠ τεμαχίζονται σε μικρότερα κομμάτια και διασκορπίζονται κατά μήκος του ηπειρωτικού περιθωρίου, κυρίως μέσω ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης. Ο όρος χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει τα αποτελέσματα των πλευρικών μετακινήσεων κατά μήκος της κοινής επαφής ανάμεσα σε ηπείρους και ωκεανούς, αν και ανάλογα αποτελέσματα μπορεί να υπάρξουν και κατά τη σύγκρουση μεταξύ δύο ηπείρων. Σημερινό ανάλογο αποτελεί η σύγκρουση της Ινδίας με το Θιβέτ που προκαλεί διασπορά των ΤΣΠ στη βόρεια και ανατολική Κίνα. Η διασπορά των ΤΣΠ μπορεί να λάβει χώρα όχι μόνο μέσω της δράσης ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης, αλλά και από τη δράση επωθήσεων, λόγω της σύγκρουσης δύο ηπείρων, από ταφρογένεση και από τη δράση μίας τριπλής συμβολής (triple junction).

8.3 Προέλευση και Κινηματική των ΤΣΠ (Terranes)

Η ανάπτυξη της θεωρίας των πιθανών (ή ύποπτων) ΤΣΠ (suspect terranes), οδήγησε στη διαπίστωση, ότι στους πυθμένες των σημερινών ωκεανών υπάρχουν πολλά σύγχρονα ανάλογα. Ράχες, ανυψωμένα υψίπεδα και υποθαλάσσιες ηφαιστειακές οροσειρές, οι οποίες "φιλοξενούνται" μέσα σε ωκεάνιες πλάκες, είναι "καταδικασμένες", σε τελική ανάλυση, να οδηγηθούν σταδιακά σε ένα ενεργό ηπειρωτικό περιθώριο, όπου πολύ πιθανά θα προσκολληθούν. Οι ρυθμοί με τους οποίους αυτά τα πιθανά ΤΣΠ ταξιδεύουν μέσω των ωκεανών, πολλές φορές είναι εκπληκτικά υψηλοί. Αρκετοί ερευνητές έχουν υπολογίσει ότι ηπειρωτικά τεμάχια που είναι σήμε-



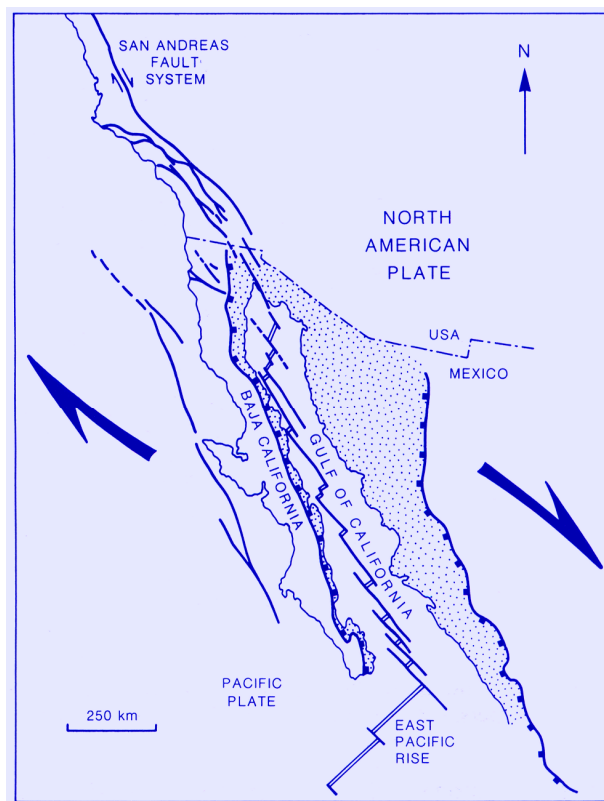
Εικόνα 8.4 Ο διαχωρισμός του ηπειρωτικού τεμάχους των Σεϋχέλλων από τον ηπειρωτικό κορμό της Ινδίας, έλαβε χώρα πριν από 65 Ma, όταν η μεσοωκεάνια ράχη μεταπήδησε από το χώρο ανάμεσα στη Μαδαγασκάρη και τις Σεϋχέλλες στο ηπειρωτικό περιθώριο Ινδίας – Σεϋχέλλων.

ρα προσανξημένα στο Ευρασιατικό ηπειρωτικό περιθώριο, είχαν ταξιδέψει πριν, κοντά 10.000 km μέσα στον ωκεάνιο φλοιό του Ειρηνικού Ωκεανού.

Όλοι οι σημερινοί ωκεανοί περιέχουν μεγάλες μάζες (μεγα-θραύσματα) ηπειρωτικού φλοιού, που αποκόπηκαν κάποια στιγμή από μεγαλύτερες ηπείρους. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν η Μαδαγασκάρη και οι Σεϋχέλλες στον Ινδικό Ωκεανό (Εικ. 8.4). Καθώς ο ηπειρωτικός φλοιός είναι πιο λεπτός από τον ωκεάνιο, η ταφρογένεση κατά μήκος των ηπειρωτικών περιθωρίων ή και η οριζοντιολισθητική ρήξη, μπορεί να επιτρέψει τη δημιουργία μακρόστενων τεμαχών ηπειρωτικού φλοιού. Ο διαχωρισμός του τοξοειδούς μορφής ηπειρωτικού τεμάχους των Σεϋχέλλων από τον ηπειρωτικό κορμό της Ινδίας, έλαβε χώρα πριν από 65 Ma, όταν η μεσοωκεάνια ράχη μεταπήδησε από το χώρο ανάμεσα στη Μαδαγασκάρη και τις Σεϋχέλλες, που ήταν αρχικά, στην περιοχή ανάμεσα στις Σεϋχέλλες και την Ινδία. Ίσως το πιο καλό παράδειγμα αυτής της διαδικασίας, με την οποία προκαλείται κατακερματισμός των ηπείρων σε στενόμακρα ΤΣΠ, είναι αυτό της περιοχής Μπάχα (Baja) Καλιφόρνιας (Εικ. 8.5).

Στη περιοχή αυτή απαντάται ένα από τα καλύτερα μελετημένα οριζοντιολισθητικά περιθώρια ΤΣΠ, το οποίο έχει δημιουργηθεί από την προοδευτική κατάτμηση της μεσοωκεάνιας ράχης από ένα δεξιόστροφο οριζοντιολισθητικό ρηξιγενές σύστημα. Διάφορες μελέτες που έχουν γίνει, όπως βαρυτικές, παλαιομαγνητικές, τεκτονικές και σεισμολο-

γικές, έχουν δείξει ότι τα τελευταία 4 Ma, η χερσόνησος της Καλιφόρνια έχει μετακινηθεί προς τα ΒΔ, με μέση ταχύτητα 60 mm/y. Αν αυτό το καθεστώς συνεχιστεί για τα επόμενα 80 Ma, τότε το τέμαχος Μπάχα, θα ταξιδέψει κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Βόρειας Αμερικής και τελικά θα προσκολληθεί στην ήπειρο στην περιοχή της Αλάσκας.

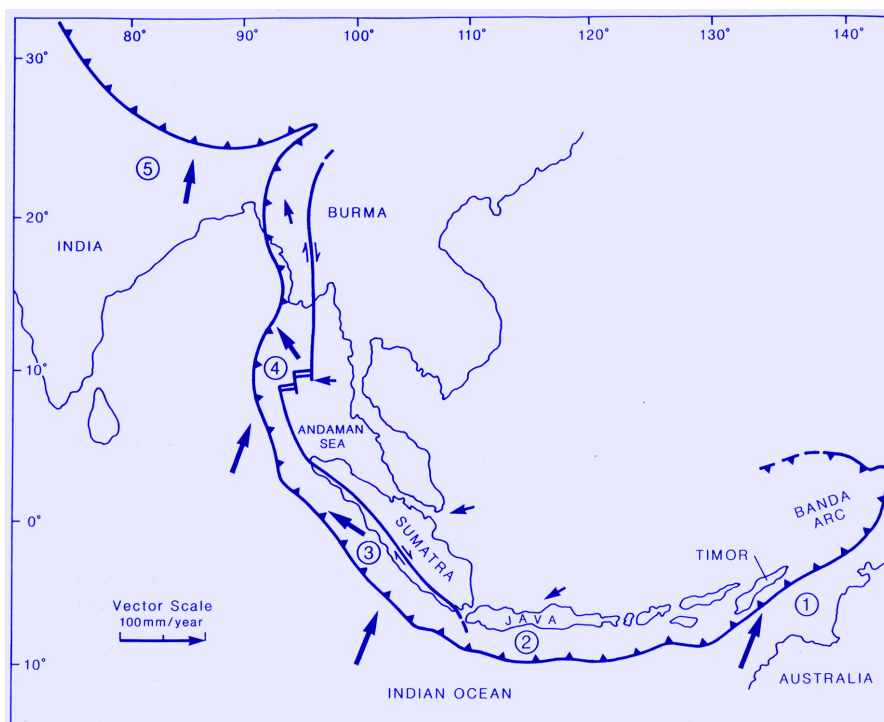


Εικόνα 8.5 Στο όριο του νοτιοανατολικού άκρου της πλάκας του Ειρηνικού λαμβάνει χώρα προοδευτική κατάτμηση της μεσοωκεάνιας ράχης του Ανατολικού Ειρηνικού (East Pacific Rise spreading ridge) διαμέσου του κόλπου της Καλιφόρνια, με αποτέλεσμα τη δημιουργία του δεξιόστροφου ρήγματος μετασχηματισμού του Αγίου Ανδρέα (San Andreas Transform fault system) στην Καλιφόρνια. Η Μπάχα Καλιφόρνια μετακινείται προς τα ΒΔ, ως προς τη Βόρεια Αμερική, με ρυθμό 64 mm/y. Μία πλατιά ζώνη οριοθετημένη από κανονικά ρήγματα, διαμέσου του Κόλπου της Καλιφόρνια, υποδεικνύει τη δια-εφελκυστική φύση αυτού του ορίου.

Η κύρια αιτία που βρίσκεται πίσω από τον κατακερματισμό και την διασπορά των στενόμακρων ΤΣΠ κατά μήκος ενός ηπειρωτικού περιθωρίου, είναι η πλάγια υποβύθιση. Η σύγκλιση των πλακών είναι μία αρκετά πολύπλοκη διαδικασία με γρήγορες αλλαγές κατά μήκος των αναλίσκόμενων περιθωρίων, τόσο στο χρόνο, όσο και στο χώρο. Τέτοιο σημερινό ανάλογο, παρατηρείται μεταξύ των πλακών της Ινδίας και της Ινδονησίας, όπου η

ζώνη υποβύθισης αλλάζει σταδιακά διεύθυνση από Α-Δ, στην περιοχή της Ιάβας, σε Β-Ν, στο Πέλαγος Ανδάμαν (Andaman Sea) και στην Βιρμανία (Εικ. 8.6). Έτσι, η φορά υποβύθισης της πλάκας της Ινδίας κάτω από την Ινδονησιακή, είναι σχεδόν ορ-

terrane), για να περιγράψουν τεμάχια που "οριοθετούνται από τη ζώνη υποβύθισης και από παράλληλα στο τόξο ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης, τα οποία μπορεί να υπάρχουν στο μετωπικό τόξο, στο ηφαιστειακό τόξο ή και στις πίσω από το τόξο περιοχές".



Εικόνα 8.6 Το γεωτεκτονικό καθεστώς κατά μήκος του ανατολικού περιθωρίου της πλάκας της Ινδίας, από τον Ινδία μέχρι την Αυστραλία. 1. Σύγκρουση τόξου – ηπείρου: Το τόξο Μπάντα (Banda arc) επωθείται πάνω στο κρατονικό περιθώριο της Αυστραλίας. 2. Ορθογώνια υποβύθιση της ωκεάνιας πλάκας κάτω από την Ιάβα. 3. Πλάγια υποβύθιση προκαλεί την κατάτμηση της Σουμάτρας από δεξιόστροφη ρήξη οριζόντιας ολίσθησης και δημιουργία ενός ΤΣΠ ανάμεσα στο τόξο και την τάφρο. 4. Ακραία πλάγια υποβύθιση προκαλεί τη δημιουργία ενός εφελκυστικού συστήματος στην επωθούμενη πλάκα. 5. Σύγκρουση των ηπείρων της Ινδίας και της Ασίας.

θογώνια στην περιοχή της Ιάβας, με ρυθμούς της τάξης των 68 mm/y και σταδιακά μεταπίπτει σε πλάγια, από τη Σουμάτρα μέχρι τη Βιρμανία. Στη Σουμάτρα, η πλάγια υποβύθιση δημιούργησε ένα μεγάλης κλίμακας δεξιόστροφο, οριζόντιας ολίσθησης ρήγμα, που χωρίζει το νησί σε δύο μακρόστενα τεμάχια, κατά μήκος του ενεργού ηφαιστειακού τόξου. Στο Πέλαγος Ανδάμαν, η υποβύθιση είναι ακόμη πιο πλάγια με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός εφελκυστικού συστήματος στην επωθούμενη πλάκα, ενώ πιο ανατολικά της Ιάβας, η συνεχιζόμενη υποβύθιση του ηπειρωτικού φλοιού της Αυστραλίας κάτω από το τόξο Μπάντα (Banda arc), θεωρείται ως ένα κλασικό παράδειγμα των αρχικών σταδίων μίας ηπειρωτικής σύγκρουσης.

Όλα τα παραπάνω λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα και κατά μήκος του ίδιου περιθωρίου σύγκλισης. Σε δέκα εκατομμύρια χρόνια από σήμερα και με τους σημερινούς ρυθμούς σύγκλισης, 680 km ωκεάνιου φλοιού θα έχουν αναλωθεί κάτω από την Ιάβα και η δυτική Σουμάτρα θα έχει ταξιδέψει 500 km βόρεια προς τη Βιρμανία. Η σημερινή πολυπλοκότητα της ευρύτερης περιοχής της Ινδονησίας, έχει χρησιμοποιηθεί ως ένα σύγχρονο ανάλογο για την πιο ώριμη Κορδιλιέρα της Βόρειας Αμερικής.

Οι Lallement & Oldow (1989) εισήγαγαν τον όρο "διασυμπιεστικό" ΤΣΠ (transpressional

Κάποια όμως από αυτά τα ΤΣΠ, που ο μεγάλος άξονάς τους είναι και παράλληλος στο τόξο, βρίσκονται κάτω από καθεστώς εφελκυσμού, όπως π.χ. στην περιοχή Μπάχα της Καλιφόρνια. Γι' αυτό το λόγο προτάθηκε και ο όρος "οριζοντιολισθητικό" ΤΣΠ (transcurrent terrane). Τα σχεδόν κατακόρυφα ρηξιγενή περιθώρια αυτών των εν τω γενέσθαι πιθανών ΤΣΠ, φαίνεται, βαθύτερα, να αποκτούν μικρότερη κλίση και τελικά καμπυλωμένα να συνδέονται με την υποκείμενη ζώνη υποβύθισης. Αν και ο πιο σημαντικός παράγοντας που ελέγχει αυτή τη διαδικασία, είναι η πλάγια συνιστώσα της υποβύθισης, η αντοχή της επωθούμενης πλάκας όπως και η κλίση της ζώνης υποβύθισης, διαδραματίζουν, επίσης, σημαντικό ρόλο.

Η μελέτη των σημερινών περιθωρίων σύγκλισης, όπου η πλάγια υποβύθιση φαίνεται να έχει σημαντικές συνέπειες στη κινηματική των πλακών, απαιτεί μία ανάλογη πρόβλεψη σχετικά με τη προσαύξηση και τη διασπορά των ΤΣΠ στα παλαιότερα ορογενή. Αν και τέτοιες προβλέψεις είναι σχετικά εύκολα αντιληπτές στη Δυτική Κορδιλιέρα, όπου οι κινήσεις των ΤΣΠ είναι ακόμη ενεργές, υπάρχει λιγότερη προθυμία ώστε παλαιότερα ορογενή, όπως τα Απαλάτσια, οι Καληδονίδες, οι Βαρίσκιες ή ακόμη και οι Αλπικές ζώνες, να εξεταστούν

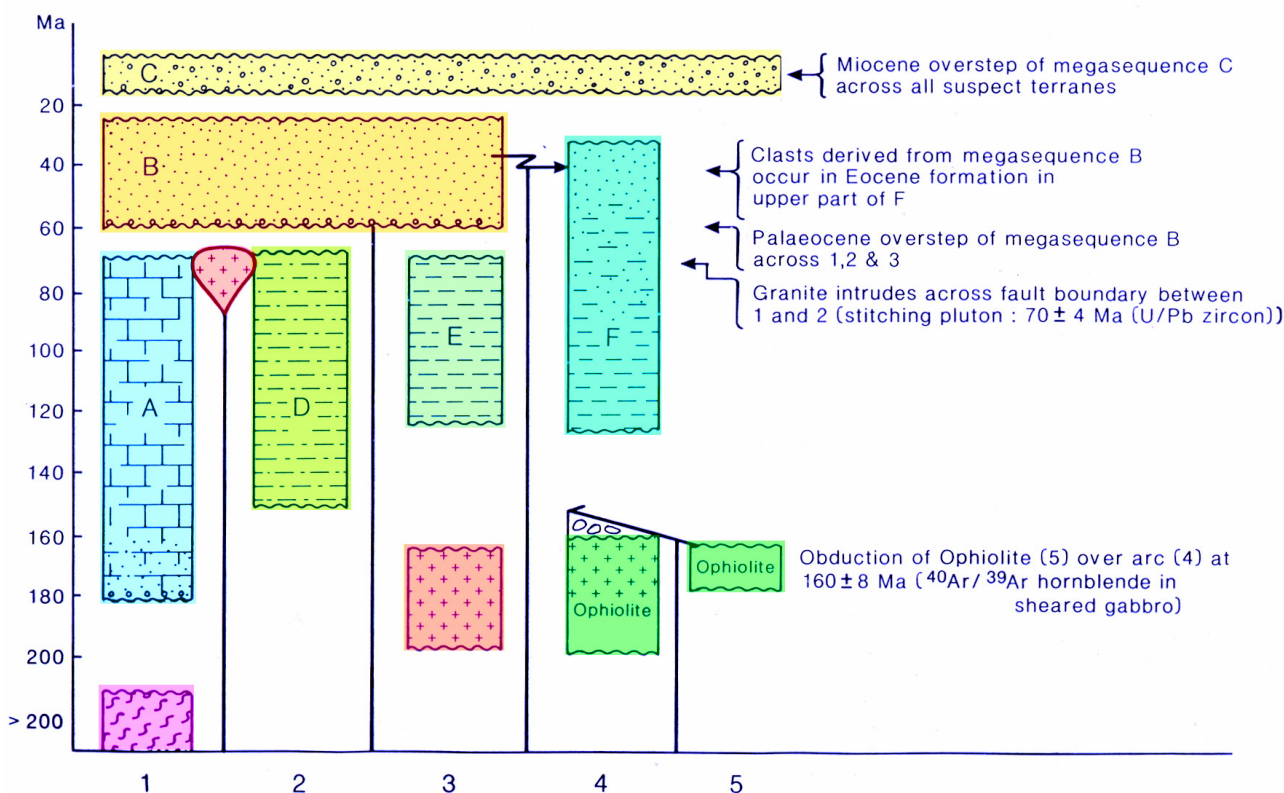
κάτω από το πρίσμα του ίδιου, ή σχεδόν ίδιου, βαθμού πλευρικής κινητικότητας.

8.4 Αναγνώριση και Χαρακτηρισμός των ΤΣΠ (Terranes)

Το πρώτο βήμα για την αναγνώριση πιθανών ΤΣΠ μέσα σε μία ορογενετική αλυσίδα είναι η λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση και η πολύ καλή γνώση της στρωματογραφίας μίας περιοχής. Από αυτά θα προκύψει μία πρώτη εκτίμηση όσον αφορά τη γεωλογία του κάθε ΤΣΠ, της θέσης του και της φύσης των ρηξιγενών περιθωρίων του. Ακολούθως, η έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί πρώτα στην διαπίστωση κάποιας σύνδεσης μεταξύ αυτού και των

γειτονικών περιοχών του ορογενούς. Μία χρήσιμη τέτοια μέθοδος είναι η κατασκευή συγκριτικών στρωματογραφικών στηλών για κάθε ΤΣΠ και των γειτονικών του περιοχών (Εικ. 8. 7 και 8.8). Τέτοια Διάγραμματα Συναρμογής ΤΣΠ (Terrane Assembly Diagrams) διευκρινίζουν με γραφικό τρόπο πότε έλαβε χώρα κάποια γεωλογική σύνδεση ανάμεσα σε γειτονικά ΤΣΠ.

Η εκτίμηση, ή ακόμη και ο ακριβής προσδιορισμός της χρονικής στιγμής που έλαβε χώρα η διασύνδεση (docking), ενός πιθανού ΤΣΠ με τις γειτονικές του περιοχές, μπορεί να γίνει: α) με τη χρονολόγηση ιζηματογενών ή εκρηξιγενών ακολουθιών, οι οποίες καλύπτουν ασύμφωνα τα ρηξιγενή περιθώρια των ΤΣΠ, β) με τη ραδιοχρονολόγηση των πετρωμάτων που σχετίζονται με τις ρηξι-



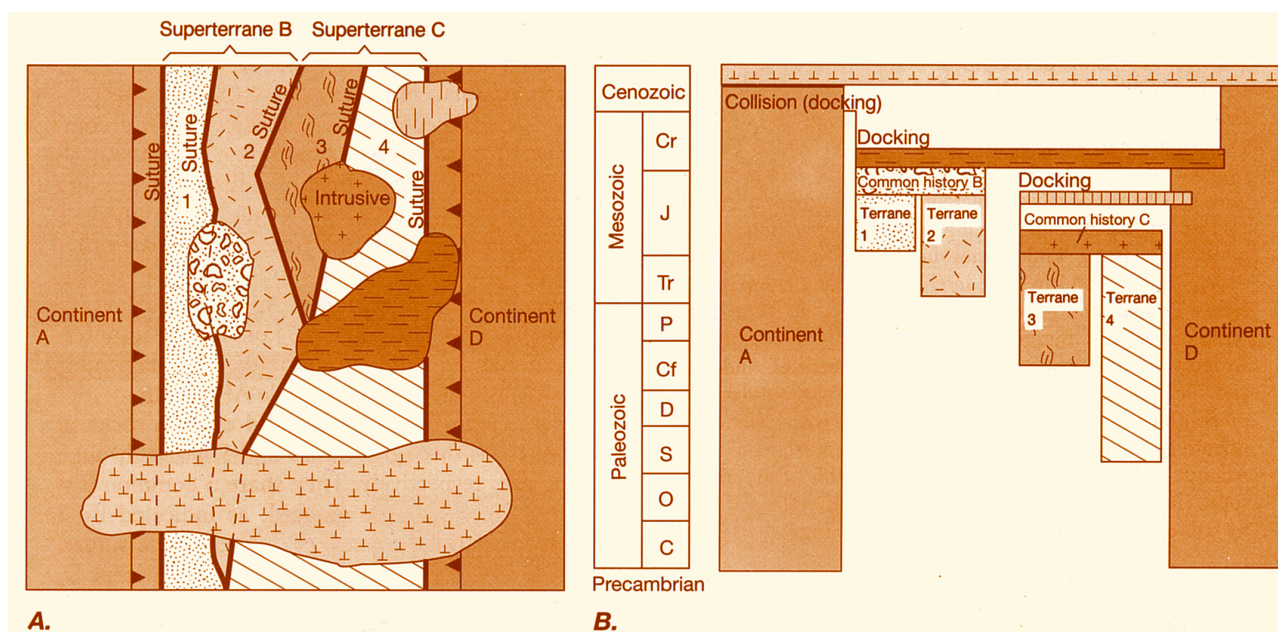
Εικόνα 8.7 Συγκριτικές στρωματογραφικές στήλες για πέντε υποθετικά ΤΣΠ. Το διάγραμμα δείχνει τη διασύνδεση δύο πιθανών ΤΣΠ (2 και 3) επάνω στο κρατονικό περιθώριο (1) στο Ανώτερο Κρητιδικό – Κατώτερο Παλαιογενές. Η παρουσία ενός τόξου του Ιουρασικού στο ΤΣΠ 3 αποτυπώνει την αρχική προσκόλλησή αυτού του ΤΣΠ στο κρατονικό περιθώριο, όπου μαζί με τα 2 και 3 ακολουθώς διασκορπίζονται με ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης κατά μήκος του περιθωρίου κατά το Κατώτερο Καινοζωικό. Τα ωκεάνια ΤΣΠ 4 και 5 έχουν συγχωνευθεί στο Ιουρασικό σχηματίζοντας ένα σύνθετο ΤΣΠ που διασυνδέθηκε με την ήπειρο με τη μορφή ενός εξωτικού σύνθετου ΤΣΠ, στο Ηώκαινο. 1. Κρατονικό υπόβαθρο (Προκάμβριο) το οποίο υπόκειται ασύμφωνα δύο θαλάσσιων σειρών τύπου κρηπίδας (Α. Ανώτερο Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό, Β. Παλαιογενές). 2. Ιζήματα ηπειρωτικού περιθωρίου (σειρά D ηλικίας Ανώτερο Μεσοζωικό) υποκείμενη ασύμφωνα των Μεσοζωικών ακολουθιών Β και Γ. 3. Τόξο ηλικίας Κατωτέρου – Μέσου Ιουρασικού καλυμμένο ασύμφωνα από τη θαλάσσια κρητιδική ακολουθία Ε και τις Καινοζωικές σειρές Β και Γ. 4. Τόξο του Μέσου Ιουρασικού πάνω σε οφιολιθικό υπόβαθρο του Κατωτέρου Ιουρασικού και υποκείμενο ολισθοστρωμάτων και όλα μαζί τεκτονικά υποκείμενα οφιολίθων του Μέσου Ιουρασικού (5). Αυτά τα οφιολιθικά πετρώματα υπόκεινται ασύμφωνα της ωκεάνιας ιζηματογενούς ακολουθίας F, το ανώτερο τμήμα της οποίας περιέχει κλάστες που προέρχονται από την ακολουθία Β.

γενείς ζώνες (fault related rocks), που ορίζουν τα περιθώρια των ΤΣΠ, γ) με τη ραδιοχρονολόγηση των εκρηξιγενών πετρωμάτων που διεισδύουν συχνά στα περιθώρια των ΤΣΠ (πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος πλουτωνίτης ραφής (stitching pluton), για να περιγραφούν πλουτώνιες διεισδύσεις σε περιθώρια ΤΣΠ), δ) με τη ραδιοχρονολόγηση ορυκτών που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια μεταμορφικών γεγονότων που επηρέασαν και τις δύο πλευρές ενός περιθωρίου ΤΣΠ και ε) με την αναγνώριση σε κάποια κλαστική ακολουθία, κλαστών που διαβρώθηκαν από διακριτές λιθολογίες που χαρακτηρίζουν ένα ιδιαίτερο ΤΣΠ (π.χ. μελέτες σε κροκαλοπαγή σχετικά με τη προέλευση των οφιολιθικών κλαστών που μπορεί να περιέχουν).

Όταν πια έχουν οριοθετηθεί τα διακριτά ΤΣΠ,

πετρώματα, πλουτωνίτες και ηφαιστειακά λατυποπαγή, γ) από κάποιο ηπειρωτικό περιθώριο, οπότε θα συνίσταται από ρηχά έως βαθιά θαλάσσια κλαστικά ιζήματα, που τυπικά αντιπροσωπεύουν υποθαλάσσια ριπίδια ή δ) αν πρόκειται για τεμάχη ηπείρων, οπότε θα χαρακτηρίζεται από την παρουσία μίας σειράς από στρώματα μεγάλης ηλικίας, γενικά παλαιότερης του Λιθανθρακοφόρου και από ιζηματογενείς ενότητες που αντανακλούν διάφορους κύκλους ιζηματογένεσης. Η παρουσία μέσα σε ένα ΤΣΠ κάποιου υποβάθρου πρέπει, επίσης, να αποδίδεται καθαρά, όπου αυτό είναι γνωστό.

Αφού έχουν μελετηθεί όλα τα χαρακτηριστικά ενός ΤΣΠ και έχει αποδειχθεί η γεωλογική ιδιαιτερότητά του σε σχέση με τα πετρώματα που το περιβάλλουν, τότε είναι απαραίτητο να βρεθούν εκεί-



Εικόνα 8.8 Ανάλυση εξωτικών ΤΣΠ (exotic terranes). Α. Σχηματικός χάρτης δύο ηπείρων που χωρίζονται από αρκετά εξωτικά ΤΣΠ. Β. Στρωματογραφικό-Τεκτονικό διάγραμμα όπου παρουσιάζονται οι ηλικίες των πετρωμάτων των διακριτών ΤΣΠ, οι ηλικίες της διασύνδεσης και προσκόλλησης και οι ηλικίες της συνήθους τεκτονικής εξέλιξης.

τους δίνεται ένα όνομα, το οποίο σχετίζεται με μία τυπική θέση ή περιοχή, όπως π.χ. το ΤΣΠ Ρανγκέλια, από την ομώνυμη οροσειρά στη νότια Αλάσκα. Οι χάρτες των ΤΣΠ πρέπει, όχι μόνο να απεικονίζουν καθαρά τη γεωγραφική εξάπλωση, τα όρια και την ονομασία του κάθε ΤΣΠ, αλλά το χρώμα ή ο συμβολισμός του πρέπει να αποδίδει και κάποια γενετική ερμηνεία για το καθένα. Έτσι, για παράδειγμα, θα πρέπει να εξηγείται αν πρόκειται για ΤΣΠ που προέρχονται α) από κάποια ωκεάνια λεκάνη, οπότε θα χαρακτηρίζεται από βασικά και υπερβασικά πετρώματα, υποκείμενα ιζημάτων βαθιάς θάλασσας, β) από κάποιο ηφαιστειακό τόξο, οπότε θα αποτελείται από εκρηξιγενή διεισδυτικά

να τα στοιχεία που μπορούν να αποδείξουν αν το ΤΣΠ έχει έλθει στη σημερινή του θέση από πολύ μακριά. Μερικά από τα στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποδεικτικά είναι το είδος των περιθωρίων του, παλαιομαγνητικές αναλύσεις, παλαιοοντολογικές μελέτες, ιζηματολογικές έρευνες κλπ.

Μερικά περιθώρια ΤΣΠ είναι πολύ πιο καθαρά και διακριτά από κάποια άλλα. Φλούδες από οφιολιθικά πετρώματα και τεκτονικά μίγματα, ειδικά αν έχουν μεταμορφωθεί σε κυανοσχιστολιθικές ή εκλογιτικές συνθήκες, είναι ισχυροί δείκτες σημαντικών ζωνών ραφής (ή συρραφής? – suture zones) κατά μήκος των οποίων έχουν λάβει χώρα μεγάλης

κλίμακας μετακινήσεις. Ανάλογης δυναμικότητας και σημασίας είναι η παρουσία σημαντικών, μεγάλης κλίσης, όγκιμων διατμητικών ζωνών. Η σημασία τους είναι τεράστια κυρίως όταν περιέχουν και κινηματικούς δείκτες, όπως ιστούς S/C, περιστρεμμένους πορφυροκλάστες κλπ. Οι πρώιμες μελέτες σε πιθανά ΤΣΠ, στις περισσότερες των περιπτώσεων, απέτυχαν να διακρίνουν και ακολούθως να περιγράψουν τα πετρώματα των ρηξιγενών ζωνών που εμφανίζονται στα περιθώρια των ΤΣΠ. Η αναγνώριση και η ερμηνεία των όγκιμων διατμητικών ζωνών, σε συνδυασμό με κάποιες ραδιοχρονολογήσεις, είναι πολύ σημαντικές κυρίως σε εκείνα τα ΤΣΠ που περιέχουν πετρώματα υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης, όπου έχει εξαφανιστεί οποιοδήποτε άλλο στοιχείο.

Πολλά από τα κλασικά ΤΣΠ που οριοθετούνται από μεγάλης κλίμακας ρηξιγενείς ζώνες ορίζονται ολίσθησης, όπως το Αλπικό Ρήγμα (Alpine Fault) στη Νέα Ζηλανδία (βλπ. Κεφ. 5), και η Ενδιάμεση Τεκτονική Γραμμή (Median Tectonic Line) στην Ιαπωνία (βλπ. Κεφ. 5), στην ουσία αντιπροσωπεύουν μεγάλου πλάτους, όγκιμες διατμητικές ζώνες, μεγάλης κλίσης, οι οποίες περιέχουν μυλονιτικούς L και S τεκτονίτες και ευδιάκριτες συνκινηματικές ορυκτολογικές γραμμώσεις. Τέτοιες διατμητικές ζώνες φανερώνουν τη δράση μίας σειράς από τεκτονικά γεγονότα που χαρακτηρίζονται από όγκιμη διάτμηση σε υψηλές θερμοκρασίες στα πρώτα στάδια και σε βαθείς τεκτονικούς ορόφους, σε πιο θραυσιγενείς και κατακλαστικές δομές στα τελευταία στάδια και σε πιο ρηχούς τεκτονικούς ορόφους.

Το περιθώριο ενός πιθανού ΤΣΠ δεν είναι απαραίτητο να είναι μία δομή μεγάλης κλίσης. Μάλιστα πολλά από τα περιθώρια των ΤΣΠ είναι μικρής κλίσης και έχουν ερμηνευτεί ως επωθήσεις, κανονικά ρήγματα, ή ως μικρής κλίσης ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης. Αυτές οι δομές μπορεί να έχουν προκύψει είτε λόγω της δημιουργίας ανθοειδών δομών (flower structures), από τη δράση ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης, είτε από συμπιεστικά ή εφελκυστικά γεγονότα κατά τα οποία επαναδραστηριοποιήθηκαν παλαιότερα ρήγματα.

Το μέγεθος των ΤΠΣ μπορεί να ποικίλει από χιλιάδες km² έως μερικά μέτρα. Μέσα στο μωσαϊκό των μεγάλων, ηπειρωτικής προέλευσης, ΤΠΣ, που έχουν συγχωνευθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 250 m.y. για να σχηματίσουν την ήπειρο της Ασίας, παρατηρούνται ακόμη περισσότερα μικρού μεγέθους τεμάχια ή φλούδες, τα οποία μπορεί να αντιπροσωπεύουν τεμάχια υποθαλάσσιων οροσειρών, νησιωτικών τόξων κλπ. Οι πληροφορίες που μπορούν να δώσουν αυτά τα μικροτεμάχια, είναι πολύ χρήσιμες για να εξακριβωθεί η χρονική περίοδος που έλαβε χώρα η οποιαδήποτε προσαύξηση,

αλλά και η φορά των διαφόρων κινήσεων μέσα στο μωσαϊκό της Ασίας. Επίσης, το μέγεθος των ΤΣΠ, αλλά και ο αριθμός αυτών που σχηματίζουν μία ήπειρο, πολλές φορές εξαρτάται και από την κλίμακα που γίνεται η παρατήρηση. Έτσι, για παράδειγμα, το Σύμπλεγμα του Φραγκίσκου στην Βόρεια Αμερική, δεν μπορεί πρακτικά να υποδιαιρεθεί σε περισσότερα των ένα ή και δύο ΤΣΠ, σε μικρές κλίμακες, όπως είναι η 1:2.500.000. Αντίθετα, σε μεγαλύτερες κλίμακες, όπως 1:750.000, το Σύμπλεγμα μπορεί να διακριθεί σε 15-20 ΤΣΠ, όπου διακρίνονται περιοχές από πετρώματα που αντιπροσωπεύαν υποθαλάσσιες οροσειρές, από περιοχές που ήταν χώρος απόθεσης υποθαλάσσιων ριπίδιων, από περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλού βαθμού κυανοσχιστολιθική μεταμόρφωση και από περιοχές τεκτονικών μιγμάτων χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης.

8.5 Συμπεράσματα

Η αναγνώριση των πιθανών ΤΣΠ στις οροσειρές ανά τον κόσμο, απαιτεί μία τροποποίηση των απόψεών μας, σχετικά με τον τρόπο που αυτές εξελίσσονται με τη πάροδο του χρόνου. Ουσιαστικά, η εφαρμογή της θεωρίας των πιθανών ΤΣΠ δεν αντιπροσωπεύει τίποτε άλλο παρά τη φυσική πρόοδο στην κατανόησή μας σχετικά με τον τρόπο που λειτουργούν οι διαδικασίες της Τεκτονικής των Πλακών. Πριν από τη προσκόλλησή τους, σε κάποιο ηπειρωτικό περιθώριο, τα πιθανά ΤΣΠ είχαν τη δική τους γεωλογική εξέλιξη, αλλά μετά τη σύγκρουση αποτέλεσαν πια κομμάτι της επωθούμενης πλάκας. Έτσι, στη διένεξη σχετικά με το αν η ορογένεση είναι συνεχής ή επεισοδιακή, η διασύνδεση των πιθανών ΤΣΠ κατά την υποβύθιση, μπορεί να είναι μία σχεδόν συνεχής διαδικασία, αλλά η σύγκρουση μεγάλων ηπειρωτικών τεμαχίων είναι καθαρά επεισοδιακή. Οι κινήσεις των μεγάλων ηπειρωτικών μαζών σε μία ζώνη σύγκρουσης μπορεί να αντιπροσωπεύουν μόνο ένα μέρος της δράσης που δημιουργεί μία οροσειρά και πολλές άλλες κινήσεις μικρότερων τεμαχίων μπορεί να αντιπροσωπεύονται από τις πολλές ζώνες συρραφής που χωρίζουν διαφορετικά εξωτικά ή πιθανά ΤΣΠ.

Επίσης, η κύρια προσφορά της θεωρίας των ΤΣΠ είναι η εκτίμηση που μας έδωσε σχετικά με τις συνέπειες της πλάγιας υποβύθισης με τη μορφή των πλευρικών μετατοπίσεων κατά μήκος των ενεργών περιθωρίων των πλακών. Μία θεώρηση της ταχύτητας με την οποία πολλά ΤΣΠ έχουν μετακινηθεί πλευρικά από τη δράση ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης (>50 km/Ma) σε συνδυασμό με τη χρονική διάρκεια που ένα ορογενές εξελίσσεται (>100 Ma), κάνει τη δράση των ρηγμάτων οριζόντιας ο-

λίσθησης, που υπάρχουν κατά μήκος των ενεργών περιθωρίων, πολύ καθοριστική. Η πολυπλοκότητα που προκύπτει είναι ακόμη μεγαλύτερη λόγω της μεγάλης ετερογένειας του ωκεάνιου πυθμένα και των τοπικών συγκρούσεων από τη προσαύξηση των ΤΣΠ κατά τη διάρκεια της υποβύθισης. Τα παλαιά ορογενή, που δημιουργήθηκαν στα περιθώρια μεγάλων ωκεανών, παρουσιάζουν μόνο ένα μικρό

μέρος της εξέλιξης της υποβύθισης και της σταδιακής προσαύξησης, αλλά δίνουν περισσότερα στοιχεία σχετικά με τη διασπορά των ΤΣΠ κατά μήκος της οροσειράς. Τα αποτελέσματα της διασποράς των ΤΣΠ από τη δράση μεγάλων ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης κατά μήκος ενός ηπειρωτικού περιθωρίου, φαίνεται να είναι τόσο σύνθετα, όσο και η θεωρία των ΤΣΠ, δηλαδή, στην ουσία τους, απλά.

