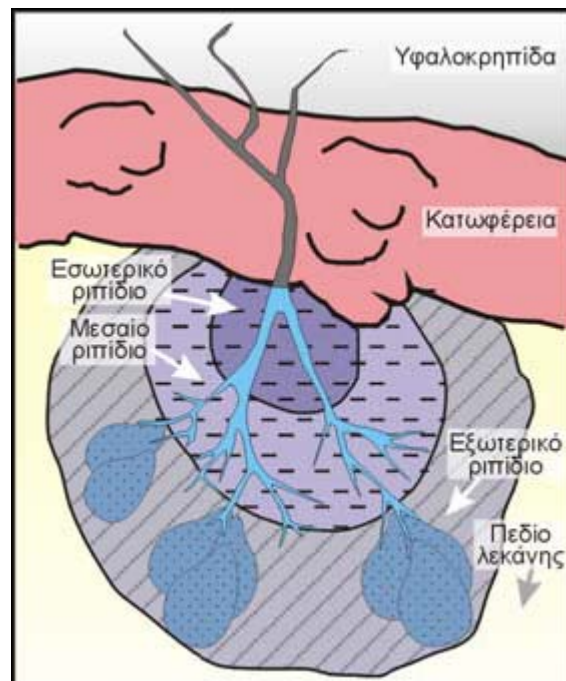




# ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΒΡΑΑΜ ΖΕΛΗΛΙΔΗ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΓΙΑ  
ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

## ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΚΟΛΟΥΘΙΩΝ



ΔΙΔΑΣΚΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΒΡΑΑΜ ΖΕΛΗΛΙΔΗΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2005

## 1. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΙ

### 1.1 Εισαγωγή.

Όταν οι γεωλόγοι ασχολούνται με λεπτομέρειες σε επιφανειακές εμφανίσεις πάνω σε δρόμους, υποεπιφανειακά δεδομένα με πετρελαϊκό ενδιαφέρον, ή επιφανειακές σεισμικές γραμμές, ένα απ'τα πρώτα προβλήματα που πρέπει να λύσουν είναι αυτό της στρωματογραφικής συσχέτισης. Με σκοπό την αναπαράσταση των παλαιοπεριβαλλόντων απόθεσης και της παλαιογεωγραφίας ή όταν πρέπει να σημειώσουν μια μονάδα με οικονομικό ενδιαφέρον, οι γεωλόγοι πρέπει να είναι ικανοί να εξηγήσουν την στρωματογραφία και να την συνδέσουν μεταξύ διαφόρων θέσεων.

Οι τρεις τύποι των δεδομένων που αναφέρονται στην πρώτη παράγραφο είναι παραδείγματα μιας πλατιάς φυσικής κλίμακας και ποιότητας δεδομένων τα οποία πρέπει να επεξεργαστούν από τον ειδικό στην ανάλυση λεκανών. Οι πρακτικές της στρωματογραφίας των σχηματισμών, που περιλαμβάνουν τον καθορισμό των σχηματισμών και των σταδίων, έχουν την προέλευσή τους στη στρωματογραφία του 19ου αιώνα και αναπτύχθηκαν σε μια διαδικασία προσεκτικών ορισμών ονοματολογίας και συσχέτισης των διαφόρων ειδών των στρωματογραφικών μονάδων. Αυτές οι μέθοδοι κύρια βασίζονται στη λεπτομερή λιθοστρωματογραφική και βιοστρωματογραφική πληροφόρηση. Άλλες σημαντικές προσπάθειες για τη συσχέτιση περιλαμβάνουν ραδιομετρικά δεδομένα και μαγνητική αντίστροφη στρωματογραφία.

Μια μεγάλη διαφορετική προσέγγιση στη συσχέτιση γίνεται από αυτούς που ασχολούνται με τα περιφερειακά δεδομένα σεισμικής ανάκλασης. Η σεισμική εργασία σε περιθωριακές περιοχές και τα βαθιά προφίλ ανάκλασης τώρα δημιουργούνται από ομάδες τέτοιες όπως η Consortium for Continental Reflection Profiling (COCORP) η οποία δίνει σαρώσεις από περιφερειακές εγκάρσιες τομές μέσα από τις οποίες η συσχέτιση σε ένα λεπτομερές επίπεδο είναι πολύ μακριά απ'την πραγματικότητα - καθαρότητα.

Με τα δεδομένα των επιφανειακών εμφανίσεων και γεωτρήσεων, το πρόβλημα μπορεί να εστιάζεται στην τμηματική εργασία μιας μάζας με τοπική λεπτομέρεια, ενώ με τα σεισμικά δεδομένα αυτή η λεπτομέρεια είναι δύσκολο να φανεί. Ο ιδανικός συνδυασμός είναι φυσικά μια λεκάνη να επεξεργαστεί με ένα δίκτυο σεισμικών γραμμών όπου το κλειδί τους θα είναι οι ερευνητικές γεωτρήσεις. Εάν επίσης υπάρχουν και επιφανειακές εμφανίσεις τόσο το καλύτερο. Αν και, όπως φάνηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι επιφανειακές εμφανίσεις γύρω από τα περιθώρια των λεκανών μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές.

Αυτές οι διαφορές στους τύπους και την κλίμακα των δεδομένων οδήγησαν σε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις στη στρωματογραφική συσχέτιση. Στην ερευνητική εργασία των

βιομηχανιών σε περιθωριακά τμήματα, ιδιαίτερα σε μεγάλες λεκάνες κοντά στην ακτή, η πραγματική προσέγγιση περιλαμβάνει για τέτοιες τοπικές περιπτώσεις την στρωματογραφική ζώνωση και την ονοματολογία των σχηματισμών. Η πλατιά εικόνα μπορεί να προκύψει από τις σεισμικές εγκάρσιες τομές, και οι λεπτομέρειες βαθμιαία επιλύονται από μόνες τους τόσο όσο περισσότερα στοιχεία γεωτρήσεων είναι δυνατό να ληφθούν. Η εφαρμογή διαφόρων μεθόδων χαρτογράφησης λεκανών και η χρήση της γενετικής, η προσέγγιση των αποθετικών συστημάτων και η έννοια της στρωματογραφίας των ακολουθιών είναι ένα ιδιαίτερο κεφάλαιο. Όταν η πρακτική για την ανάλυση της λεκάνης ξεκινάει από σεισμικές τομές ή από εργασία επιφανειακών εμφανίσεων, είναι απαραίτητο, ενδεχόμενα, να τεκμηριωθούν οι μεγάλες λεπτομέρειες της στρωματογραφίας εφαρμόζοντας μια ιδιόμορφη φόρμα λιθοστρωματογραφίας και βιοστρωματογραφίας.

Τέτοια λεπτομέρεια είναι πέρα από την χρησιμότητα των περισσότερων εξερευνητικών εταιριών και ανήκουν σε μια περιοχή γενικά έρευνας Γεωλογικών Υπηρεσιών και Ινστιτούτων.

Κάθε τοπική βιοστρωματογραφική, ραδιομετρική και μαγνητοστρωματογραφική μελέτη μπορεί ενδεχομένως να συνεισφέρει στη μακριά προσπάθεια του καθορισμού μιας παγκόσμιας χρονοστρωματογραφικής κλίμακας.

Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται περισσότερο με την εισαγωγή στις μεθόδους της πρακτικής έρευνας. Η χρονοστρωματογραφική (που περιλαμβάνει και την βιοστρωματογραφική) έρευνα πρέπει να σχηματίζει ένα αναπόσπαστο κομμάτι κάθε εξελισσόμενου προγράμματος ανάλυσης λεκανών εκτός αν είναι καθαρά τοπικού χαρακτήρα. Επιπλέον εδώ περιγράφονται οι μέθοδοι της λιθοστρωματογραφικής συσχέτισης, αν και η διαδικασία δημιουργίας τύπων, ονομαζόμενοι μονάδες, μπορεί να αφηθεί σε προχωρημένα στάδια ανάλυσης.

Τέτοια ονοματολογία καλύτερα προέρχεται από μια ιδιαίτερη ιζηματολογική εξάσκηση, έτσι ώστε οι έννοιες των αποθετικών συστημάτων, που περιγράφονται γενικά σε επόμενο κεφάλαιο ή διδασκονται σε άλλο μάθημα, ενσωματώνονται μέσα στην εργασία.

## **1.2. Τύποι στρωματογραφικών μονάδων.**

Τα πετρώματα θα μπορούσαν να περιγραφούν σε κατηγορίες κάθε μιας από τις φυσικές, χημικές, οργανικές, ή άλλες παραμέτρους, που περιλαμβάνουν την λιθολογία, τα περιεχόμενα απολιθώματα την γεωχημεία, ορυκτολογία, ηλεκτρική αντίσταση, σεισμική ταχύτητα, πυκνότητα (βαρυτική), μαγνητική πολικότητα, ή ηλικία. Θεωρητικά, κάθε μια από αυτές τις παραμέτρους θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη περιγραφή και στη συσχέτιση, και πολλές από αυτές έτσι μεμονομένες χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς. Στην πράξη, η λιθολογία είναι ένα από τα πιο σπουδαία κριτήρια, τα περιεχόμενα απολιθώματα είναι επίσης αποφασιστικής σημασίας για τα πετρώματα

Φανεροζωικής ηλικίας. Η μαγνητική πολικότητα σαν αντικείμενο - παράμετρος έχει μεγαλύτερη χρήση σε σχέση με το χρόνο σαν αντικείμενο εφαρμογής στη συσχέτιση, ιδιαίτερα για τις νεώτερες Μεσοζωικές και Κενοζωικές μονάδες. Οι ραδιομετρικές ηλικίες χρησιμοποιούνται για να υποσημειώσουν τις απόλυτες ηλικίες των βιοστρωματο-γραφικών, μαγνητικών και άλλων χρονοστρωματογραφικών μονάδων.

Άλλες γεωφυσικές παράμετροι χρησιμοποιούνται στα πρώιμα αναγνωριστικά στάδια της εξερεύνησης των ιζηματογενών λεκανών. Δεν καταλήγουν απαραίτητα όλες αυτές οι παράμετροι, στην ίδια συσχέτιση κάποιων δοσμένων-γνωστών πετρωμάτων. Για παράδειγμα, είναι γενικά δύσκολο να συνδεθούν οι γεωφυσικές παράμετροι ακριβώς με την λιθολογία. Επιπλέον, κανένας απλός τύπος στρωματογραφικής μονάδας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει όλες τις ποικιλομορφίες που εμφανίζονται στη φύση.

Δεδομένα σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιούνται πλατιά στην εξερεύνηση ιζηματολογικών λεκανών, αλλά όπως αναφέρθηκε από τον Sheriff (1976), "ο παραδοσιακός στόχος... έχει χαρτογραφηθεί η γεωλογική δομή χωρίς να συμπεριληφθούν πάρα πολλά σχετικά με την στρωματογραφία. Η έμφαση που δόθηκε στα ευρήματα και στη χαρτογράφηση κύριων συνδεδεμένων ανακλάσεων, η οποία είναι η περιγραφή των χρόνων αφίξεών τους και οι διαφορές στους χρόνους αφίξεων μεταξύ θέσεων, καθώς και ο υπολογισμός των θέσεων και των κλίσεων των εσωτερικών προσώπων που συνοδεύονται από αυτά."

Αυτό έχει αλλάξει κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας με την ανάπτυξη στην ύπαιθρο της σεισμικής στρωματογραφίας. Ο Sheriff απέδειξε ότι για να μπορείς να δεις από τα σεισμικά δεδομένα μια στρωματογραφική ή δομική παράσταση πρέπει να έχεις μια καθαρή αντίθεση ταχύτητας και θα πρέπει να είναι τουλάχιστον σε πάχος ισοδύναμη με το ένα τέταρτο του μήκους κύματος. Σε ρηχά βάθη, οι ταχύτητες κυμαίνονται από 1,5 έως 2,5 km/s και οι ανακλάσεις περίπου 5 έως 100 Hz, έτσι ώστε μήκος κύματος ενός τετάρτου είναι αντίστοιχο σε 5 έως 12 μέτρα. Σε μεγαλύτερα βάθη, το μήκος κύματος τυπικής ανάκλασης αυξάνει ανάλογα. Επομένως η στρωματογραφική επίλυση είναι πολύ γενικευμένη. Τα σεισμικά δεδομένα ενδείκνυνται για την μελέτη μεγάλης κλίμακας στρωματογραφικών παραστάσεων τέτοιων όπως αποθετικών συστημάτων και περιφερειακών ή παγκοσμίων ακολουθιών, αλλά είναι μικρότερης χρήσης για την ανάπτυξη λεπτομερών στρωματογραφικών υποδιαίρέσεων το οποίο είναι και το αντικείμενο αυτού του κεφαλαίου.

Οι πιο ενδιαφέροντες τύποι στρωματογραφικών μονάδων είναι:

1. Λιθοστρωματογραφικός: αυτός βασίζεται σε παρατηρήσεις λιθολογικών παραστάσεων που περιλαμβάνουν σύνθεση και κοκκομετρικό μέγεθος και πιθανά επίσης περιλαμβάνουν σίγουρες-

καθαρές βασικές ιζηματολογικές πληροφορίες, τέτοιες όπως τύπους ιζηματογενών δομών και κυκλικών ακολουθιών.

2. Βιοστρωματογραφικός: αυτός βασίζεται στα περιεχόμενα απολιθώματα. Οι μορφές ζωής αναπτύσσονται με το χρόνο επιτρέποντας την υποδιαίρεση τους, στη λογική των αλλαγών στην πανίδα ή στην χλωρίδα.

3. Χρονοστρωματογραφικός: αυτός συνθέτει μια ερμηνευτική στρωματογραφία σε αντίθεση με τους δύο πρώτους τύπους μονάδων, οι οποίοι είναι εντελώς περιγραφικοί. Η χρονοστρωματογραφία έχει σχέση από μόνη της με την ηλικία των στρωμάτων, η οποία μπορεί να περιγραφεί με μια ποικιλία τρόπων, από τους οποίους ο πιο σπουδαίος είναι τα περιεχόμενα απολιθώματα, τα ραδιομετρικά δεδομένα και η μαγνητική πολικότητα.

Και τα δύο, τόσο οι στρωματογραφικές όσο και οι βιοστρωματογραφικές μονάδες, τείνουν να έχουν τοπικό χαρακτήρα. Ο λιθολογικός χαρακτήρας εξαρτάται από το αποθετικό περιβάλλον, από τη πηγή τροφοδοσίας των ιζημάτων, από το κλίμα, το ρυθμό βύθισης, και άλλα. Όλες αυτές οι παράμετροι μπορούν να ποικίλουν και να διαφοροποιούνται μέσα σε μικρές αποστάσεις. Οι λιθοστρωματογραφικές μονάδες είναι διαχρονικές σε ένα μεγάλο ή μικρό βαθμό. Αυτές οι μονάδες αντιπροσωπεύουν ένα εύρος διαφόρων χρόνων απόθεσης σε διαφορετικές θέσεις, αντικατοπτρίζοντας βαθμιαίες στροφές-αλλαγές στο περιβάλλον. Για παράδειγμα αυτό μπορεί να συμβεί εξ'αιτίας μιας επίκλησης ή απόσυρσης της θάλασσας. Τα όρια μιας στρωματογραφικής μονάδας είναι είτε διαβρωσιγενή κουτσουρεμένα-κατεστραμμένα στην ανώτερη επιφάνειά τους ή κάτω από μια ασυμφωνία ή μια φασική αλλαγή σε μια σύγχρονη μονάδα διαφορετικού τύπου. Ένας ιδιαίτερος τύπος λιθοστρωματογραφικής μονάδας είναι αυτός ο οποίος σχηματίζεται από λιθοστρωματογραφικά γεγονότα, τα οποία έχουν πλατιές αποθετικές επιδράσεις μέσα σε σύντομα χρονικά διαστήματα (Azer, 1953). Παραδείγματα τέτοιων γεγονότων είναι η έκχυση ηφαιστειακής τέφρας, ισχυρές καταιγίδες, και περιφερειακές ή παγκόσμιες αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας. Όπως περιγράφεται στο παρακάτω κεφάλαιο η αναγνώριση τέτοιων εξελίξεων και τα αποτελέσματά τους μπορούν να σχηματίσουν τη βάση για ένα ιδιαίτερο είδος στρωματογραφίας ονομαζόμενο στρωματογραφία γεγονότων (event stratigraphy), το οποίο έχει σημαντική χρονοστρωματογραφική σημασία.

Οι βιοστρωματογραφικές μονάδες βασίζονται στη πανίδα ή τη χλωρίδα, η κατανομή των οποίων ελέγχεται οικολογικά. Επίσης, σύγχρονες πανίδες τοποθετημένες σε οικολογικά κυλώματα τα οποία μπορεί να είναι ίδια αλλά γεωγραφικά απομονωμένα μεταξύ τους, μπορούν να δείξουν λεπτές διαφορές στις μορφές της εξέλιξης, κάνοντας τις συγκρίσεις ή τις συσχετίσεις ανάμεσα στις περιοχές δύσκολες. Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί εξελίσσονται με το χρόνο, έτσι ώστε η πανίδα και η χλωρίδα να δείχνουν και τα δύο, χωρικά και χρονικά όρια στη κατανομή τους.

Οι χρονοστρωματογραφικές προσπάθειες για την επίλυση τέτοιων δυσκολιών δημιούργησαν παγκόσμια πλαίσια, βασισμένα στην αναφορά του χρόνου. Ομως, η ακρίβεια τέτοιων στρωματογραφικών συσχετίσεων είναι μόνο τόσο καλή όσο τα κριτήρια πάνω στα οποία στηρίζεται η διάγνωση του χρόνου.

Η εξέλιξη αυτών των τριών τύπων μονάδων έχει μια μεγάλη και σύνθετη ιστορία και ακόμη δεν έχουν ομόφωνα συμφωνηθεί οι ορισμοί τους.

Οι Hedberg (1976), Hancock (1977), and Harland (1978) περιέγραψαν μερικά από τα πρακτικά και φιλοσοφικά προβλήματα. Ο Holland (1986) αποτύπωσε τις πρόσφατες παγκόσμιες ενέργειες στο καθορισμό στάνταρ στρωματογραφικής κλίμακας και ακούμπησε, για άλλη μια φορά, στο πρόβλημα σχετικά με τις έννοιες, ένταση και σχέση ανάμεσα σε χρονοστρωματογραφικές και βιοστρωματογραφικές μονάδες. Με την εισαγωγή πολλών νέων εργαλείων τόσο της σχετικής όσο και της απόλυτης ηλικίας τα παραπάνω προβλήματα έχουν μικρότερο ενδιαφέρον.

### **1.3. Λιθοστρωματογραφία.**

#### 1.3.α. Αναγνώριση λιθοστρωματογραφικών υποδιαιρέσεων.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο δείχθηκε τί θα πρέπει να παρατηρούμε στα πετρώματα και δόθηκαν μερικές ιδέες πώς να καταγράψουμε και να παρουσιάζουμε τα δεδομένα. Αυτή η πληροφόρηση μπορεί τώρα να χρησιμοποιηθεί για το καθορισμό της λιθοστρωματογραφικής δομής. Οι γεωλόγοι έχουν να μεταφέρουν και να προβάλλουν γραφικές καταγραφές επιφανειακών και υποεπιφανειακών τομών. Για τις υποεπιφανειακές τομές θα πρέπει να έχουν, αν είναι δυνατόν, μια ακολουθία γεωφυσικών καταγραφών. Οπου οι περιφερειακές σεισμικές καταγραφές είναι δυνατές, η πλατιά περιφερειακή οργάνωση γίνεται ήδη γνωστή. Αυτή η διαδικασία της υποδιαίρεσης θα πρέπει τώρα να μεταφερθεί προς τα έξω με έναν ελαφρά πιο γενικό τρόπο με τη σύγκριση των καταγραφών και κάνοντας μια προκαταρκτική προσπάθεια για τη συσχέτιση.

Σε κάθε τομή είναι πιθανόν να αναγνωριστούν μια ή περισσότερες ανεξάρτητες λιθοστρωματογραφικές μονάδες βασισμένες σε φυσικές παραμέτρους, τέτοιες όπως ορυκτολογική σύνθεση και κοκκομετρικό μέγεθος.

Τα χαρακτηριστικά των στρωμάτων, οι ιζηματογενείς δομές, οι κυκλικές ακολουθίες, και τα περιεχόμενα απολιθώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δευτερεύοντα κριτήρια. Τα απολιθώματα αν και κύρια ενδιαφέρουν τους βιοστρωματογραφικούς δείκτες μπορούν επίσης να έχουν ενδιαφέρον για φασικούς δείκτες στην μελέτη της λιθολογίας. Αυτοί μπορούν να είναι απολιθωματοφόροι ορίζοντες, σαν αυτούς μέσα σε coquinas, ή μπορεί να είναι παρόντα σε μικρότερα αλλά ανεξάρτητα τμήματα μιας λιθοστρωματογραφικής μονάδας. Το τελευταίο ισχύει τόσο για σώματα των απολιθωμάτων όσο και για τα ίχνη τους. Λιθολογικές ποικιλομορφίες

βασισμένες σε διαγενετικές αλλαγές, τέτοιες όπως αλλαγές χρωμάτων, δολομιτοποίηση, ή ύπαρξη επιγενετικών ορυκτών δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λιθοστρωματογραφικές υποδιαίρεσεις.

Η αναγνώριση των λιθοστρωματογραφικών μονάδων είναι μια διαδικασία δύο τμημάτων, και απαιτεί την υποδιαίρεση κατακόρυφων τομών και συσχέτιση ανάμεσα σε τομές. Η άσκηση-εργασία της συσχέτισης είναι μια από τις πιο ενδιαφέρουσες πλευρές στην ανάλυση λεκανών. Ο λιθοστρωματογραφικός συσχετισμός δεν μπορεί να χωριστεί απόλυτα από τον βιοστρωματογραφικό συσχετισμό και την εξέταση των δομών της λεκάνης και τα τοπικά ή περιφερειακά αποθετικά συστήματα, όπως αυτό συζητιέται στο επόμενο κεφάλαιο. Οι γεωλόγοι επομένως απαιτείται να εκτελούν πολλές νοητικές δουλειές άμεσα. Η παράλειψη τέτοιων διαδικασιών επικάλυψης μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά λιθοστρωματογραφικής ελλειπούς συσχέτισης.

Η πολύ ενδιαφέρουσα έννοια που ονομάζεται στρωματογραφία γεγονότων εξελίχθηκε τα τελευταία χρόνια από την αναγνώριση που γίνεται, σε πολλές ιζηματογενείς λεκάνες, με την προσεκτική μελέτη των διαδικασιών απόθεσης. Με τη σχολαστική συσχέτιση αποκαλύφθηκε ότι μέρος όλων των ιζηματογενών διαδοχών μπορούν να κυριαρχούνται από ανεξάρτητα στρωματογραφικά γεγονότα, τέτοια όπως μεγάλης έκτασης καθοδηγητικά στρώματα ή ασυνέχειες οφειλόμενες σε περιφερειακές παγκόσμιες αλλαγές της στάθμης της θάλασσας (Azer 1973). Τέτοια γεγονότα μπορούν να έχουν σήμαντική χρονοστρωματογραφική σπουδαιότητα και μπορούν έτσι να δημιουργήσουν τη βάση για την στρωματογραφική υποδιαίρεση της λεκάνης. Όμως, σύμφωνα με τον Miall 1986, υπάρχει ο κίνδυνος της κυκλικής αιτιολόγησης στη στρωματογραφική συσχέτιση, εάν η ανάπτυξη της οργάνωσης της στρωματογραφίας γεγονότων χρησιμοποιείται σαν δικαιολόγηση για την διόρθωση του προσδιορισμού της ηλικίας που προκύπτει με βιοστρωματογραφικές τεχνικές.

### 1.3.β. Τύποι λιθοστρωματογραφικών μονάδων και οι ορισμοί τους.

Η ιεραρχία των μονάδων αναπτύχθηκε βασιζόμενη στον σχηματισμό (formation), ο οποίος είναι και η κύρια λιθοστρωματογραφική μονάδα.

Οι υποδιαίρεσεις είναι:

Ομάδα (group)

Σχηματισμός (formation)

Μέλος (member)

Γλωσσοειδείς μορφές - φακοί (tongue - lentil)

Στρώμα (bed)

### 1.3.β.1. Ο σχηματισμός.

Ένα ενδιαφέρον συνέδριο καθιέρωσε ότι όλα τα ιζηματογενή πετρώματα θα πρέπει να υποδιαιρούνται σε σχηματισμούς. Κανένας άλλος τύπος λιθοστρωματογραφικής υποδιαίρεσης δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται, αν και η ευκολία της περιγραφής μπορεί να το απαιτεί.

Τί είναι ο σχηματισμός; Αυτή είναι μια ερώτηση χωρίς οριστική απάντηση.

Ο βαθμός των λιθολογικών ποικιλομορφιών απαιτεί μια διάκριση σε ξεχωριστούς σχηματισμούς που τείνουν να αντικατοπτρίζουν το επίπεδο της δυνατότητας πληροφόρησης ενός στρωματογράφου. Οι σχηματισμοί μπορεί να είναι μόνο μερικά μέτρα ή πολλές χιλιάδες μέτρα πάχος. Μπορεί να αναπτύσσονται για μερικά χιλιόμετρα ή για πολλές χιλιάδες χιλιόμετρα. Οι σχηματισμοί στις περιθωριακές λεκάνες είναι εντελώς διαφορετικοί στα φυσικά μεγέθη από αυτές της ενδοχώρας, καλά εξερευνημένες λεκάνες, τέτοιες όπως της Δυτικής Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών. Καθώς η εργασία στις περιθωριακές λεκάνες αναπτύσσεται, μερικοί από τους μεγάλους σχηματισμούς μπορούν να υποδιαιρεθούν σε μικρότερες μονάδες και η σειρά των ονομάτων να αλλάξει.

Τα πιο σπουδαία κριτήρια για την καθιέρωση ενός σχηματισμού είναι η χρησιμότητά τους σε υποδιαιρεμένες στρωματογραφικές τομές και η δυνατότητά τους για χαρτογράφηση. Για αναγνωριστική χαρτογράφηση, μια λεπτή μονάδα η οποία δεν μπορεί ακριβώς να απεικονιστεί σε μια κλίμακα, για παράδειγμα 1:250.000 είναι μικρής χρήσης. Για πιο λεπτομερή εργασία, η δυνατότητα χαρτογράφησης σε κλίμακα 1:50.000 ή ακόμη 1:10.000 είναι ακόμη πιο χρήσιμο κριτήριο. Προβλήματα διαδοχών προκύπτουν όταν η λεπτομερής εργασία πραγματοποιείται γύρω από ένα ορυχείο τοποθετώντας μέσα στη χαρτογράφηση και το τί είναι κατά τα άλλα μια φτωχή εξερευνημένη περιθωριακή λεκάνη.

Οι σχηματισμοί δεν θα πρέπει να περιέχουν κύριες ασυμφωνίες αν και μικρότερες παρασυμφωνίες μπορεί να γίνουν αποδεκτές. Οι επαφές των σχηματισμών θα πρέπει να καθορίζονται από εμφανείς λιθολογικές αλλαγές. Αυτές μπορεί να είναι απότομες ή σταδιακές. Μία ασυμφωνία είναι μια λογική επιλογή για επαφή σχηματισμού. Εκεί όπου οι λιθολογίες αλλάζουν βαθμιαία, είτε κατακόρυφα είτε πλευρικά, είναι δύσκολο να επιλεγεί μια λογική θέση για τη σχεδίαση της επαφής. Για παράδειγμα, ένας πηλίτης μπορεί να περνάει προς τα πάνω σε έναν ψαμμίτη διαμέσου μιας μεταβατικής διαδοχής με ψαμμιτικά στρώματα που γίνονται παχύτερα και πιο άφθονα προς τα πάνω. Η επαφή μεταξύ των σχηματισμών πηλίτη και ψαμμίτη μπορεί να σχεδιαστεί εκεί όπου εμφανίζεται ο παλαιότερος παχύς και αδρομερής ψαμμίτης, στο επίπεδο όπου ψαμμίτης και πηλίτης αποτελούν το 50% ο καθένας της τομής, ή στο νεότερο εκτεταμένο πηλιτικό στρώμα. Η επιλογή είναι αυθαίρετη και είναι ασήμαντο ποιά μέθοδο θα επιλέξουμε καθόσον η ίδια



μέθοδος θα χρησιμοποιείται τόσο σταθερά όσο είναι δυνατόν διαμέσου της έκτασης του σχηματισμού.

Αλλα προβλήματα ορισμού προκύπτουν εκεί όπου υπάρχουν πλευρικές λιθολογικές αλλαγές, απαιτώντας έτσι τον ορισμό νέου σχηματισμού. Μία απλή διαχρονική επαφή δεν είναι πρόβλημα, αλλά εκεί όπου δύο μονάδες δακτυλιώνονται η μία με την άλλη, μπορεί πραγματικά να είναι αδύνατη η σχεδίαση μιας απλής επαφής σχηματισμού. Μία λύση είναι να δώσουμε σε κάθε γλώσσα-δακτύλιο το ίδιο όνομα με το μητρικό σχηματισμό. Η τομή που περνάει διαμέσου της μεταβατικής περιφέρειας μπορεί τότε να δείξει την διαδοχή των δύο σχηματισμών πολλές φορές. Άλλες εναλλακτικές λύσεις είναι να οριστεί το σύνολο των μεταβατικών πετρωμάτων σε περιόδους μιας από τις μητρικές μονάδες, να χωριστούν οι μεταβατικές λιθολογίες σαν χωριστές λιθostrωματογραφικές οντότητες ή να δώσουμε στις χωριστές γλώσσες-δακτυλίου το δικό τους όνομα στρώματος, γλώσσας, δακτυλίου ή μέλους. Δημοσιευμένοι στρωματογραφικοί κώδικες δεν καθορίζουν κάποιο αυστηρό κανόνα για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων (αν και η NASC δίνει μερικές χρήσιμες προτάσεις). Τα κύρια κριτήρια πρέπει να είναι πρακτικά, ευκολόχρηστα και σταθερά-αμετάβλητα. Μία εικόνα της ερμηνείας στρωματογραφικών συσχετισμών στη μορφή μιας τομής ή σκίτσου συνήθως χρησιμοποιείται για να αποσαφηνιστεί κάθε αμφιβολία.

### *1.3.β.2. Η ομάδα.*

Όλες οι άλλες στρωματογραφικές μονάδες βασίζονται πάνω στο σχηματισμό. Η ομάδα αποτελείται από δύο ή περισσότερους σχηματισμούς συνδεδεμένους λιθολογικά. Στο παρελθόν ονομάστηκαν ομάδες και καθιερώθηκαν έτσι από το πάχος και την ποικιλία των διαδοχών χωρίς πρώτα να καθοριστούν οι σχηματισμοί που τους αποτελούσαν. Αυτό δεν προτείνεται πλέον πρακτικά. Οι ομάδες δεν θα πρέπει να περιέχουν κύριες ασυμφωνίες.

Οι σχηματισμοί που βρίσκονται σε μια ομάδα δεν μπορεί να είναι παντού οι ίδιοι. Πλευρικές φασικές αλλαγές που απαιτούν καθορισμό διαφορετικών σχηματισμών μπορούν να εμφανίζονται μέσα σε μια απλή ομάδα. Σε αντιδιαστολή ο σχηματισμός που συμμετέχει στην ομάδα μπορεί να εκτείνεται πλευρικά από μια ομάδα σε άλλη. Ομάδες κανονικά ορίζονται για περιφέρειες. Προς τα περιθώρια της λεκάνης ή προς το κέντρο της λεκάνης ο σχηματισμός που συμμετέχει στην ομάδα μπορεί να χάσει την ατομικότητά του, στη περίπτωση δε αυτή η ομάδα μπορεί να υποβιβαστεί σε σχηματισμό, ενώ ακόμα κρατάει το ίδιο όνομα.

Η ονοματολογία υπερομάδα (supergroup) και υποομάδα (subgroup) κατά περίπτωση χρησιμοποιούνται για να δείξουν μια επιπρόσθετη ιεραρχία της υποδιαίρεσης. Συνήθως, υπάρχουν ιστορικές αιτίες για αυτό. Μερικά από τα υψηλότερα ονόματα κλάσης μπορεί να ξεκίνησαν να

δίνονται σαν μέλη, σχηματισμοί ή ομάδες με επανακατάταξη και προαγωγή που απαιτήθηκε σαν πρόσθετη εργασία για να αποδειχτεί η χρησιμότητα της επιπλέον υποδιαίρεσης.

### *1.3.β.3. Το μέλος.*

Αυτό είναι η επόμενη τάξη μονάδος κάτω από τον σχηματισμό. Δεν είναι απαραίτητο όλοι οι σχηματισμοί να υποδιαιρούνται σε μέλη, και τα τυπικά ονόματα απαιτείται να χρησιμοποιούνται μόνο για μερικά, ένα ή κανένα των συστατικών μελών, εξαρτώμενα από την ευκολία ή το επίπεδο της διαθέσιμης πληροφόρησης.

Δεν υπάρχουν στάνταρ για το πάχος ή την έκταση των μελών και γενικά είναι δύσκολο να αποφασιστεί πότε ορίζεται μια δοσμένη λιθοστρωματογραφική μονάδα σαν μέλος ή σαν σχηματισμός. Ομως η προτεινόμενη πρακτική είναι ότι όλα τα τμήματα μιας διαδοχής πρέπει να υποδιαιρούνται σε σχηματισμούς και έτσι αυτό είναι το καλύτερο επίπεδο για να ξεκινήσει κανείς. Ένα μέλος δεν μπορεί να οριστεί χωρίς την ύπαρξη μητρικού σχηματισμού.

Για τη χαρτογράφηση και για άλλους σκοπούς, είναι εύκολο να καθιερωθούν ανεπίσημες μονάδες, τέτοιες όπως το κατώτερο ψαμμιτικό μέλος, το οποίο δεν απαιτεί τυπικά ονόματα.

### *1.3.β.4. Γλώσσες ή φακοί.*

Αυτά είναι ανάλογα με τα μέλη. Εξαιτίας της δικιάς τους γεωμετρίας, οι ορισμοί είναι χρήσιμοι για τμήματα του σχηματισμού όπου αυτά δακτυλιώνονται το ένα με το άλλο. Τυπικά ονόματα μπορούν να καθιερωθούν για μία, πολλές ή όλες τέτοιου είδους μονάδες, εξαρτώμενα από την ευκολία και την πρακτικότητά τους.

### *1.3.β.5. Στρώμα.*

Αυτό είναι η μικρότερη, τυπική, ονομασμένη μονάδα στην ιεραρχία των λιθοστρωματογραφικών μονάδων. Κανονικά, μόνο μερικά τμήματα της στρωματογραφικής διαδοχής μπορούν να υποδιαιρεθούν σε ονομασθέντα στρώματα. Το κάρβουνο, χαρακτηριστικοί ηφαιστειακοί ορίζοντες τόφων και άλλα καθοδηγητικά στρώματα είναι τυπικά παραδείγματα.

### *1.3.β.6. Επιλογή των ονομάτων.*

Όταν προσπαθείς να καθιερώσεις το όνομα μιας μονάδας είναι σταθερή πρακτική να δίνεται σε αυτή ένα γεωγραφικό όνομα που επιλέγεται για να προτείνει την τοποθεσία ή την υπαίθρια έκταση της μονάδος. Αυτό μπορεί να είναι ένα ποτάμι, μια λίμνη, μια ακτή, ένας λόφος, ένα βουνό, μια πόλη, ένα χωριό, κ.α. Προτιμούνται χαρακτηριστικά ονόματα.

### 1.3.γ. Διαδικασίες χαρτογράφησης και συσχέτισης.

Η λέξη συσχέτιση σημαίνει να καθιερωθεί η αμοιβαία σχέση που υπάρχει ανάμεσα στις στρωματογραφικές μονάδες. Όταν χρησιμοποιείται σε γενικό πλαίσιο των λιθοστρωματογραφικών μονάδων η λέξη αυτή συνεπάγεται ότι υπάρχουν φυσικά συνεχή σώματα πετρωμάτων με περισσότερο ή λιγότερο συνεχή χαρακτήρα, ο οποίος μπορεί να ανιχνεύεται από το ένα τμήμα της λεκάνης στο άλλο. Τέτοιες μονάδες μπορεί να είναι διαχρονικές. Όταν ανόμοιες λιθοστρωματογραφικές μονάδες ζητείται να συσχετισθούν η χρονική συνεκδοχή εξυπακούεται. Αυτό σημαίνει ότι δύο μονάδες μπορεί να σχηματίστηκαν σε διαφορετικά περιβάλλοντα και να περιλαμβάνουν διαφορετικούς λιθολογικούς χαρακτήρες, αλλά μπορεί να ζητηθεί να συσχετισθούν μεταξύ τους γιατί είναι γνωστό ότι σχηματίστηκαν τον ίδιο χρόνο, στη βάση βιοστρωματογραφικών ή άλλων χρονοστρωματογραφικών γεγονότων.

Οι συσχετίσεις που βασίζονται άμεσα πάνω σε λιθοστρωματογραφικά γεγονότα θα πρέπει να εξετάζονται με προσοχή γιατί ανάλογες μονάδες μπορεί να αποτέθηκαν σε διαφορετικό χρόνο και σε διαφορετικές περιοχές και να μην έχουν καμία φυσική σύνδεση η μία με την άλλη. Πολλά λάθη προέκυψαν με αυτόν τον τρόπο όταν οι γεωλόγοι προσπάθησαν να συσχετίσουν τομές ανάμεσα σε μεγάλες αποστάσεις.

Υπάρχουν μόνο τρεις συνθήκες κάτω από τις οποίες πρέπει να επιχειρείται ο λιθοστρωματογραφικός συσχετισμός χωρίς την υποστήριξη των βιοστρωματογραφικών ή χρονοστρωματογραφικών πληροφοριών:

1. Εκεί όπου τα στρώματα μπορούν φυσικά να ανιχνεύονται στο έδαφος.
2. Εκεί όπου υπάρχουν ευδιάκριτοι, εύκολα αναγνωρίσιμοι καθοδηγητικοί ορίζοντες ή εκεί όπου η μελέτη των φάσεων προτείνει σημαντική πλευρική συνέχεια των στρωμάτων.
3. Στο προκάμβριο, όπου μόνο πολύ γενικευμένα χρονοστρωματογραφικά δεδομένα είναι διαθέσιμα (ραδιομετρικά δεδομένα).

#### *1.3.γ.1. Επιφανειακή χαρτογράφηση.*

Σε περιοχές όπου απουσιάζει η κάλυψη από βλάστηση, τέτοιες όπως στα ξηρά ή αρκτικά κλίματα. Οι λιθοστρωματογραφικές μονάδες μπορούν γενικά να ανιχνεύονται σε μια επιφανειακή εμφάνιση στο έδαφος από τον αέρα ή από τις αεροφωτογραφίες. Σε περιοχές με απλό έως ενδιάμεσο δομικό καθεστώς, η φωτογεωλογική αναγνώριση με τη χρήση στερεοσκοπικών αεροφωτογραφικής κάλυψης μπορεί να παράγει προκαταρκτικούς χάρτες από μεγάλες περιοχές πολύ γρήγορα. Στανταρ αεροφωτογραφίες που παίρνονται από ένα υψόμετρο μερικών χιλιάδων μέτρων και τυπώνονται σε κλίμακα περίπου 1cm:1Km είναι οι καλύτερες για αυτό το σκοπό. Οι δορυφορικές απεικονίσεις είναι πολύ μικρής κλίμακας. Οι χάρτες φωτοαναγνώρισης χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν

περιοχές δομικά σύνθετες ή αβέβαιες και επίσης περιοχές όπου η στρωματογραφία εμφανίζεται ιδιαίτερα καλά εκτεθειμένη. Αυτές οι περιοχές στη συνέχεια επισκέπτονται στο έδαφος με σκοπό να επιληφθούν δομικά προβλήματα και να μετρηθούν λεπτομερείς στρωματογραφικές τομές. Χαρακτηριστικές φασικές αλλαγές, τέτοιες όπως ανθρακική-πηλιτική μετάβαση στο χείλος της υφαλοκρηπίδας μπορεί εύκολα να αναγνωρισθεί και επίσης εύκολα να χαρτογραφηθεί. Αυτή είναι η λιθοστρωματογραφική χαρτογράφηση στη καθαρότερή της μορφή.

Όπου υπάρχει αξιοσημείωτη κάλυψη του εδάφους, επιφανειακές αποθέσεις ή βλάστηση, είναι ακόμη πιθανό να πραγματοποιηθούν ανάλογου τύπου χαρτογραφήσεις με την σημείωση των αλλαγών της υφής του εδάφους, χρώματος του χώματος ή του τύπου της βλάστησης ή των λεπτών αλλαγών στο ανάγλυφο αντικατοπτρίζοντας έτσι τη διαφορετική αντίσταση στη διάβρωση των διαφορετικών μονάδων.

Σε περιοχές με πυκνή κάλυψη βλάστησης, παχιές επιφανειακές αποθέσεις, ή σύνθετης δομής, η λεπτομερής επιφανειακή χαρτογράφηση μπορεί να μην είναι δυνατή. Η λιθοστρωματογραφική συσχέτιση τότε γίνεται περίπου με τον ίδιο τρόπο όπως στην υποεπιφανειακή εργασία. Η προσπάθεια είναι να ταιριάξουμε απομονωμένες τομές με οτιδήποτε θεωρείται δυνατό και είναι διαθέσιμο. Τυπικές λιθοστρωματογραφικές μονάδες, τέτοιες όπως σχηματισμοί και ομάδες μπορούν να οριστούν, αλλά θεωρείται δύσκολο να προβληθούν οι ακριβείς κατανομές τους στην επιφάνεια σε ένα γεωλογικό χάρτη επιφάνειας. Αυτή είναι η περίπτωση που τη συναντάει κανείς ευρύτατα σε εύκρατες ή τροπικές περιφέρειες.

Σε περιοχές με σύνθετες φασικές αλλαγές η λεπτομερής εδαφική χαρτογράφηση μπορεί να είναι μια παραγωγική άσκηση για την ανάλυση λεκανών εξαιτίας του γεγονότος η εργασία αυτού του τύπου μπορεί να δώσει αξιοσημείωτα συμπεράσματα για την περιβαλλοντική και παλαιογεωγραφική αναπαράσταση η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλα τμήματα της λεκάνης. Σε αυτό το επίπεδο, η λιθοστρωματογραφική τεκμηρίωση είναι μόνο μια προκαταρκτική εργασία στη κατεύθυνση μελετών και περιγραφών φάσεων όπως αυτές περιγράφονται σε παρακάτω κεφάλαια.

### *1.3.γ.2. Στρωματογραφία γεγονότων (Event stratigraphy)*

Πολλές καθοδηγητικές διαδοχές περιέχουν χαρακτηριστικά στρώματα ή επιφάνειες παραασυμφωνίας με γνωστή χρονοστρωματογραφική ιδιαιτερότητα. Αυτά μπορεί να είναι καθαρά τοπικής κατανομής και σημασίας ή μπορεί να έχουν περιφερειακή ή ακόμη παγκόσμια ιδιαιτερότητα. Η τεκμηρίωση τέτοιων παραστάσεων έγινε γνωστή σαν στρωματογραφία γεγονότων. Όπως περιγράφεται εκτενέστερα σε παρακάτω κεφάλαια η στρωματογραφία γεγονότων πάνω σε ηπειρωτικές και παγκόσμιας κλίμακας εκτάσεις παράγει το σκελετό για μια νέα και δυναμική ερμηνεία της παγκόσμιας εξέλιξης των λεκανών.

Στρώματα τέφρας έχουν αναγνωριστεί και χρησιμοποιήθηκαν σαν χαρακτηριστικά στρώματα στη στρωματογραφία γεγονότων. Τα προβλήματα με αυτή τη μέθοδο προκύπτουν εάν περισσότερα από ένα στρώματα τέφρας είναι παρόντα και τότε απαιτούνται ειδικές εργαστηριακές τεχνικές για να καθορίσουν ευδιάκριτες γεωχημικές και ορυκτολογικές παραστάσεις ή άλλα χαρακτηριστικά κάθε στρώματος τέφρας έτσι ώστε να επιτραπεί η σωστή συσχέτιση (π.χ Westgate 1980).

Πολλές άλλες λιθολογίες μπορεί να είναι βολικές για χρήση σαν στρωματογραφικοί ορίζοντες, αν και όλες δείχνουν ένα ιδιαίτερο βαθμό της διαχρονικότητας και η ιδιαιτερότητά τους σαν χαρακτηριστικοί ορίζοντες του γεωλογικού χρόνου διαφέρουν. Στις ανθρακικές λεκάνες, απότομες αλλαγές στη λιθοφάση μπορεί να εμφανίζονται σαν απάντηση στις αλλαγές του επιπέδου της θάλασσας και αυτές μπορεί να δώσουν καλούς χαρακτηριστικούς ορίζοντες. Βαρυτικές εισροές ιζημάτων είναι σχεδόν ακαριαίες αποθέσεις και επομένως έχουν χρονοστρωματογραφικό δυναμικό και ενδιαφέρον. Το πρόβλημα είναι πως να συσχετίσεις αυτές ακριβώς ανάμεσα στις τομές. Τα σκληρά εδάφη (hardgrounds) είναι επιφάνειες μη απόθεσης ή πολύ χαμηλής ιζηματογένεσης και μπορούν να ανιχνευθούν για πολλά χιλιόμετρα (Bathurst, 1976; Stoakes, 1980). Οι υποθαλάσσιες επιφάνειες μη απόθεσης ή η συμπτυκνωμένη ιζηματογένεση έχουν ερμηνευτεί σαν στρωματογραφικά γεγονότα προτείνοντας γρήγορες περιφερειακές ή παγκόσμιες αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας (Vail κ.α). Ομως όπως σημειώνει ο Miall 1986, υπάρχουν αμφιβολίες σχετικά με την καταλληλότητα της χρήσης τέτοιων στρωμάτων για ενδοηπειρωτική συσχέτιση. Ψαμμίτες από επίκληση, τέτοιοι όπως αυτοί που εμφανίζονται πάνω από μια ασυμφωνία ή στο απονεκρωμένο πρόσωπο ενός δέλτα (Elliot, 1978) μπορεί να είναι μεγάλης εξάπλωσης, σχετικά λεπτές, γλαυκονιτικές, εμπλουτισμένες σε χαλαζία μονάδες εύκολα αναγνωρίσιμες στην ιζηματογενή καταγραφή. Ομως αυτά μπορεί να είναι αξιοσημείωτα διαχρονικά. Οι Hallam και Bradshaw 1979 αναφέρονται στην ιζηματογενή-τεκτονική ερμηνεία των μαύρων πηλιτών και ωολιθικών σιδηριτών και της στρωματογραφικής τους ιδιαιτερότητας. Πολλοί άλλοι τύποι στρωματογραφικών γεγονότων έχουν περιγραφεί από τους Einsele και Seilacher 1982, τέτοιες όπως αποθέσεις καταγίδων, κυκλικοί ασβεστόλιθοι-σχιστόλιθοι ρυθμίτες και τουρβιδίτες.

Ο Schultz 1982 απέδειξε ότι όπου ένα σώμα πετρώματος οριοθετείται από χαρακτηριστικά στρώματα ή από καλά καθορισμένους βιοστρωματογραφικούς ορίζοντες έχει τοπική χρονοστρωματογραφική ιδιαιτερότητα. Αυτός πρότεινε τον όρο χρονόσωμα (chronosoma) για τέτοιες μονάδες και πρότεινε ότι ο ορισμός και η ονοματολογία των ανεξαρτήτων χρονοσωμάτων θα έχει αξιοσημείωτο ενδιαφέρον για την εργασία της ανάλυσης λεκανών. Ένα χρονόσωμα ξεχωρίζει από τον σχηματισμό στο ότι μπορεί να περιέχει πλευρικές λιθολογικές αλλαγές και ότι οριοθετείται από χρονικά επίπεδα. Αυτό επομένως ορίζει ένα απλό επεισόδιο ή μια περίοδο της απόθεσης.

Μια σημαντική περιγραφή, στα τελευταία χρόνια, εστιάζει στα ποικίλα προφανή θεαματικά γεγονότα στην ιστορία της γης, ιδιαίτερα τις διάφορες ξαφνικές πανιδικές εξαφανίσεις οι οποίες θεωρούνται να έχουν γίνει κατά τη διάρκεια του φανεροζωικού. Αυτά δεν είναι μόνο θεαματικά στρωματογραφικά γεγονότα, πολλά απ'τα οποία εμφανίζονται να γίνονται στο όριο Κρητιδικού-Τριαδικού, αλλά η ερμηνεία τους έχει μεγάλη σπουδαιότητα για τον τρόπο που εμείς παρατηρούμε γενικά την ιστορία της γης. Η στρωματογραφική συσχέτιση και αναπαράσταση, η εξέλιξη των φάσεων και η παλαιογεωγραφική σύνθεση εξαρτάται από την δική τους αλήθεια στην κατάλληλη σύγκριση ανάμεσα σε σύγχρονες ακολουθίες. Όπως απέδειξε ο Ager 1973, η στρωματογραφική καταγραφή είναι γενικά " περισσότερα κενά παρά καταγραφές " σε πολλές περιπτώσεις, μπορεί να προκαταλαμβάνονται από την παρουσίαση των παραγομένων σπάνιων γεγονότων, με μακριές, ενδιάμεσες περιόδους του χρόνου που δεν εμφανίστηκε.

### *1.3.γ.3. Ταίριασμα-συναρμολόγηση τομής (section matching).*

Οι συσχετίσεις δεν μπορούν να περπατηθούν ή να χαρτογραφηθούν κάτω από την επιφάνεια της γης και η λιθοστρωματογραφική εργασία εξαρτάται από την παρουσία διακριτών μονάδων στις καταγραφές των γεωτρήσεων ή των πυρήνων οι οποίες μπορούν να αναγνωριστούν και να ανιχνευτούν από μια τομή στη διπλανή της. Οι καλύτερες συσχετίσεις είναι αυτές που βασίζονται πάνω σε μεγάλης έκτασης χαρακτηριστικών στρωμάτων ή άλλων γεγονότων όπως αναφέρθηκε προηγούμενα εξαιτίας της χρονοστρωματογραφικής τους αξίας. Με ή χωρίς αυτά οι γεωλόγοι πρέπει να αναπτύξουν οπτικές ικανότητες στην αναγνώριση των μορφών, τοποθετώντας γραφικές λιθοστρωματογραφικές καταγραφές ή πετροφυσικές καταγραφές τη μία δίπλα στην άλλη και συγκρίνοντας όλες τις υπάρχουσες διαφορετικές ιδιότητες, κρίνοντας ποιές συσχετίσεις επιτρέπουν την καλύτερη προσαρμογή. Οι γεωφυσικές καταγραφές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για το σκοπό αυτό. Όμως χωρίς χρονοστρωματογραφικούς χαρακτηριστικούς ορίζοντες, οι γεωλόγοι πρέπει πάντα να κάνουν το ταίριασμα και την συναρμολόγηση-προσαρμογή από την πιθανότητα του διαχρονισμού και της πλευρικής φασικής αλλαγής. Ανάλογες διαδικασίες συσχέτισης μπορεί να είναι απαραίτητες για την επιφανειακή εργασία, αν και εδώ η δουλειά τείνει να είναι κάπως ευκολότερη εξαιτίας του μεγαλύτερου εύρους των λιθοστρωματογραφικών παραμέτρων οι οποίοι μπορούν να εξετασθούν σε τομές.

Ακόμη και η πιο λεπτομερής βιοστρωματογραφική διάρθρωση-ζώνωση είναι συνήθως μικρής ισχύος για το επίπεδο εκείνο της συσχέτισης που απαιτείται στη κλίμακα των διατρήσεων με διαμάντι (ddh) για μια ορυκτολογική εργασία ή εξερεύνηση από πετρελαϊκή άποψη. Η τέχνη του ταιριάσματος-προσαρμογής μιας τομής είναι επομένως πολύ μεγάλης αξίας για τον εξερευνητή.

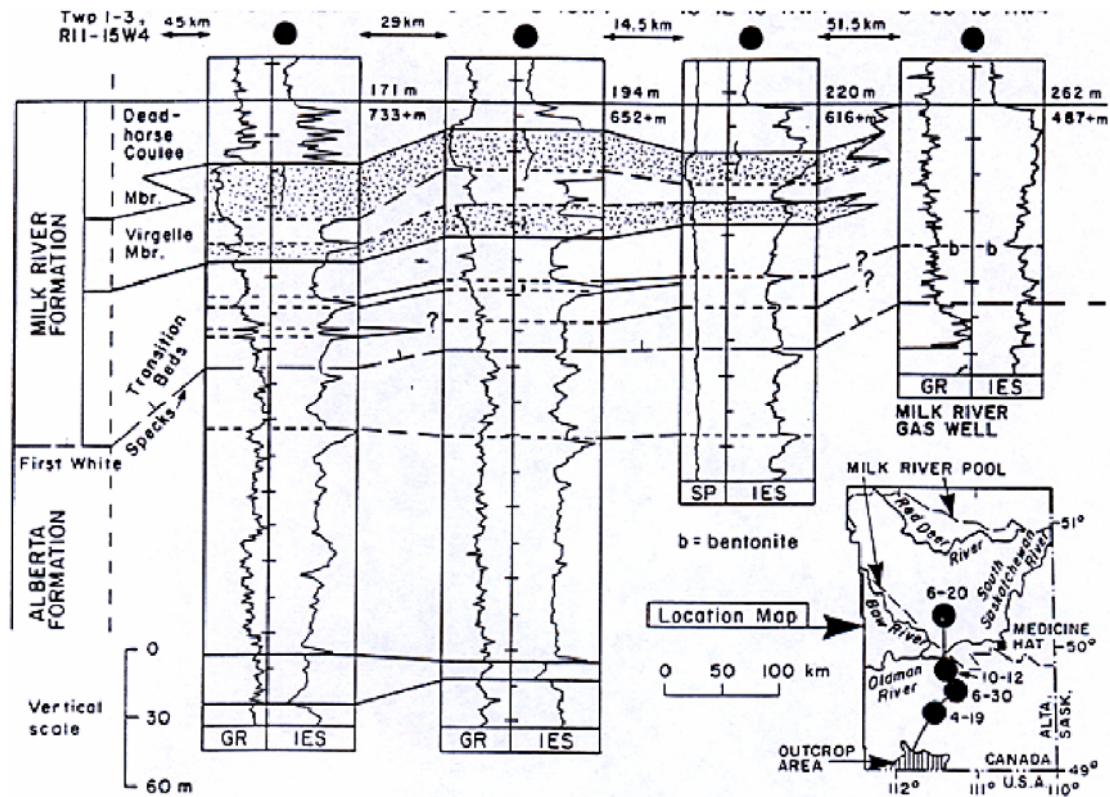
Με την ευκολία με την οποία οι λιθοστρωματογραφικές συσχετίσεις μπορούν να εκτελούνται στο επίπεδο της κλίμακας του μέλους ή ακόμη μικρότερης, οι στρωματογραφικές ακολουθίες ποικίλουν σημαντικά. Σε πολλά περιβάλλοντα απόθεσης, οι φασικές αλλαγές είναι πολυάριθμες, και χωρίς χαρακτηριστικά στρώματα η προσαρμογή της τομής θεωρείται αδύνατη. Αυτό συμβαίνει με τις ποτάμιες και τις δελταικές αποθέσεις και τα ιζήματα των περισσότερων άλλων παράκτιων κλαστικών και ανθρακικών περιβαλλόντων. Οι αποθέσεις υποθαλασσίων ριπιδίων δείχνουν επίσης σημαντικές φασικές διαφορές. Τα περιβάλλοντα τα οποία αναπτύσσονται σε αλληλουχίες με πιο μεγάλες πλευρικές αναπτύξεις περιλαμβάνουν λίμνες, χαμηλής ενέργειας ανθρακικές και εβαποριτικές υφαλοκρηπίδες, μερικά κλαστικά και ανθρακικά (sabkha) παλλιροικά επίπεδα, και βαθιά ωκεάνεια αβυσσαλέα πεδία ή τάφρων αποθέσεις. Σε μερικές από αυτές τις περιπτώσεις πρακτικά κάθε ιζηματογενής μονάδα είναι ένα χαρακτηριστικό στρώμα.

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για να χρησιμοποιηθούν στατιστικές τεχνικές για λιθοστρωματογραφική συσχέτιση. Μέθοδοι τέτοιοι όπως Fourier ανάλυση έχουν χρησιμοποιηθεί για να χαρακτηρίσουν την κυκλικότητα των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων σε μια διαδοχή, τέτοιων όπως πετρογραφική ποικιλομορφία ή διάφορες πετροφυσικές ιδιότητες (π.χ Preston και Henderson, 1964). Διάφορες τεχνικές μορφών-προσαρμογών έχουν χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί η καλύτερη προσαρμογή ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες τομές (π.χ Davies και Ludlum, 1973; Smith και Waterman, 1980). Ομως αυτή η προσέγγιση δεν προτείνεται από τον Miall 1988, για τους ακόλουθους λόγους. Στις περιπτώσεις, τέτοιες όπως των τουρβιδιτικών και εβαποριτικών παραδειγμάτων που αναφέρθηκαν προηγούμενα, η συσχέτιση είναι αρκετά εμφανής έτσι ώστε να μπορεί να γίνει με το χέρι. Εκεί όπου η συσχέτιση δεν είναι εμφανής οι στατιστικές τεχνικές δεν είναι τέτοιες που να βοηθούν, γιατί οι αριθμητικοί επιδέξιοι χειρισμοί δεν μπορούν εύκολα να προσαρμόσουν τα πάχη και τις φασικές αλλαγές. Αυτές είναι καλύτερα να χτίζονται με την εφαρμογή των αρχών της ιζηματολογίας.

Η λιθοστρωματογραφική συσχέτιση στο επίπεδο του σχηματισμού και του μέλους είναι συνηθισμένη στις επιφανειακές και υποεπιφανειακές εργασίες. Η εικόνα 1 εικονογραφεί τη χρήση των γεωφυσικών καταγραφομένων σημάτων για τη συσχέτιση τομών γεωτρήσεων. Οι γεωλόγοι δεν χρειάζεται να γνωρίζουν πολλά σχετικά με τις πραγματικές λιθολογίες που κόβονται στη διάρκεια μιας γεώτρησης για να κάνουν τέτοιες συσχετίσεις ούτε είναι απαραίτητο να ερμηνεύσουν τις πραγματικές τιμές των καταγραφών διάθλασης. Τα καμπύλα σχήματα είναι επαρκώς χαρακτηριστικά για να επιτρέψουν χαρακτηριστικές, πραγματικές, τυπικές συσχετίσεις έως ότου μια φάση μεταβάλει τη μορφή της.

Συμπερασματικά αξίζει να ξαναειπωθεί ότι η καλύτερη λιθοστρωματογραφική υποδιαίρεση και συσχέτιση βασίζεται στην κατανόηση των αποθετικών συστημάτων μέσα από τα οποία

σχηματίζονται τα πετρώματα. Η λιθostrωματογραφία είναι μια περιγραφική, εμπειρική επιστήμη αλλά οι συσχετίσεις μπορούν να γίνουν πιο περιεκτικές και πιο αληθοφανείς εάν στηθούν-κατασκευασθούν με τη χρήση γενετικών και ιζηματολογικών αρχών.



Εικόνα 1: Το διάγραμμα αυτό δείχνει ότι όπου οι λιθostrωματογραφικές μονάδες έχουν ανάλογο πάχος και λιθολογία μπορούν εύκολα να συσχετισθούν χρησιμοποιώντας γεωφυσικές καταγραφές (Myhr & Meijer-Drees, 1976).

#### 1.4. Βιοστρωματογραφία.

Η βιοστρωματογραφία είναι η μελέτη της σχετικής συμφωνίας των στρωμάτων βασισμένη στα περιεχόμενά τους απολιθώματα. Η περιγραφική ή εμπειρική βιοστρωματογραφία χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία ζωνών στη τοπική ή περιφερειακή στρωματογραφική συσχέτιση και σχηματίζει τη βάση για ένα παγκόσμιο σύστημα χρονοστρωματογραφικής υποδιαίρεσης.

Η περιεκτικότητα σε απολιθώματα ποικίλει διαμέσου μιας στρωματογραφικής διαδοχής για δύο κύριους λόγους:

Εξελικτικές αλλαγές και οικολογικές διαφοροποιήσεις, τέτοιες όπως αλλαγές στο κλίμα ή στο περιβάλλον απόθεσης. Η βιοστρωματογραφία θα πρέπει να βασίζεται μόνο σε εξελικτικές αλλαγές, αλλά είναι συνήθως δύσκολο να διακριθούν οι αλλαγές αυτές από τις αλλαγές οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε μια βιοστρωματογραφική ακολουθία σαν αποτέλεσμα της οικολογικής τροποποίησης και αυτό το πρόβλημα είναι η αιτία της συνεχούς διαμάχης για πολλές ομάδες απολιθωμάτων.



Είναι φανερό ότι η βιοστρωματογραφία μπορεί να μελετηθεί καθώς επίσης και να γίνει μία ταξινόμηση εκεί όπου τα απολιθώματα είναι παρόντα. Αυτοί οι κανόνες δεν ισχύουν για το Προκάμβριο, αν και μερικές χρήσεις έχουν γίνει για τους συσχετισμούς των στρωματολίθων, ιδιαίτερα από τους Ρώσους γεωλόγους. Ακόμη και στο Φανεροζωικό, υπάρχουν πολλές ομάδες πετρωμάτων για τις οποίες η καταγραφή των απολιθωμάτων είναι πολύ αραιή και η βιοστρωματογραφική υποδιαίρεση είναι αντίστοιχα χοντρική. Αυτή είναι η ιδιαίτερη αιτία που ισχύουν τα παραπάνω για τα μη θαλάσσια στρώματα ή αυτά (ιδιαίτερα ανθρακικά) στα οποία τα υπολείματα των απολιθωμάτων έχουν καταστραφεί από τη διαγένεση.

Εξειδικευμένη βιοστρωματογραφική εργασία απαιτεί μεγάλο χρόνο τόσο υπαίθρου όσο και εργαστηριακού. Οι τομές οι οποίες ο ιζηματολόγος μπορεί να απορρίψει σαν μικρής περιεκτικότητας απολιθωμάτων μπορεί να αποδώσει εκατοντάδες ή ακόμη χιλιάδες δειγμάτων απολιθωμάτων γ'αυτόν που προσεκτικά τα συγκεντρώνει. Η εργαστηριακή απόσπαση των απολιθωμάτων ή των παλινομορφών μπορεί να αποδώσει ανάλογα νούμερα. Είναι αυτό το είδος της δουλειάς το οποίο είναι απαραίτητο για νέες βελτιωμένες βιοστρωματογραφικές εργασίες. Τα περισσότερα από τα υποβληθέντα υλικά, ιδιαίτερα αυτά από τις περιφερειακές ερευνητικές γεωτρήσεις μπορούν από μόνα τους να δημιουργήσουν τη βάση για μια νέα διάταξη των βιοστρωματογραφικών ζωνών.

Οι αναλυτές λεκανών θα πρέπει να καταλάβουν τί υλικά παίρνουν όταν τα υποβάλουν σ'έναν ειδικό για αναγνώριση. Γενικά, όλοι ενδιαφέρονται για την ηλικία του περιέχοντος πετρώματος, πληροφορίες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό της συσχέτισης. Η ηλικία είναι μια χρονοστρωματογραφική ερμηνεία βασισμένη στις ταξονομικές περιγραφές, αλλά γενικά υπάρχουν προβλήματα για την αναγνώριση και ερμηνεία των απολιθωμάτων, ιδιαίτερα εκεί όπου η καταγραφή των απολιθωμάτων είναι αραιή ή το υλικό είναι από μια νέα φτωχά μελετημένη περιοχή. Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου επομένως είναι να μελετηθούν από τα προβλήματα της βιοστρωματογραφικής καταγραφής.

#### 1.4.α. Η φύση της βιοστρωματογραφικής καταγραφής.

##### *1.4.α.1. Βιοστρωματογραφία και εξέλιξη.*

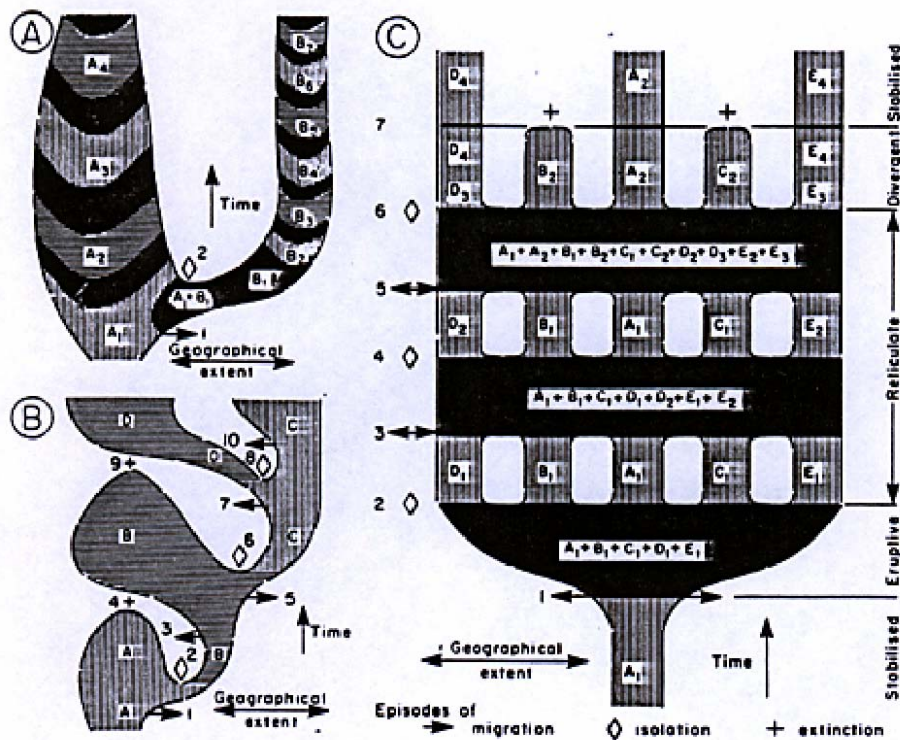
Η βιοστρωματογραφία είναι βασικά μια εμπειρική περιγραφική επιστήμη. Η βιοστρωματογραφική υποδιαίρεση και συσχέτιση είναι βασισμένη στις βαθμιαίες αλλαγές διαμέσου του χρόνου της πανίδας και της χλωρίδας. Τέτοιες αλλαγές αντικατοπτρίζουν εξέλιξη, αλλά δεν είναι απαραίτητο να γίνει κατανοητή η εξελικτική ανάπτυξη μιας ομάδας ζώων με σκοπό τη χρήση της πανιδικής πληροφόρησης, αν και δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την οικογενειακή συγγένεια αυτών των χαρακτηριστικών με σκοπό να κάνουμε χρήση της χρονολογίας. Χρήσιμες πρόσφατες περιγραφές της εξέλιξης έχουν δοθεί από τους Eldridge και Gould 1977, Fahraeus 1986.

Οι βιολόγοι και οι παλαιοντολόγοι έχουν περιγράψει τρεις τύπους εξελικτικών σχεδίων-μορφών. Παραμένει όμως η διαμάχη για το σχετικό ενδιαφέρον των τριών αυτών σχεδίων, αλλά φαίνεται να υπάρχει μικρή αμφιβολία ότι και οι τρεις αυτοί υπάρχουν στη φύση, επειδή καλά τεκμηριωμένα παραδείγματα μπορούν να παρατεθούν για να αποδείξουν το καθένα.

Το πρώτο ονομάζεται φυλετική διαβάθμιση και ονομάστηκε έτσι από τους Eldridge και Gould το 1972. Αναφέρεται στην μακρά περίοδο εξελικτικών αλλαγών, τυπικά σε σχέση με το γεωγραφικό, κλιματικό ή άλλων περιβαλλοντικών πιέσεων. Χαρακτηριστικές διαφορές στα είδη μπορούν να ευνοούνται από αυτές τις αλλαγές, έτσι ώστε να υπάρχει μια βαθμιαία προσαρμογή στα αποθέματα έως ότου να εμφανιστούν νέα ξεχωριστά είδη. Οι Eldridge και Gould 1977, αμφισβητούν τη πραγματικότητα αυτής της διαδικασίας. Υποστηρίζουν ότι οι ομάδες των πληθυσμών είναι γενετικά συγκρίσιμες και ότι οι αλλαγές λαμβάνουν χώρα στα περιθώρια του κύκλου των ειδών όπου οι οικολογικές πιέσεις είναι πιο έντονες. Ακολουθώντας αυτή την εικόνα τα περισσότερα είναι σταθερά στο μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου και η ελπίδα των παλαιοντολόγων να είναι ικανοί για τη συνεχή βελτίωση των βιοστρωματογραφικών υποδιαίρεσεων με τη τελειοποίηση των γνώσεών μας πάνω στις εξελικτικές καταγωγές τους είναι απίθανο να γίνει αντιληπτή. Αυτοί προτείνουν ότι μιας διεύθυνσης περιβαλλοντικές αλλαγές σπάνια είναι συνεχείς για αρκετό χρονικό διάστημα για να εξαναγκάσουν μια εξέλιξη και για αυτό παραθέτουν πολλά παραδείγματα από υποθετικές καταγωγές οι οποίες τώρα έχουν αμφισβητηθεί. Για παράδειγμα η περίφημη περιέλιξη του μαλακίου *Gryphaea* διαμέσου του Ιουρασικού. Ο Trueman 1922, απαίτησε ότι το μέγεθος του οστράκου, το πάχος και ο βαθμός της περιέλιξης μπορούν να συνδεθούν με τη θέση πάνω στην εξελικτική καταγωγή και από εδώ και πέρα και η ηλικία με μια σημαντικά μαθηματική ακρίβεια. Επόμενες εργασίες (Hallam, 1959; Burnaby, 1965 και Gould, 1972) έδειξαν ότι οι περιελίξεις και άλλες αλλαγές τελικά συνδέονταν με οικολογικούς (περιβαλλοντικούς) παράγοντες και ότι ανάλογη συμπεριφορά περιελίξεων επανεμφανίζεται εκεί όπου το ευνοούν οι συνθήκες. Η καταγωγή κατά Trueman και η χρονολογία που προέκυψε από αυτήν μετατράπηκαν βασιζόμενες στις αιτίες των κύκλων.

Δύο τύποι από περιβαλλοντική προσαρμογή μπορούν να εμφανιστούν και οι οποίοι μπορούν να συνοδεύονται από σταθερή γενετική αλλαγή και η οποία μπορεί, σε μερική έκταση (ποτέ ακριβή) να αντιστρέφει τον εαυτό του επαναδημιουργώντας την ίδια ποικιλία ή γένος ενός είδους περισσότερο από τη μία φορά. Αυτό συμβαίνει κάθε φορά όπου επαναλαμβάνονται οι ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες (ομοιομορφία). Καθαρότερα, ο πρώτος τύπος είναι ο μόνος που χρησιμοποιείται από τους βιοστρωματογράφους, αλλά η βιβλιογραφία είναι κορεσμένη με αμφίβολες βιοστρωματογραφικές περιγραφές οι οποίες μπορεί λανθασμένα να βασίζονται σε διαχρονικές περιβαλλοντικές αλλαγές. Για παράδειγμα, αυτό έχει γίνει ένα σοβαρό πρόβλημα με τους αμμωνίτες (Kennedy και Cobban, 1977), ενός από τους κύριους βιοστρωματογραφικούς δείκτες.

Ο δεύτερος τρόπος της εξέλιξης ονομάστηκε διακοπτόμενη ισορροπία (punctuated equilibrium) από τους Eldridge και Gould 1977. Η έννοια αυτή βασίστηκε στη πρόταση ότι σε ένα πετυχημένο, πλατιά κατανεμημένο γένος, ο πληθυσμός είναι γενετικά συντηρητικός. Η εξέλιξη είναι αυτή που εμφανίζεται μόνο όπου υπερβολικές παραλλαγές συγκεντρώνονται από τις περιβαλλοντικές πιέσεις του κύκλου των ειδών. Παρά του ότι μια βαθμιαία προσαρμογή σε μια οικολογική γωνιά ή μιας διεύρυνσης του κύκλου των ειδών με την αργή εξάπλωση μέσα σε λεπτές διαφορετικές θέσεις, σαν σε φυλετική διαβάθμιση, η υπόθεση της διακοπτόμενης ισορροπίας προτείνει την σπασμοδική εμφάνιση εκρήξεων μιας σχετικής γρήγορης περιβαλλοντικής αλλαγής. Οι έντονες παραλλαγές σε ένα είδος μπορούν μόνο να αναπτύσσονται μέσα σε νέα είδη εάν αυτά απομονωθούν από αλλαγές στο περιβάλλον, στο κλίμα ή στη γεωγραφία, καθώς και μέσα από το άνοιγμα και κλείσιμο μακριά από την ηπειρωτική πλατφόρμα. Οι διαφορές ανάμεσα στις δύο έννοιες της εξέλιξης εικονογραφούνται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2: Τρία μοντέλα της εξέλιξης (Sylvester-Bradley, 1977).

Η Sylvester-Bradley (1977) πρότεινε ένα τρίτο τρόπο εξέλιξης ο οποίος ονομάστηκε δικτυωτή τυποποίηση (reticulate speciation). Αυτός συνδέει, σε μικρή κλίμακα, τους μηχανισμούς των δύο άλλων εξελικτικών τρόπων. Η Sylvester-Bradley πρόσφερε το μοντέρνο κοινό αρουραίο σαν ένα παράδειγμα ενός γένους (taxon) το οποίο αναπτύχθηκε με αυτό το τρόπο. Ο αρουραίος κατανεμήθηκε ουσιαστικά παγκόσμια και έχει πολυάριθμες ποικιλίες αντικατοπτρίζοντας έτσι

την προσαρμογή του στις τοπικές ποικιλομορφίες του κλίματος, βλάστησης, υψομέτρου, απομόνωσης σε ένα νησί, κ.α. Αυτές οι διαφορές έγιναν σε αντίδραση στις γρήγορες παγκόσμιες αλλαγές που ακολούθησαν την πλειστοκαινική παγετώδη ηλικία και καθόρισαν την ταχύτητα με την οποία γεωγραφικές και οικολογικές αλλαγές μπορούν να προκύψουν σχετικά με την εξέλιξη. Η φαινομενική σταθερότητα των ειδών από πολλές ταξινομικές ομάδες για πολλά εκατομύρια χρόνια ή περισσότερο, σε χρόνους κατά τη διάρκεια του γεωλογικού παρελθόντος, συγκρίνεται με τη γρήγορη ικανότητα προσαρμογής του καινούργιου αρουραίου. Όμως για να αναγνωριστεί αυτός ο τρόπος της εξέλιξης φαίνεται να απαιτείται μια απέραντη τράπεζα από λεπτομερή περιγραφικά δεδομένα και επομένως είναι πολύ περισσότερο αντικείμενο μελέτης για ειδικούς.

#### *1.4.α.2. Βιοστρωματογραφία και βιογεωγραφία.*

Η βιογεωγραφία είναι η μελέτη της γεωγραφικής κατανομής των γενών (taxa), αντικατοπτρίζοντας τον περιορισμό των κύκλων που οφείλονται σε οικολογικές διαφορές και την γεωγραφική απομόνωση των πληθυσμών. Δύο θέματα περιλαμβάνονται κάτω από αυτή την κατεύθυνση, οι φασικοί έλεγχοι της πανίδας και χλωρίδας και το πρόβλημα των πανιδικών και χλωριδικών επαρχιών.

Μερικά γένη προσαρμόζονται σε ένα βενθονικό τρόπο ζωής και άλλες σε ένα νεκτονικό (nectonic) ή πλανκτονικό. Ιδανικά, οι νεκτονικές ή πλανκτονικές μορφές είναι περισσότερο προτιμότερες για τους βιοστρωματογραφικούς σκοπούς εξαιτίας της πιθανότητάς τους που είναι περισσότερο πλατιά κατανεμημένες και επομένως πρακτικά πιο χρήσιμες. Οι βενθονικές μορφές τείνουν να είναι περισσότερο αλληλένδετες των φάσεων εξαιτίας του ότι χρειάζονται πιο ιδιαίτερες συνθήκες του νερού ή των τύπων του ιζήματος για την δική τους συμπεριφορά τοποθέτησης και διαμονής. Όμως στη πράξη οι βενθονικές μορφές χρησιμοποιούνται πλατιά από τους ειδικούς βιοστρωματογράφους. Ακόμη και τέτοιες στατικές μορφές όπως τα κοράλια, τα μαλάκια που ανοίγουν τρύπες ή τα αγκυροβολημένα βραχυπόδα βρέθηκαν να είναι πολύτιμα για τη ζώνωση των αποθέσεων στις ηπειρωτικές υφαλοκρηπίδες. Στη πράξη φανερά κάθε ταξινομική ομάδα έχει κάποια βιοστρωματογραφική χρησιμότητα, αν και σημαντικά προβλήματα μπορούν να προκύψουν στη προσπάθεια για καθορισμό συσχέτισης ανάμεσα στις διάφορες πανίδες των φασικών ορίων, εκτός και αν οι περιβαλλοντικές διακυμάνσεις αιτιολογούν λιθοφάσεις διαφορετικών τύπων με την συνοδευόμενη χλωρίδα ή πανίδα να εναλλάσσεται. Εκεί όπου είναι καλά εκπεφρασμένες, τέτοιες ανακατεμένες ακολουθίες, είναι μεγάλης ισχύος στον καθορισμό ενός παγκόσμιου χρονοστρωματογραφικού δικτύου όπως περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Κλασικά παραδείγματα φασικών ορίων πανίδας που χρησιμοποιούνται πλατιά από τους βιοστρωματογράφους είναι η πανίδα οστρακοδών και γραπτολίθων του κατωτέρου Παλαιozoϊκού. Η

πανίδα οστρακοδών πράγματι περιλαμβάνει δύο επιπλέον ή λιγότερες διακριτές υποπανίδες, μία στο εσωτερικό, ρηχότερη υφαλοκρηπίδα όπου επικρατούν βραχυπόδα και η άλλη στην εξωτερική υφαλοκρηπίδα χαρακτηριζόμενη από τριλοβίτες. Η γραπτολιθική πανίδα περιορίζεται κύρια σε χαμηλής ενέργειας αποθέσεις στην ηπειρωτική καταφέρεια και στο αβυσσαλαίο πεδίο (Berry, 1977).

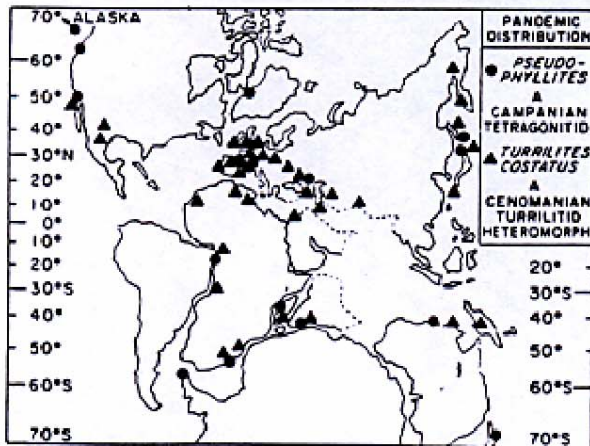
Μερικά γένη έχουν φανερά παγκόσμια εξάπλωση ή πανδημική (pandemic) κατανομή. Δύο παραδείγματα φαίνονται στην εικόνα 3 τοποθετημένα σε μια αναπαράσταση της τεκτονικής των πλακών για το μέσο Κρητιδικό. Αυτές και οι διαδοχικές επεξηγήσεις είναι παραδείγματα των διαγραμμάτων που σημειώνονται με κουκίδες αλλά η προσεκτική σύγκριση ανάμεσα σε αυτά αποκαλύπτει μερικές πραγματικές διαφορές στη κατανομή. Σημειώνεται ότι στην εικόνα 3 τα δύο γένη καταγράφηκαν σε κάθε ήπειρο εκτός της Ανταρκτικής (αραιά δεδομένα) και της Νοτίου Αμερικής. Καμμία εμφανής γεωγραφική απομόνωση ή εγκάρσιος έλεγχος δεν φαίνεται πιθανός. Τα πανδημικά γένη φαίνεται να προσφέρουν τη καλύτερη πιθανότητα για τη παγκόσμια συσχέτιση.

Μερικοί αμμωνίτες έχουν περιορισμό γεωγραφικού μήκους (latitudinally restricted) στην κατανομή, δείχνοντας έτσι τη προτίμησή τους για νερά με χαρακτηριστική θερμοκρασία ή αλμυρότητα και την ανεκτικότητα τους στις εποχιακές διακυμάνσεις (εικόνα 4).

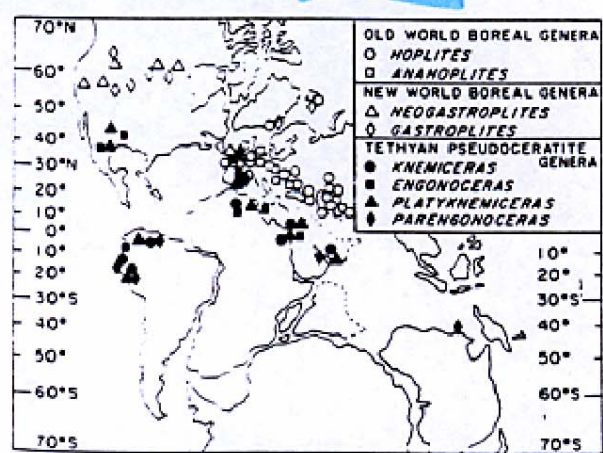
Οι περιορισμοί του γεωγραφικού μήκους στη κατανομή, τέτοιοι όπως η παρουσία από μάζες ξηράς ή μεγάλων ωκεανείων λεκανών είναι η αιτία πρόσθετου επαρχιωτισμού. Αυτά προστέθηκαν στις απομονώσεις γεωγραφικού μήκους στη κατεύθυνση δημιουργίας ενός τρίτου τύπου πανιδικής επαρχίας: ενδημικής κατανομής (endemic). Σημειώνεται ότι στην εικόνα 4 τα γένη της Τηθύος δεν δείχνουν απομόνωση σε γεωγραφικό μήκος, ενώ τα τέσσερα γένη Boreal είναι τυπικές ενδημικές τάξεις, απομονωμένες είτε στην Ευρασία ή στη Βόρειο Αμερική. Οι ενδημικοί αμμωνίτες έχουν δείξει να έχουν αναπτυχθεί γρήγορα και αυτό είναι κύριου βιοστρωματογραφικού ενδιαφέροντος αν και ο επαρχιωτισμός τους εμπόδισε την ενδοηπειρωτική συσχέτιση.

Οι κατανομές διάζευξης (disjunct) είναι αυτές των διασκορπισμένων αλλά ωστόσο πλατιά κατανεμημένων γενών, τρία παραδείγματα από τα οποία φαίνονται στην εικόνα 5. Οι κατανομές δεν είναι για να δείξουν τα ανεπαρκή δεδομένα ή διάφορους φασικούς ελέγχους, αλλά προφανώς δείχνουν πολύ χαμηλής πυκνότητας πληθυσμούς.

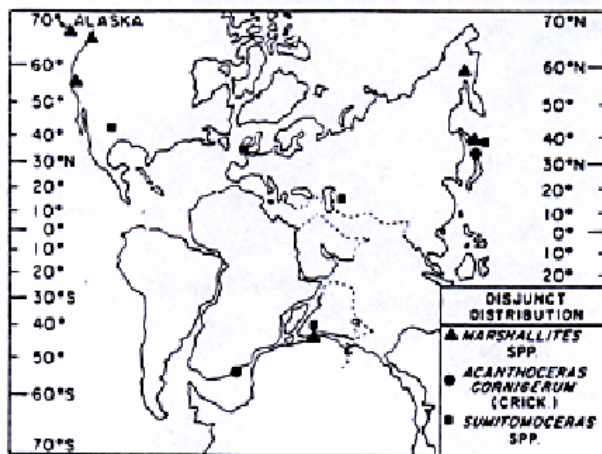
Όπως σημειώθηκε μερικές τάξεις αμμωνιτών μπορούν να κινούνται από ωκεάνεια ρεύματα μετά το θάνατό τους. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπου μία ενδημική μορφή αναπτύσσεται, τέτοιες κατανομές κίνησης ή νεκρωτικές (necrotic) μπορούν να αποδειχτούν πολύτιμες για μακράς διάρκειας συσχετίσεις (εικόνα 6).



Εικόνα 3: Παράδειγμα πανδημικής κατανομής του αμωνίτη (Smith et al.1973; Kennedy & Cobban, 1977)



Εικόνα 4: Παράδειγμα από εγκάρσιο περιορισμό και ενδημική κατανομή (Kennedy & Cobban, 1977).



Εικόνα 5: Παραδείγματα από κατανομές διάξευξης (Kennedy & Cobban, 1977)



Εικόνα 6: Παράδειγμα από νεκρωτική κατανομή (Kennedy & Cobban, 1977).

#### 1.4.α.3. Ζωή, θάνατος και επαναδουλεμένες συναθρήσεις.

Όταν τα απολιθώματα χρησιμοποιούνται σαν στρωματογραφικοί δείκτες, υποτίθεται εάν δεν μελετήθηκαν και καθορίστηκαν με σαφήνεια, ότι αυτά αντιστοιχούν στην ίδια χρονική περίοδο με αυτόν του πετρώματος στο οποίο εμφανίζονται. Μερικά κροκαλοπαγή περιέχουν απολιθώματα σαν κλάσματα υποδηλώνοντας μια δραματικά διαφορετική ηλικία. Για παράδειγμα ο Miall (1988) βρήκε κοράλια του Περμίου σαν κροκάλες μέσα σε ψαμμίτη του κατώτερου Κρητιδικού και απολιθώματα του Σιλουρίου μέσα σε βράχους ασβεστολιθικούς στα παρακροκαλοπαγή του Παλαιοκαίνου. Όμως αυτά είναι εμφανή παραδείγματα και εύκολα αναγνωρίζονται. Όταν και όπου η προτεινόμενη ηλικία

δεν είναι τόσο διαφορετική ο βιοστρωματογράφος πρέπει να φυλάγεται από τη χρήση τέτοιων επαναεπεξεργασμένων υλικών.

Εάν αρκετά δείγματα μπορούν να συγκεντρωθούν ή να μετρηθούν σε διάφορες σχέσεις, η κοκκομετρική τους κατανομή μπορεί να προτείνει πότε ένας πληθυσμός είναι μια ζωντανή συνάθρηση (βιοσυνένωση), ή έχει επαναεπεξεργαστεί σε μια πεθαμένη συνάθρηση (θανατοσυνένωση). Ο Boucot 1953, υποστήριξε ότι πολλά θαλάσσια ασπόνδυλα έχουν υψηλή αναπαραγωγή και μεγάλους ρυθμούς θανάτων. Αυτό προκύπτει σε ένα διάγραμμα κατανομής της λοξότητας του μεγέθους με πολύ μεγάλα νούμερα από μικροσκοπικές και νεανικές μορφές, ένα ενδιαμέσο αριθμό από ενήλικες και ένα πολύ μικρότερο αριθμό από μεγάλα, γεροντικά άτομα. Στα αρχικά στάδια οι οργανισμοί μπορεί να μην αναπτύξουν σκληρά τμήματα ικανά να διατηρηθούν αλλά ωστόσο μια βιοσυνένωση απολιθωμάτων αναμένεται να δείχνει μια λοξώδη καμπύλη κατανομής. Η δράση των κυμάτων και ρευμάτων διαβάθμισης στα απολιθωμένα υλικά οστράκων τείνει να ξεχωρίσει τα μικρότερα άτομα και μια μεταφερόμενη συνάθρηση είναι ενδεχόμενο να είναι καλά διαβαθμισμένη με μια πιο κανονική κατανομή, σχήματος καμπάνας στο ιστόγραμμα κατανομής μεγέθους.

#### *1.4.α.4. Συμπεράσματα*

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου ήταν να δείξει ότι μια απλή εμφάνιση απολιθωμάτων ή μια θέση ή μια διαδοχή από απολιθώματα δεν δείχνει απαραίτητα απλές ή ακριβείς βιοστρωματογραφικές πληροφορίες. Πρώτα θα πρέπει να αποδειχθεί ότι η συνάθρηση αντικατοπτρίζει την ίδια χρονική περίοδο με αυτή του στρώματος υποδοχής. Το επόμενο είναι η συνάθρηση ή ακόμη καλύτερα η ακολουθία των συναθρήσεων θα πρέπει να βρεθεί σε περισσότερες από μια θέσεις διαφορετικά η αντικειμενικότητα της συσχέτισης δεν επιτυγχάνεται σωστά. Όμως ακόμα και αν η ίδια συνάθρηση ή ακολουθία βρεθεί και αλλού μήπως αυτό αποδεικνύει τη ταυτοχρονικότητα ή είναι τα συγκεκριμένα απολιθώματα μορφές διαχρονικών φασικών ορίων; Μια σταθερή σχέση ανάμεσα στους τύπους απολιθωμάτων και των ιζημάτων μπορεί να προτείνει το τελευταίο. Αν η συνάθρηση που μας ενδιαφέρει δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε άλλη τομή, μήπως αυτό σημαίνει ότι τα πετρώματα είναι διαφορετικής ηλικίας, της ίδιας ηλικίας αλλά διαφορετικής φάσεως ή της ίδιας ηλικίας και διαφορετικής πανιδικής επαρχίας; Πώς θα συσχετίσουμε μη θαλάσσιες συναθρήσεις σπονδυλωτών με μια συνάθρηση θαλασσίων αμμωνιτών ή τρηματοφόρων, τί εάν υπάρχει περισσότερο από ένα προφανείς χρήσιμοι στρωματογραφικοί δείκτες, αποδίδοντας αντιφατικές συσχετίσεις; Ποιούς από όλους πρέπει να εμπιστευθούμε;

Η απάντηση σε όλα αυτά είναι η για χρόνια επιμελημένη και προσεκτική εργασία από πολλούς ειδικούς. Θα επιστρέψουμε σε αυτές τις ερωτήσεις σε επόμενο κεφάλαιο όταν θα έχει ξεκαθαριστεί γιατί μερικοί αναλυτές λεκανών είναι και από μόνοι τους βιοστρωματογράφοι.

#### 1.4.β. Βιοζώνες.

Η βασική στρωματογραφική μονάδα είναι η βιοζώνη, η οποία μπορεί να οριστεί σαν το σώμα του στρώματος που περιλαμβάνει ένα περιορισμένο στοιχείο χλωρίδας ή πανίδας. Ιδανικά επιλέγονται αυτά τα γένη που έχουν μικρό χρονικό διάστημα, είναι γεωγραφικά ευρύτατα κατανεμημένα, τόσο ανεξάρτητα όσο είναι δυνατό απ'τις φάσεις και επίσης είναι σε αφθονία. Οπως γράφτηκε ήδη σ'αυτό το κεφάλαιο, η ποικιλία στους τύπους των βιοζωνών δημιουργήθηκε για την καλύτερη χρήση των διαφορετικών τρόπων με τους οποίους εμφανίζονται ή εξαφανίζονται η πανίδα και η χλωρίδα. Η ιστορική εξέλιξη αυτής της ονοματολογίας μελετήθηκε και συζητήθηκε απ'τον Hancock (1977). Επιπλέον συζητήσεις για τους διαφόρους τύπους βιοζωνών και της βιοστρωματογραφικής πρακτικής στους στρωματογραφικούς δίνεται στους οδηγούς των Hedberg (1976), Harland et al.(1972), κ.α. Ο Ludvigsen et al.(1986) ασχολήθηκε με τη σχέση ανάμεσα στις βιοζώνες και βιοφάσεις. Στην εφαρμογή πολλές βιοστρωματογραφικές δημοσιεύσεις δεν ξεκαθαρίζουν ακριβώς ποιόν τύπο βιοζώνης χρησιμοποιούν. Δόθηκαν τα ονόματα στις βιοζώνες μετά από μία σημαντική ή αλλοιώτικα ενδιαφέροντα γένη ή δόθηκαν τυπικοί κώδικες περιγραφής.

##### *1.4.β.1. Βιοζώνη συνάθροισης (assemblage biozone).*

Αυτή είναι ένα σώμα στρώματος που χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη συνάθροιση από απολιθώματα χωρίς καμία σχέση με την εμβέλεια τους. Τα όρια της ζώνης σχεδιάστηκαν εσωτερικά του σώματος του πετρώματος για να περιλάβουν όλα τα στρώματα που περιέχουν τα περισσότερα ή όλα τα συνθετικά των συναθροίσεων. Η κρίση πρέπει να χρησιμοποιείται εκεί όπου απουσιάζουν μερικά μέλη της συνάθροισης. Η συνάθροιση μπορεί να αποτελείται από οποιαδήποτε χλωρίδα ή πανίδα είναι παρούσα, αλλά στην εφαρμογή, η συνάθροιση κανονικά είναι απομονωμένη σε ένα τύπο ομάδας απολιθωμάτων, κατά τα άλλα η κατανομή της συνάθροισης μπορεί δυσμενώς να επηρεάζεται από την διαφορετική οικολογική ανάγκη των ανεξαρτήτων συνθετικών.

Στην πραγματικότητα η έννοια της ζώνης της συνάθροισης παρεμποδίζεται από το γεγονός ότι καμία προσοχή δεν δίνεται στην έκταση της. Οι συναθροίσεις μπορεί εξ'ολοκλήρου να ελέγχονται οικολογικά και να αντικατοπτρίζουν, λίγο περισσότερο απ'τις κοινωνίες των απολιθωμάτων, ότι επανεμφανίζονται οπουδήποτε οι συνθήκες το επιτρέπουν. Προφανώς, με το χρόνο η χλωρίδα και η πανίδα θα αναπτυχθούν, και αυτές οι ταξινομικές διαφορές θα γίνουν φανερές.



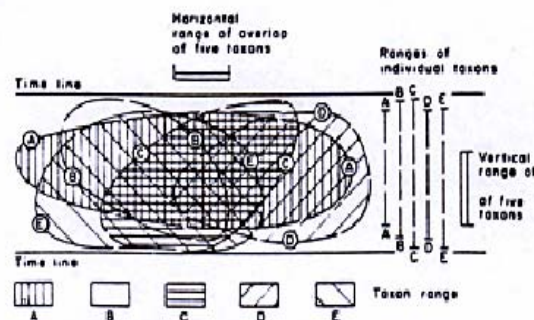
#### 1.4.β.2. Βιοζώνη έκτασης (range biozone).

Αυτή είναι το σώμα του στρώματος που δείχνει τη συνολική έκταση μιας εμφάνισης (οριζόντια ή κατακόρυφα) ενός ιδιαίτερου είδους, γένους, κ.α. Μια τροποποίηση αυτού είναι η βιοζώνη αποκορύφωσης (acme biozone), η οποία ορίζεται στη βάση της εξαιρετικής αφθονίας του επιλεγέντος είδους, γένους, κ.α. Δυσκολίες μπορούν να δημιουργηθούν από την εξάρτηση από ένα απλό είδος, γιατί η εμφάνιση του γίνεται αραιή στα όρια της έκτασης του, κάνοντας δύσκολη την απόφαση που να τοποθετήσεις-σχεδιάσεις τα όρια. Η έννοια της αποκορύφωσης θα πρέπει προτιμώτερα να ορίζεται με μερικούς ποσοτικούς τρόπους. Και οι δύο, η συνολική έκταση και η αποκορύφωση, μπορούν να επιρεάζονται από τοπικές οικολογικές (φασικές) μελέτες. Για τους λόγους αυτούς, είναι καλύτερα να βασιζόμαστε σε περισσότερες από ένα γένη, όπως στη ζώνη ταυτόχρονης έκτασης.

#### 1.4.β.3. Βιοζώνη ταυτόχρονης έκτασης (concurrent-range biozone).

Αυτή ορίζεται σαν το σώμα του στρώματος που χαρακτηρίζεται από επικαλυπτόμενες εκτάσεις από δύο ή περισσότερα συλλεγένητα γένη (taxa). Αυτός είναι μια ένας απ'τους πιο εύχρηστους τύπους βιοζώνης. Οι νέες εργασίες κανονικά κάνουν χρήση πολλών ειδών και μπορεί επίσης να συγχωνεύουν τα άφθονα δεδομένα με σκοπό να αποφευχθούν προβλήματα τοπικών φασικών αλλαγών. Αυτό είναι εύκολο να γίνει στην περίπτωση των μικροοργανισμών οι οποίοι τείνουν να εμφανίζονται σε μεγάλη αφθονία σε πολλά πετρώματα.

Πρέπει να ληφθούν αποφάσεις τέτοιες όπως πόσα απ'τα συλλεγένητα είδη πρέπει να είναι παρόντα σ'ένα δείγμα με σκοπό να οριστεί η ζώνη. Όπως απέδειξε ο Hedberg (1976), κάθε γένος (taxon) πιθανά να έχει μια διαφορετική κατανομή στο χώρο και το χρόνο (εικόνα 7), και έτσι απαιτούνται μερικές κρίσεις. Αυτές είναι εκεί όπου η εκτεταμένη παραδοχή και εμπειρία του βιοστρωματογράφου γίνεται απαραίτητη.



Εικόνα 7: Ποικιλίες στην εξάπλωση μιάς βιοζώνης ταυτόχρονης έκτασης, εξαρτώμενη από τον αριθμό των τάξεων και το βαθμό της ταυτοχρονικότητας που απαιτείται (Hedberg, 1976).

Μια διαφοροποίηση στη βιοζώνη ταυτόχρονης έκτασης είναι η Orpel ζώνη, που ονομάστηκε έτσι μετά τον 19ο αιώνα από Γερμανούς γεωλόγους οι οποίοι εισήγαγαν πολλές απ'τις νέες ιδέες σχετικά με τις μεθόδους ζώνωσης. Η Orpel ζώνη είναι βασικά μια βιοζώνη ταυτόχρονης έκτασης στην οποία συμπληρωματικά βιοστρωματογραφικά κριτήρια χρησιμοποιούνται στον ορισμό τους. Για παράδειγμα, η αφθονία δεδομένων ή η παρουσία ή η έκταση μερικών μη συνδεδεμένων γενών. Πολλοί παλαιότεροι συνδιασμοί ζώνωσης ήταν του Orpel τύπου, αν και δεν μπορεί να γίνει αναγνώριση της ταυτότητας του απ'το όνομα του.

#### *1.4.β.4. Βιοζώνη καταγωγής (lineage-biozone).*

Αυτή μπορεί να οριστεί στη βάση της εξελικτικής ακολουθίας ενός ιδιαίτερου γένους. Μπορεί να είναι μια απλή αλλαγή καταγωγής, τέτοια όπως το σχήμα των πελικοπόδων ή των διακλαδώσεων ή της ακτίωσης ενός γένους μέσα σε νέες ποικιλίες ή καταγωγές, τέτοιες όπως η προσαρμογή του εχινοειδούς *Micraster* σε νέες οικολογικές φωλιές-θέσεις. Πολλά παραδείγματα των ζωνών καταγωγής των τρηματοφόρων του Κρητιδικού έχουν δοθεί απ'τον Van Hinte (1976). Όπως περιγράφηκε στο τρίτο κεφάλαιο ο τρόπος της εξέλιξης μπορεί αξιολογικά να επιρεάσει την ευκολία με την οποία μπορούν να καθιερωθούν οι ζώνες καταγωγής. Η πιο γρήγορη εξέλιξη είναι πολύ πιθανότερο να εμφανίζεται στα περιθώρια της γεωγραφικής έκτασης του γένους. Η ζώνωση μπορεί καλύτερα να καθιερωθεί εκεί, αν και μπορεί να είναι περιορισμένης χρήσης στη μελέτη συντηρητικών αποθεμάτων, σε ένα σταθερό περιβάλλον στο κέντρο της έκτασης. Ιδανικά, οι ζώνες καταγωγής θα επιτρέπουν την καθιέρωση πολύ εκλεκτισμένων βιοστρωματο-γραφικών υποδιαίρεσεων, αλλά η εργασία της αναγνώρισης και διάκρισης-διαχωρισμού σε μία σειρά είναι σύνθετη και μπορεί να είναι υποκειμενική (Hay & Southam, 1978).

#### *1.4.β.5. Άλλοι όροι βιοζωνών.*

Για την συνολική έκταση μιας τάξεως έχουν χρησιμοποιηθεί οι όροι ζώνη έκτασης, ακροζώνη, και συνολικής έκτασης ζώνη. Οι ζώνες αποκορύφωσης έχουν επίσης αναφερθεί σαν ζώνες κορυφής (peak zones), ζώνες πλημμύρας (flood zones) και epiboles. Τοπικές ζώνες έκτασης μπορούν να αποκαλούνται teilzones και topozones. Οι ζώνες καταγωγής μερικές φορές καλούνται φυλοζώνες (phylozones), μορφογενετικές ζώνες (morphogenetic zones) ή εξελικτικές ζώνες (evolutionary zones).

Μερικές βιοστρωματογραφικές μέθοδοι βασίζονται στην πρώτη εμφάνιση δεδομένων και στην τελευταία εμφάνιση δεδομένων του κλειδιού που είναι ένα γένος με πλατιά κατανομή. Οι Berggren & Van Couvering (1978) περιέγραψαν μερικά παραδείγματα. Η στατιστική επεξεργασία αυτού του είδους της πληροφόρισης είναι χρήσιμη για τις τεχνικές των γραφικών συσχετίσεων.

### **1.5. Μονάδες ορισμένες με ασυμφωνία.**

Οι ασυμφωνίες γενικά χρησιμοποιούνται σαν βολικά-εύκολα όρια για διαφόρους τύπους στρωματογραφικών μονάδων. Σε πολλές περιοχές, περιφερειακές ασυμφωνίες χρησιμοποιήθηκαν για πολύ καιρό οι ορισμοί φυσικών υποδιαιρέσεων της στρωματογραφικής καταγραφής. Για παράδειγμα, οι ακολουθίες του Sloss et al.(1949) ορίστηκαν σαν διακριτές μονάδες χωρισμένες από "σημειωμένες παραασυμφωνίες στη καταγραφή των στρωμάτων του κρατώνα οι οποίες μπορεί να ανιχνεύονται και να συσχετίζονται για μεγάλες αποστάσεις στις εμφανείς-υπαρκτές βάσεις των λιθολογικών και χλωριδικών κενών...". Αυτές οι ακολουθίες σχημάτισαν την βάση για τους περιφερειακούς και παγκόσμιους κύκλους. Η χρήση των ασυμφωνιών σαν όρια τώρα αποφεύγεται στον ορισμό χρονοστρωματογραφικών μονάδων, για λόγους που εξηγήθηκαν προηγούμενα. Ομως σαν τρόπος διευκρίνησις των γεωλογικών συσχετίσεων και σημαντικών στρωματογραφικών γεγονότων διαμέσου μιας ιδιαίτερης περιφέρειας, τον ορισμό μιας ανεξάρτητης τάξης από μονάδες ορισμένες με ασυμφωνίες, έχει ξεχωριστά πλεονεκτήματα. Ολο και περισσότερο αναγνωρίζεται ότι η στρωματογραφική καταγραφή περιέχει μονάδες από περιφερειακές και πιθανά ακόμη παγκόσμιες εξαπλώσεις, οφειλόμενες στις πλατιές αλλαγές της στάθμης της θάλασσας ή σε περιφερειακά τεκτονικά γεγονότα. Σε επόμενο κεφάλαιο περιέχεται μια λεπτομερής περιγραφή της ιζηματογενούς γεωλογίας των στρωματογραφικών ακολουθιών, και σε άλλο κεφάλαιο εξετάζονται οι αλλοκυκλικοί (τεκτονικοί, ευστατικοί και άλλοι) μηχανισμοί που οδηγούν στην ανάπτυξη των περιφερειακών και παγκοσμίων κύκλων. Σ'αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται συνοπτικά η τυπικότητα της περιγραφικής στρωματογραφίας τέτοιων μονάδων, βασισμένη στις προτάσεις της Διεθνούς Υποεπιτροπής πάνω στη Στρωματογραφική Ονοματολογία (ISSC,1987), και στους ορισμούς που περιέχονται στον Στρωματογραφικό Κώδικα της Βορείου Αμερικής (NASC).

Μονάδες ορισμένες με ασυμφωνίες περιλαμβάνουν άλλους τύπους από μονάδες μέσα τους, τέτοιες όπως βιοστρωματογραφικές και λιθοστρωματογραφικές μονάδες. Αυτές δεν είναι ίδιες όπως αυτές και δεν είναι απαραίτητα ισοδύναμες με τις χρονοστρωματο-γραφικές μονάδες, γιατί οι ηλικίες των ασυμφωνιών διαχωρισμού μπορούν να αλλάζουν από θέση σε θέση. Ομως οι μονάδες ορισμένες με ασυμφωνίες έχουν μια ξεχωριστή χρονοστρωματογραφική ιδιαιτερότητα γιατί, με ιδιαίτερα ασυνήθιστες εξαιρέσεις, όλα τα πετρώματα κάτω από μια ασυμφωνία είναι παλαιότερα από όλλα αυτά πάνω απ'την ασυμφωνία, και οι γραμμές του χρόνου δεν κόβουν τις επιφάνειες των ασυμφωνιών.

Τυπικές προτάσεις για τον ορισμό μονάδων ορισμένες με ασυμφωνίες δόθηκαν απ'την ISSC (1987) και επίσης περιέχονται στη NASC. Ο όρος ακολουθία, όπως πρωτογενώς χρησιμοποιήθηκε από τον Sloss et al.(1949) δεν προτείνεται απ'αυτούς τους οργανισμούς, γιατί αυτός ο όρος ήρθε να

χρησιμοποιηθεί για έναν αριθμό από ελαφρούς αλλά ιδιαίτερους διαφορετικούς τρόπους. Η ISSC (1987) πρότεινε τον τυπικό όρο *synthem*, ενώ η NASC πρότεινε τον ορισμό των αλλοστρωματογραφικών μονάδων (*allostratigraphic units*), περιλαμβάνοντας αλλοσχηματισμούς (*alloformation*), αλλοομάδες (*allogroup*) και αλλομέλη (*allomember*).

### **1.6. Χρονοστρωματογραφία και γεωχρονομετρία.**

Η γεωχρονομετρία είναι η μελέτη της συνέχειας του γεωλογικού χρόνου. Γεωλογικά γεγονότα και μονάδες πετρωμάτων μπορούν να σταθεροποιηθούν μέσα στα πλαίσια του χρόνου με διαφορετικές μεθόδους, εκ των οποίων η ραδιομετρική μέθοδος είναι η πιο άμμεση.

Η χρονοστρωματογραφία είναι η μελέτη της στάνταρτ στρωματογραφικής κλίμακας, συνθέτοντας τις γνωστές εποχές, περιόδους και ηλικίες (π.χ. Παλαιοζωϊκό, Τριαδικό, Καμπάνιο). Για το Φανεροζωϊκό, η βιοστρωματογραφία είναι η κύρια βάση της μεθόδου, αλλά οι ραδιομετρικές μέθοδοι και η στρωματογραφία των μαγνητικών αντιστροφών είναι επίσης με πλατιά χρήση. Η ραδιομετρική χρονολόγηση είναι το μόνο χρονοστρωματογραφικό εργαλείο διαθέσιμο για το Προκάμβριο, αλλά αυτή είναι επίσης σημαντικής σπουδαιότητας στη δημιουργία μίας αξιολογής κλίμακας βιοστρωματο-γραφικών υποδιαιρέσεων στο Φανεροζωϊκό (Harland et al.1964,1982;Cohee et al.1978). Οι μαγνητικές αντιστροφές είναι τώρα μεγάλης σπουδαιότητας για την μελέτη των στρωμάτων του ανωτέρου Κρητιδικού και Κενοζωϊκού, αλλά είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν σε παλαιότερα πετρώματα. Η δυσκολία αυτή οφείλεται στη δυσκολία της απόκτησης ολοκληρωμένης ακολουθίας αντιστροφών και στα προβλήματα των μετα-αποθετικών τροποποιήσεων (Kennett,1980).

Μια βιοζώνη μπορεί μόνο να δημιουργηθεί και να χρησιμοποιηθεί για συσχέτιση εάν τα απολιθώματα πάνω στα οποία αυτή στηρίζεται είναι παρόντα στα πετρώματα. Ομως ο Hedberg (1976) όρισε μια χρονοζώνη σαν μια ζωνώδη μονάδα περιλαμβάνοντας όλα τα πετρώματα οπουδήποτε κι'αν σχηματίστηκαν κατά την διάρκεια της έκτασης μιας καθορισμένης γεωλογικής παράστασης, τέτοιας όπως μια τοπική βιοζώνη. Στη θεωρία, μια βιοζώνη είναι παρούσα στα πετρώματα πέρα απ'το σημείο στο οποίο τα συνθετικά των απολιθωμάτων της βιοζώνης παύουν να είναι παρόντα σαν αποτέλεσμα πλευρικών φασικών αλλαγών. Ο Hedberg (1976) χρησιμοποίησε ένα βιοστρωματογραφικό παράδειγμα για να καθορίσει την έννοια της χρονοζώνης αλλά, ξεκάθαρα εαν τα συστατικά απολιθώματα δεν είναι παρόντα, η χρονοζώνη δεν μπορεί να αναγνωριστεί σε βιοστρωματογραφική περιοχή, και η χρησιμότητα της σαν στρωματογραφική έννοια μπορεί να είναι περισσότερο υποθετική. Ομως, άλλα μέσα μπορεί να είναι διαθέσιμα για να σημειώσουν την χρονοβιοζώνη, περιλαμβάνοντας τοπικά καθοδηγητικά στρώματα ή μαγνητοστρωματογραφικά δεδομένα.

Ο Hedberg (1976) πρότεινε ότι η βαθμίδα θα θεωρείται σαν η βασική μονάδα εργασίας της στρωματογραφίας εξαιτίας της πρακτικής χρήσης της σε ενδοπεριφερειακές συσχετίσεις. Όπως οι Hancock (1977) και Watson (1983) απέδειξαν ότι ο Hedberg παρέλειψε να αναφέρει ότι όλες οι Φανεροζωικές βαθμίδες για πρώτη φορά ορίστηκαν στη βάση των ομάδων των βιοζωνών και επομένως αυτές είναι ιστορικές βιοστρωματο-γραφικές οντότητες. Οι βαθμίδες μπορούν να οριστούν με περισσότερα από ένα συστήματα ζωνών τα οποία εκτείνουν τα όριά τους και μειώνουν τη φασική τους εξάρτηση, αλλά αν και αυτό αποδεικνύει την χρονοστρωματογραφική τους χρησιμότητα, αυτό δεν αλλάζει αυτά μέσα σε ένα διαφορετικό είδος της μονάδος. Όπου άλλες μέθοδοι, τέτοιες όπως ραδιομετρική χρονολόγηση ή μαγνητοστρωματογραφία, είναι αρκετά ακριβείς για να προκαλέσουν την υπεροχή της βιοστρωματογραφίας, μια περίπτωση μπορεί να είναι η δημιουργία μιας ανεξάρτητης σειράς από χρονοστρωματογραφικές μονάδες.

Σ'αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά κύρια για τέσσερα αντικείμενα: την καθιέρωση των βαθμίδων και μεγαλύτερης τάξης μονάδων από βιοστρωματογραφικά δεδομένα, το πρόβλημα του πώς να οριστούν τα όριά τους, η χρήση των ραδιομετρικών δεδομένων, και η χρήση των μαγνητικών αντιστροφών σαν χρονοστρωματογραφικά εργαλεία. Νεώτερες έρευνες στη σεισμική στρωματογραφία δείχνουν ότι οι σεισμικές αντανάκλασεις είναι χρονοστρωματογραφικοί δείκτες. Τελικά μία συνοπτική περιγραφή της εξέλιξης της παγκόσμιας κλίμακας χρόνου παρουσιάζεται σαν μια εισαγωγή στην ερευνητική αναφορά.

#### 1.6.α. Χρονοστρωματογραφικές και γεωχρονομετρικές κλίμακες.

Η χρονοστρωματογραφία αναφέρεται στα πετρώματα και η γεωχρονομετρία στο γεωλογικό χρόνο. Η διάκριση ανάμεσα στα δύο τείνει να ατονίσει επειδή χρησιμοποιούνται τα ίδια ονόματα και για τα δύο. Ο πίνακας 1 ομαδοποιεί τα ονόματα που χρησιμοποιούνται για την ιεραρχία των υποδιαίρεσεων των δύο συστημάτων μέτρησης, με παραδείγματα από μερικά ονόματα κοινής χρήσης (βασισμένα στον Hedberg 1976). Ο Schulz (1982) πρότεινε να προστεθεί το όνομα χρονόσωμα σ'αυτό τον πίνακα όπως αυτό σημειώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτό το όνομα προτείνεται για το σώμα του πετρώματος που περιέχεται ανάμεσα σε δύο καθοδηγητικούς ορίζοντες που μπορεί να είναι σχεδόν ισόχρονες επιφάνειες. Οι δείκτες μπορεί να είναι βιοστρωματογραφικές, μαγνητοστρωματογραφικές ή φυσικές παραστάσεις τέτοιες όπως στρώματα τέφρας. Επομένως το χρονόσωμα είναι ανάλογο με την χρονοζώνη του Hedberg (1976), εκτός του ότι στον αρχικό ορισμό του τελευταίου βιοστρωματογραφικού κριτηρίου αυτά υπερτονίστηκαν. Οι γεωλόγοι θα πρέπει να επιχειρήσουν να κάνουν σαφές πότε αναφέρονται στη κλίμακα του χρόνου ή στη καταγραφή των πετρωμάτων όταν χρησιμοποιούν κάποια από αυτά τα ονόματα. Μία γενική χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι να χρησιμοποιείς προσδιοριστική λέξη early, middle, late, όταν αναφέρεσαι στο

γεωλογικό χρόνο και lower, middle, upper, όταν αναφέρεσαι στο πέτρωμα. Οι γεωλόγοι δεν θα πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούν λιθοστρωματογραφικά ονόματα στη λογική του χρόνου. Για παράδειγμα, ο χρόνος Catskill, σημαίνει τον χρόνο κατά τη διάρκεια του οποίου έγινε η απόθεση του δέλτα Catskill, επειδή οι λιθοστρωματογραφικές μονάδες είναι διαχρονικές και δεν έχουν καμμία ιδιαίτερη χρονική σημασία.

<b>Chronostratigraphic</b>	<b>Geochronometric</b>	<b>Examples</b>
<b>Eonothem</b>	<b>Eon</b>	<b>Phanerozoic</b>
<b>Erathem</b>	<b>Era</b>	<b>Mesozoic</b>
<b>System</b>	<b>Period</b>	<b>Cretaceous</b>
<b>Series</b>	<b>Epoch</b>	<b>Upper (Late) Cretaceous</b>
<b>Stage</b>	<b>Age</b>	<b>Campanian</b>
<b>Chronoze</b>	<b>Chron</b>	<b><i>Orbitoides tissoti</i></b>

Πίνακας 1: Ιεραρχία των χρονοστρωματογραφικών και γεωχρονομετρικών ονομάτων.

### 1.6.β. Η βαθμίδα.

Οι βαθμίδες είναι κατά βάση κατάλληλες ομαδοποιήσεις βιοζωνών. Τα όρια των βιοζωνών μπορούν να σχεδιαστούν στη κορυφή ή στη βάση μιας ιδιαίτερα καλής ή πλατιάς αναπτυγμένης βιοζώνης ή στην αλλαγή μιας χαρακτηριστικής χλωρίδας. Οι βιοζώνες τώρα συνήθως καθιερώνονται μόνο με τη χρήση των μελών ενός μόνο φύλλου, ενώ πολλές βαθμίδες έχουν μέχρι τώρα οριστεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Για παράδειγμα, οι βαθμίδες του Δεβονίου βασίστηκαν κύρια στα βραχυπόδα, κοράλια, τριλοβίτες, ψάρια, κωνόδοντα και παλινόμορφα. Οι βαθμίδες του Κρητιδικού βασίστηκαν κύρια στους αμμωνίτες, πελεκίποδα, βραχυπόδα, τρηματοφόρα, νανοαπολιθώματα και παλινομορφές.

Οι περισσότερες ομάδες απολιθωμάτων τείνουν να είναι όρια φάσεων και το κλειδί για μια πετυχημένη συσχέτιση βαθμίδων είναι να εντοπίσουμε τομές όπου περισσότερες από μία χρήσιμες ομάδες απολιθωμάτων είναι παρούσες ή όπου επαναλαμβανόμενες φασικές διαφοροποιήσεις αιτιολογούν οικολογικά ασυμβίβαστα γένη να εμφανίζονται στενά μαζί με ενδοδακτυλίωση. Οι κινήσεις των τεκτονικών πλακών αιτιολογούν το χλωριδικό επαρχιωτισμό να διαφέρει ταυτόχρονα σε πολλές ομάδες γενών και έτσι η τελειοποίηση αυτής της συσχέτισης ποικίλει από θέση σε θέση και από χρόνο σε χρόνο. Για παράδειγμα, ο Berry (1977) ανέφερε ότι η συσχέτιση της κάτω και μέσω Ορδοβίσσιας γραπτολιθικής χλωρίδας ανάμεσα στην Ευρώπη και Β.Αμερική φορτώθηκε με διαμάχες εξαιτίας του χλωριδικού επαρχιωτισμού. Σ' αυτό το χρόνο, ο πρωτο-Ατλαντικός ωκεανός (Ιαπετός) ήταν στο μεγαλύτερό του εύρος.

### 1.6.γ. Χρονοστρωματογραφικά όρια.

Θα φαινόταν λογική υπόθεση ότι η καλύτερη θέση για να σχεδιάσουμε το όριο ανάμεσα στις βαθμίδες και στις μεγαλύτερης ακτίνας χρονοστρωματογραφικές μονάδες θα ήταν σε ένα κενό όπου αλλάζει απότομα η πανίδα. Πολλές μονάδες στο παρελθόν έχουν έτσι οριστεί, χρησιμοποιώντας κύριες ασυμφωνίες ή ακόμη λιθοστρωματογραφικές αλλαγές για επιφάνειες διαχωρισμού. Άλλες έχουν οριστεί στη βάση της εξαφάνισης μιας ιδιαίτερης πανιδικής ομάδος, προκαλώντας μεγάλο πανικό όταν αυτά τα απολιθώματα βρίσκονται αργότερα σε πολύ νεώτερα πετρώματα. Ο McLaren (1970) περιέγραψε το όριο Frasnian-Famennian εσωτερικά του ανωτέρου Δεβονίου. Αν και αυτό το όριο δεν έχει καλά καθοριστεί σε παγκόσμια κλίμακα, φαίνεται ότι υπάρχει μια γενική επανατοποθέτηση της πανίδας εγκάρσια σε αυτό, περιλαμβάνοντας την εξαφάνιση του tentaculitids, την σχεδόν εξαφάνιση των stromatoporoids, και την ολοκληρωτική εξαφάνιση πολλών ομάδων κοραλιών, βραχυπόδων και τριλοβιτών. Άλλες πολύ καλά γνωστές εξαφανισμένες μάζες εμφανίζονται στο τέλος του Περμίου, και στο τέλος του Κρητιδικού. Αυτά είναι φανερά ιδιαίτερα γεγονότα και καλές θέσεις για τη σχεδίαση ορίων.

Υπάρχουν μερικά συγκλονιστικά όρια αυτού του τύπου, όμως, και οι περισσότεροι στρωματογράφοι τώρα συμφωνούν ότι τα στρωματογραφικά όρια θα πρέπει να "ορίζονται οπουδήποτε είναι πιθανό σε μια περιοχή όπου δεν συμβαίνει τίποτα" (McLaren 1970). Ο Hedberg (1976) σημείωσε ότι τα όρια των στρωματοτύπων (stratotypes) μιας βαθμίδας μπορεί να είναι εσωτερικά μιας ακολουθίας συνεχούς απόθεσης (προτιμότερο θαλάσσιας) ενώ και τα δύο μπορούν να συνδέονται με διακριτούς καθοδηγητικούς ορίζοντες, τέτοιους όπως όρια βιοζωνών, τα οποία εύκολα μπορούν να αναγνωριστούν και πλατιά να ανιχνευτούν σαν ισόχρονοι ορίζοντες. Το πρόβλημα με τη χρήση ενός κενού σαν ένα χρονοστρωματογραφικό όριο είναι ότι το κενό αντικατοπτρίζει μία διακοπή στο χρόνο το οποίο ορίζεται να αναπαρίσταται με ιζήματα και με τα περιεχόμενά τους απολιθώματα κάπου αλλού. Εκεί όπου αυτά τα ιζήματα είναι πολύ καλά αποκαλυφθέντα, πώς θα μπορούσαν να καταταχθούν χρονοστρωματογραφικά;

Ακόμη και σε μία προφανή συνεχή ακολουθία μπορεί αργότερα να ανακαλυφθεί ότι περιέχεται ένα χρονικό σταμάτημα. Για το λόγο αυτό, υπάρχει τώρα μια γενική συμφωνία ότι τα όρια των στρωματοτύπων πρέπει να μεταχειρίζονται σαν η βάση της μονάδος που είναι από πάνω, παρά σαν η κορυφή της μονάδος που είναι από κάτω. Εάν μεταγενέστερα γίνει αντιληπτό ότι το όριο ενός στρωματοτύπου είναι ένα κενό, τα ιζήματα που καλύπτουν τη χρονική διακοπή αυτόματα καθορίζονται και τοποθετούνται στην παλαιότερη μονάδα. Επομένως καμία επανεξέταση του στρωματοτύπου από μόνη της δεν είναι απαραίτητη. Αυτό τώρα στην καθομιλουμένη είναι γνωστό σαν οι έννοιες της βαθμίδας χωρίς κορυφή (topless stage), ένα εύκολο όνομα για να αποτυπωθεί στη μνήμη.

### 1.6.δ. Ραδιομετρική χρονολόγηση.

#### *1.6.δ.1. Ραδιομετρικές μέθοδοι.*

Πολλές φυσικές εμφανίσεις ισοτόπων κοινών στοιχείων είναι ραδιενεργές και με μια διαδικασία ραδιενεργούς διάσπασης παράγουν ένα ή μία σειρά από θυγατρικά παράγωγα. Η διαδικασία διάσπασης σταματάει όταν παράγεται ένα σταθερό ισότοπο. Ο ρυθμός διάσπασης για κάθε ραδιενεργή σειρά είναι συνεχής (αυτό κλασικά εκφράζεται με την ημιζωή (half-life) των ραδιενεργών ισοτόπων). Αυτό είναι το μήκος του χρόνου που απαιτείται για μισά των ατόμων σε μια δοσμένη ποσότητα στοιχείων για να διασπαστούν. Οι ημιζωές κυμαίνονται από κλάσματα του δευτερολέπτου σε εκατοντάδες εκατομυρίων χρόνων.

Τα ορυκτά που περιέχουν τα ραδιενεργά ισότοπα σχηματίζονται με την κρυστάλλωση σε ένα λυωμένο διάλυμα (igneous melt) ή με αυθυγένεση μέσα στο ίζημα. Σ' αυτό το σημείο, η σύνθεσή του σε ισότοπα ψύχεται, έτσι ώστε κάθε μεταγενέστερη αλλαγή, γενικά, είναι το αποτέλεσμα μόνο της ραδιενεργούς διάσπασης διαμέσου του χρόνου.

Με τη μέτρηση της σχετικής αναλογίας των υπολοίπων ραδιενεργών ισοτόπων και των νέων θυγατρικών παραγώγων που παρήχθησαν, είναι πιθανό να υπολογίσουμε την ηλικία των κρυστάλλων. Στην εφαρμογή υπάρχουν πολλά προβλήματα τα οποία πρέπει να επιλυθούν, περιλαμβάνοντας την πιθανότητα της μόλυνσης από τον καιρό, την προς τα έξω διάχυση και διαφυγή των θυγατρικών παραγώγων (αποφέροντας ηλικίες οι οποίες είναι πάρα πολύ νέες). Η πτύχωση ή το σπάσιμο ενός πετρώματος ή η μετασωμάτωσή του μπορεί να αιτιολογήσει τέτοιες αλλαγές και έτσι οι μετρήσεις καλύτερα να πραγματοποιούνται σε κρατονικές περιοχές ή σε πτυχωμένες ζώνες οι οποίες δεν έχουν μεταγενέστερα ανακατευθεί. Εκρηξιγενή ορυκτά τοποθετούνται όταν το πάγωμα περνάει το σημείο τους Curie, ή τον τερματισμό της θερμοκρασίας (closure temperature), το οποίο είναι τυπικά η θερμοκρασία μερικών εκατοντάδων βαθμών. Αυτό κυμαίνεται από περίπου 130C για τον μικροκλίνη έως περισσότερο από 800C για το ζirkόνιο. Για μεγάλα πλουτονικά σώματα, αυτό μπορεί να είναι μια σημαντική χρονική περίοδος μετά την παρείσφιση και την αρχική κρυστάλλωση πριν όλα τα ορυκτά περάσουν από το δικό τους σημείο Curie. Πολύ βαθιά θαμμένα και περιφερειακής ή θερμικής επαφής μεταμόρφωση μπορεί να αλλάξει την φαινομενική ηλικία. Οι ραδιομετρικές ηλικίες γενικά καταγράφουν τον χρόνο της αρχικής ψύξης, ένα μεταγενέστερο γεγονός ομογενοποίησης, ή μια ενδιάμεση ηλικία ανάμεσα στα δύο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ποσότητα του υλικού των ισοτόπων που είναι ικανό για ανάλυση είναι πάρα πολύ μικρό, και οι εργαστηριακές μέθοδοι επιτρέπουν την αναπαραγωγή μόνο 3% στην καλύτερη περίπτωση (Lambert, 1964). Ο McDougall (1978) ανέφερε ότι ένα 3% λάθος ανάμεσα στα αποτελέσματα διαφορετικών εργαστηριακών εργασιών στο ίδιο υλικό δεν είναι ασυνήθιστο. Μια πιο θεμελιώδης πηγή του λάθους είναι η διαφωνία σχετικά με τη συνεχή διάσπαση



των διαφόρων ραδιενεργών ισοτόπων. Ο Armstrong (1978) έδειξε ότι οι υπολογισμένες ηλικίες μπορούν να αλλάξουν τουλάχιστον 3%, εξαρτόμενες από τη χρήση της συνεχούς διάσπασης. Εξαιτίας αυτών των πηγών του λάθους, η χρήση της συνεχούς διάσπασης και το υπολογισθέν πειραματικό λάθος θα πρέπει πάντα να αναφέρεται και θα πρέπει να γεννιέται στο μυαλό μας όταν χρησιμοποιούμε ραδιομετρικές ηλικίες στην στρωματογραφική εργασία. Ένα 3% λάθος είναι ισοδύναμο με περίπου 1.5 Ma σε 50 Ma B.P ή 15 Ma σε 500 Ma B.P.

Δύο ραδιομετρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στα ιζήματα, Κάλιο-Αργό (K-Ar), χρησιμοποιώντας τα ισότοπα  $^{40}\text{K}$  και  $^{40}\text{Ar}$ , και τη μέθοδο Ρουβίδιο-Στρόντιο (Rb-Sr), χρησιμοποιώντας τα ισότοπα  $^{87}\text{Rb}$  και  $^{87}\text{Sr}$ . Για τη χρονολόγηση της αρχικής κρυστάλλωσης των υλικών ορογένεσης οι μέθοδοι ουρανίου είναι προτιμότεροι και πιο πλατιά χρησιμοποιούμενοι σε μελέτες του Προκαμβρίου. Η μέθοδος K-Ar είναι κάπως καλύτερη για νεότερα πετρώματα έως το λιγότερο από 1Ma, και η μέθοδος Rb-Sr για παλαιότερα πετρώματα περίπου 10Ma, αλλά και οι δύο είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενες διαμέσου του Προκαμβρίου και Φανεροζωικού. Και οι δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για την ανάλυση ολοκλήρου του πετρώματος είτε για συλλεγμένα ορυκτά, ιδιαίτερα βιοτίτης, μοσχοβίτης, αμφίβλους, πυρόξενους, χλωρίτες και ζirkόνιο, συν μερικά ιζηματογενή ορυκτά όπως θα περιγραφεί αργότερα. Πραγματοποιώντας ανεξάρτητους ορυκτολογικούς προσδιορισμούς και ανάλυσης ολοκλήρου του πετρώματος γίνεται ένας χρήσιμος εγκάρσιος έλεγχος των αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, εξαιτίας της διαφορετικής αντίστασης στη διάχυση του  $^{87}\text{Sr}$  ο Moorbath (1964) ανέφερε την ακόλουθη εμπειρική ηλικία σε σχέση με τυπικά δείγματα από γρανιτικά εκρηξιγενή πετρώματα: η συνολική ηλικία του πετρώματος > από την ηλικία του μικροκλινή > από την ηλικία του μοσχοβίτη > από την ηλικία του βιοτίτη.

Το ισότοπο  $^{238}\text{U}$  το οποίο εμφανίζεται στο ζirkόνιο, σφίνα, απατίτη και ηφαιστειακό γυαλί εκπέμπει άλφα μόρια τα οποία παράγουν κρυσταλλικές καταστροφές. Όταν γυαλισμένες επιφάνειες των κρυστάλλων χαράσσονται, η καταστροφή εμφανίζεται με ένα μικρό ίχνος, η πυκνότητα της οποίας αν αθροιστεί θα προσδιοριστεί η ηλικία. Οι αρχές περιγράφονται από τον Fleischer et al. (1974), ενώ οι Parrish & Roddick (1985), δίνουν μια σύντομη χρήσιμη ανασκόπηση.

Ένα ενδιαφέρον νέο εργαλείο, μια απόκλιση από την χρονολόγηση K-Ar, είναι η χρήση της μικρορέυνας με laser για να εκτελέσουμε χρονολόγηση  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  σε διαγεννημένους πηλούς.

#### *1.6.δ.2. Χρήσεις στην στρωματογραφία.*

Τα ιζηματογενή πετρώματα μπορούν να χρονολογηθούν ραδιομετρικά με τρεις τρόπους:

1. Εκρηξιγενείς παρεισφήσεις εσωτερικά των ιζημάτων μπορούν να χρονολογηθούν. Αν και ευρέως χρησιμοποιείται, αυτή η μέθοδος ποτέ δεν μπόρεσε να δώσει ακριβείς ηλικίες εξαιτίας της αβεβαιότητας σχετικά με τη στρωματογραφική σχέση ανάμεσα στα εκρηξιγενή πετρώματα και τα

ιζήματα. Οι παρεισφήσεις είναι φανερά νεώτερες από ότι τα πετρώματα που τις δέχονται, αλλά αυτό δίνει μόνο μία ελάχιστη ηλικία για τα ιζήματα. Εάν διακόπτεται σε μια ασυμφωνία το εκρηξιγενές πέτρωμα δίνει μια μέγιστη ηλικία για κάθε ίζημα που ακολουθεί. Πολλές Προκάμβριες διαδοχές έχουν χρονολογηθεί με τη σύνδεση συγγένειας αυτού του τύπου.

2. Οι ηφαιστειακές ροές και τα πυροκλαστικά στρώματα, που περιλαμβάνουν ignimbrites, tuffs, agglomerates, μπετονίτη και ηφαιστειοκλαστικά πετρώματα να εναλλάσσονται με ιζήματα μπορούν να χρονολογηθούν. Τα περισσότερα ηφαιστειακά υλικά δίνουν πολλούς από τους περισσότερους τύπους εύκολης χρονολόγησης που κωδικοποιήθηκαν προηγούμενα. Εναλλαγές ηφαιστιτών δίνουν πολύ περισσότερο ακριβείς στρωματογραφικές πληροφορίες από ότι τα παρεισφημένα (φλεβικά) πετρώματα γιατί αυτό μπορεί με σιγουριά να θεωρηθεί ότι η προτεινόμενη τους ηλικία είναι σχεδόν η ίδια των περιεχομένων ιζημάτων. Η μέθοδος αυτή είναι ευρείας χρήσεως, όπως προτείνεται με μερικά παραδείγματα που περιγράφονται αργότερα. Όμως, πολλές διαδοχές στερούνται κάθε ηφαιστειακού γεγονότος.

3. Τα αυθηγενή ιζηματογενή ορυκτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ο γλαυκονίτης είναι με μεγάλη διαφορά το πιο πλατιά χρησιμοποιούμενο ορυκτό, αν και ο ιλλίτης, συλβίτης, κόκκαλα, ασβεστόλιθος στη πραγματικότητα κάθε ορυκτό που έχει rubidium ή κάλιο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσα από τα όρια της αναλυτικής ακρίβειας όταν σχετίζεται με πολύ λεπτές ποσότητες. Πολυάριθμες γλαυκονιτικές χρονολογήσεις έχουν δημοσιευθεί και η έρευνα συνεχίζεται για να βελτιωθεί η τεχνική υπολογισμού (π.χ Berggren et al., 1978; Odin, 1978). Το ορυκτό είναι επιρρεπές στην απώλεια αργού με ήπια θέρμανση ή κάτω από την πίεση του φορτίου, και έτσι οι γλαυκονιτικές χρονολογήσεις είναι περισσότερο ακριβείς για το Κενοζωικό και, με προσοχή, για το νεώτερο Μεσοζωικό, ιδιαίτερα για κρατονικές ακολουθίες ή άλλες που έχουν θαφτεί βαθιά. Ο Odin (1978) αξίωσε ότι ακόμα και τα Προκάμβρια ιζήματα που παρουσιάζονται κάτω από αυτές τις συνθήκες μπορούν να αποδώσουν πραγματικές K-Ar χρονολογήσεις του γλαυκονίτη. Ο γλαυκονίτης είναι σπάνιος σαν κλαστικό ορυκτό, αλλά αυτό θα πρέπει πάντα να ελέγχεται από το φόβο μην προκύψουν ψεύτικα αποτελέσματα. Και οι δύο μέθοδοι Rb-Sr και K-Ar μπορούν πιθανά να χρησιμοποιηθούν, αλλά η τελευταία είναι προτιμότερη. Ο γλαυκονίτης κατανέμεται πλατιά σε αβαθείς θαλάσσιες αποθέσεις, οι οποίες είναι επίσης φάσεις στις οποίες πολλοί από τους καλύτερους βιοστρωματο-γραφικούς δείκτες εμφανίζονται, και έτσι οι γλαυκονιτικές χρονολογήσεις έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί για να παράγουν απόλυτες ηλικίες των βιοζωνών και βαθμίδων.

Μια άλλη τακτική η οποία φαίνεται να κρατάει σημαντικό τμήμα της χρονολόγησης των πλητιτών είναι οι Rb-Sr. Ο Moorbath (1969) χρησιμοποίησε αυτή τη τεχνική για να χρονολογήσει λεπτόκκοκα ιζήματα στους ψαμμίτες του Τορριντονίου, μια Προκάμβρια μονάδα στη Σκωτία.

Η Ar-Ar χρονολόγηση των διαγεννημένων υπεραναπτύξεων στις αργίλλους μπορεί να δημιουργήσει μια ολόκληρη νέα περιοχή στη χρονολόγηση ιζηματογενών πετρωμάτων. Παλιά θαμμένη διαγέννεση μπορεί να αποδώσει αργίλλους με ηλικίες κοντά σε αυτές του αρχικού χρόνου της απόθεσης, πληροφορίες που θα είναι ιδιαίτερης χρήσης στη μελέτη της Προκάμβριας καταγραφής.

Θα ήταν φανερό από τα παραπάνω ότι η ακριβής ραδιομετρική χρονολόγηση των ιζημάτων μπορεί μόνο να πραγματοποιηθεί έμεσα με τη μελέτη των διαγεννητικών προσώπων, με την χρήση του γλαυκονίτη σε ιδιαίτερες θαλάσσιες φάσεις, ή όπου τα ηφαιστειακά πετρώματα είναι παρόντα. Αυτό περιλαμβάνει μόνο ένα μικρό ποσοστό της συνολικής τιμής του ιζήματος. Επομένως αυτό είναι απίθανο ότι η ραδιομετρικές μέθοδοι μπορούν ποτέ να αντικαταστήσουν την βιοστρωματογραφία για μελέτες των Φανεροζωικών ιζημάτων. Ομως, αυτά αποδεικνύονται ως ανεκτίμητης αξίας για ηλικίες θέσεως σε χρόνια πάνω στη βιοστρωματογραφική κλίμακα του χρόνου.

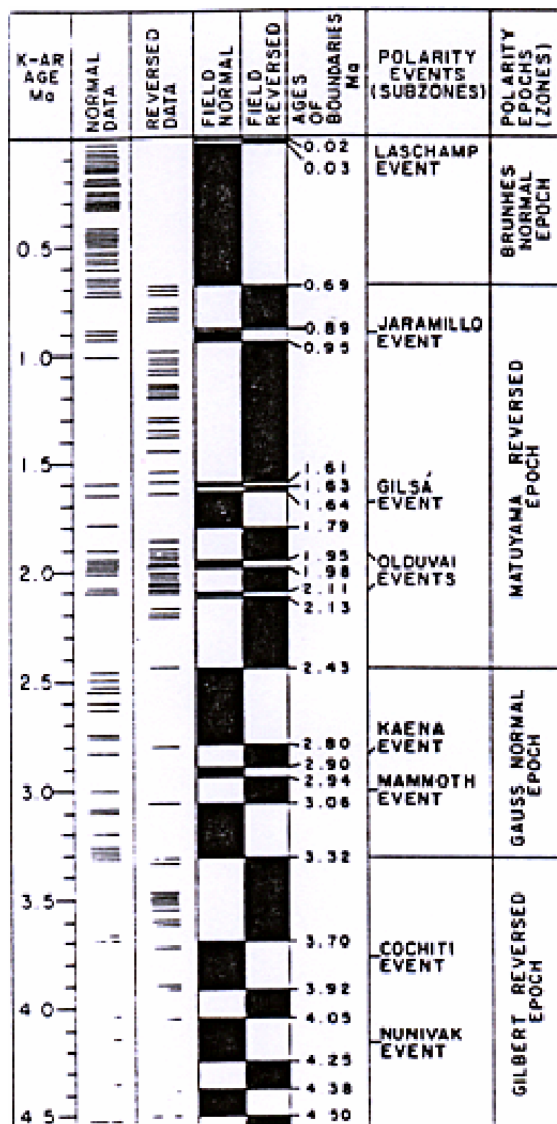
Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή της μελέτης διάσπασης ισοτόπων είναι να τοποθετήσουμε την ιστορία ψύξης των ορογενετικών ζωνών με σκοπό να μελετήσουμε το ρυθμό ανύψωσης. Αυτά τα δεδομένα μετά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστεί η ιστορία της οροφής και η απόδοση των κλαστικών μορίων τα οποία συνεισφέρουν στην ανάπτυξη των κλαστικών άκρων-οχθών σε γειτονικές λεκάνες. Ιχνη διασπάσεων εμφανίζονται και εξαφανίζονται σε τερματισμένες θερμοκρασίες οι οποίες ιδανικά προσαρμόζονται στις μελέτες ρηχής ταφής. Για τα ηφαιστειακά γυαλιά, η θερμοκρασία είναι < των 90 βαθμών, φθάνοντας έως τους 290 βαθμούς για την σφίνα (Parrish και Roddick 1985). Ο Parrish (1983) έδειξε ότι στα Coast Mountains of British Columbia ηλικίες ιχνών διάσπασης αυξάνουν με την τοπογραφική ανύψωση. Η ερμηνεία είναι ότι όπου οι ρυθμοί ανύψωσης είναι ψηλότεροι, όπως στις περιοχές των ψηλών βουνών, τα πετρώματα τώρα εκτίθενται στην επιφάνεια όπου ανυψώθηκαν διαμέσου της δικιάς τους τερματισμένης θερμοκρασίας το συντομότερο, αποδίδοντας την παλαιότερη ηλικία ιχνών διάσπασης. Οι Cervený et al., (1988), ασχολήθηκαν με τη λεπτομερή μελέτη των γρήγορων ρυθμών ανύψωσης των Himalayan Mountains στο Πακιστάν.

#### 1.6.ε. Μαγνητοστρωματογραφία.

##### *1.6.ε.1. Ανάπτυξη της τεχνικής.*

Η μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων είναι μία από τις πιο νέες προσθήκες στον κύκλο των διαθεσίμων εργαλείων στους στρωματογράφους για τη συσχέτιση ιζηματογενών διαδοχών. Η πρώτη κύρια ανάπτυξη, η δημιουργία μιας ικανοποιητικής κλίμακας γεωμαγνητικής πολικότητας για τα τελευταία 4.5Ma, δημοσιεύτηκε απ'τον Cox (1969), και στην δεκαετία μέχρι τότε

η μαγνητοστρωματο-γραφία ήταν σχεδόν ισοδύναμη σε ενδιαφέρον με την βιοστρωματογραφία και την ραδιομετρική χρονολόγηση στην καθιέρωση κλίμακας χρόνου για τα τελευταία 160Ma της ιστορίας της γης (εικόνα 8). Όμως, αυτό φαίνεται προς το παρών απίθανο ότι η μέθοδος αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιείται όχι μόνο για τοπικά πετρώματα αλλά και για το σύνολο τους πριν το ανώτερο Ιουρασικό.



Εικόνα 8: Η δεκαετής κλίμακα χρόνου της North American Geology (Palmer, 1983).

Οι αρχές της μαγνητικής στρωματογραφίας είναι ότι κατά τη διάρκεια της απόθεσης των ιζημάτων ή της ψύξης των λυομένων πετρωμάτων, τα μαγνητικά ορυκτά οξειδίων του σιδήρου ευθυγραμμίζονται με κάθε μαγνητικό πεδίο που υπάρχει μετά. Αυτή η προτίμηση ευθυγράμμισης των κόκκων που προκύπτει σε μια χοντρική ιδιότητα του πετρώματος ονομάζεται σαν remanent magnetism, ο οποίος στην ουσία ενεργεί σαν καταγραφείας μαγνητικού πεδίου. Αρχικά παρατηρήθηκε σε ακολουθίες ηφαιστειακών πετρωμάτων στη χέρσο που ο βόρειος και νότιος πόλος

του γήινου μαγνητικού πεδίου έχουν αντιστραφεί αρκετά συχνά. Για παράδειγμα η δικιά μας πολικότητα ξεκινάει από τα  $7 \times 10^5$  χρόνια πριν, και πριν απ'αυτό και για ένα περίπου εκατομμύρια χρόνια, οι πόλοι αντιστράφησαν εκτός από αρκετά μικρά επεισόδια κανονικής πολικότητας. Η μαγνητική στρωματογραφία ή μαγνητοστρωματογραφία, είναι βασισμένη στις αντιστροφές του γήινου μαγνητικού πεδίου που καταγράφονται στα ιζήματα, και στην αξιοποίηση αυτών των αλλαγών για στρωματογραφικούς και χρονολογικούς σκοπούς (Kennett, 1980).

Οι μαγνητικές ιδιότητες έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε δύο άλλους τρόπους:

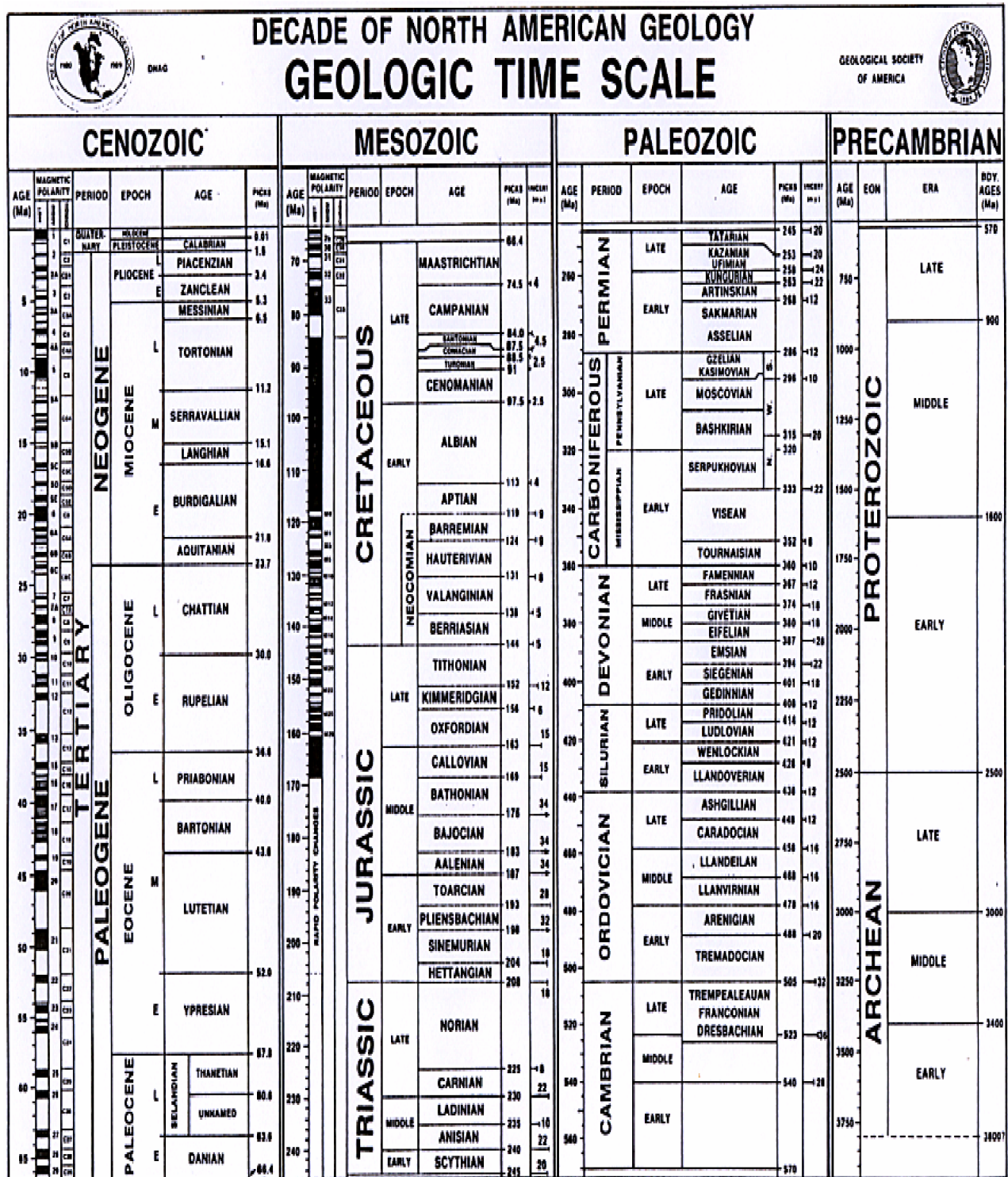
(1) για την αναπαράσταση παλιών θέσεων πόλων με σκοπό να σημειωθεί το ίχνος της τροχιάς των πλακών διαμέσου της υδρογείου σχετικά με ένα υποτιθέμενο ακίνητο γεωμαγνητικό άξονα.

(2) για την ανάλυση μορφών ταχύτητας του ωκεανίου πυθμένα με τη χρήση των πολικών μορφών αντιστροφής όπως αυτή αποτυπώνεται στις νέες σχηματιζόμενες ωκεάνιες λάβες.

Το πλεονέκτημα των αντιστροφών της πολικότητας στους στρωματογράφους είναι ότι οι αντιστροφές είναι σύγχρονες με πλατιά παγκόσμια γεγονότα. Το μειονέκτημα είναι ότι είναι μικρό το εύρος αντικειμένων για να διακριθεί ένα επεισόδιο πολικότητας από ένα άλλο, εκτός απ'τη διάρκεια τους. Αυτό το κάνει δύσκολο για να συσχετισθούν οι αντιστροφές μεταξύ τους, ειδικότερα καθώς ο χρόνος μπορεί να διαστρεβλώνεται στα ιζήματα με τις μεταβολές στους ρυθμούς ιζηματογένεσης και στη παρουσία χαμένων ακολουθιών (Johnson & McGee, 1983; Hall & Butler, 1983). Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, η μαγνητοστρωματογραφία συνδέθηκε στενά με την βιοστρωματογραφία και την ραδιομετρική χρονολόγηση για τους χρονολογικούς σκοπούς.

Η εργασία της χρονολόγησης των αντιστροφών ακολούθησε δύο κύριες τάσεις. Οι Vine & Mathews (1963) και Morley & Larochelle (1964) ανακάλυψαν ότι οι γραμμικές μαγνητικές ανωμαλίες πάνω στον θαλάσσιο πυθμένα θα μπορούσαν να συσχετισθούν διαμέσου των μεσοωκεανίων ράχων, δείχνοντας ότι κατέγραψαν την μορφή της ανάπτυξης του ωκεανίου φλοιού. Ο Heirtzler et al. (1968) ανέπτυξε μια χρονική κλίμακα πολικότητας απ'αυτά τα δεδομένα για τα τελευταία 79Ma με την προβολή του πλάτους των ανωμαλιών και θεωρώντας σταθερούς τους ρυθμούς κίνησης του ωκεανίου πυθμένα. Αργότερα, πιο ακριβείς εργασίες σε πυρήνες βαθιών γεωτρήσεων στη θάλασσα έδειξαν ότι αυτή η υπόθεση ήταν λανθασμένη (Odin & Curray, 1985), και η κλίμακα πολικότητας απαιτούσε επανεξέταση.

Η άλλη προσέγγιση στη χρονολόγηση αντιστροφών έγινε για να πραγματοποιηθούν λεπτομερείς δειγματοληψίες και μελέτες αντιστροφών σε ηφαιστειακά και ιζηματογενή πετρώματα. Αρχικά, οι αντιστροφές χρονολογήθηκαν με τη χρήση ραδιομετρικών μεθόδων. Ο Cox (1969) δημοσίευσε μια επανεξετασθείσα κλίμακα για τα τελευταία 4.5Ma βασισμένη κύρια σε μετρήσεις της ηφαιστειακής λάβας (εικόνα 9).



Εικόνα 9: Η ακολουθία των μαγνητικών αντιστροφών για τα τελευταία 4.5Μα, βασισμένη σε μελέτες ραδιομετρικής χρονολόγησης σε λάβες (Cox, 1969).

### 1.6.ε.2. Χρήσεις στη στρωματογραφία.

Η μαγνητοστρωματογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ειδικούς στην ανάλυση λεκανών με δύο κύρια τρόπους. Πρώτον, μπορεί να προβλέψει-εξασφαλίσει τμήμα των δεδομένων που

χρησιμοποιούνται για τη συσχέτιση τοπικών τομών με τα παγκόσμια χρονοστρωματογραφικά στάνταρτς. Δεύτερον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συσχέτιση τοπικών τομών μεταξύ τους χωρίς καμιά αναφορά στην παγκόσμια κλίμακα.

Η πρώτη χρήση απαιτεί λεπτομερή γνώση της βάσης των χρονοστρωματογραφικών δεδομένων. Αυτό είναι τώρα τέλειο για το Κενοζωϊκό αλλά μειώνεται σε ποιότητα απότομα προς τα πίσω μέσα στο Μεσοζωϊκό. Η εργασία της SMPTS παραθέτει την κλίμακα αντιστροφών, με αρίθμηση των ανωμαλιών και των χρόνων, τόσο μακριά πίσω μέχρι μέσα στο ανώτερο Κρητιδικό (Watkins,1976). Περιπλοκές για το κατώτερο Κρητιδικό και Ιουρασικό είναι διαθέσιμες, αλλά αυτές βασίζονται σε συνδιασμούς ανεξαρτήτων θαλασσιών και χερσαίων τομών. Ο παλαιότερος ακατανέμητος ωκεάνιος φλοιός που μέχρι τώρα έχει περιγραφεί είναι μέσο Ιουρασικός (Larson & Pitman,1972; Gradstein,1981). Ακολουθίες συνεχών ανωμαλιών και παραγματικά κενά, ελεύθερα από ιζηματολογική κάλυψη, είναι διαθέσιμα από τους ωκεανούς πίσω σ'αυτή τη χρονική περίοδο, αλλά για νεότερα πετρώματα, είναι απαραίτητη η στροφή σε ατελείς χερσαίες ακολουθίες. Επομένως καμιά αξιόπιστη ακολουθία αντιστροφών δεν είναι διαθέσιμη για τις πριν του μέσου Ιουρασικού χρόνου, και είναι ενδεχόμενο να απαιτούνται πολλά χρόνια εργασίας πριν κάποια τέτοια ακολουθία γίνει διαθέσιμη.

Για το σκοπό του τοπικού στρωματογραφικού συσχετισμού, δεν απαιτείται καμιά γνώση της παγκόσμιας κλίμακας. Όμως, επειδή τα γεγονότα αντιστροφών δεν είναι μοναδιαία, δεν είναι απίθανο να συσχετισθούν αυτά με μονταρισμένες ακολουθίες από διαφορετικές στρωματογραφικές ακολουθίες εκτός εάν αυτές περιέχουν ιδιαίτερες διακριτές μακράς ή μικρής πολικότητας παρεμβολές. Μερικά συμπληρωματικά κρητήρια μπορεί να απαιτηθούν για να βοηθήσουν στο μοντάρισμα, τέτοια όπως καθοδηγητικά στρώματα ή βιστρωματογραφική ζώνωση. Οι Picard (1964) και Ining (1966) ήταν μεταξύ των πρώτων Δυτικών ερευνητών που χρησιμοποίησαν την παλαιομαγνητική συσχέτιση για ιζήματα πάνω στις ηπείρους. Η τεχνική χρησιμοποιήθηκε ευρέως για μη θαλάσσια ιζήματα εξ'αιτίας της έλλειψης άλλων μέσων για ακριβή συσχέτιση.

#### *1.6.στ. Άλλες τεχνικές συσχέτισης.*

Οι βελτιώσεις στις σεισμικές τεχνικές οδήγησαν στην αίσθηση ότι οι σεισμικοί ανακλαστήρες είναι χρονοστρωματογραφικοί δείκτες. Ο Vail et al.(1977) απέδειξε ότι "δεν υπάρχει συνεχής φυσική επιφάνεια που ακολουθεί την κορυφή μιας χρονικής επελαυνομένης μονάδας". Τέτοιες μονάδες σημειώνονται από τις τοπικές ποικιλίες των λιθοφάσεων, αλλά κάθε σώμα πετρώματος συντίθεται από ανεξάρτητες στρωμένες μονάδες. Τα επίπεδα των στρώσεων που οριοθετούν αυτές τις μονάδες είναι βασικά σύγχρονες, και αυτό είναι ότι αυτά τα επίπεδα παράγουν τις σεισμικές αντανάκλασεις. Επομένως η σεισμική στρωματογραφία είναι ενδιαφέρουσα για τοπική

υποεπιφανειακή συσχέτιση και έχει προταθεί σαν η βάση για μια παγκόσμια στρωματογραφία ακολουθιών, αν και αυτό παραμένει σε διαμάχη, όπως περιγράφεται με κάποιες λεπτομέρειες σε επόμενο κεφάλαιο. Η χρήση της σεισμικής στρωματογραφίας στην ανάλυση αποθετικών συστημάτων περιγράφεται σε επόμενα κεφάλαια.

Πολλές άλλες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για την χρονολόγηση και συσχέτιση ιζημάτων στα νεότερα τμήματα της γεωλογικής καταγραφής. Για παράδειγμα, η διακύμανση στην ποσότητα των ισοτόπων του οξυγόνου σε σχέση με τις αλλαγές της θερμοκρασίας (Shackleton & Opdyke, 1976; Shackleton, 1986) και στις ποικιλίες του ποσοστού του ισοτόπου στροντίου σαν αποτέλεσμα των αλλαγών στην είσοδο του Sr από τον φλοιό και τον μανδύα (Elderfield, 1986). Και οι δύο αυτές τεχνικές χρησιμοποιούνται τώρα για ολόκληρη την θαλάσσια καταγραφή του Κενοζωϊκού. Ποικιλομορφίες στην ποσότητα των αμινο-οξέων και άλλων ειδικών τεχνικών χρησιμοποιήθηκαν για τα ιζήματα του Τεταρτογενούς (Nelson, 1981; Rutter, 1985). Αυτές οι τεχνικές έχουν ακόμη να εφαρμοστούν και σε στρώματα πριν το Πλειόκαινο. Η κλαστική σύνθεση των ψαμμιτών μπορεί να έχει τοπικό χρονστρωματογραφικό ενδιαφέρον, όπως φάνηκε στην περίπτωση της λεπτομερούς μελέτης απ'τους Dickinson & Rich (1972).

#### *1.6.ζ. Στρωματογραφική πληρότητα.*

Θεώρησε αυτές τις ανάμικτες παρατηρήσεις:

1. Όταν οι ρυθμοί ιζηματογένεσης μετριοούνται απ'την στρωματογραφική καταγραφή με την διαίρεση του εμφανιζόμενου πάχους με το χρόνο που πέρασε, αυτό αμετάβλητα βρέθηκε ότι η παχύτερη χρησιμοποιηθείσα παρεμβολή αντιστοιχεί στο μικρότερο που προκύπτει υπολογισθέντα ρυθμό ιζηματογένεσης.

2. Αν και δεν έχουν ποτέ παρατηρηθεί κύρια τουρβιδιτικά ρεύματα σε μοντέρνους ωκεανούς (έχουν παρατηρηθεί έμμεσα, για παράδειγμα, από το σπάσιμο των υποθαλασσιών καλωδίων), και οι μελέτες προτείνουν ότι αυτά μπορεί να εμφανίζονται με μια συχνότητα χρόνων μόνο από  $10^3$  έως  $10^5$ , πολλές στρωματογραφικές διαδοχές αποτελούνται σχεδόν εξ'ολοκλήρου από αποθέσεις επαναλαμβανομένων τουρβιδιτικών ρευμάτων.

3. Η στρωματογραφική πρακτική έδειξε ότι η απώλεια διαστημάτων είναι πάρα πολύ συνηθισμένη στη καταγραφή των πετρωμάτων. Στην πραγματικότητα οι βιοστρωματογράφοι εισήγαγαν την βαθμίδα *topless* με σκοπό να παράγουν ένα μηχανισμό για τη στρωματογραφική κατάταξη τέτοιων χαμένων διαστημάτων.

4. Αν και η εξέλιξη των ζωντανών μορφών φαίνεται να απαιτεί ότι θα πρέπει να εμφανίζονται τα μεταβατικά γένη που συνδέουν εξελικτικές ακολουθίες, τέτοιες συνδέσεις σπάνια βρίσκονται.



Ολόκληρο το δικό μας στρωματογραφικό οικοδόμημα κάθεται πάνω στην υπόθεση ότι τα πετρώματα είναι συσχετίσιμα, ότι οι δοσμένες μονάδες σχηματίστηκαν στον ίδιο χρόνο αλλά σε διαφορετικές θέσεις μέσα σε διαφορετικά περιβάλλοντα απόθεσης. Η αναπαράσταση της παλαιογεωγραφικής και στρωματογραφικής ιστορίας και η δημιουργία μιας παγκόσμιας κλίμακας χρόνου βασίζονται σ'αυτήν την υπόθεση.

Εκτελέστηκε ένα πείραμα απ'τον McKee et al.(1983) σχετιζόμενο με το πρώτο σημείο που αναφέρθηκε παραπάνω. Χρησιμοποίησαν ραδιοπυρήνες για να μελετήσουν ρυθμούς ιζηματογένεσης στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα. Αυτοί βρήκαν ότι η χρήση των ισοτόπων με μικρούς ρυθμούς διάσπασης επιτρέπουν την μελέτη μεγαλύτερων παρεμβολών συγκεντρώσεων και συνεπώς αποδίδουν μικρότερους ρυθμούς ιζηματογένεσης. Ο Ager (1984) σύγκρινε το πάχος της εμφανιζόμενης ακολουθίας του ανωτέρου Δεβονίου του Φρασνίου (Frasnian) σε τμήματα του Αρκτικού Καναδά, όπου εκτείνεται 3km, με αυτό που είναι σε μια περιοχή της βόρειας Γαλλίας, όπου μια προφανής σύμφωνη διαδοχή αντικατοπτρίζει το ίδιο χρονικό κενό που είναι περίπου 30m πάχος. Η ιζηματογένεση εδώ ήταν αναμφίβολα αργή, αλλά αυτή πιθανά ήταν επίσης πολύ επεισοδιακή.

## 1.7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

- AGER, D.V., 1964: The British Mesozoic Committee; *Nature*, v. 203, p. 1059.
- AGER, D.V., 1973: The nature of the stratigraphic record, 2nd ed.; Macmillan Press, London.
- AGER, D.V., 1984: The stratigraphic code and what it implies; in W.A. Berggren and J.A. Van Couvering, eds., *Catastrophes and earth history: the new uniformitarianism*; Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p. 91-100.
- ARMSTRONG, R.L., 1978: Pre-Cenozoic Phanerozoic time scale-computer file of critical dates and consequences of new and in-progress decay-constant revisions; in G.V. Cohee, M.F. Glaessner, and H.D. Hedberg, eds., *Contribution to the geologic time scale*; American Association of Petroleum Geologists Studies in Geol. 6, p. 73-91.
- BATHURST, R.G.C., 1976: Carbonate sediments and their diagenesis; 2nd ed., *Developments in Sedimentology*, Elsevier, Amsterdam, 658 p.
- BERGGREN, W.A., and VAN COUVERING, J.A., 1978: Biochronology; in G.V. Cohee, M.F. Glaessner, and H.D. Hedberg, eds., *Contributions to the geologic time scale*; American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology 6, p. 39-55.
- BERRY, W.B.N., 1968: Growth of prehistoric time scale, based on organic evolution; W.H. Freeman and Co., San Francisco, 158 p.
- BERRY, W.B.N., 1977: Graptolite biostratigraphy: a wedding of classical principles and current concepts; in E.G. Kauffman and J.E. Hazel, eds., *Concepts and methods of biostratigraphy*; Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, p. 321-338.
- BOUCOT, A.J., 1953: Life and death assemblages among fossils; *American Journal of Science*, v. 251, p. 25-40.
- BURNABY, T.P., 1965: Reversed coiling trends in *Gryphaea arcuata*; *Geological Journal*, v. 4, p. 257-278.
- CERVENY, P.F., NAESER, N.D., ZEITLER, P.K., NAESER, C.W., and JOHNSON, N.M., 1988: History of uplift and relief of the Himalaya during the past 18 million years: evidence from fission-track ages of detrital zircons from sandstones of the Siwalik Group; in K.L. Kleinspehn and C. Paola, eds., *New perspectives in basin analysis*, Springer-Verlag, New York, p. 43-61.
- COHEE, G.V., GLAESSNER, M.F., and HEDBERG, H.D., EDS., 1978: Contributions to the geologic time scale; American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology No. 6.
- CORDIANI, U.G., KAWASHITA, K., and FILHO, A. T., 1978: Applicability of the rubidium-strontium method to shales and related rocks; in G.V. Cohee, M.F. Glaessner, and H.D. Hedberg, eds., *Contributions to the geologic time scale*; American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology 6, p. 93-117.
- DAVIES, G.R., and LUDLUM, S.D., 1973: Origin of laminated and graded sediments, Middle Devonian of Western Canada; *Geological Society of America Bulletin*, v. 84, p. 3527-3546.
- DENHAM, C.R., 1984: Statistical sedimentation and magnetic polarity; in W.A. Berggren and J.A. van Couvering, eds., *Catastrophes and earth history: the new uniformitarianism*; Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p. 101-112.
- DICKINSON, W.R., and RICH, E.I., 1972: Petrologic intervals and petrofacies in the Great Valley sequence, Sacramento Valley, California; *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, p. 3007-3024.
- DINGUS, L., 1984: Effects of stratigraphic completeness on interpretations of extinctions across the Cretaceous-Tertiary boundary; *Paleobiology*, v. 10, p. 420-438.
- EINSELE, G., and SEILACHER, A., EDS., 1982: *Cyclic and event stratification*; Springer-Verlag Inc., Berlin, 536 p.
- ELDERFIELD, H., 1986: Strontium isotope stratigraphy; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 57, p. 71-90.

- ELDRIDGE, N., and COULD, S.J., 1977: Evolutionary models and biostratigraphic strategies; in E.G. Kauffman and J.E. Hazel, eds., Concepts and methods of biostratigraphy; Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, p. 25-40.
- ELLIOTT, T., 1978: Deltas; in H.G. Reading, ed., Sedimentary environments and facies, Blackwell, Oxford, p. 97-142.
- FAHRAEUS, L. E., 1986: Paleocene #4. Darwinian evolution and developmental biology: a brief review of current ideas; Geoscience Canada, v. 13, p. 155-164.
- FLEISCHER, R.L., PRICE, P.B., and WALKER, R.M., 1974: Nuclear tracks in solids, principles and applications; University of California Press, 605 p.
- GOODWIN, P.W., and ANDERSON, E.J., 1985: Punctuated aggradational cycles: a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation; Journal of Geology, v. 93, p. 515-533.
- GOULD, S.J., 1972: Allometric fallacies and the evolution of Gryphaea: a new interpretation based on White's criterion of geometric similarity; in Th. Dobzhansky et al., eds., Evolutionary Biology; Appleton-Century-Crofts, New York, v. 6, p. 91-118.
- GRADSTEIN, F.M., 1981: Oldest oceanic sediments and basement recovered by deep sea drilling; Geology, v. 10, pt. 2, p. 40-43. HALL, S.A., and BUTLER, J.C., 1983: Potential problems in the magnetostratigraphic studies of shallow water sequences; Journal of Geology, v. 96, p. 693-705.
- HALLAM, A., 1959: On the supposed evolution of Gryphaea in the Lias; Geological Magazine, v. 96, p. 99-108.
- HALLAM, A., ed., 1973: Atlas of paleobiogeography; Elsevier, Amsterdam, 531 p.
- HALLAM, A., and BRADSHAW, M.J., 1979: Bituminous shales and oolitic ironstones as indicator of transgressions and regressions; Journal of the Geological Society, London, v. 136, p. 157-164.
- HANCOCK, J.M., 1977: The historic development of biostratigraphic correlation; in E.G. Kauffman and J.E. Hazel, eds., Concepts and methods of biostratigraphy; Dowden, Hutchinson and Eoss Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, p. 3-22.
- HAQ, B.U., and VANEYSINGA, F.W., 1987: Geological time table, 4th ed., Elsevier Scientific Publications, Amsterdam.
- HARLAND, W.B., 1978: Geochronologic scales; in G.V. Cohee, M.F. Glaessner, and H.D. Hedberg, eds., Contributions to the Geologic time scale, American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology 6, p. 9-32.
- HARLAND, W.B., 1983: Precambrian geochronology in Canada; Geological Magazine, 120, p. 195-203.
- HARLAND, W.B., AGER, D.V., BALL, H.W., BISHOP, W.W., BLOW, W.H., CURRY, D., DEER, W.A., GEORGE, T.N., HOLLAND, C.H., HOLMES, S.C.A., HUGHES, N.F., KENT, P.E., PITCHER, W.S., RAMSBOTTOM, W.H.C., STUBBLEFIELD, C.J., WALLACE, P., and WOODLAND, A.W., 1972: A concise guide to stratigraphical procedure; Journal of the Geological Society, London, v. 128, p. 295-305.
- HARLAND, W.B., COX, A.V., LEWELLYN, P.G., PICKTON, C.A.G., SMITH, A.G., and WALTERS, R., 1982: A geologic time scale; Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press, Cambridge, 131 p.
- HAY, W.W., and SOUTHAM, J.R., 1978: Quantifying biostratigraphic correlation; Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 6, p. 353-375.
- HEDBERG, H.D., ed., 1976: International Stratigraphic Guide; Wiley, New York, 200 p.
- HEIRTZLER, J.R., DICKSON, G.O., HERRON, E.M., PITMAN, W.C., and LE PICHON, X., 1968: Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals and motions of the ocean floor and continents; Journal of Geophysical Research, v. 73, p. 2119-2136.
- HOLLAND, C.H., 1986: Does the golden spike still glitter?; Journal of the Geological Society, London, v. 143, p. 3-21.
- INTERNATIONAL SUBCOMMISSION ON STRATIGRAPHIC CLASSIFICATION, 1987: Unconformity- bounded stratigraphic units; Geological Society of America Bulletin, v. 98, p. 232-237.

- IRVING,E.,1966:Paleomagnetism of some Carboniferous rocks from New South Wales and its relation to geological events; *Journal of Geophysical Research*, v. 71, p. 6025-6051.
- JOHNSON,N.M.,and McGEE,V.E.,1983: Magnetic polarity stratigraphy: stochastic properties of data, sampling problems, and the evaluation of interpretations;*Journal of Geophysical Research*,v.88, p.1213-1221.
- KAUFFMAN,E.G.,1984:The fabric of Cretaceous marine extinctions; in W.A.Berggren and J.A.van Couvering, eds., *Catastrophe and earth history: the new uniformitarianism*; Princeton University Press,Princeton, New Jersey, p. 151-246.
- KENNEDY,W.J.,and HAZEL,J.E., eds., 1977: The role of ammonites in biostratigraphy; in E.G. Kauffman and J.E. Hazel, eds., *Concepts and methods of biostratigraphy*; Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, p. 309-320.
- KENNETT,D.V.,ed.,1980: magnetic stratigraphy of sediments; Dowden,Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, *Benchmark Papers in Geology* 54, 438 p.
- LAMBERT, R.St.J., 1964: The relationship between radiometric ages obtained from plutonic complexes and stratigraphical time; in W.B. Harland,A.G.Smith, and B. Wilcock, eds., *The Phanerozoic time scale*, *Quarterly Journal of the Geological Society*, London, Supplement v.120S, p. 43-54.
- LARSON,R.L.,and PITMAN, W.C., III, 1972: World-wide correlation of Mesozoic magnetic anomalies, and its implications; *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, p. 3645-3662.
- LUDVIGSEN,R.,and WESTROP,S.R.,1985:Three new Upper Cambrian stages for North America; *Geology*, v. 13, p. 139-143.
- McKEE,B.A.,NITTROUER, C.A., and DEMASTER, D.J., 1983: Concepts of sediment deposition and accumulation applied to the continental shelf near the mouth of the Yangtze River; *Geology*, v. 11, p. 631-633.
- McLAREN,D.J.,1970:Presidential address: Time, life and boundaries;*Journal of Paleontology* v. 44, p. 801-815.
- McLAREN, D.J., 1973: The Silurian-Devonian boundary; *Geological Magazine*,v.110,p.302-303.
- MIALL, A.D., 1979: Mesozoic and Tertiary geology of Banks Island, Arctic Canada: the history of an unstable craton margin; *Geological Survey of Canada Memoir* 387.
- MIALL, A.D., 1986: Eustatic sea level changes interpreted from the stratigraphic record: a critique of the methodology with particular reference to the North Sea Jurassic record; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 70, p. 131-137.
- MOORBATH, S., 1964: The rubidium-strontium method; in W.B Harland, A.G.Smith, and B. Wilcock, eds., *The Phanerozoic time scale*, *Quarterly Journal of the Geological Society*, London, Supplement, v.120, p.87-100.
- MOORBATH, S., 1969: Evidence for the age of deposition of the Torridonian sediments of northwest Scotland; *Scottish Journal of Geology*,v.5,p.154-170.
- MORLEY,L.W.,and LAROCHELLE,A.,1964:Paleomagnetism as a means of dating geological events;in F.F.Osborne,ed.,*Geochronology in Canada*, Royal Society of Canada Special Publication 8, p. 39-51.
- MYHR,D.W.,and MEIJER-DREES,N.C.,1976: Geology of the southeastern Alberta Milk River gas pool; in M.M Lerand, ed., *The sedimentology of selected clastic oil and gas reservoirs in Alberta*; Canadian Society of Petroleum Geologists, p. 96-117.
- NELSON, A.R., 1981: Quaternary glacial and marine stratigraphy of the Qivitu Peninsula, northern Cumberland Peninsula, Baffin Island, Canada;*Geological Society of America Bulletin*,Part ii,v.92,p.1143-1261.
- ODIN,G.S.,1978: Results of dating Cretaceous Paleogene sediments,Europe;in G.V.Cohee,M.F Glaessner,and H.D.Hedberg, eds.,*Contributions to the geologic time scale*; American Association of Petroleum Geologists *Studies in Geology* 6, p. 127-141.
- ODIN,G.S.,and CURRY,D.,1985:The paleogene time-scale; radiometric dating versus magnetostratigraphic approach;*Journal of the Geological Society*, London, v. 142, p. 1179-1188.

- PARRISH, R.R., 1983: Cenozoic thermal evolution and tectonics of the Coast Mountains of British Columbia 1. Fission track dating, apparent uplift rates, and patterns of uplift; *Tectonics*, v. 2, p. 601-631.
- PARRISH, R.R., and RODDICK, J.C., 1985: Geochronology and isotope geology for the geologist and explorationist; Cordilleran Section, Geological Association of Canada, Short Course 4.
- PICARD, N.D., 1964: Paleomagnetic correlation of units within the Chugwater (Triassic) Formation, west-central Wyoming; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 48, p. 269-291.
- PRESTON, F.W., and HENDERSON, J.H., 1964: Fourier series characterization of cyclic sediments for stratigraphic correlation; *State Geological Survey of Kansas Bulletin* 169, p. 415-425.
- RUTTER, N.W., ed., 1985: Dating methods of Pleistocene deposits and their problems; *Geoscience Canada Reprint Series #2*, 87 p.
- SADLER, P.M., 1981: Sediment accumulation rates and the completeness of stratigraphic sections; *Journal of Geology*, v. 89, p. 569-584.
- SCHULTZ, E.H., 1982: The chronostratigraphic units and supersome: terms proposed for low-rank chronostratigraphic units; *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v. 30, p. 29-33.
- SHACKLETON, N.J., 1986: Paleogene stable isotope events; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 57, p. 91-102.
- SHACKLETON, N.J., and OPDYKE, N.D., 1976: Oxygen-isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific Core V28-239, Late Pliocene to latest Pleistocene; *Geological Society of America Mem.* 145, p. 449-464.
- SHERIFF, R.E., 1976: Inferring stratigraphy from seismic data; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 60, p. 528-542.
- SILVER, L.T. and SCHULTZ, P.H., eds., 1982: Geological implications of impacts of large asteroids and comets on the earth; *Geological Society of America Special Paper* 190.
- SLOSS, L.L., KRUMBEIN, W.C., and DAPPLES, E.C., 1949: Integrated facies analysis, in *Sedimentary facies in geologic history*; *Geological Society of America Memoir* 39, p. 91-124.
- SMITH, T.F., and WATERMAN, M.S., 1980: New stratigraphic correlation techniques; *Journal of Geology*, v. 88, p. 451-457.
- STEIGER, R.H., and JAGER, E., 1978: Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geochronology; in G.V. Cohee, M.F. Glaessner, and H.D. Hedberg, eds., *Contributions to the geologic time scale*; *American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology* 6, p. 67-71.
- STOAKES, F.A., 1980: Nature and control of shale basin fill and its effect on reef growth and termination: Upper Devonian Duvernay and Ireton Formations of Alberta, Canada; *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v. 28, p. 345-410.
- STOCKWELL, C.H., 1973: Revised Precambrian time scale for the Canadian Shield; *Geological Survey of Canada Paper* 72-52.
- STOCKWELL, C.H., 1982: Proposals for time classification and correlation of Precambrian rocks and events in Canada and adjacent areas of the Canadian Shield. Part 1: A time classification of Precambrian rocks and events. *Geological Survey of Canada Paper* 80-19, 135 p.
- TRUEMAN, A.E., 1922: The use of Gryphaea in the correlation of the Lower Lias; *Geological Magazine*, v. 59, p. 256-268.
- TURNER, P., 1980: Continental red beds; *Developments in sedimentology* 29, Elsevier, Amsterdam, 562 p.
- VAIL, P.R., HARDENBOL, J., and TODD, R.G., 1984: Jurassic unconformities, chronostratigraphy, and sea level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy; in J.S. Schlee, ed., *Interregional unconformities and hydrocarbon accumulation*, *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 36, p. 129-144.
- VAIL, P.R., TODD, R.G., and SANGREE, J.B., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part five: Chronostratigraphic significance of seismic reflections; in C.E. Payton, ed., *Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration*, *American Association of*

- Petroleum Geologists Memoir 26, p. 99-116.
- VAN COUVERING, J.A., and BERGGREN, W.A., 1977: Biostratigraphical basis of the Neogene time scale; in E.G. Kauffman and J.W. Hazel, eds. Concepts and methods of biostratigraphy; Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, p. 283-306.
- VAN HINTE, J.E., 1969: A Cretaceous time scale; American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 60, p. 498-516.
- VINE, F.J., and MATTHEWS, P.M., 1963: Magnetic anomalies over ocean ridges; Nature, v. 199, p. 947-949.
- WATLONS, M.D., 1976: Polarity subcommission sets up some guidelines; Geotimes, v. 21, p. 18-20.
- WATSON, R.A., 1983: A critique of chronostratigraphy; American Journal of Science, v. 283, p. 173-177.