

## **2. ΦΑΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

### **2.1. Εισαγωγή.**

Η μελέτη και η ερμηνεία της υφής των ιζηματογενών δομών, των απολιθωμάτων και της λιθολογικής οργάνωσης των ιζηματογενών πετρωμάτων στην κλίμακα μιας επιφανειακής εμφάνισης, τομής μιας γεώτρησης ή μικρών κομματιών μιας λεκάνης συνθέτουν το αντικείμενο της φασικής ανάλυσης. Η εφαρμογή σε ιδιαίτερα παλιά παραδείγματα μπορεί μετά να πραγματοποιηθεί με έναν απ'τους παρακάτω οδηγούς χειρός. Ο εισαγωγικός οδηγός που δόθηκε από τον Walker (1984) και οι πιο προχωρημένες πραγματεύσεις από τους J.L.Wilson (1975) και Reading (1986). Επίσης πολλά άλλα βιβλία περιέχουν μια πιο συνοπτική παρουσίαση του ίδιου υλικού (π.χ. Blatt et al.1980; Leeder,1982).

Για να επεκταθεί μια φασική ανάλυση σε μια ολόκληρη λεκάνη, είναι απαραίτητο να ασχοληθούμε και να επιλύσουμε προβλήματα της στρωματογραφικής συσχέτισης και να εφαρμόσουμε ποικίλες τεχνικές χαρτογράφησης λεκανών. Οι στρωματογραφικές μέθοδοι περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το τελευταίο τμήμα αυτής της εργασίας είναι η παλαιογεωγραφική σύνθεση που απεικονίζει μια ερμηνεία της στρωματογραφικής και γεωγραφικής εξέλιξης της λεκάνης διαμέσου του χρόνου. Ιδιαίτερα μεγάλης κλίμακας μορφές λεκανών πλήρωσης έχουν ανακαλυφθεί με το πέρασμα του χρόνου από εργασίες αυτού του είδους. Αυτές αναφέρονται σαν αποθετικά συστήματα και περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.

### **2.2. Η έννοια των φάσεων.**

Η έννοια της λέξης φάση έχει παρα πολύ συζητηθεί στη γεωλογία (π.χ. Moore,1949; Teichert,1958; Krumbein & Sloss, 1963). Αυτή η λέξη πλατιά χρησιμοποιήθηκε στην ιζηματογενή γεωλογία, αλλά επίσης έχει κάπως διαφορετική έννοια στη περιοχή της γεωλογίας των μεταμορφωμένων (Fawcett 1982). Οι Anderton (1985) και Reading (1986) έδωσαν εξαιρετικές περιγραφές των μοντέρνων ιζηματογενών χρήσεων του όρου και των μεθόδων της ερμηνείας ανεξαρτήτων φάσεων και φασικών συσχετισμών.

Η λέξη φάσις τώρα χρησιμοποιείται και στη περιγραφή ή και στην ερμηνευτική λογική. Η λέξη από μόνη της μπορεί να έχει είτε μια απλή είτε μια πολύπλοκη έννοια. Οι περιγραφικές φάσεις περιλαμβάνουν τις λιθοφάσεις και τις βιοφάσεις, και οι δύο είναι όροι που χρησιμοποιούνται στην αναφορά βεβαιωμένων αξιοσημείωτων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των ιζηματογενών πετρωμάτων τα οποία μπορούν να ερμηνευτούν σε όρους των αποθετικών ή βιολογικών διαδικασιών. (Όταν χρησιμοποιούνται χωρίς ένα πρόθεμα σε αυτό το βιβλίο, η λέξη φάση προορίζεται να σημαίνει είτε τη λιθοφάση είτε τη βιοφάση). Μια ανεξάρτητη λιθοφάση είναι μια μονάδα πετρώματος ορισμένη στη βάση της δικιάς της διακριτής λιθολογικής παράστασης,

περιλαμβάνοντας την σύνθεση, το κοκκομετρικό μέγεθος, χαρακτηριστικά στρώσεως και ιζηματογενείς δομές. Κάθε λιθοφάση αντικατοπτρίζει ένα ανεξάρτητο αποθετικό γεγονός. Οι λιθοφάσεις μπορούν να ομαδοποιούνται σε λιθοφασικές διαφορές ή συναθρήσεις, οι οποίες είναι χαρακτηριστικές ιδιαίτερων αποθετικών περιβαλλόντων. Αυτές οι συναθρήσεις σχηματίζουν τη βάση για τον ορισμό λιθοφασικών μοντέλων, αυτά γενικά είναι κυκλικά. Μία βιοφάση ορίζεται στη βάση των συμμετεχόντων απολιθωμάτων, περιλαμβάνοντας είτε σώματα απολιθωμάτων είτε ίχνη από αυτά. Ο όρος βιοφάση κανονικά χρησιμοποιείται στη λογική μιας συνάθρησης από τέτοια συστατικά. Για το σκοπό της ιζηματολογικής μελέτης, μια απόθεση μπορεί να χωριστεί σε μία σειρά από φασικές μονάδες, κάθε μία από τις οποίες επιδεικνύει μια ξεχωριστή συνάθρηση από λιθολογικές ή βιολογικές παραστάσεις. Αυτές οι μονάδες μπορούν να έχουν απλά στρώματα μερικών χιλιοστών πάχους ή μια διαδοχή στρωμάτων δεκάδων έως εκατοντάδων μέτρων πάχους. Για παράδειγμα, μια ποτάμια απόθεση μπορεί να αποτελείται από στρώματα πάχους μερικών εκατοστών μιας κροκαλοπαγούς λιθοφάσης που εναλλάσσονται με ψαμμιτική φάση με διασταυρωμένη στρώση. Συγκρίνοντας αυτό με τους όρους των βιοφάσεων που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν το γέμισμα πολλών κύριων λεκανών του κατωτέρω Παλαιοζωικού. Γενικά, αυτό μπορεί να διαιρεθεί σε μονάδες πάχους εκατοντάδων μέτρων συνθέτοντας μια απολιθωματοφόρο βιοφάση, περιέχοντας τέτοια απολιθώματα όπως βραχυπόδα και τριλοβίτες, και μια γραπτολιθική βιοφάση. Από την άλλη μεριά, ο J.L.Wilson (1975) πρότεινε τη χρήση της μικροφάσης στη μελέτη λεπτών τομών των ανθρακικών πετρωμάτων και καθόρισε 24 στάνταρντ τύπους.

Η κλίμακα μιας ανεξάρτητης μονάδας λιθοφάσης ή βιοφάσης εξαρτάται από το επίπεδο της λεπτομερούς αναγνώρισης σε κάθε ορισμό της. Η μονάδα αυτή καθορίστηκε από τη μεταβλητότητα της διαδοχής, από τη φύση της έρευνας που λαμβάνει χώρα, ή από την διαθεσιμότητα των υλικών του πετρώματος για εξέταση. Οι φασικές μονάδες ορισμένες στη βάση της επιφανειακής εμφάνισης, του πυρήνα, της τομής από γεώτρηση, ή γεωφυσικών κριτηρίων τείνουν να αναφέρονται σε εντελώς διαφορετικές κλίμακες και επίπεδα της λεπτομέρειας. Οι γεωφυσικοί στην πετρελαιοβιομηχανία αναφέρονται σε σεισμικές φάσεις, αλλά αυτό δεν είναι συγκρίσιμο με τους μικρής κλίμακας τύπους φάσεων που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο. Νέες, ψηλού διαχωρισμού ρηχές σεισμικές αποτυπώσεις συνδέθηκαν με τις απεικονίσεις του side-scan sonar και δημιούργησαν ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση της σύνθεσης των φάσεων και της γεωμετρίας σε μοντέρνα περιβάλλοντα και άρχισε να έχει κυρία επίδραση στην κατανόηση των περιβαλλόντων της υφαλοκρηπίδας και της κατωφέρειας. Μεγαλύτερη προσοχή δίνεται στην τρισδιάστατη γεωμετρία των μονάδων, ιδιαίτερα σε μελέτες επιφανειακών εμφανίσεων και υποεπιφανειακές μελέτες εμπλεκόμενες στην ανάπτυξη των ρεζερβουάρ. Σε μια μεγάλη έκταση, οι κλίμακες πάνω στις οποίες ορίζονται οι μονάδες φάσεων

αντικατοπτρίζουν τα κριτήρια της ευκολίας καθορισμού. Αυτός ο ρόλος είναι ένας πολυ ευπροσάρμοστος και κατάλληλος για περιγραφικούς σκοπούς.

Ο όρος φάση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί, συνήθως για λιθοφασικές συναθρήσεις, σε μια λογική ερμηνείας, για ομάδες πετρωμάτων οι οποίες θεωρούνται να έχουν σχηματιστεί κάτω από ανάλογες συνθήκες. Αυτή η πρακτική μπορεί να υπερτονιστεί ιδιαίτερα για αποθετικές διαδικασίες, τέτοιες όπως τουρβιδιτικές φάσεις. Εναλλακτικά, μπορεί να αναφέρεται σε ιδιαίτερα αποθετικά περιβάλλοντα, τέτοια όπως ανθρακικές φάσεις υφαλοκρηπίδας ή ποτάμιες φάσεις, περικλείοντας μεγάλου εύρους αποθετικών διαδικασιών.

Πλατιά διαδεδομένη χρήση γίνεται ακόμη για δύο Ελβετικούς στρωματογραφικούς όρους του 19ου αιώνα οι οποίοι απέκτησαν μια γενικευμένη φασική έννοια περικλείοντας λιθολογικά χαρακτηριστικά, τα αποθετικά περιβάλλοντα και την τεκτονική τοποθέτηση. Ο πρώτος από αυτούς είναι η φάση του φλύσχη, περιλαμβάνοντας θαλάσσια ιζήματα, τυπικά τουρβιδίτες και άλλες ιζηματογενείς βαρυτικών ροών αποθέσεις, που σχηματίστηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια. Η μολασσική φάση αποτελείται από μη θαλάσσια και αβαθή θαλάσσια ιζήματα, κύρια ψαμίτες και κροκαλοπαγή, που σχηματίστηκαν εσωτερικά και στις δομές πτυχωμένων ζωνών κατά τη διάρκεια και ακολουθώντας την ανάδυσή τους σε οροσειρές. Και οι δύο από αυτούς τους φασικούς τύπους μπορούν να φτιάξουν κύριες στρωματογραφικές μονάδες εκατοντάδων ή χιλιάδων μέτρων πάχους και εκτείνονται για εκατοντάδες ή χιλιάδες χιλιομέτρων. Η συνεχής χρήση αυτών των όρων του φλύσχη και της μολάσσας δεν προτείνεται εξαιτίας των αμφιβολιών σχετικά με τη σημασία τους για την τεκτονική τους τοποθέτηση.

Η λιθοστρωματογραφική και λιθοφασική ανάλυση είναι δύο συγκρινόμενες προσεγγίσεις στη μελέτη των ιζηματογενών πετρωμάτων. Η πρώτη είναι η παραδοσιακή περιγραφική προσέγγιση. Η δεύτερη βασίζεται στη λεπτομερή φασική περιγραφή, η οποία παράγει τη βάση για την γεννετική μελέτη των ιζημάτων χρησιμοποιώντας φασικά μοντέλα. Η λιθοφασική και βιοφασική ανάλυση μπορεί και πρέπει να χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τις στρωματογραφικές μελέτες επειδή με την κατανόηση των περιβαλλόντων απόθεσης και της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης στο χρόνο που μια μονάδα πετρώματος σχηματίστηκε είμαστε σε καλύτερη θέση να κάνουμε προφητεύσεις και προσεγγίσεις σχετικά με τις πλευρικές αλλαγές του πάχους και της σύνθεσης. Είναι προφανές ότι αυτό είναι αντικείμενο για τους σκοπούς της συσχέτισης, και μπορεί να εφαρμοστεί για να ένα πιο λογικό ορισμό των τυπικών λιθοστρωματογραφικών μονάδων. Η ανάλυση των βιοφάσεων είναι κρίσιμη-σημαντική στον ορισμό και κατανόηση των βιοστρωματογραφικών μονάδων.

Η λιθοστρωματογραφία και η φασική ανάλυση άρχισαν να γίνονται μαζί σε μια νέα μορφή, αυτή της στρωματογραφίας ακολουθιών (sequence stratigraphy). Αυτή είναι η μελέτη της σύνθετης

ενδοδακτυλίωσης των θαλασσίων και μη θαλασσίων φάσεων οι οποίες προκύπτουν από περιφερειακές ή παγκόσμιες αλλαγές στο σχετικό επίπεδο της θάλασσας.

### **2.3. Αναγνώριση και ορισμός των φασικών τύπων.**

#### 2.3.α. Φιλοσοφία και μέθοδοι.

Με σκοπό να γίνει βολιδοσκόπηση των λιθολογικών ποικιλομορφιών που είναι παρούσες στις περισσότερες ιζηματογενείς λεκάνες, είναι απαραίτητο να γίνει γενίκευση, ταξινόμηση και απλοποίηση αυτών που βλέπουμε σε τομές γεωτρήσεων και επιφανειακών εμφανίσεων. Είναι απαραίτητο γιατί το ανθρώπινο μυαλό μπορεί κάθε φορά να απορροφά και να επεξεργάζεται μόνο μια περιορισμένη ποσότητα λεπτομερειών. Στην ιζηματολογία, βρέθηκε ότι πολλές από τις ποικιλομορφίες αποκρύπτουν ένα περιορισμένο εύρος από βασικούς λιθοφασικούς και βιοφασικούς τύπους, και ότι οι ποικιλομορφίες ανάμεσα σ'αυτούς τους τύπους αντικατοπτρίζουν μικρές τυχαίες περιβαλλοντικές τροποποιήσεις ή αυτές ακόμη είναι το αποτέλεσμα τυχαίων εμφανίσεων ή η θέση μιας λεπτής τομής. Η ύπαρξη αυτών των φυσικών μορφών είναι τί κάνει πιθανή τη φασική μελέτη, τα φασικά μοντέλα και την παλαιογεωγραφική αναπαράσταση. Για παράδειγμα για πολλά χρόνια οι ιζηματολόγοι ταξινομούσαν τις περισσότερες αποθέσεις βαθιών θαλασσών σε όρους μόνο πέντε βασικών λιθοφάσεων. Αυτές ήταν οι A, B, C, D και E υποδιαίρεσεις της κλασικής τουρβιδιτικής ακολουθίας του Bouma (Bouma, 1962). Βεβαιωμένα παχυστρωματώδη και χονδρόκοκα στρώματα δεν περιλαμβάνονταν, τοποθετούνταν στο καλούπι, και μικρή προσοχή δινόταν σε αυτά μέχρι την άφιξη του υποθαλασίου ριπιδιακού μοντέλου, το οποίο έδειξε ότι οι ακολουθίες Bouma τείνουν να εμφανίζονται κύρια στο εξωτερικό, μη καναλοποιημένο τμήμα του ριπιδίου. Το φάσμα των λιθοφάσεων για τα υποθαλάσσια ριπίδια είναι τώρα πλέον πιο σύνθετο. Ο Miall (1977, 1978) έδειξε ότι οι περισσότερες αποθέσεις στα δικτυωτά ποτάμια θα πρέπει να περιγράφονται με τη χρήση περίπου 20 λιθοφασικών τύπων. Ο Wilson (1975), σε μια κύρια επισκόπηση των ανθρακικών πετρωμάτων του Φανεροζωικού κατέληξε ότι τα περισσότερα θα μπορούν να περιγράφονται ικανοποιητικά με τη σχεδίαση από μια λίστα μόνο 24 στάνταρ μικροφάσεων. Ο Eyles et.al. (1983) πρότεινε ένα απλό σχήμα λιθοφασικής κατάταξης για την περιγραφή των θαλασσοπαγετωδών και λινοπαγετωδών αποθέσεων.

Οι κατασκευαστές φασικών μοντέλων έχουν ακόμη να ταξινομήσουν όλους τους ιζηματογενείς τύπους σε κάθε ποικιλία αποθετικού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, κανένας μέχρι τώρα δεν έχει προσπαθήσει να δημιουργήσει ένα παγκόσμιο λιθοφασικό σχήμα για τα κλαστικά πετρώματα συγκρίσιμο με αυτό του Wilson για τα ανθρακικά. Ανάλογα, πολλές ομάδες απολιθωμάτων περιμένουν την λεπτομερή βιοφασική ανάλυση. Για αυτό το λόγο, κάθε αναλυτής λεκανών θα πρέπει να μελετάει κάθε λεκάνη με ξεκάθαρο μάτι και τουλάχιστον στα προκαταρκτικά

στάδια της μελέτης, να δημιουργεί ένα τοπικό φασικό σχήμα χωρίς πολλές εξαρτήσεις στις προυπάρχουσες δημοσιευμένες εργασίες. Η δουλική προσκόληση σε τέτοια ευκολοδιάθετα κλειδιά έρευνας μπορεί να προκύψουν σε μικρότερους αλλά σημαντικούς λιθοφασικούς τύπους και οι λιθοφασικές σχέσεις να χαθούν ή να εξαναγκασθούν να μούν σε ένα ακατάλληλο καλούπι-πλαίσιο. Νέα φασικά μοντέλα ή ένας καλύτερος ορισμός των παλαιότερων ποτέ δεν θα προέκυπτε εάν οι γεωλόγοι ικανοποιούντουσαν απλοικά με τέτοιες αντιγραμμένες μελέτες. Η hummocky διασταυρωμένη στρώση είναι ένα τέλειο παράδειγμα μιας δομής την οποία οι ιζηματολόγοι την κοιτούσαν χωρίς να την βλέπουν για πολλά χρόνια, ώσπου πάνω σε αυτήν εστίασε και έδωσε το όνομα ο Harms et.al. (1975). Ξαφνικά, έγινε αντιληπτό ότι αυτός ο ξεχωριστός τρόπος της διασταυρωμένης στρώσης ήταν χαρακτηριστικός σε πολλές παλιές αποθέσεις που γεννήθηκαν από καταγιίδες. Η αναγνώρισή του οδήγησε στην επανεξέταση πολυαριθμών ρηχής θάλασσας ακολουθιών, στο βαθμό ότι αυτός ο όρος έγινε κάτι σαν κλισέ στις αρχές του '80 (π.χ Byers and Dott 1981).

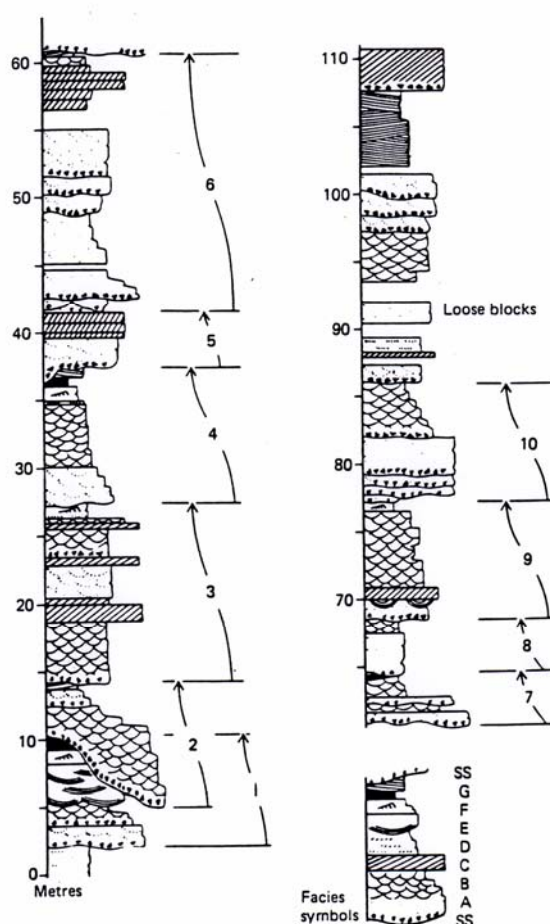
Πώς μετά οι αναλυτές λεκανών εκτελούν μια φασική ανάλυση σε μια ακολουθία αγνώστου πετρώματος ή σε μια διαδοχή από απολιθώματα. Για το σκοπό της λιθοφασικής ανάλυσης η εστίαση πρέπει να γίνεται στην αναγνώριση διαδοχών από χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα οποία επαναλαμβάνονται διαμέσου της τομής ή τμημάτων ολόκληρης της λεκάνης. Οι λιθοφάσεις μπορούν να διακριθούν από την παρουσία των μονάδων στρώσης με μια χαρακτηριστική ιζηματογενή δομή ή δομές, ένα περιορισμένο εύρος κοκκομετρικού μεγέθους, ένα βεβαιωμένο πάχος στρώματος, και ίσως μια ξεχωριστή υφή ή χρώμα. Οι βιοφάσεις αντικατοπτρίζουν διαδοχές μέσα εσωτερικά της ίδιας στρωματογραφικής παρεμβολής μιας περιορισμένης έκτασης του γένους ή του είδους. Οι βιοφασικές μελέτες μπορούν να πραγματοποιούνται σε απλές ταξινομικές ομάδες, επειδή πολλές από αυτές εάν μελετηθούν από ειδικούς, μπορούν να αποδώσουν ψηλές λεπτομερείς παλαιοοικολογικές και αποθετικές πληροφορίες. Ο ορισμός της βιοφάσης είναι μια άσκηση στον ορισμό της συνάθρησης.

Με σκοπό να αναγνωρίσουμε τέτοιες συναθρήσεις λιθολογικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ή τύπων απολιθωμάτων, θα ήταν χρήσιμο να φτιάξουμε μια λίστα ελέγχου και ένα πίνακα ταξινόμησης των εμφανίσεών τους. Τα δεδομένα υπαίθρου καταγράφουν μορφές, που μπορεί να είναι χρήσιμες για αυτό το σκοπό. Η στατιστική ανάλυση συνήθως χρησιμοποιείται από τους παλαιοοικολόγους για την καθιέρωση βιοφάσεων από τέτοια δεδομένα ταξινομημένα σε πίνακες. Είναι μικρότερης χρήσης για την δημιουργία ανεξαρτήτων λιθοφάσεων γιατί πολλές από τις κοινές διαδοχές των λιθολογικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων είναι αρκετά γνωστές για να αναγνωριστούν χωρίς καμιά βοήθεια της στατιστικής.

### 2.3.β. Παραδείγματα υπαίθρου από φασικά διαγράμματα.

Δύο παραδείγματα λιθοφασικών διαγραμμάτων τα οποία δημιουργήθηκαν από δεδομένα υπαίθρου δίνονται σ'αυτή τη παράγραφο για να παρουσιάσουν τις μεθόδους. Επίσης περιγράφεται μία απλή βιοφασική διαδοχή.

Οι Cant & Walker (1976) περιέγραψαν μια Δεβόνια ποτάμια τομή στο ανατολικό Quebec και την υποδιαίρεσαν σε 8 λιθοφάσεις. Η τομή φαίνεται στην εικόνα 2.1, στην οποία τα λιθολογικά σύμβολα είναι τα κλειδιά για το λιθοφασικό διάγραμμα. Σημειώνεται η χρήση σ'αυτήν την παρουσίαση της ποικιλομορφίας-εύρους της τεχνικής προβολής της κολώνας για την σχεδίαση στρωματογραφικών τομών. Εδώ υπάρχουν μερικά παραδείγματα λιθοφασικών περιγραφών, προστίθενται με σκοπό να εστιάσουν σε προεξέχουσες παραστάσεις.



Εικόνα 2.1: Μια στρωματογραφική τομή. Για την προβολή της χρησιμοποιήθηκαν τα στάνταρ φασικά διαγράμματα και η τεχνική ποικιλία-πλάτους κολώνας. Ποτάμιοι κύκλοι σε σχηματισμό του Δεβονίου στο Quebec (Cant & Walker, 1976).

Καλά ορισμένες σκαφοειδούς διασταυρούμενης στρώσης, φάσης (B): αυτή η φάση συντίθεται από καλά ορισμένα σετ σκαφοειδούς διασταυρωμένης στρώσης με το πάχος του κάθε σετ

να κυμαίνεται από 15 έως 20 εκατοστά και το εύρος από 10 έως 45. Οι "σκάφες" (troughs) αυτές είναι κανονικά επάλληλες η μία στη κορυφή της άλλης, αλλά σε μερικές ανεξάρτητες εμφανίσεις της φάσεως το πάχος κάθε σεί μειώνεται προς τα πάνω. Τα σεί συντίθεται από καλά διαβαθμισμένη μέσου μεγέθους άμμου. Μερικά από τα αδρομερή σεί έχουν ψηφίτες και κροκάλες που συγκεντρώνονται στη βάση τους.

Ψαμμίτες και πηλίτες με ρυτίδες, φάσεις F: αυτή η φάση περιλαμβάνει ψαμμίτες με διασταυρωμένη ελασμάτωση, και εναλλαγές ψαμμιτών και πηλιτών με διασταυρωμένη ελασμάτωση. Ένα παράδειγμα από το τελευταίο είναι εναλλαγές πάχους ενάμισυ μέτρου που περιέχουν τρεις ακολουθίες που παχαίνουν προς τα επάνω, οι οποίες βαθμιαία περνάνε στη βάση από πηλίτη σε λεπτόκκοκο ψαμμίτη με διασταυρωμένη ελασμάτωση και τελικά σε ψηφιδοπαγή ψαμμίτη. Οι ψαμμίτες καλύπτοντας κάθε ακολουθία που παχαίνει προς τα πάνω έχουν απότομες, βιοαναμοχλευμένες οροφές.

### 2.3.γ. Καθιερώνοντας ένα φασικό διάγραμμα.

Τα παραδείγματα στις κύριες τομές βοηθούν στην παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται με τρία διαφορετικά είδη των προβλημάτων των λεκανών για να ορίσουν τους φασικούς τύπους. Η αντικειμενικότητα του αναλυτή λεκανών πρέπει να είναι στο να δημιουργήσει ένα φασικό διάγραμμα το οποίο μπορεί να περιλάβει όλους τους τύπους πετρωμάτων που είναι παρόντες στη περιοχή έρευνας του προγράμματός του. Εάν το πρόγραμμα περιλαμβάνει μερικές ή πολλές στρωματογραφικές μονάδες που αποτέθηκαν κάτω από μια πλατιά ποικιλία περιβαλλόντων, είναι πιο λογικό να δημιουργούνται ανεξάρτητα διαγράμματα για κάθε μία λιθostrωματογραφική μονάδα, επειδή οι λιθοφάσεις και ακόμη περισσότερο οι συναθρήσεις βιοφάσεων θα είναι διαφορετικές για κάθε μία τέτοια μονάδα.

Τα φασικά διαγράμματα θα πρέπει να διατηρούνται τόσο απλά όσο είναι δυνατόν, αλλιώς αυτά ανατρέπουν ολόκληρο το σκοπό της πραγματοποίησης μιας φασικής ανάλυσης. Μερικοί ερευνητές έχουν υποδιαιρέσει τα πετρώματά τους σε 20 ή 30 λιθοφάσεις και δημιούργησαν υποτάξεις από μερικά εξ'αυτών. Αυτό δίνει την εμφάνιση μιας σχολαστικής έρευνας και μεγάλης ερευνητικής ακρίβειας, αλλά τέτοια διαγράμματα είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητά ή να αφομοιωθούν. Πρέπει να θυμόμαστε ότι ο σκοπός της φασικής ανάλυσης είναι να βοηθήσει στην ερμηνεία και στην ανάλυση λεκανών, αυτό συνήθως καλύτερα κατορθώνεται με συνετές και λογικές απλοποιήσεις. Είναι σπάνιο ότι πολύ περισσότερο από μισή ντουζίνα ανεξαρτήτων λιθοφάσεων εμφανίζονται μαζί σε μια γνωστή στρωματογραφική διαδοχή. Γενικά, δύο έως τέσσερις λιθοφάσεις εμφανίζονται σε επαναλαμβανόμενες, μονότονες διαδοχές μέσα από δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρων μιας τομής. Ορίζοντας μόνο μερικές φάσεις για να καλύψουμε παχιές και ποικιλόμορφες διαδοχές, το

πρόβλημα του τί να ομαδοποιηθεί μαζί και του τί να χωριστεί θα υπάρχει πάντα. Τί πρέπει να γίνει σχετικά με τα μικρού πάχους στρώματα; Θα πρέπει οι μονάδες που δείχνουν βαθμιαίες επαφές να τεμαχίζονται, και αν έτσι πώς; Μια προσέγγιση είναι να συντάξουμε μία λεπτομερή περιγραφή της πρώτης γεώτρησης ή τομής σε ένα νέο πρόγραμμα και να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα για να δημιουργήσουμε ένα πρωταρχικό φασικό διάγραμμα. Αυτό στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την περιγραφή κάθε νέας τομής. Το πλεονέκτημα μ'αυτό είναι ότι αντί να γράφουμε βασικές περιγραφές για κάθε στρωμένη μονάδα μπορεί να είναι επαρκώς απλά να καθοριστεί αυτό στις κατάλληλες φάσεις και να καταγράφεται στη πρώτη σημείωση κάθε επιπρόσθετη παρατήρηση που φαίνεται απαραίτητη τέτοια όπως κοκκομετρικού μεγέθους διαφορές ή επιπρόσθετες ιζηματογενείς δομές σε σχέση με το πρωτογενές περιγραφικό διάγραμμα. Το διάγραμμα από μόνο του μπορεί έτσι να τροποποιηθεί καθώς η έρευνα προχωράει. Αυτός ο τρόπος προσέγγισης έχει δουλευτεί πολύ από τον Miall για πολλά χρόνια στη μελέτη κλαστικών ιζηματογενών ακολουθιών σε πυρήνες και επιφανειακές εμφανίσεις κύρια στον Καναδικό Αρκτικό. Είναι περισσότερο δύσκολο να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος για τα ανθρακικά πετρώματα, επειδή αυτά εμφανίζουν μικρότερης κλίμακας ποικιλομορφίες και εξαιτίας της δυσκολίας να φανούν όλες οι απαραίτητες παραστάσεις σε τομές εξαλειωμένες από τον καιρό.

Ο Friend et al. (1976) απέφυγε αυτά τα προβλήματα εντελώς καταγράφοντας μόνο χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ακολουθίας και όχι τέτοια όπως λιθοφάσεις. Στη συνέχεια χρησιμοποίησε στατιστικές τεχνικές για να ομαδοποιήσει αυτά τα λιθοφασικά γνωρίσματα μέσα σε λιθοφασικές συναρτήσεις.

Ο Anderton (1985) πρότεινε ότι τα φασικά κριτήρια πρέπει να στοιχηθούν με σκοπό την προτεραιότητα, επιτρέποντας μια αυξημένα βελτιωμένη υποδιαίρεση των φασικών μονάδων καθώς προχωράει η εργασία. Η προτεινόμενη από αυτόν στοίχιση των κλαστικών αποθέσεων των καναλιών (σαν ένα παράδειγμα) είναι:

1. Οι βάσεις των κύριων καναλιών ή των κομένων επιφανειών.
2. Οι οροφές και οι βάσεις των μη κλαστικών λιθολογιών (πχ. κάρβουνο, ασβεστόλιθος).
3. Οι απότομες αλλαγές από μια τομή που βασικά συντίθεται από ένα κοκκομετρικό μέγεθος σε ένα άλλο (π.χ ψαμμίτης σε αργιλικό σχιστόλιθο, λεπτόκοκκος σε χονδρόκοκκο ψαμμίτη).
4. Αλλαγές των εσωτερικών δομών εσωτερικά των μονάδων σε ανάλογα κοκκομετρικά μεγέθη.

Με τη συνεχή μελέτη του ίδιου είδους πετρωμάτων, δημιουργείται βαθμιαία μία στάνταρ σειρά από φασικές τάξεις και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για γρήγορες περιγραφές στο ύπαιθρο ή στο εργαστήριο. Για τον Miall αυτό τον οδήγησε στη δημιουργία ενός ειδικευμένου λιθοφασικού διαγράμματος για την περιγραφή των αποθέσεων από δικτυωτά ποτάμια βασισμένο σε υπαίθριες



μελέτες από ποικίλες παλιές αποθέσεις και από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας τόσο σε παλιές όσο και σε νέες αποθέσεις ποταμών. Το αρχικό διάγραμμα περιείχε δέκα λιθοφασικούς τύπους (Miall 1977). Η επιπλέον έρευνα από τον Miall και η χρήση από άλλους ερευνητές οδήγησε στην προσθήκη περίπου 10 επιπλέον λιθοφασικών τύπων (Πίνακας 2, Miall 1978).

Facies code	Lithofacies	Sedimentary structures	Interpretation
Gms	Massive, matrix supported gravel	None	Debris flow deposits
Gm	Massive or crudely bedded gravel	Horizontal bedding, imbrication	Longitudinal bars, lag deposits, sieve deposits
Gt	Gravel, stratified	Trough crossbeds	Minor channel fills
Gp	Gravel, stratified	Planar crossbeds	Linguoid bars or deltaic growths from older bar remnants
St	Sand, medium to very coarse, may be pebbly	Solitary (theta) or grouped (pi) trough crossbeds	Dunes (lower flow regime)
Sp	Sand, medium to very coarse, may be pebbly	Solitary (alpha) or grouped (omikron) planar crossbeds	Linguoid, transverse bars, sand waves (lower flow regime)
Sr	Sand, very fine to coarse	Ripple marks of all types	Ripples (lower flow regime)
Sh	Sand, very fine to very coarse, may be pebbly	Horizontal lamination, parting or streaming lineation	Planar bed flow (lower and upper flow regime)
Sl	Sand, fine	Low-angle (<10°) crossbeds	Scour fills, crevasse splays, antidunes
Se	Erosional scours with intra-clasts	Crude crossbedding	Scour fills
Ss	Sand, fine to coarse, may be pebbly	Broad, shallow scours including eta cross-stratification	Scour fills
Sse, She, Spe	Sand	Analogous to Ss, Sh, Sp	Eolian deposits
Fl	Sand, silt, mud	Fine lamination, very small ripples	Overbank or waning flood deposits
Fsc	Silt, mud	Laminated to massive	Backswamp deposits
Fcf	Mud	Massive, with freshwater molluscs	Backswamp pond deposits
Fm	Mud, silt	Massive, desiccation cracks	Overbank or drape deposits
Fr	Silt, mud	Rootlets	Seatearth
C	Coal, carbonaceous mud	Plants, mud films	Swamp deposits
P	Carbonate	Pedogenic features	Soil

Πίνακας 2: Ένα λιθοφασικό διάγραμμα για ποτάμια αποθέσεις.

### 2.3.δ. Αρχιτεκτονική των φάσεων.

Πολλές από τις τεχνικές της φασικής ανάλυσης που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο εστιάζουν πάνω στη χρήση κατακόρυφων φασικών σχέσεων, όπως προκύπτουν από τις μετρήσεις των στρωματογραφικών τομών. Αν και η μέτρηση των δομών εξελίχτηκε σε μια εξεζητημένη τέχνη, είναι απαραίτητη η προσέγγιση σε μια διεύθυνση για τη μελέτη του τί γενικά είναι πολύ σύνθετο στα

τρισεδιάστατα σώματα του πετρώματος. Όλο και περισσότερο γίνεται αντιληπτό τα τελευταία χρόνια ότι οι κατακόρυφες τομές είναι ανεπαρκείς για την περιγραφή της ποικιλομορφίας των φάσεων σε πολλά περιβάλλοντα, και τεχνικές αναπτύσσονται για την περιγραφή και ταξινόμηση των φασικών μονάδων σε τρεις διευθύνσεις. Στην επιφάνεια αυτό μπορεί να συνοδεύεται από την έρευνα και την περιγραφή μεγάλων, πλευρικά εκτεινομένων επιφανειακών εμφανίσεων. Στην υποεπιφάνεια η λιθοστρωματογραφική συσχέτιση πυρήνων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, που καλύπτονται από υψηλής ανάλυσης σεισμικά δεδομένα, μπορεί να βοηθήσει αυτό τον σκοπό. Τα αποτελέσματα είναι ενδιαφέροντα όχι μόνο για την διευκόλυνση της ανάπτυξης περισσότερο ποσοτικών επακριβών αναπαραστάσεων των αποθετικών περιβαλλόντων αλλά για να παράγουν μια χρήσιμη βάση δεδομένων για την καθοδήγηση των γεωλόγων και των μηχανικών στα μοντέλα ρευστικών ροών σε μονάδες ρεζερβουάρ.

Οι τεχνικές για επιφανειακές εμφανίσεις περιγράφηκαν από τους Anderton (1985) και Miall (1988α,β) και παραδείγματα υπαίθρου δόθηκαν από τους Allen (1983), Kirk (1983) και Miall (1988β). Ιδανικά οι γεωλόγοι θα πρέπει να ερευνούν για επιμήκεις φυσικές ή τεχνικές τομές σε περιοχές με ελάχιστη δομική αναταραχή. Ολόκληρη η τομή πρέπει να φωτογραφείται για να είναι δυνατή η κατασκευή ενός φωτομωσαϊκού.

Από τη στιγμή που θα αναπτυχθεί και θα μονταρισθεί σε χαρτόνι το μωσαϊκό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ύπαιθρο σαν ένας χάρτης βάσης πάνω στον οποίο μεταφέρουμε λεπτομερείς ιζηματολογικές παρατηρήσεις. Οι γεωλόγοι θα πρέπει να εκμεταλεύονται την λεπτομέρεια που είναι διαθέσιμη σε θέσεις με εξαιρετική επιφανειακή εμφάνιση να μετρούν και να περιγράφουν όσο πιο πολλά φασικά κριτήρια είναι δυνατό, προσέχοντας να προσθέτουν στο μωσαϊκό με τέτοι ακρίβεια όσο είναι δυνατό τις καταγραφές των θέσεών τους. Θέσεις και προσανατολισμοί υδροδυναμικών ιζηματογενών δομών και θέσεις και υψόμετρα από διάφορες επιφάνειες επαφής ανάμεσα σε ιζηματογενείς μονάδες είναι μεταξύ των πιο ενδιαφέροντων ειδών των παρατηρήσεων που γίνονται. Τομές δρόμων ή ποταμών με μέσο όρο μήκους 100 μέτρων και μερικές δεκάδες μέτρων ύψους χρειάζονται μία ή δύο μέρες εργασίας στην ύπαιθρο για να μελετηθούν. Για μεγάλες επιφανειακές εμφανίσεις, θα ήταν χρήσιμο να ζητήσουμε τη συμβουλή κάποιου ειδικού για να πραγματοποιήσει τη μεταφορά των στοιχείων γιατί κάποιος που δουλεύει για πρώτη φορά σε μεγάλη τομή, μπορεί να είναι δύσκολο να δει με ακρίβεια πού βρίσκονται οι λεπτομέρειες στο μωσαϊκό.

Αν είναι αναγκαίο, κατακόρυφες στρωματογραφικές τομές μπορούν να κατασκευασθούν στο γραφείο από τέτοια δεδομένα πλευρικών προφίλ. Όπως σημειώνεται από τον Anderton (1985) "οι φωτογραφικές τεχνικές είναι αρκετά ενδιαφέρουσες στη φασική περιγραφή τόσο ώστε εάν κάποιος είχε να διαλέξει ανάμεσα στο να πάρει μια κάμερα ή ένα σφυρί στην ύπαιθρο θα έπερνε τη κάμερα".

## 2.4. Φασικές διαδοχές και μοντέλα.

Ο όρος φασική διαδοχή καθορίστηκε από τον Potter (1959) σαν η συγκέντρωση από κοινά συνδεδεμένα ιζηματογενή χαρακτηριστικά γνωρίσματα, περιλαμβάνοντας χονδροειδείς γεωμετρίες (πάχος και υπαιθρια έκταση), συνέχεια και σχήμα των λιθολογικών μονάδων, τύποι πετρωμάτων, ιζηματογενείς δομές και πανίδα (τύποι και αφθονία). Μια φασική διαδοχή είναι επομένως βασισμένη στην παρατήρηση, πιθανά με κάποια απλοποίηση. Παρουσιάζεται στην μορφή ενός πίνακα, μιας στατιστικής περίληψης ή ενός διαγράμματος από τυπικές στρωματογραφικές εμφανίσεις (π.χ. κατακόρυφα προφίλ).

Ένα φασικό μοντέλο είναι ένας ερμηνευτικός μηχανισμός, ο οποίος δημιουργείται από τους γεωλόγους για να εξηγηθούν οι παρατηρούμενες φασικές διαδοχές. Ένα φασικό μοντέλο μπορεί να αναπτυχθεί κατά κόρον για να εξηγήσει μόνο μια απλή στρωματογραφική μονάδα και οι ανάλογες μονάδες μετά μπορούν να μελετηθούν με σκοπό να προκύψουν γενικά μοντέλα.

Δύο κύριες στατιστικές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για την περιγραφή και τον ορισμό των λιθοφασικών διαδοχών. Η πρώτη είναι η χρήση μιας πολυποίκιλης στατιστικής, τέτοιας όπως ανάλυση συγκέντρωσης (cluster) και παραγοντική (factor) ανάλυση, για να καθοριστούν φυσικές ομαδοποιήσεις των ιζηματογενών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων (Imbrie and Purdy, 1962; Purdy, 1963; Harbaugh and Demirmen, 1964; Friend et al., 1976). Γενικές στατιστικές μέθοδοι έχουν περιγραφεί από τον Harbaugh και Merriam (1968). Η δεύτερη μέθοδος εστιάζει στο σκοπό της εμφάνισης των λιθοφάσεων σε μια ιζηματογενή τομή, χτισμένη από τα προφανή συμπεράσματα ότι οι λιθοφάσεις οι οποίες γενικά κάθονται η μία πάνω στην άλλη θα πρέπει να έχουν κάποια περιβαλλοντική διαδοχή-σχέση και στη φύση. Διάφορες ημιποσοτικές τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί στην μελέτη των λιθοφασικών ακολουθιών (Selley, 1970) αλλά η πιο χρήσιμη μέθοδος είναι η αλυσιδωτή (chain) ανάλυση του Markov, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί πάρα πολύ τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερα στη μελέτη κλαστικών ακολουθιών (Miall 1973, Cant and Walker 1976).

Οι μαθητές των βιοφάσεων χρησιμοποίησαν ποικιλόμορφες στατιστικές για την δημιουργία βιοφασικών διαδοχών (Mello and Buzas 1968; McDonald 1975; Ludvigsen 1978).

### 2.4.α. Η κυκλικότητα και η αλυσιδωτή μέθοδος του Markov.

Οι λιθοφάσεις ομαδοποιούνται μαζί μέσα σε συναθρήσεις γιατί αντικατοπτρίζουν διάφορους τύπους των αποθετικών γεγονότων τα οποία συχνά εμφανίζονται μαζί στο ίδιο συνολικό-πακέτο αποθετικών περιβαλλόντων. Για παράδειγμα, ένα υποθαλάσσιο ριπιδιακό περιβάλλον τυπικά περιλαμβάνει υποπεριβάλλοντα όπως φαράγγια, κανάλια, φραγμούς, περιοχές μεταξύ καναλιών και απότομες κατωφέρειες, καθένα από τα οποία παράγει ανεξάρτητη λιθοφάση. Αυτές οι λιθοφάσεις

στιβάχτηκαν (stacked) μέσα σε μία στρωματογραφική μονάδα επειδή το περιβάλλον τροποποιείται αλλά στρίβει διαμέσου του χρόνου, επιτρέποντας διαφορετικές λιθοφάσεις να συγκεντρώνονται κατά μήκος κάθε δοσμένου κατακόρυφου άξονα. Η φύση αυτών των περιβαλλοντικών τροποποιήσεων είναι συχνά αναμενόμενη, το οποίο σημαίνει ότι οι προκύπτουσες λιθοφασικές διαφορές είναι σχεδόν αναμενόμενες. Για παράδειγμα, σε ένα υποθαλάσσιο ριπίδιο, τα κανάλια μπορεί να στρίβουν, τροποποιούνται σε θέσεις και υποπεριβάλλοντα εσωτερικά ενός τουρβιδιτικού ρεύματος που μπορεί να κινείται στην κατωφέρεια. Τα δέλτα επελαύνουν προς τη θάλασσα, τα ποτάμια κανάλια μεταναστεύουν, κ.ο.κ. Αυτές οι διαδικασίες μπορεί να επαναλαμβάνονται πολλές φορές. Αυτή είναι η αρχή για την κυκλική ιζηματογένεση.

#### 2.4.β. Η θεωρία των φασικών μοντέλων.

Η ιδέα ενός φασικού μοντέλου σαν μια περίληψη ενός αποθετικού περιβάλλοντος και των παραγώγων του είναι κάτι το νέο στην ιζηματολογία. Ο όρος αυτός για πρώτη φορά παρουσιάστηκε σε μια έκθεση διάσκεψης από τον Potter (1959), αλλά χρησιμοποιήθηκε στη λογική που τώρα υπονοούμε με τον όρο φασική συνάθρηση. Μια φασική συνάθρηση είναι ουσιαστικά περιγραφική, ενώ ένα φασικό μοντέλο προσπαθεί να δώσει μια ερμηνεία ενός ιδιαίτερου τύπου φασικής συνάθρησης σε όρους των αποθετικών περιβαλλόντων. Περισσότερη χρήση γίνεται από την σύγκριση με ενεργά μοντέρνα περιβάλλοντα, και τώρα είναι η μη πρακτική να αναφέρεται κανείς σ'αυτές τις νοερές κατασκευές σαν πραγματικά φασικά μοντέλα.

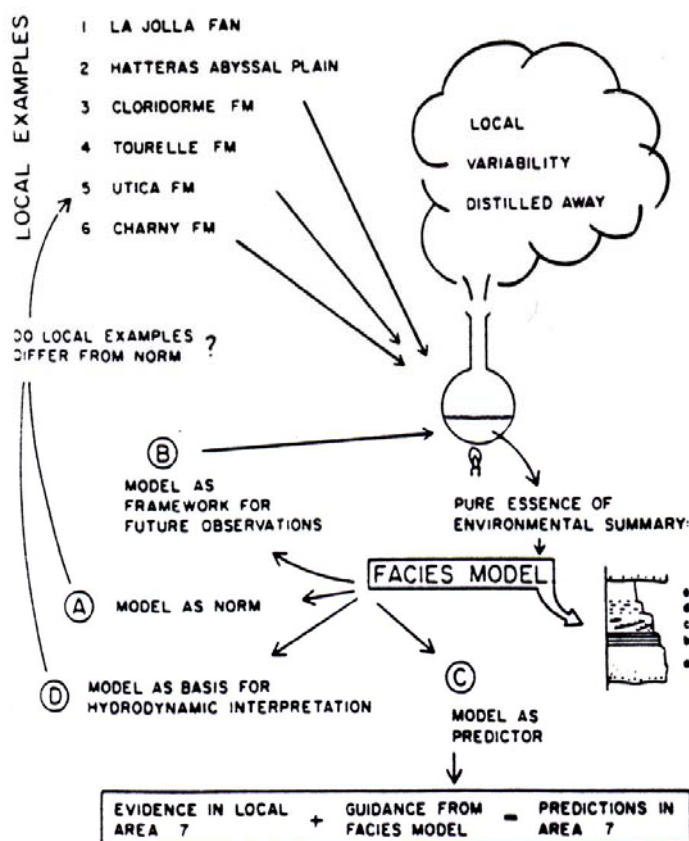
Ο Walker (1984α) περιέγραψε την διαδικασία κατασκευής ενός φασικού μοντέλου, χρησιμοποιώντας σαν παράδειγμα τους τουρβιδίτες. Συγκεντρώθηκαν δεδομένα από διάφορες πηγές (μοντέρνα ιζήματα, παλιές αποθέσεις), και οι πληροφορίες κοσκινίζονται για να καθοριστούν οι πιο σπουδαίες παραστάσεις που είναι σε αφθονία (οι τοπικές ποικιλομορφίες απομακρύνονται, εικόνα 35). Διάφορες στατιστικές διαδικασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθεί αυτό, τέτοιες όπως περιγράφηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Το ζητούμενο είναι να παραχθεί μια γενική περίληψη των τουρβιδιτών.

Ο Walker σημειώνει ότι τα φασικά μοντέλα πρέπει να εκπληρούν 4 λειτουργίες:

1. Πρέπει να ενεργούν σαν πρότυπα, για συγκρίσιμους σκοπούς,
2. πρέπει να ενεργούν σαν δομή και οδηγός για μελλοντικές παρατηρήσεις,
3. πρέπει να ενεργεί σαν ένας πρόλογος σε νέες γεωλογικές θέσεις,
4. πρέπει να ενεργεί σαν η βάση για την ερμηνεία των περιβαλλόντων.

Αυτό φαίνεται στην εικόνα 2.2. Τα φασικά μοντέλα είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την ερμηνεία φτωχά εκτεθειμένων ιζημάτων γιατί αυτά προτείνουν σίγουρες κριτικές παρατηρήσεις ή ενδείξεις για την ερμηνεία της ιζηματογενούς καταγραφής. Όπως συμβαίνει με όλες τις περιλήψεις

και στα μοντέλα η χρήση χωρίς κριτικό έλεγχο μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια πληροφοριών ή στην ελλιπή ερμηνεία, γιατί είναι παραπλάνηση να παρατηρείς στρώματα σε όρους ενός προδικασμένου μοντέλου. Εάν ένα φασικό μοντέλο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην κυριολεξία σε νέες θέσεις στην ύπαιθρο, κάθε χρήση μπορεί να προκαλέσει ένα φιλτράρισμα του μοντέλου ή αυτό μπορεί να οδηγήσει στην αναγνώριση θέσεων όπου το ιδιαίτερο μοντέλο είναι ακατάλληλο. Οπότε τότε ακολουθεί η ανάπτυξη ενός νέου μοντέλου.



Εικόνα 2.2: Η ανάπτυξη ενός φασικού μοντέλου, με τη χρήση αποθέσεων τουρβιδιτικών ρευμάτων σαν ένα παράδειγμα. (Walker, 1984a).

Με τί μοιάζει ένα φασικό μοντέλο; Η απάντηση εξαρτάται από το πώς χτίζεται το μοντέλο. Παλαιογεωγραφικά σχέδια, μπλοκ διαγράμματα και κατακόρυφες εικόνες-πορτραίτα καταγραφής είναι τυπικά συνθετικά ενός δημοσιευμένου φασικού μοντέλου. Μερικά μοντέλα βασίστηκαν πρωταρχικά στην γεωμορφολογία (π.χ δέλτα, αλλουβιακά ριπίδια), άλλα σε διαδικασίες μεταφοράς (π.χ τουρβιδίτες, μοντέλα αιολικών θινών), και άλλα σε οργανογενείς διαδικασίες (π.χ ύφαλοι). Πολλά από αυτά επηρεάζονται από τις κλιματικές και τεκτονικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες δεν έχουν σε όλες τις περιπτώσεις πλήρως εξερευνηθεί.

Πολλά μοντέλα βασίστηκαν πρωταρχικά στη μελέτη μοντέρνων περιβαλλόντων. Για παράδειγμα, η τρίπτυχη υποδιαίρεση των δέλτα δημιουργήθηκε από τον Galloway (1975) ο οποίος χρησιμοποίησε χάρτες τυπικών δέλτα για να μεταφέρει πληροφορίες των λιθοφασικών γεωμετριών. Για τα ηπειρωτικά περιβάλλοντα, δεν υπάρχει πρόβλημα να δεις και να περιγράψεις ένα πλούτο λεπτομέρειας σε νέες θέσεις, και αυτό έχει οδηγήσει στο παραγέμισμα της βιβλιογραφίας με φασικά μοντέλα με τουλάχιστον μια ντουζίνα μοντέλα μόνο για τις ποτάμιες αποθέσεις (Miall 1980). Μόνο τα τελευταία 4-5 χρόνια έχουμε φτάσει στον ίδιο βαθμό για τα αιολικά περιβάλλοντα.

Τα φασικά μοντέλα για τα υποθαλάσσια περιβάλλοντα είναι μόνο προς το παρόν χωρίς ακρίβεια βασισμένα σε μελέτες νέων θέσεων, γιατί οι τεχνικές της θαλάσσιας γεωλογίας (γεωφυσικά προφίλ, ρηχές πυρηνοληψίες) δεν έχουν, μέχρι πρόσφατα, επιτρέψει πολύ ακριβείς περιγραφές της λιθοφασικής γεωμετρίας και σχέσης. Το πρώτο περιεκτικό μοντέλο υποθαλασσιών ριπιδίων των Mutti και Ricci-Lucchi (1972) βασίστηκε κύρια σε καλά εκτειθέμενες αποθέσεις και Νεοζωικών ριπιδίων στην Ιταλία και ερμηνείες άλλων παλιών αποθέσεων που φιγουράρουν σε πρόσφατες περιγραφές (π.χ Walker 1978). Δημιουργώντας μοντέλα για αποθέσεις υφαλοκρηπίδας όπου επικρατούν καταγίδες συνδέεται ο τύπος hummochy διασταυρωμένη στρώση (π.χ Hamblin & Walker 1979), μια δομή μέχρι χθες όχι ευκολοαπόδεικτη αποδεδειγμένη από τα μοντέρνα περιβάλλοντα. Η εφαρμογή τεχνικών με side-scan sonar στη μελέτη υποθαλασσιών συστημάτων τώρα συνεισφέρει αρκετά γύρω από τη γνώση των περιβαλλόντων υφαλοκρηπίδας και των βαθιών θαλασσών, προσφέροντας γνώσεις των καναλιών, των μορφών στρώσης και άλλων αποθετικών παραστάσεων τα οποία άρχισαν να έχουν κύρια συμμετοχή στα φασικά μοντέλα για αυτά τα περιβάλλοντα.

#### 2.4.γ. Φασική ανάλυση και στρωματογραφία ακολουθιών.

Η στρωματογραφία ακολουθιών δεν είναι ριζικά μια νέα ιδέα. Για παράδειγμα πολλές από τις ιδέες περιγράφηκαν από τον Frasier (1974). Αλλά, η μελέτη των ακολουθιών πήρε μια θεωρητική ώθηση μετά την ανάπτυξη της σεισμικής στρωματογραφίας στο τέλος του 1970 θυμίζοντας στους γεωλόγους της πανταχού παρουσίας των αλλαγών στάθμη της θάλασσας διαμέσου του γεωλογικού παρελθόντος χρόνου.

Η στρωματογραφία ακολουθιών είναι ένας συνδυασμός της λιθοστρωματογραφίας και της φασικής ανάλυσης. Η κατακόρυφη διευθέτηση των φάσεων ερμηνεύεται σε όρους του νόμου του Walther, οδηγώντας σε αναπαραστάσεις των πλευρικών κινήσεων διαμέσου του χρόνου των περιβαλλόντων απόθεσης. Οι ακολουθίες τυπικά αποτελούνται από μισές ακολουθίες επίκλησης και απόσυρσης που μαζί συνθέτουν επαναλαμβανόμενες κυκλικές διαδοχές. Μέχρι αυτού του σημείου, η μελέτη των ακολουθιών δεν διαφέρει πολύ από την ανάλυση κατακόρυφων προφίλ για τον σκοπό

της τεκμηρίωσης αυτοκυκλικών αποθετικών γεγονότων. Για παράδειγμα, η προέλαση και η μετατροπή του λοβού (lobe) ενός σύνθετου δελταϊκού παράκτιου πεδίου. Ομως, όπως σημείωσε και ο Nummedal, προσεκτική περιφερειακή λιθostrωματογραφική και χρονοστρωματογραφική συσχέτιση απέδειξε ότι, σε μερικές περιπτώσεις, οι ακολουθίες εκτείνονται πλευρικά για πολύ μεγαλύτερη απόσταση από ότι θα μπορούσε να αποδοθεί στους αυτοκυκλικούς ελέγχους. Η επίδραση ενός περιφερειακού ή παγκόσμιου αλλοκυκλικού ελέγχου, τέτοιου όπως σχετική αλλαγή στο επίπεδο της θάλασσας, θα μπορούσε μετά να αναμένεται. Οι ακολουθίες μπορούν επίσης να συγκριθούν με στάνταρ διαγράμματα των ευστατικών αλλαγών της στάθμης της θάλασσας.

## **2.5. Επισκόπηση των περιβαλλοντικών κριτηρίων.**

Η αριθμητική ακρίβεια ή τα καλά ορισμένα στατιστικά λάθη, στην εργαστηριακή κατεύθυνση, των γεωλογικών μελετών δεν θα βρεθούν στην περιοχή των φασικών ερμηνειών. Στατιστικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στην ανάλυση και σύνθεση των φασικών συναθρήσεων, αλλά η απασχόληση της ερμηνείας των εννοιών τους εξαρτάται κύρια από την ποιοτική μελέτη. Η καλή γνώση των δημοσιευμένων φασικών μοντέλων και αναλόγων μοντέρνων περιβαλλόντων είναι φυσικά σημαντική.

Ένα κοινό πρόβλημα στην ανάλυση λεκανών είναι ότι όταν ο γεωλόγος έρχεται σε επαφή με μία νέα επιφανειακή εμφάνιση ή ένα πυρήνα όπου φαίνονται συναθρήσεις λιθολογιών, δομές, υφή και πιθανά απολιθώματα και μπορεί να μην έχει ιδέα σε ποιο φασικό μοντέλο να ανατρέξει για να κάνει την περιβαλλοντική ερμηνεία. Το ενδιαφέρον αυτού του κεφαλαίου εστιάζεται στο να κάνει μια σύντομη επανάληψη στους τύπους της ερμηνείας που μπορούν να προκύψουν από τα κύρια είδη της ιζηματολογικής παρατήρησης με σκοπό να δοθούν μερικά περιβαλλοντικά συμπεράσματα και μια εισαγωγή σε μερικές από τις ενδιαφέρουσες αναφορές. Συμπεράσματα από φυσικές και χημικές συνθήκες σχηματισμών από τους περισσότερους τύπους ιζημάτων δεν περιλαμβάνονται στο στόχος αυτών των σημειώσεων, ενώ παρουσιάζονται με μεγάλη λεπτομέρεια από τους Blatt et al. 1980 και Leeder 1982.

Στις σημειώσεις που ακολουθούν τα πυριτοκλαστικά και ανθρακικά πετρώματα μελετούνται ανεξάρτητα γιατί απαιτούν μία διαφορετική προσέγγιση. Αυτή είναι ιδιαίτερα η περίπτωση με την ερμηνεία του κοκκομετρικού μεγέθους και της υφής τους. Για τα άλλα, τέτοια όπως υδροδυναμικές ιζηματολογικές παραστάσεις, δεν υπάρχει λόγος να μην θεωρούνται όλοι οι τύποι πετρωμάτων κάτω από τις ίδιες αρχές. Δομές τέτοιες όπως διασταυρωμένες στρώσεις και ίχνη ρυτίδων θεωρούνται γενικά σαν ο χώρος των ειδικών στους ψαμμίτες, αλλά επίσης εμφανίζονται στα ανθρακικά πετρώματα και στους εβαπορίτες. Τα χημικά ιζήματα συχνά μελετούνται από γεωλόγους των οποίων

το πρώτο ενδιαφέρον είναι ο χημισμός των σχηματισμών τους και της διαγένεσης, αλλά θα μπορούσε συχνά να οφείλεται από την προσέγγιση που παίρνεται στην ιζηματολογία από τους κλαστικούς ιζηματολόγους.

Η έμφαση που δίνεται είναι πάνω στις παραστάσεις που είναι πιο χρήσιμες για την κατασκευή των αποθετικών περιβαλλόντων και της παλαιογεωγραφίας. Η διαγένεση και η γεωχημεία μελετούνται εκεί όπου συμμετέχουν-συμβάλουν στην κατανόηση της ωριμότητας των λεκανών.

Δεν πρέπει όμως να υπερτονίζεται ότι πολύ λίγα ιζηματολογικά κριτήρια έχουν μια αναμφίβολα περιβαλλοντική ερμηνεία. Πολλά χρόνια πριν ήταν ότι τα σημάδια ρυτίδων (ripple marks) εμφανίζονταν σε ρηγά νερά, μέχρις ότου οι ωκεανογράφοι άρχισαν να παίρνουν φωτογραφίες από τον πάτο των ωκεανών. Ακόμη πιο πρόσφατα οι δισκοειδείς δομές ήταν να γίνουν οι δείκτες των υποθαλασσίων ροών κόκκων, αλλά τώρα έχουν βρεθεί σε ποτάμια και άλλες αποθέσεις (Nilsen et al. 1977). Το κοινό ιχνοαπολίθωμα ορησιomorpha είναι ένας καλός δείκτης των ρηχών θαλασσίων περιβαλλόντων, αλλά ο J.Coleman (1976) το βρήκε στις αποθέσεις του νέου ποταμού Mekong. Είναι βέβαια θαλάσσιο, αλλά αυτό το ποτάμι έχει μια εκτεταμένη θαλάσσια αλατούχα ράχη η οποία ρέει πολύ μέσα στην ενδοχώρα κατά την διάρκεια της ψηλής παλίρροιας. Τα ορησιomorpha έχουν επίσης βρεθεί σε ιζήματα της εξωτερικής υφαλοκρηπίδας (Weimer & Hoyt, 1964). Δεν πρέπει ποτέ να δίνεται εμπιστοσύνη σε μία μόνο δομή ή παράσταση των πετρωμάτων ή σε μία μόνο μέθοδο ανάλυσης για να γίνουν περιβαλλοντικές ερμηνείες. Οι γεωλόγοι θα πρέπει να επαναλαμβάνουν και να δέχονται όλα τα γεγονότα που είναι διαθέσιμα.

#### 2.5.α. Κοκκομετρικό μέγεθος και υφή.

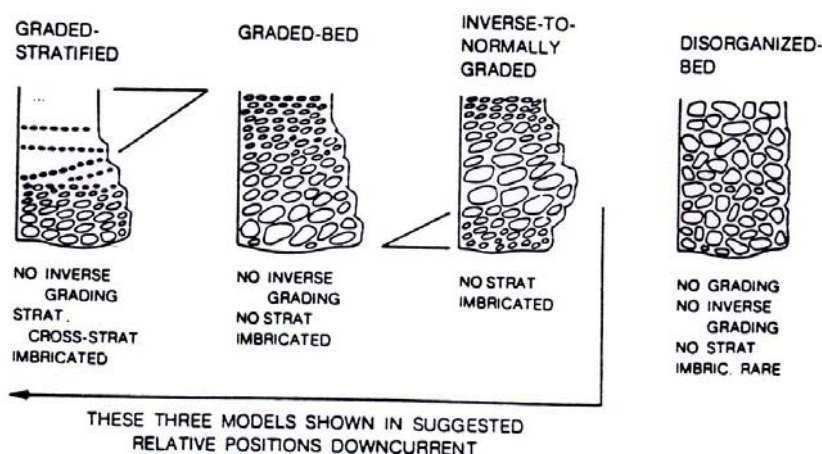
Εάν μια γενική λογική, το κοκκομετρικό μέγεθος ενός κλαστικού ιζήματος προτείνει τη σχετική ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για να τοποθετηθούν οι κόκκοι στη δική τους τελική θέση απόθεσης. Αυτή η ενέργεια πρέπει να έχει προέλθει από την δύναμη που μεταδίδεται από τον αέρα ή την κίνηση του νερού ή μπορεί να αντικατοπτρίζει την προς τα κάτω κίνηση εξαιτίας της βαρύτητας. Τα περισσότερα κλαστικά ιζήματα αντικατοπτρίζουν ένα συνδυασμό αυτών των διαδικασιών.

Το κοκκομετρικό μέγεθος, η διάρθρωση και η υφή είναι μαζί με τις ιζηματογενείς δομές και τα κατακόρυφα προφίλ, σημαντικά κριτήρια για την διάκριση του τύπου της ροής στην μελέτη των ιζημάτων βαρυτικών ροών και των αποθέσεών τους. Η αναγνώριση ενός ιδιαίτερου κοκκομετρικού μεγέθους πληθυσμού σε μία απόθεση, η εσωτερική ταξιθέτηση και διαβάθμιση κάθε πληθυσμού και η κατακόρυφη και πλευρική σχέση του πληθυσμού του ενός με το άλλο έχουν ερμηνευτεί σε όρους μηχανισμών κοκκομετρικής υποστήριξης και της εξέλιξής τους κατά την διάρκεια του περάσματος



από γεγονότα ροής (Middleton και Hampton, 1976; Lowe, 1979,1982; Postma 1986). Οι μαγνητικές διαρθρώσεις τώρα χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στη διάκριση των ιζημάτων απόθεσης με βαρυτικές ροές από άλλους τύπους απόθεσης. Για παράδειγμα, οι Gravenor & Wong (1987), Eyles et al. 1987, χρησιμοποίησαν δεδομένα μαγνητικών διαρθρώσεων στη μελέτη αποθέσεων που γεννήθηκαν από τους παγετώνες.

Οι μελέτες του κοκκομετρικού μεγέθους και της υφής σε κροκαλοπαγή χρησιμοποιήθηκαν από τον Walker (1975) για να δημιουργήσει μοντέλα απόθεσης των υποθαλασίων ριπιδίων (εικόνα 2.3). Το μοντέλο ανοργάνωτης στρώσης αντικατοπτρίζει γρήγορη κλαστική απόθεση στις απότομες κατωφέρειες, ίσως στα φαράγγια υποθαλάσσιας τροφοδοσίας στη κορυφή του ριπιδίου. Οι δεβριτικές ροές περνώντας στα εσωτερικά του ριπιδίου είναι αυτές που οδήγησαν πρώτα σε μια αντίστροφη σε κανονική διαβαθμισμένη υφή, περνώντας προς τα κάτω του ρεύματος μέσα σε ένα διαβαθμισμένο στρωμένο τύπο. Η αντίστροφη διαβάθμιση αναπτύσσεται σαν το αποτέλεσμα διασκορπισμένων φορτίων, πιθανά περιλαμβάνοντας ένα μηχανισμό κινητικού κοσκινίσματος με τον οποίο μικρότερα κλάσματα πέφτουν κάτω ανάμεσα στα μεγαλύτερα.



Εικόνα 2.3: Μοντέλα στρωματογραφικής υφής-διάρθρωσης για επανατοποθετημένα κροκαλοπαγή (Walker, 1975).

Στις κροκαλοπαγείς αποθέσεις των αλλουβιακών ριπιδίων και άλλων χαλικούχων ποταμών, οι ποικιλίες στο κοκκομετρικό μέγεθος γενικά αποκαλύπτουν μια χοντροκομμένη στρωμάτωση και μιας μεγάλης κλίμακας διασταυρωμένη στρώση. Η διαστρωμάτωση είναι το παράγωγο της ανάπτυξης ενός επιμηκυμένου φραγμού ή της επάλληλης τοποθέτησης και εξέλιξης δεβριτικών ροών. Ανεξάρτητες φραγματικές αποθέσεις μπορεί να δείχνουν μια προς τα πάνω μείωση του

κοκκομετρικού μεγέθους (Miall 1977). Πραγματική διαβάθμιση είναι σπάνια στις ποτάμιες κροκάλες που σχηματίζονται από μεταφορά έλξης.

Πολλά επανατοποθετημένα κροκαλοπαγή και χαλικούχοι άμμοι περιέχουν μία κλαστική διάρθρωση με το μεγάλο άξονα ( $\alpha$ ) να βυθίζεται αντίθετα από τη κίνηση του ρεύματος, προτείνοντας ότι αυτά έχουν αποτεθεί από μια διασκορπισμένη μάζα ιζήματος χωρίς κύληση του στρωματικού φορτίου (Walker 1975; Hain 1982). Αυτό διαφέρει από την κοινή ταξιθέτηση των επιπέδων κλασμάτων σε κροκαλοπαγή που αποτέθηκαν από μεταφορά έλξης, τέτοια όπως σε χαλικούχα ποτάμια (Rust 1972). Επομένως η διάρθρωση είναι ένας χρήσιμος δείκτης του τρόπου μεταφοράς.

### 2.5.β. Πετρολογία.

Η σύνθεση των κύριων πετρογραφικών συστατικών των πυριτοκλαστικών ιζημάτων (περιλαμβάνονται και τα πηλούχα πετρώματα) δεν είναι ένα άμεσο διαγνωστικό κριτήριο του περιβάλλοντος. Ο Krynine 1942, υπέθεσε ότι πολλοί τύποι ψαμμιτών είναι χαρακτηριστικοί ιδιαίτερων τεκτονικών-ιζηματογενών περιβαλλόντων. Για παράδειγμα ο αρκόζης υποθετικά αντικατοπτρίζει μη θαλάσσια ιζήματα που προήλθαν από γρανιτικές ορογενείς συνθέσεις αντικατοπτρίζοντας παλιές γεωσυγκλιτικές ιζηματογενέσεις. Αυτές οι ερμηνείες ξεκαθαρίστηκαν, αν και οι Dickinson & Suczek (1979), Schwab (1981), έδειξαν ότι η σύνθεση των ψαμμιτών μπορεί άμεσα να δείχνει την θέση της τεκτονικής των πλακών. Όμως, αυτό δεν μεταφράζεται απαραίτητα μέσα σε περιβάλλοντα απόθεσης. Για παράδειγμα, τα ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα μπροστά από το τόξο μπορεί να αποτέθηκαν σε ποτάμιες, λιμναίες και θαλάσσια περιθώρια υφαλοκρηπίδας ή θέσεις υποθαλασσιών ριπιδίων εξαρτώμενες από την διαμόρφωση των ηπειρωτικών περιθωρίων.

Ορισμένα μικρότερα συνθετικά των ψαμμιτών μπορεί να είναι ισχυρά υποδηλωτικά των αποθετικών περιβαλλόντων. Για παράδειγμα, η γλαυκονιτικοί σβώλοι σχηματίζονται μόνο σε ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα (Odin & Matter 1981) και αυτά σπάνια είναι σαν κλαστικοί ή επανατοποθετούμενοι κόκκοι. Ανθρακικά συντρίμματα από φυτά είναι τυπικά μη θαλασσιών περιβαλλόντων. Η παλαιοεδαφική ανάπτυξη προτείνεται από τους φακούς του ανθρακικού ασβεστίου (caliche, clacrete) και άλλων ορυκτών. Η αφθονία κόκκινης σιδηρούχας βαφής προτείνει περιβάλλοντα οξειδωσης, τυπικά είτε ενός οξειδωτικού σταδίου στα κλαστικά μόρια (Van Houten 1973) είτε την παραγωγή ενός οξειδωμένου χρώματος κατά την διάρκεια της πρώιμης διαγένεσης (Walker 1967). Επομένως τα κόκκινα στρώματα περισσότερο είναι ενδεικτικά μη θαλάσσιας ή ψηλών παλιρροιακών περιβαλλόντων (Turner 1980), αν και υπάρχουν αρκετές εξαιρέσεις (π.χ Franke & Paul 1980).

Εσωτερικά μιας δοσμένης λεκάνης η κλαστική σύνθεση μπορεί να αντικατοπτρίζει ποικιλομορφίες στην πηγή τροφοδοσίας ή των περιβαλλόντων απόθεσης. Επομένως αυτά τα

δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν παλαιογεωμετρικοί δείκτες και μπορούν συνεισφέρουν στην στρωματογραφική συσχέτιση των μονάδων που σχηματίστηκαν κάτω από ίδιες υδραυλικές συνθήκες. Οι Davies & Ethridge έδειξαν ότι η κλαστική σύνθεση ποικίλει μεταξύ των ποτάμιων, δελταϊκών, παράκτιων και ρηχών θαλάσσιων περιβαλλόντων σε διάφορες μονάδες παλιών πετρωμάτων σαν το αποτέλεσμα διαδικασιών υδραυλικής διαβάθμισης και ακόμη ξεχωρίσματος και χημικής καταστροφής. Έτσι, αν και η σύνθεση δεν είναι περιβαλλοντικό διαγνωστικό κριτήριο, μπορεί να είναι χρήσιμη στην παροχή ερμηνειών από περιοχές με καλές επιφανειακές εμφανίσεις ή πυρηνοληπτικούς ελέγχους μέσα σε περιοχές όπου υπάρχουν διαθέσιμες μόνο τομές γεωγρήσεων.

### 2.5.γ. Στρωμάτωση.

Είναι οι διάφοροι τύποι πετρωμάτων παρόντες σε μια στρωματογραφική μονάδα εναλλασσομένων στρωμάτων σε κύρια πακέτα μερικών ή πολλών μέτρων πάχους, ή αυτά είναι εναλλασσόμενα σε ελασματώσεις σε μια κλίμακα μερικών εκατοστών ή χιλιοστών; Είναι η στρωμάτωση λεπτή ή χοντρή; Είναι επίπεδη, ανακατεμένη, κυματοειδής, απότομη ή βαθμιαία; Αυτές οι ερωτήσεις, ενώ σπάνια δίνουν απαντήσεις ότι είναι μοναδικά κριτήρια περιβαλλόντων απόθεσης, μπορούν να δώσουν σημαντικές συμπληρωματικές πληροφορίες. Σε ένα γενικό τρόπο το πάχος των στρωμάτων είναι ανάλογο με το επίπεδο της ενέργειας απόθεσης.

Λεπτά ελασματωμένα (laminated) ιζήματα κύρια σχηματίστηκαν σε περιβάλλοντα με ήσυχα νερά. Οι ακτινογραφίες X γενικά χρησιμοποιούνται για να ορίσουν την ελασματώση και της πολύ μικρής κλίμακας ιζηματογενών δομών στα λεπτοκοκκώδη πετρώματα (Stow & Piper, 1984). Τέτοια ιζήματα μπορεί να περιλαμβάνουν ελασματωμένους πελαγικούς πηλίτες, προδελταϊκές αποθέσεις, εβαπορίτες βαθιών αποθέσεων, λεπτοστρωματώδεις τουρβιδίτες στη πεδιάδα της λεκάνης και λιμνοθαλάσσιους πηλούς στο δελταϊκό πεδίο και ποτάμιους πηλούς πλημμυρίδας. Τα παχύτερα στρώματα σχηματίζουν μια ποικιλομορφία περιβαλλόντων όπου υπερισχύουν είτε υψηλής ενέργειας κύματα είτε ρεύματα. Σε πετρώματα υφάλων, που σχηματίστηκαν σε υπερβολικά ψηλές συνθήκες ενέργειας μπορεί να απουσιάζει εντελώς η στρωμάτωση.

Μια εναλλαγή στρωμάτων από διαφορετικές λιθοφάσεις μπορεί να υποδηλώνει το περιβάλλον. Για παράδειγμα, κυματική, επίπεδη και επιμηκυσμένη στρωμάτωση (Reineck & Wunderlich, 1968) καταγράφει την εναλλαγή πηλούχας ιζηματογένεσης ρηχών νερών και υψηλής ενέργειας ροές κάτω από τις οποίες αποτέθηκε ρυτιδωμένη άμμος. Αυτό μπορεί να εμφανίζεται κατά την διάρκεια παλιρροικών αντιστροφών σε εκτιθέμενα πηλούχα επίπεδα, σε ποτάμιες πλημμυρίδες ή κάτω από τη βάση κανονικών κυμάτων στην υφαλοκρηπίδα, σε βάθη που επηρεάζονται από σπάνια κυματική καταιγίδα. Μια άλλη κοινή στρωματική σύνδεση είναι αυτή που παρήχθει από την εναλλαγή θυελωδών και μέτριων καιρικών διαδικασιών στην παράκτια ζώνη. Μια ακολουθία,

βασικά κροκαλοπαγή - ελασματωμένη άμμος - βιοαναμοχλευμένη ή ρυτιδωμένη άμμος, δείχνει θυελώδη αιώρηση ακολουθούμενη από μείωση των επιπέδων ενέργειας και μετά μία στροφή σε κυματική δράση χαμηλής ενέργειας και βιοαναμόχλευση κατά τη διάρκεια περιόδων από ασθενείς καιρικές συνθήκες (Kumar & Sanders, 1976).

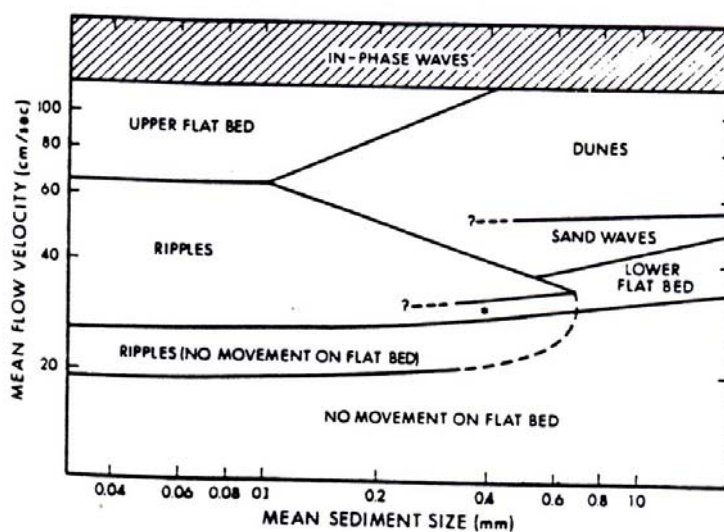
Όπως προηγούμενα ειπώθηκε το μέγιστο κοκκομετρικό μέγεθος και το πάχος των στρωμάτων γενικά συσχετίζονται σε αποθέσεις που σχηματίστηκαν κάτω από ανεξάρτητα γεγονότα ιζηματογενών βαρυτικών ροών. Αυτό μπορεί να δώσει πολύτιμα ερμηνευτικά δεδομένα.

#### 2.5.δ. Ιζηματογενείς δομές που παρήχθησαν από την υδροδυναμική διαμόρφωση του στρώματος.

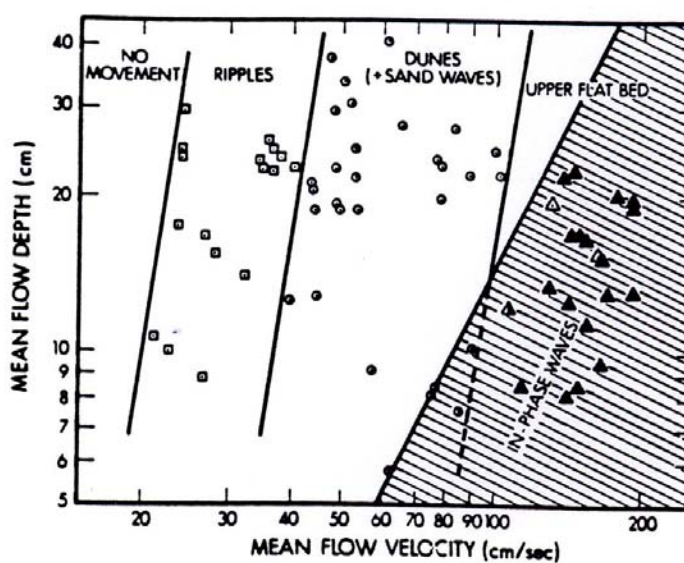
Η ερμηνεία των υδροδυναμικών ιζηματογενών δομών είναι μία από τις πιο ενδιαφέρουσες στη φασική ανάλυση, ιδιαίτερα στα πυριτοκλαστικά ιζήματα. Μερικές ανθρακικές και εβαποριτικές αποθέσεις περιέχουν ανάλογες δομές και μπορούν να μελετηθούν με τον ίδιο τρόπο.

Η βάση για την ερμηνεία δομών που σχηματίστηκαν σε υδαρή περιβάλλοντα είναι η έννοια του καθεστώτος της ροής. Αυτή η βασική θεωρία δηλώνει ότι η ροή σε ένα δοσμένο βάθος και η ταχύτητα πάνω από ένα δοσμένο στρώμα με μη συνεκτικούς κόκκους θα παράγει πάντοτε τον ίδιο τύπο διαμόρφωσης στρώματος και επομένως την ίδια εσωτερική στρωμάτωση. Εάν τέτοιες δομές είναι προβλέψιμες, η παρουσία τους θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ερμηνεία των συνθηκών ροής. Τέτοιες βασικές ιδέες πρώτη φορά εξαγγέλθηκαν ακολουθώντας μια εκτεταμένη σειρά πειραμάτων από τους Simons & Richardson (1961) και αναπτύχθηκαν επιπλέον για χρήση από τους γεωλόγους από τους Simons et al. 1965, Harms & Fahnstock 1965, Southard 1971, & Harms et al. 1975,1982. Τώρα γίνεται αντιληπτό ότι οι μορφές των στρωμάτων ελέγχονται κύρια από τρεις παραμέτρους, το κοκκομετρικό μέγεθος των ιζημάτων, το βάθος της ροής και την ταχύτητα ροής. Μια σειρά από πειράματα περιέγραψε τις παραγόμενες ακολουθίες των στρωματικών τύπων καθώς αυτές οι παράμετροι ποικίλουν. Για παράδειγμα, η εικόνα 2.4 δείχνει τις περιοχές σταθερότητας των ρυτίδων, θινών και άλλων στρωματικών μορφών για βάθη ροής περίπου 20 εκατοστών. Η εικόνα 2.5 δείχνει τη σχέση βάθους ταχύτητας για αυτές τις στρωματικές μορφές και για άμμο 0,45-0,54 mm σε διάμετρο. Τις συνθήκες στροβιλισμού του νερού κάτω από τις οποίες αυτές οι διαφορετικές μορφές παράγονται φαίνονται στην εικόνα 2.6. Μικρής κλίμακας ρυτιδώσεις, θίνες και αμμούχα κύματα είναι μορφές που δεν σχετίζονται με την επιφάνεια κίνησης του νερού. Βέβαια οι μορφές τους μπορεί να μην έχουν και καμμία σχέση με το σχήμα (pattern) της επιφάνειας του νερού. Αυτές οι μορφές στρώσης έχουν κατά παράδοση ταξινομηθεί σαν μορφές του κατώτερου καθεστώτος ροής. Το ανώτερο καθεστώς ροής χαρακτηρίζεται από αντιθίνες (antidunes) και αμετάβλητα κύματα, τα οποία είναι στη φάση την κυματική επιφάνεια του νερού. Μια ενδιάμεση "συνθήκη ανώτερης

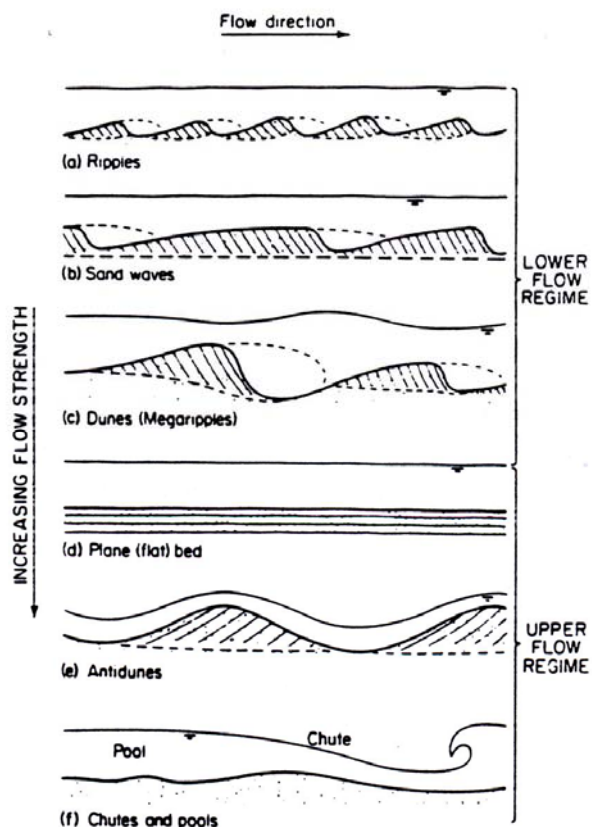
επίπεδης στρώσης" μαρκάρεται από ποτάμια ροή, η οποία ευθυγραμμίζει τους κόκκους της άμμου και παράγει ρευματική γράμμωση (current lineation-parting lineation).



Εικόνα 2.4: Περιοχές σταθερότητας των μορφών στρώσης σε άμμους και πηλούς σε βάθη ροής 20 cm.

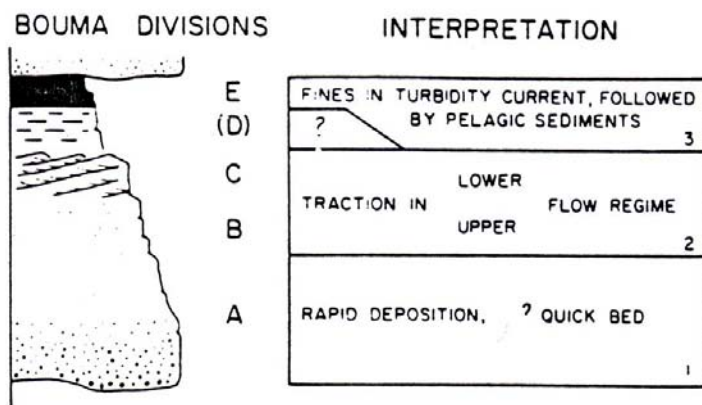


Εικόνα 2.5: Περιοχές σταθερότητας στρωμάτων άμμου διαμέτρου 1 Φ (Harms et al., 1975).

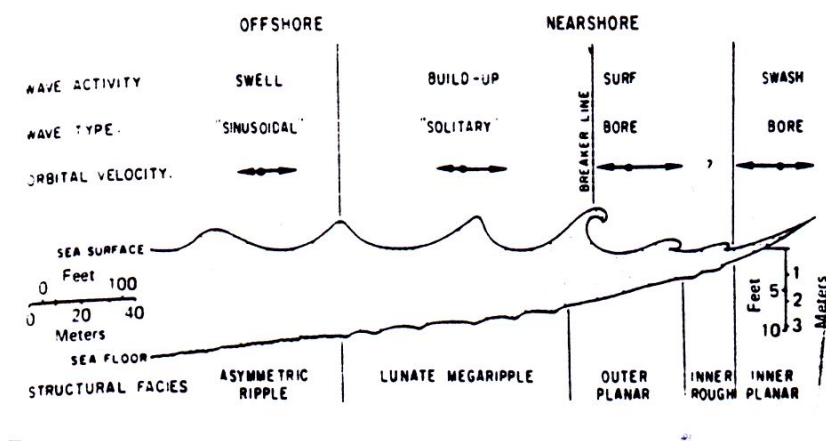


Εικόνα 2.6: Η ιδέα του καθεστώτος ροής, δείχνουν τις γενικές διαδοχές των μορφών στρώσης που αναπτύσσονται με την αύξηση της ταχύτητας ροής (H. Blatt et al., 1980).

Η ακολουθία Bouma των λεπτοστρωμένων αποθέσεων του εξωτερικού μέρους υποθαλασσιών ριπδιακών τουρβιδιτών επίσης περιέχει μία διαδοχή από δομές οι οποίες μπορούν να ερμηνευτούν σε όρους του καθεστώτος ροής. Το κατώτερο A μέλος (εικόνα 2.7) σχηματίστηκε από κόκκους τοποθετημένους από αιώρηση. Οι ταχύτητες ροής μειώνονται προς τα πάνω, έτσι ώστε η επίπεδη στρωμένη μονάδα B, η οποία γενικά περιλαμβάνει γραμμικά ρεύματα, σχηματίστηκε κάτω από τις συνθήκες επίπεδης στρώσης του ανωτέρου καθεστώτος ροής. Η ρυτιδωμένη μονάδα C αντικατοπτρίζει το κατώτερο καθεστώς ροής (Harms & Fahnestock, 1965). Η αργιλούχος μονάδα D αποτέθηκε από την αραιωμένη ουρά του τουρβιδιτικού ρεύματος σαν ροές απόλυτης παύσης. Αυτή η ερμηνεία έχει μια σημαντική κρίση στην κατανόηση των μηχανισμών των τουρβιδιτικών ρευμάτων.



Εικόνα 2.7: Υδραυλική ερμηνεία της τουρβιδιτικής ερμηνείας της ακολουθίας του Bouma. Η μονάδα D πιθανά αντικατοπτρίζει απόθεση από την αραιωμένη ουρά του ρεύματος (Walker, 1978).



Εικόνα 2.8: Κατανομή των ιζηματογενών δομών κάτωθεν πλήθους (shoaling) κυμάτων (Clifton et al., 1971).

Οι Clifton et al. (1971), πραγματοποίησαν μια από τις πρώτες λεπτομερείς μελέτες ιζηματογενών δομών που σχηματίστηκαν στις ακτογραμμές εκεί όπου σκάνε τα κύματα. Αυτοί αναγνώρισαν μια άμεση σχέση ανάμεσα στον τύπο κύματος, στην προκύπτουσα κίνηση του νερού και τον δομικό τύπο (εικόνα 2.8). Η μετάβαση από ασύμμετρες ρυτίδες σε εξωτερικές τραπεζοειδείς φάσεις αντικατοπτρίζει μια αύξηση προς την ακτή της τροχιακής ταχύτητας και μια μετάβαση από ρυτίδες του κατωτέρου καθεστώτος ροής διαμέσου μιας φάσεως θινών στο ανώτερο καθεστώς ροής με τραπεζοειδείς στρώσεις. Αυτές οι δομές όλες κλείνουν προς την χέρσο. Οι εσωτερικές ανώμαλες-τραχιές φάσεις χαρακτηρίζονται από ρυτίδες που κλείνουν προς τη θάλασσα και θίνες του

κατωτέρου καθεστώτος ροής. Οι εσωτερικές τραπεζοειδείς φάσεις χαρακτηρίζονται από τραπεζοειδή στρώματα, αντιθίνες και αμετάβλητα κύματα που σχηματίστηκαν κάτω από υψηλή ενέργεια στο ανώτερο καθεστώς ροής. Αυτές οι φάσεις κινούνται συνεχώς πάνω και κάτω με την άνοδο ή την κάθοδο της παλίρροιας, παράγοντας μια σύνθετη αλλά ευδιάκριτη σειρά δομικών συναθρήσεων που οι Clifton et al. (1971) έδειξαν ότι μπορούν να αναγνωριστούν σε παλιές καταγραφές. Πολλά περιβαλλοντικά συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν από τις λεπτομέρειες εσωτερικών δομών, υδροδυναμικών ιζηματογενών δομών και από πληροφορίες προσανατολισμού (παλαιορευματικές).

Αυτές οι γενικές ομάδες δομών μπορούν να διακριθούν:

1. Δομές που σχηματίστηκαν από μοναδιαία ρεύματα νερού σε ποτάμια, δέλτα, τμήματα υποχώρησης και πλημμύρας παλιρροικών δέλτα σε όρμους, υποθαλάσσιων ριπιδίων και ηπειρωτικών κατωφερειών.

2. Δομές που σχηματίστηκαν από αντιστρεφόμενα (διπλής διεύθυνσης) ρεύματα νερού, τέτοια όπως παλίρροιας και κυματικές ταλαντώσεις σε υφαλοκρηπίδες και περιθώρια θαλασσίων περιβαλλόντων και στις λίμνες.

3. Δομές που σχηματίστηκαν από αιολικά ρεύματα σε παράκτιες συνθέσεις θινών, εσωτερικά της χέρσου αμμούχες θάλασσες, και μερικά αλλουβιακά-λιμναία περιβάλλοντα.

#### 2.5.ε. Ιζηματογενείς δομές που παρήχθησαν από την υδροδυναμική διάβρωση του στρώματος.

Μερικές από αυτές είναι περιβαλλοντικά διαγνωστικά κριτήρια, αν και η παρουσία τους μπορεί να δώσει βάρος σε ερμηνείες που γίνονται από άλλα γεγονότα.

Υπάρχουν δύο κύριες τάξεις διαβρωσιγενών δομών στην κλίμακα της επιφανειακής εμφάνισης, μακροσκοπικές και μεσοσκοπικές. Οι μακροσκοπικές δομές συνθέτουν κανάλια, κοιψιές (scours) και επιφάνειες διάβρωσης με χαμηλό ανάγλυφο. Αυτές μπορούν να εμφανίζονται πρακτικά σε κάθε περιβάλλον σαν το αποτέλεσμα ρευματικής δράσης. Πολύ πιο διαγνωστικό κριτήριο από το ίδιο το κανάλι είναι το γέμισμα του καναλιού, το οποίο μπορεί να αναλυθεί σε όρους του κατακόρυφου προφίλ, της λιθολογίας, των ιζηματογενών δομών, κ.α. Δευτερεύουσες παραστάσεις σε μια διαβρωσιγενή επιφάνεια μπορούν επίσης να δώσουν μερικές περιβαλλοντικές πληροφορίες. Συγκεντρώσεις από χαλίκια, βιοκλαστικά θραύσματα μπορούν να ερμηνευτούν σε όρους τέτοιων διαδικασιών όπως συνοπτική ιζηματογένεση ή ξεφούσκωμα του αέρα, θυελώδη διάβρωση και απόθεση ή υποθαλάσσια μη απόθεση (σκληρά εδάφη-hard grounds). Επιφάνειες αφυδάτωσης μπορεί να σπάζουν αποδίδοντας αργίλους ή ανρθακικά κλάσματα, τα οποία στη συνέχεια μπορεί να ερμηνευτούν σαν το αποτέλεσμα υπαερίωδους έκθεσης.



Ενας άλλος όρος για τις μακροσκοπικές επιφάνειες διάβρωσης είναι οι επιφάνειες ορισμού. Η φυσική τους έκταση, γεωμετρία και φασικής σύνδεσης έγιναν ενδιαφέροντα συνθετικά της αρχιτεκτονικής υποδιαίρεσης και ταξινόμησης των κλαστικών αποθέσεων.

Μεσοσκοπικές διαβρωσιγενείς παραστάσεις περιλαμβάνουν την ποικιλομορφία ιχνών πέλματος (sole marks). Αυτά αφθονούν στις αποθέσεις υποθαλασσίων ριπιδίων και στα υποθαλάσσια ιζήματα στη πεδιάδα της λεκάνης, ιδιαίτερα σε αμμούχους τουρβιδίτες. Ιχνη αυλακώσεων, ιδιαίτερα, προτείνουν ένα τρόπο από στροβιλώδη αναταραχή ο οποίος είναι κοινός στη βάση των τουρβιδιτικών ρευμάτων. Όμως αυτά έχουν παρατηρηθεί σε ένα μεγάλο εύρος από άλλες θέσεις, περιλαμβάνοντας ποτάμιες αποθέσεις ρευμάτων έλξης. Τα τουρβιδιτικά ρεύματα δεν περιορίζονται στους βαθιούς ωκεανούς αλλά είναι συνήθη σε λίμνες και στα παγετώδη περιθώρια των υποθαλασσίων περιβαλλόντων.

#### 2.5.στ. Δομές υγροποίησης, φορτίου και απώλειας ρευστών.

Μερικές από αυτές είναι περιβαλλοντικά διαγνωστικά κριτήρια ενώ άλλα εμφανίζονται σε πολλά περιβάλλοντα. Δομές φορτίου και ολίσθησης, convolute στρώση (εικόνα 2.9), και άλλα παράγωγα θιξοτροπίας μπορούν να εμφανίζονται οπουδήποτε τα ιζήματα είναι κορεσμένα, το οποίο είναι σα να λέμε πρακτικά παντού.



Εικόνα 2.9: Η ακολουθία A δείχνει επίπεδης μορφής στρώση (planar bedding), αμμούχων θινών που σχηματίστηκαν πίσω από την ενεργή ακτογραμμή. Η ακολουθία B κάθετη με γωνιώδη ασυμφωνία πάνω στην ακολουθία A, αντικατοπτρίζοντας πιθανά επίκλυση της θάλασσας.

Παραστάσεις διαφυγής νερού, τέτοιες όπως δισκοειδείς και σπηλοειδείς δομές, επίσης βρίσκονται στις αποθέσεις πολλών περιβαλλόντων (Nilsen et al.1977), αν και αυτές είναι ιδιαίτερα άφθονες σε ρευστοποιημένα ιζήματα βαρυτικών ροών.

Η αφυδάτωση (desiccation) και η συναέρηση (synaeresis) παράγουν ιζηματογενείς δομές με μικρές διαφορές. Οι ρωγμές αφυδάτωσης είναι ένας δείκτης υπαεριώδους έκθεσης, η συναέρηση της αλλαγής αλμυρότητας σε παλιρροιακές, λιμνοθαλάσσιες ή λιμναίες θέσεις. Η αφυδάτωση μπορεί να συνοδεύεται από τη διάλυση των ανωτέρω στρωμάτων και την επανατοποθέτησή τους σαν λατυποπαγή (breccia) μέσα στο σχηματισμό. Ο Shinn (1983) έδωσε μία χρήσιμη επισκόπηση της ονοματολογίας μερικών μικρής κλίμακας δομών που αναπτύσσονται στα παλιρροικά επίπεδα και το είδος της ερμηνείας που μπορεί να γίνει από αυτά.

Εκτοπισμένες εβαποριτικές αναπτύξεις σε sabkhas παράγουν μια ποικιλία από ευδιάκριτες δομές οι οποίες είναι χρήσιμοι διαγνωστικοί δείκτες.

#### 2.5.ζ. Παλαιοοικολογία.

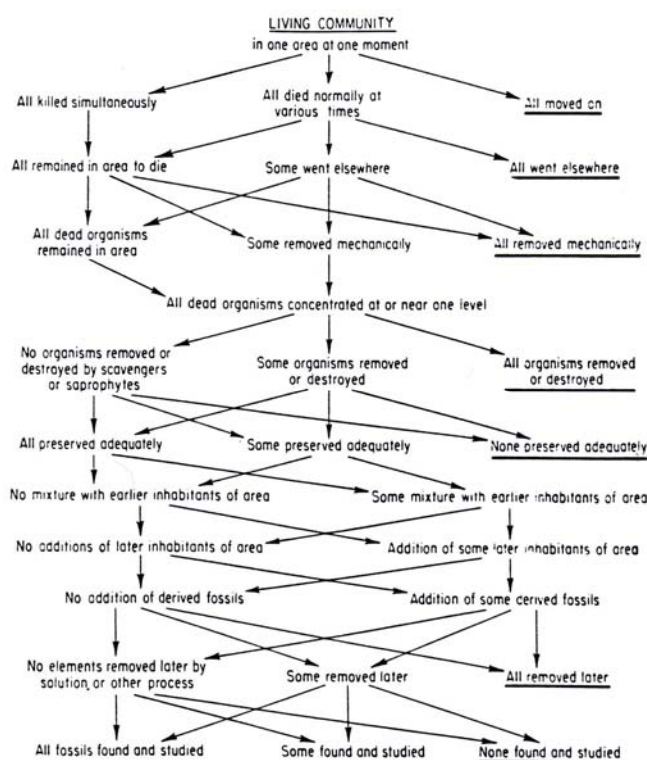
Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια προσέγγιση στα προβλήματα της βιοστρωματογραφικής ερμηνείας των πεθαμένων συναθρήσεων και των επανατοποθετημένων απολιθωμάτων και των δυσκολιών συσχέτισης της χλωρίδας και της πανίδας περιορισμένων στην κατανομή τους από παράγοντες οικολογικούς ή βιογεωγραφικούς (δεν είναι απαραίτητα το ίδιο πράγμα). Όλα αυτά τα σημεία είναι σχετικά με το πότε εστιάζουμε πάνω στη χρήση του σώματος των απολιθωμάτων σαν δείκτες περιβαλλόντων απόθεσης.

Η παλαιοοικολογία είναι η μελέτη της σχέσης ανάμεσα στους οργανισμούς των απολιθωμάτων και στα περιβάλλοντά τους. Στο μεγαλύτερο μέρος της παλαιοοικολογικής έρευνας η πρωταρχική εστίαση είναι πάνω στα ζώα, με τη χρήση τέτοιων κριτηρίων σαν είδη ενδοσυσχέτισης και χαρακτηριστικών απολιθωμάτων-ιζημάτων στην ανάλυση της οικολογίας μερικών ειδών ή κοινωνιών απολιθωμάτων. Τέτοια έρευνα τυπικά πραγματοποιείται από ειδικούς των οποίων το υπόβαθρο είναι συνήθως παλαιοντολογικό ή βιολογικό και αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να έχουν μικρό ή κανένα ενδιαφέρον στην περιφερειακή στρωματογραφία ή στην ιστορία της λεκάνης. Εδώ, προσπαθείται η αντιστροφή της διαδικασίας, με τη χρήση των απολιθωμάτων σαν παλαιογεωγραφικούς δείκτες. Στην καταγραφή του Φανεροζωικού τα απολιθώματα είναι μεταξύ των πιο ισχυρών διαθεσίμων περιβαλλοντικών ετών, αλλά φυσικά, η κατανομή τους και η χρησιμότητά τους στο Προκάμβριο είναι πολύ περιορισμένη.

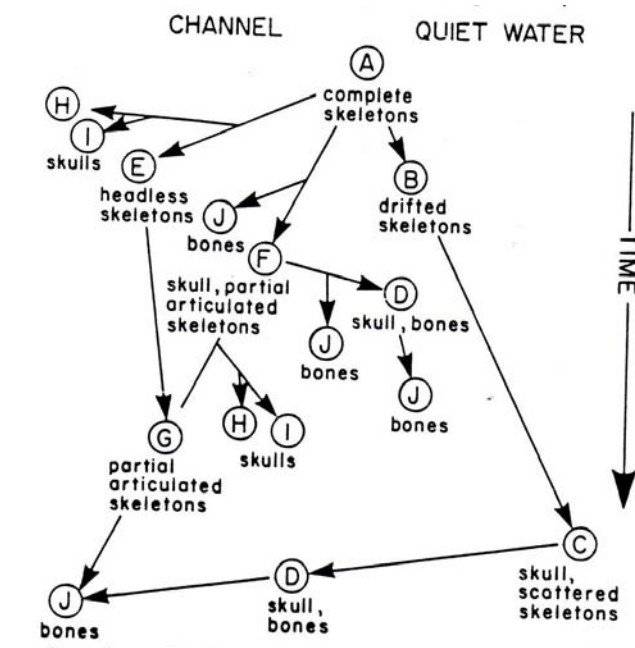
Ακόμη και η πιο απλή παλαιοοικολογική παρατήρηση μπορεί να είναι πολύτιμη. Η παρουσία άφθονης βιοαναμόχλευσης ή (για παράδειγμα) μια πανίδα βραχυπόδων μπορεί να είναι το κλειδί στην κατανομή των αποθέσεων από παλιρροιακά κανάλια και των ακραίων φραγμών τους,

παλιρροιακών όρμων και δέλτα από σίγουρες ποτάμιες και δελταικής πεδιάδας φάσεων, οι οποίες μπορούν ιζηματολογικά να είναι πολύ ανάλογες (Barwis, 1978). Από την άλλη μεριά υπάρχουν ραφιναρτισμένες στατιστικές μελέτες από ιδιαίτερες κοινωνίες ή ομάδες απολιθωμάτων τέτοιες όπως η ανάλυση των πληθυσμών από τριλοβίτες του Ludvigsen (1978). Οι περισσότερες παλαιοοικολογικές μελέτες από τους στρωματογράφους και τους αναλυτές λεκανών πέφτουν κάπου ανάμεσα σ'αυτές τις υπερβολές.

Τα δεδομένα των απολιθωμάτων είναι αντικείμενα από δύο προδιαθέσεις, οι οποίες μπορούν να διαστρεβλώσουν τις παρατηρήσεις μας. Πρώτον, υπάρχει η προδιάθεση από αδέξιες ή ατελείς συγκεντρώσεις, η οποία είναι ιδιαίτερα σαν να δημιουργείται όταν η παλαιοοικολογική ανάλυση προσπαθείται από μη ειδικούς ή όταν γίνεται βιαστικά, σαν σε μια αναγνωριστική εξέταση, από μια ερευνητική ομάδα. Ο Ager (1963) απέδειξε αυτό με δεδομένα που συγκντρώθηκαν από τον B.W Sparks, ο οποίος χρησιμοποίησε δύο μεθόδους για να συγκεντρώσει μαλάκια από τις αποθέσεις τεταρτογενούς στην Ν.Αγγλία. Ενα ογκώδες δείγμα αναλύθηκε με κοσκίνισμα, και η κατανομή συγκρίθηκε με αυτήν της συγκέντρωσης που έγινε με το χέρι από μία επιφάνεια επιφανειακής εμφάνισης. Η προδιάθεση στην δεύτερη συγκέντρωση στην προτίμηση μεγαλύτερων ή πιο έντονων χρωματισμένων ειδών είναι ξαφνική.



Εικόνα 2.10: Οι διάφορες πιθανότητες για την εμφάνιση ή την εξαφάνιση μιας κοινωνίας ζώντων ζώων και της ενδεχόμενης συγκεντρωσής της σαν συνάθροιση απολιθωμάτων (Ager, 1963).



Εικόνα 2.11: Η ταφονομία του σκελετού του δεινοσαύρου βασισμένη σε μελέτες πετρωμάτων του Κρητιδικού στο Red Deer Valley, Alberta (Dodson, 1971).

Η δεύτερη προδιάθεση είναι αυτή που εισήχθη από τα γεωλογικά εμπόδια σειράς οργανισμών που τοποθετήθηκαν με σειρά πριν αυτά ολοκληρωθούν κάτω από το γεωλογικό σφυρί. Οι ποικίλοι κίνδυνοι και η πιθανή πορεία διαμέσου αυτών δίνεται περιληπτικά στην εικόνα 2.10. Η μελέτη του διαγράμματος αυτής της ροής είναι από μόνη της το αντικείμενο μιας ειδικής επιστήμης που ονομάζεται ταφονομία (taphonomy). Πολλές από τις διαδικασίες μεταφοράς, επανακίνησης ή διάλυσης ενός απολιθώματος εξαρτώνται από τις ιζηματολογικές διαδικασίες και επομένως είναι ενδιαφέρουσες για τον αναλυτή λεκανών. Η εικόνα 2.11 περιγράφει τη μοίρα του δεινόσαυρου που παραμένει στις ποτάμιες αποθέσεις του Κρητιδικού στο Red Deer Valley, Alberta (Dodson, 1971). Ο βαθμός της διατήρησης μπορεί να προσφέρει πολλές πληροφορίες για την τοπική μεταφορά ενέργειας για να συνεισφέρει στα περιβάλλοντα απόθεσης.

Οι μελέτες της παλαιοοικολογίας των τρηματοφόρων ξεκίνησε για το κενozoϊκό του Gulf Coast και για την Καλιφόρνια το 1930 (Natland 1933). Η αρχική ώθηση για την εργασία ήταν η αναγκαιότητα για τη συσχέτιση ιζημάτων πετρελαιοϊκής κατεύθυνσης, και αυτό παραμένει μία από τις πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές. Όμως, τα ίδια δεδομένα τώρα βρίσκουν αυξανόμενη εφαρμογή στην ερμηνεία της ιστορίας βύθισης ηπειρωτικών περιθωρίων, ένα αντικείμενο σημαντικής σχέσης στη προσπάθεια της κατανόησης των μηχανισμών της τεκτονικής των πλακών. Ένα εξαιρετικό

παράδειγμα από αυτήν τη δουλειά σε υποεπιφανειακά Κενοζωικά στρώματα των ηπειρωτικών περιθωρίων των νησιών Labrador και Baffin είναι αυτή από τους Gradstein και Srivastava (1980). Αυτοί ξεχώρισαν τέσσερις βιοφάσεις και ερμήνευσαν τα περιβάλλοντά τους βασιζόμενοι στην συνδεδεμένη πανίδα και σε συσχετίσεις με άλλες μοντέρνες και παλιές συναθρήσεις τρηματοφόρων. Σημαντική χρήση έγινε στα δεδομένα του DSDP. Οι βιοφάσεις είναι ως ακολούθως:

1. Μη θαλάσσιες: σπόροι και γύρη, μη τρηματοφόρα.

2. Ρηχές νηριτικές (neritic): περιθωριακά θαλάσσια σε εσωτερικά υφαλοκρηπίδας (μικρότερο από 100 μέτρα βάθος). Οι διαγνωστικές συναθρήσεις τρηματοφόρων είναι πολύ χαμηλών ιδιαιτέρων ποικιλιών γενών, με σπάνια έως καθόλου πλανκτονικά. Στις τομές του ανωτέρου Νεογενούς εμφανίζονται τα Cibicidoides, Elphidium, Cassidulina, Bulimina, Melonis, gastropods και bryozoans.

3. Βαθιά νηριτικά: 100-200 μέτρα βάθος νερού. Η ιδιαίτερη ποικιλία και τα γένη των τρηματοφόρων, πλανκτονικών εμφανίζονται τοπικά. Κενοζωικά βενθονικά γένη περιλαμβάνουν *Uvigerina*, *Pullenia*, *Gyroïdina*, *Alabamina*. Οι παλαιογενείς συναθρήσεις είναι φτωχές.

4. Βαθύαλεις (bathyal): ανώτερη κατωφέρεια, βάθη νερών 200-1000 μέτρα. Τα γένη των τρηματοφόρων και οι ιδιαίτερες ποικιλίες είναι υψηλές, στις συναθρήσεις επικρατούν χοντρά, συχνά μεγάλου μεγέθους γένη. Πάνω από 50 είδη, περιλαμβάνονται άφθονα *Cyclammina* spp. Τοπικά, τα πλανκτονικά είναι άφθονα (κύρια μορφές *Turborotaliid*, *globigerinid*). Σε μερικές γεωτρήσεις παλαιογενείς ασβετιτικοί βενθονίτες εμφανίζονται σε μικρό αριθμό, περιλαμβάνοντας *Pleurostomella*, *Osangularia*, *Stilostomella*, *Nuttalides*.

#### 2.5.η. Κατακόρυφα προφίλ.

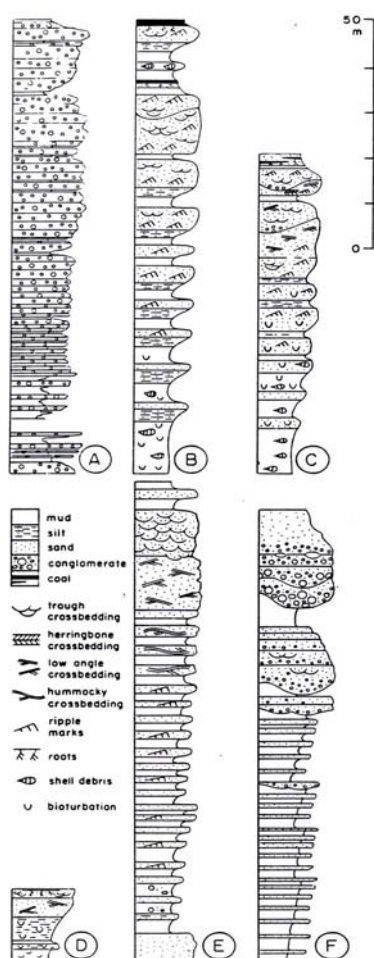
Η σημασία και το ενδιαφέρον του νόμου του Walther και των κατακόρυφων προφίλ στην φασική ανάλυση περιγράφηκαν προηγούμενα. Μέθοδοι της στατιστικής ανάλυσης της κυκλικής ιζηματογένεσης επίσης περιγράφηκαν σ'αυτό το κεφάλαιο. Η αναγνώριση των κυκλικών ακολουθιών έγινε ένα από τα πιο πλατιά χρησιμοποιούμενα εργαλεία για την αναπαράσταση υποεπιφανειακών περιβαλλόντων απόθεσης. Ένας από τους λόγους για αυτό είναι οι κυκλικές αλλαγές που γενικά εύκολα αναγνωρίζονται στις πετροφυσικές καταγραφές και συχνά ερμηνεύονται χωρίς καμία πρόσβαση σε πυρήνες ή σε τομές γεωτρήσεων. Η ιζηματολογική βιβλιογραφία είναι γεμάτη από αναφορές σε κύκλους όπως "προς τα πάνω μείωση" (fining upward) ή "προς τα πάνω χόντρεμα" (coarsening upward) ή "προς τα πάνω μείωση και λέπτυνση ή προς τα πάνω χόντρεμα και πάχυνση". Το μέγεθος των κόκκων, το πάχος των στρωμάτων και η κλίμακα των ιζηματογενών δομών γενικά συσχετίζονται στα κλαστικά πετρώματα, έτσι ώστε η κυκλικότητα μπορεί να είναι φανερή για πολλούς τύπους παρατήρησης. Οι Γάλλοι ιζηματολόγοι τείνουν να χρησιμοποιούν τους όρους θετικούς και αρνητικούς κύκλους. Οι αναλυτές βαθιών μετρήσεων προτείνουν

κωδικοποιημένες κυκλικές αλλαγές διαγραμματικά σε κόκκινα και μπλε χρώματα. Ο Miall (1990) αμφιβάλλει εάν οι προς τα πάνω μειούμενοι κύκλοι είναι θετικοί και κόκκινοι ή αρνητικοί και μπλε ή το αντίθετο και (ή) τανάπαλιν. Τέτοιοι όροι είναι φανερά ότι δεν είναι χρήσιμοι εάν κάποιος δεν μπορεί να θυμάται ποιόν τρόπο αυτοί χρησιμοποιούν και για αυτό μια απλή περιγραφική ονοματολογία φαίνεται προτιμότερη.

Υπάρχουν δύο κοινοί βασικοί τύποι κύκλων αυτών που προτείνεται μια αύξηση της ενέργειας μεταφοράς προς τα πάνω και αυτών που αποδεικνύεται μια μείωση. Και οι δύο τύποι μπορούν να αιτιολογηθούν από την ποικιλία των ιζηματογενών, κλιματικών και τεκτονικών μηχανισμών. Ο Beerbower κατέταξε αυτούς σε αυτοκυκλικούς (autocyclic) και αλλοκυκλικούς (allogenic) ελέγχους. Μερικοί ερευνητές προτιμούν τους όρους autogenic και allogenic για να αποφύγουν την υποδήλωση της κυκλικότητας. Αυτοκυκλικοί μηχανισμοί είναι αυτοί που προκύπτουν στην φυσική επανακατανομή της ενέργειας μέσα σε ένα αποθετικό σύστημα. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν την μαιανδρική ενός καναλιού σε ένα ποτάμι, παλιρροιακό όρμο ή υποθαλάσσιο ριπίδιο. Υποαερώδη γεγονότα πλημμύρας, υποθαλάσσιες βαρυτικές ροές ιζημάτων, στροφές καναλιών σε ένα υπαερώδες ή υποθαλάσσιο ριπίδιο ή δέλτα, καταγιγίδες και παλιρροιακές υποχωρήσεις και πλημμύρες. Όλα αυτά μπορούν ενδεχόμενα να παράγουν κυκλικές ακολουθίες. Οι αλλοκυκλικοί μηχανισμοί είναι αυτοί στους οποίους η αλλαγή του ιζηματογενούς συστήματος παράγεται από μερικές εξωτερικές αιτίες. Ο τεκτονικός έλεγχος στη βύθιση της λεκάνης, η παροχή του ιζήματος και η στροφή της παλαιοκλίσης, η αλλαγή στο επίπεδο της θάλασσας και οι κλιματικές αλλαγές είναι οι πρωταρχικοί τύποι των αλλοκυκλικών μηχανισμών. Μια ιζηματογενής λεκάνη μπορεί να επηρεάζεται-ελέγχεται από πολλούς από αυτές τις διαδικασίες την ίδια χρονική στιγμή, έτσι ώστε αυτό να μην είναι ασύνηθες το να βρεθεί ότι υπάρχουν δύο ή τρεις κλίμακες κυκλικότητας να φωλιάζουν σε ένα κατακόρυφο προφίλ. Οι αλλοκυκλικοί κύκλοι τείνουν να είναι πιο παχείς και περισσότερο πλατιά διαδεδομένοι από τους αυτοκυκλικούς κύκλους. Οι τελευταίοι γενικά σχηματίζονται μόνο εσωτερικά των ορίων των υποπεριβαλλόντων που επηρεάζονται από ιδιαίτερες αυτοκυκλικές διαδικασίες. Αυτές βοηθούν τους γεωλόγους στη διάκριση και ερμηνεία των ιζηματογενών κύκλων, αλλά τέτοιες ερμηνείες μπορεί ακόμη να μην είναι τόσο εύκολες, και προτείνεται ότι οι περιβαλλοντικές ερμηνείες δεν τελειώνουν με την περιγραφή της κυκλικής ιζηματογένεσης, όπως γίνεται τόσο συχνά στην περίπτωση τόσο των επιφανειακών όσο και των υποεπιφανειακών ερευνών της λεκάνης. Ο Miall (1980) περιέγραψε αυτά τα προβλήματα με αναφορά στις ποτάμιες αποθέσεις.

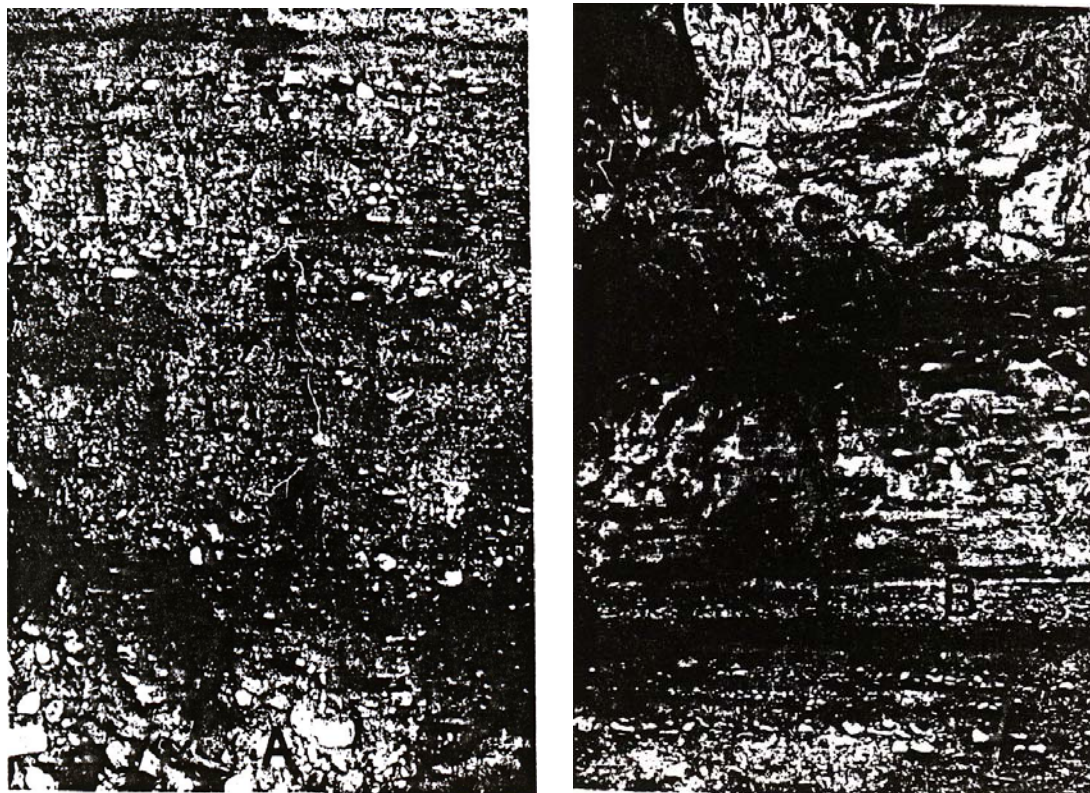
Τα κατακόρυφα προφίλ βρήκαν μια ενδιαφέρουσα χρήση τα τελευταία χρόνια στον ορισμό και απόδειξη της στρωματογραφίας ακολουθιών. Καθώς το επίπεδο της θάλασσας ανέρχεται ή και κατέρχεται, παράκτια και ρηχής θάλασσας περιβάλλοντα απόθεσης μπορούν να μεταναστεύουν προς

τη χέρσο και προς τη θάλασσα, αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα είναι μια αντίστοιχη κατακόρυφη διαδοχή των φασικών συναθρήσεων καταγράφοντας το σχεδιασμό και επανακαθιερώνοντας τα διάφορα παράκτια περιβάλλοντα. Οι κύκλοι που χοντραίνουν και μειώνονται προς τα πάνω μπορούν να αποδεικνύουν την παρουσία δελταικών, ποτάμιων εκβολών ή παράκτιων φραγματικών συστημάτων στην ακτογραμμή, εξαρτόμενα από τις τοπικές παλαιογεωγραφικές, λιθοστρωματογραφικές και χρονοστρωματογραφικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συσχέτιση ακολουθιών εγκάρσια σε μια λεκάνη με σκοπό να προσδιοριστεί η περιφερειακή ιστορία των αλλαγών στη στάθμη της θάλασσας.



Εικόνα 2.12: Τυπικά παραδείγματα από προφίλ που παχύνουν και χοντραίνουν προς τα πάνω. A) Ένα προελαύνων αλλουβιακό ριπίδιο (Steel et al., 1977), B) Ένα δέλτα ποτάμιας επικράτησης (Miall, 1979b), C) Δέλτα κυματικής επικράτησης (Miall, 1979b), D) Φραγματικό νησί (Davies et al., 1971), E) Προελαύνουσα ακτογραμμή με επικράτηση καταγίδων (Hamblin & Walker, 1979), F) Υποθαλάσσιο ριπίδιο (Walker, 1984b).

Οι κύκλοι που αυξάνουν και παχαίνουν προς τα πάνω είναι οι πιο ποικιλόμορφοι στη προέλευσή τους. Πολύ ευδιάκριτοι τύποι παρήχθησαν από την παράκτια οπισθοχώρηση και προέλαση, όπου υπάρχει μια βαθμιαία μετάβαση από χαμηλής ενέργειας περιβάλλοντα μακριά από την ακτή σε υψηλής ενέργειας στα συγκεντρωμένα (soaling) κύματα και στις ενδοπαλιρροιακές ζώνες. Παραδείγματα φαίνονται στην εικόνα 2.12. Άλλοι τύποι σχηματίστηκαν εκεί όπου υπάρχει απότομη κλίση και άφθονη παροχή ιζήματος, και το σύστημα ροής που αναπτύσσεται πάνω σε αυτό προσπαθεί να διαβαθμιστεί από μόνο του σε μια ισορροπία με το γέμισμα των περιθωρίων της λεκάνης με μια ιζηματογενή σφήνα. Οι κύκλοι που χοντραίνουν προς τα πάνω σχηματίστηκαν κάτω από αυτές τις λεπτομέρειες από την προέλαση υποθαλασσιών ριπιδίων και αλλουβιακών ριπιδίων, ιδιαίτερα εκεί όπου το ανάγλυφο διατηρείται ή ακόμη αυξάνει από την ενεργή τεκτονική ανύψωση. Άλλα παραδείγματα κύκλων που χοντραίνουν προς τα πάνω είναι αυτά που παρήχθησαν από διευρυμένες βαθιές τομές σε ποτάμιες και δελταϊκές θέσεις και ποταμοπαγετώδεις ακολουθίες που σχηματίστηκαν μπροστά από ένα προελαύνον ηπειρωτικό φύλλο πάγου.



*Εικόνες 2.13, 2.14: Ακολουθίες κροκαλοπαγών με μειούμενο το κοκκομετρικό μέγεθος προς τα πάνω.*



Κύκλοι με λέπτυνση και μείωση προς τα πάνω γενικά εμφανίζονται στα ποτάμια περιβάλλοντα σαν ένα αποτέλεσμα της πλευρικής μετανάστευσης των καναλιών (ακολουθίες ακραίων φραγμών) ή απονέκρωση καναλιών. Τα αλλουβιακά ριπίδια μπορούν επίσης να δείχνουν κύκλους μειούμενους προς τα πάνω όπου αυτά σχηματίζονται κάτω από συνθήκες τεκτονικής σταθερότητας. Αυτοί οι τρεις τύποι φαίνονται στις εικόνες 2.13 και 2.14. Αλλα παραδείγματα είναι οι ακραίοι φραγμοί σε παλιρροιακούς όρμους και ενδοπαλιρροιακές ακολουθίες παράκτιας προέλασης. Τα ιζήματα που αποτέθηκαν από γρήγορα καταστρεπτικά γεγονότα, περιλαμβάνοντας ποτάμιας αστραπιαίες πλημμύρες και δεβριτικές ροές και πολλούς τύπους υποθαλασσίων βαρυτικών ροών ιζημάτων, επίσης δείχνουν ένα χαρακτήρα με μείωση προς τα πάνω. Οι Reinson (1984) και Elliott (1986β) περιέγραψαν ακολουθίες με μείωση προς τα πάνω γεννημένες από επικλησιγενείς ακτογραμμές.

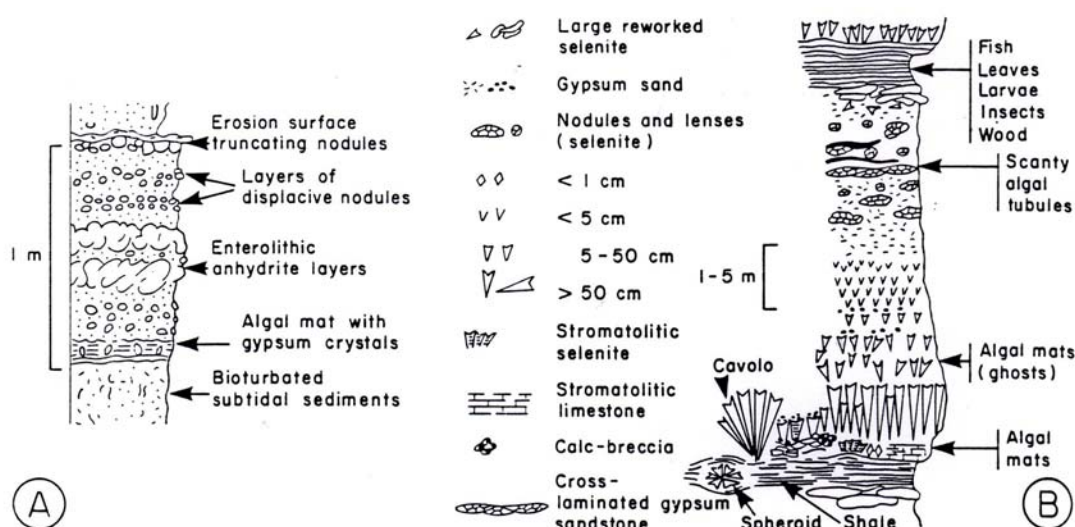
Πολλοί από αυτούς τους κύκλους είναι επιφανειακά ανάλογοι, και μπορεί να απαιτούν προσεκτικές φασικές και παλαιορευματικές μελέτες για να διακριθούν μεταξύ τους. Πληροφορίες για την πλευρική τους ποικιλομορφία μπορεί να είναι αποφασιστικής σημασίας αλλά αυτό συνήθως είναι ακατόρθωτο στην περίπτωση των υποεπιφανειακών μελετών.

Για τα ανθρακικά περιβάλλοντα δόθηκε κατά παράδοση μικρότερη έμφαση πάνω στις ακολουθίες ή τα προφίλ και περισσότερη πάνω στον τύπο των κόκκων, την πανίδα και τις δομές των ανεξαρτήτων στρωμάτων. Συναθρήσεις τέτοιων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων είναι γενικά περιβαλλοντικά γνωστικά κριτήρια, ενώ στην περίπτωση των πυριτοκλαστικών ιζημάτων, περισσότερες ασάφειες πρέπει να επιλύονται για την ερμηνεία τους, και τέτοιες επιπρόσθετες παραστάσεις όπως σχέσεις κατακόρυφων προφίλ και πλευρικών φάσεων υποθέτουν ένα μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Το εύρος των περιβαλλόντων στα οποία ανθρακικά ιζήματα σχηματίζονται είναι πολύ πιο στενό από αυτό των πυριτοκλαστικών. Αυτά κύρια περιορίζονται σε συνθήκες ρηχών κατωφερειών, πλατφόρμων ή αναχωμάτων και γειτονικών ακτογραμμών και περιβάλλοντα ηπειρωτικών περιθωρίων. Ακόμη τεράστια ποικιλία είναι φανερή σ'αυτές τις διάφορες θέσεις, ιδιαίτερα σε περιφέρειες ρηχών νερών και παρακτίων, και αυτό είναι μια άλλη αιτία γιατί τα στάνταρ μοντέλα κατακόρυφων προφίλ δεν έχουν γίνει ακόμη τόσο δημοφιλή όσο αυτά είναι με τους κλαστικούς ιζηματολόγους.

Ανθρακικά ιζήματα βαθιών νερών συνθέτουν μια ποικιλία από αλλόχθονα, λατυποπαγή που προέρχονται από την υφαλοκρηπίδα και διαβαθμισμένους calcarenites, και ημιπελαγικούς πηλίτες που κόβονται από πολυάριθμες κουτσουρεμένες (truncation) επιφάνειες εντός του σχηματισμού (Cook and Enors 1977; McIlreath & James 1984). Οι λιθωματογραφικές συναθρήσεις είναι ευδιάκριτες, αλλά η τοπογραφική κλίση και η τυχαία εμφάνιση ιζημάτων βαρυτικών ροών φαίνεται

να εμποδίζει την ανάπτυξη κάθε τυπικού κατακόρυφου προφίλ. Η οργανική σταθεροποίηση και η υποθαλάσσια τσιμεντοποίηση των ανθρακικών ορίων πιθανά εμποδίζει την ανάπτυξη ανθρακικών υποθαλασσιών ριπιδίων συγκρίσιμων με αυτά που σχηματίζονται από πυριτοκλαστικά ιζήματα, με τα ευδιάκριτά τους κανάλια, τις μορφολογίες λοβών και τα χαρακτηριστικά κατακόρυφα προφίλ.

Οι κυκλικές ακολουθίες είναι κυκλικές σε εβαποριτικά φερμένα ιζήματα, αντικατοπτρίζοντας μια ευαίσθητη αντίδραση των εβαποριτικών περιβαλλόντων σε κλιματικές αλλαγές, επίπεδο αλμυρότητας ή χημισμού του νερού. Επομένως τα κατακόρυφα προφίλ είναι σημαντικής χρήσης στην ερμηνεία των περιβαλλόντων. Ένα από τα πιο γνωστά είναι η παράκτια sabkha βασισμένη σε μελέτες των μοντέρνων άνυδρων ενδοπαλιρροιακών έως υπερπαλιρροιακών επιπέδων των νοτίων ακτών του Περσικού Κόλπου (εικόνα 2.15 A) (Sherman, 1966; Kinsman, 1969; Kendall, 1984). Ο Kendall (1984) περιέγραψε ποικιλομορφίες σ' αυτό το μοντέλο του προφίλ, αντικατοπτρίζοντας διαφορές στο κλίμα και στο χημισμό του νερού οι οποίες προκύπτουν σε άλλες παράκτιες και playa λιμναίες περιθωριακές θέσεις.



Εικόνα 2.15: Οι τυπικοί εβαποριτικοί κύκλοι. A) Παράκτιοι sabkha (Shearman, 1966; Kendall, 1984), B) Υποπαλιρροιακοί έως ενδοπαλιρροιακοί κύκλοι που σχηματίστηκαν από αφυδάτωση (Vai & Ricci Lucchi, 1977).

Οι εβαπορίτες μπορούν να εμφανίζονται σε ποικιλία άλλων λιμναίων και υπεραλμύρων θαλασσιών θέσεων. Αυτοί μιμούνται πολλά είδη από ρηχές έως βαθιές θαλάσσιες ανθρακικές και πυριτοκλαστικές φάσεις και ένα εύρος από ιζηματογενή κριτήρια απαιτείται για να αποδείξει την καταγωγή τους. Τα κατακόρυφα προφίλ είναι ένα από αυτά, αλλά μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν εξετάζονται υποεπιφανειακές αποθέσεις σε πυρήνες. Για παράδειγμα, τα θειικά άλατα που

συγκεντρώνονται κάτω από τη βάση των κυμάτων γενικά επιδεικνύουν ελασμάτωση κλίμακας χιλιοστών εναλλασσόμενη με ανθρακικά και οργανικά υλικά και πιθανά περιλαμβάνει εβαποριτικών ιζημάτων βαρυτικές ροές αποθέσεις (Kendall 1984). Το τελευταίο μπορεί ακόμη να επιδεικνύει τις ακολουθίες Bouma (Schreiber et al. 1976 & Vai & Ricci-Lucchi 1977) στους Μεσσήνιους (ανώτερω μειόκενο) εβαπορίτες στην λεκάνη της Μεσογείου (εικόνα 2.15 Β). Είναι απαραίτητη η προσοχή στην ερμηνεία αυτών των κύκλων γιατί μπορεί να μην προτείνουν ένα προς τα πάνω χτήσιμο ή προέλαση κάτω από σταθερά κυματικά επίπεδα, αλλά αντί για αυτό αυτά μπορεί να παράγουν αλμυρή εβαποριτοποίηση και πτώση του επιπέδου των νερών. Πολλοί κύκλοι επιφόρτησης και εβαποριτοποίησης έχουν προταθεί για κύριες εβαποριτικές λεκάνες τέτοια όπως της Μεσογείου (Hsu et al. 1973).

Τα λιμναία περιβάλλοντα γενικά χαρακτηρίζονται από μια πλατιά ποικιλία κατακόρυφων προφίλ, αντικατοπτρίζοντας πολλές κυκλικές διαδικασίες προτείνοντας αλλαγές στο επίπεδο του νερού και στη γεωχημεία του. Πολλές από αυτές περιέχουν ένα συνθετικό χημικό- ιζήματος. Ο Van Houten (1964) περιέγραψε ένα τύπο με μια προς τα πάνω αύξηση της συγκέντρωσης (soaling upward), ένα χόντρεμα προς τα πάνω των κύκλων στον Τριαδικό σχηματισμό του Λόκατονγκ του New Jersey. Οι κύκλοι είναι περίπου 5 μέτρα πάχος και αποτελούνται, σε μια διάταξη προς τα πάνω, από μαύρους, πυριτικούς πηλίτες, ελασματοποιημένους δολομιτικούς πηλίτες και συμπαγείς δολομητοποιημένους πηλίτες με ρωγμές αφυδάτωσης και βιοαναμόχλευση. Στο ανώτερο μέρος είναι επίσης παρόντες και χημικοί κύκλοι. Οι κύκλοι εναλλάσσονται καθώς τα παράγωγα των μικρών ορίων κλιματικών αλλαγών, με διαφορές ανάμεσα στους δύο τύπους των κύκλων αντικατοπτρίζοντας μια μεγαλύτερη ευαισθησία προς την υγρασία ή την ξηρασία, αντίστοιχα. Ο Donovan (1975) δημιούργησε πέντε μοντέλα προφίλ για κύκλους που εμφανίζονται σαν αποτέλεσμα των αλλαγών στο επίπεδο των λιμνών και ποταμοδελταικών λιμναίων περιθωρίων σαν αποτέλεσμα των αλλαγών προέλασης στα επίπεδα λιμνών και ποταμοδελταικών και λιμναίων στην Δεβόνια orcadian λεκάνη της Β.Σκωτίας. Μπορούν επίσης να παρατηρηθούν και άλλα πολυάριθμα παραδείγματα.

#### 2.5.θ. Στοιχεία αρχιτεκτονικής και επιφάνειες ορισμού.

Ένα από τα θεμελιώδη αντικείμενα της στρωματογραφίας είναι να περιγραφεί η αρχιτεκτονική σε τρεις διευθύνσεις των ιζημάτων πλήρωσης των ιζηματογενών λεκανών. Στη μεγαλύτερη κλίμακα, αυτό συνεπάγεται τους επιστημονικούς κλάδους της λιθοστρωματογραφίας, βιοστρωματογραφίας και χρονοστρωματογραφίας, την αναπαράσταση κυρίων αποθετικών ακολουθιών, πιθανά με τη βοήθεια περιφερειακών σεισμικών τομών, ένα προσδιορισμό των ρόλων των αλλαγών της στάθμης της θάλασσας, και τους διάφορους μηχανισμούς βύθισης της λεκάνης. Στις ενδιαμέσου έως μικρής

κλίμακας, η αρχιτεκτονική των λεκανών εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαδικασιών ρυθμός βύθισης, στάθμη θάλασσας και αυτοκυκλικών διαδικασιών που διέπουν την κατανομή και την συγκέντρωση των ιζημάτων μέσα σε ένα ιδιαίτερα πλατύ αποθετικό σύστημα. Η εξερεύνηση για στρωματογραφικές πετρελαικές παγίδες και για πολλούς τύπους στρωματικών ορίων στα σώματα μεταλλευμάτων απαιτεί στενή προσοχή στην αρχιτεκτονική της λεκάνης στην ενδιάμεση κλίμακα. Για παράδειγμα, η έρευνα και η ερμηνεία υποεπιφανειακών κατευθύνσεων σε ενδεχόμενα πετρώματα ρεζερβουάρ πετρωμάτων είναι μια κύρια προαπασχόληση των γεωλόγων που ασχολούνται με τα πετρέλαια. Μέχρι τα τέλη του 1950 πολλές αποδείξεις έχουν γίνει στις τεχνικές της ανάλυσης λεκανών που διευκολύνουν αυτή τη δουλειά.

Μία καλύτερη κατανόηση των τύπων των αποθετικών μονάδων ή στοιχείων που συνθέτουν τις στρωματογραφικές ακολουθίες, περιλαμβάνοντας δεδομένα περιγραφής στις τρεις διευθύνσεις της κλίμακάς τους, λιθοφασικές συνθέσεις, μήκος χρόνου που απαιτείται για την συγκέντρωση, ενδεχόμενη παρουσίαση και τα διαστήματά τους στον χρόνο και στον χώρο, θα διευκόλυνε την ποσοτική μοντελοποίηση των κλαστικών αποθετικών συστημάτων. Μια πιο άμεση πρακτική εφαρμογή αυτών των δεδομένων θα ήταν η βελτίωση της πληροφόρησης που χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς και τους γεωλόγους των ρεζερβουάρ στα δικά τους μοντέλα των ρευστικών ροών για τα κλαστικά ρεζερβουάρ. Εχει υπολογιστεί ότι η σύνθετη εσωτερική αρχιτεκτονική είναι υπαίτια για την εσωτερικά των ρεζερβουάρ στρωματογραφική παγίδευση των περίπου του 30% των πρωτογενών πετρελαικών θέσεων, ανερχομένων αυτών έως περίπου 100 τρισεκατομύρια βαρέλια από κινητά, μη υπολειμματικά πετρέλαια μόνο στις Η.Π.Α (Tyler et al. 1984). Μια καλύτερη κατανόηση της αρχιτεκτονικής συνθετότητας των πετρελαικών ρεζερβουάρ θα διευκόλυνε βελτιώνοντας τα βασικά παράγωγα και θα αύξανε τους ρυθμούς επιτυχίας των επαυξημένων προγραμμάτων επανόρθωσης.

Υπάρχουν δύο ενδιαφέρουσες ενδοσυσχετιζόμενες ιδέες (Miall, 1988a):

1. Η πρώτη είναι η ιδέα της αρχιτεκτονικής κλίμακας. Οι αποθέσεις αποτελούνται από συναθρήσεις λιθοφάσεων και δομών πάνω σε ένα πλατύ εύρος από φυσικές κλίμακες, από τις ανεξάρτητες μικρής κλίμακας ρυτιδώσεις (ίχνη) στις συναθρήσεις που παράγονται από ένα ολόκληρο αποθετικό σύστημα. Πρόσφατες εργασίες, ιδιαίτερα σε αιολικά, ποτάμια και τουρβιδιτικά περιβάλλοντα, προτείνουν ότι είναι πιθανή η τυποποίηση της κλίμακας ιεραρχίας. Οι αποθετικές μονάδες σε κάθε κλίμακα μεγέθους δημιουργούνται σε απάντηση στη διαδικασία που εμφανίζονται πάνω σε μια ιδιαίτερη κλίμακα χρόνου και είναι ευδιάκριτες φυσικά η μία με την άλλη από μια ιεραρχία των εσωτερικών επιφανειών ορισμού.

2. Η δεύτερη είναι η ιδέα του αρχιτεκτονικού στοιχείου. Ένα αρχιτεκτονικό στοιχείο είναι ένα λιθόσωμα που χαρακτηρίζεται από τη δική του γεωμετρία, φασική σύνθεση και κλίμακα και τα

δικά του αποθετικά παράγωγα σε μια ιδιαίτερη διαδικασία ή ακολουθία διαδικασιών εμφανιζόμενη μέσα σε ένα αποθετικό σύστημα.

## 2.6. Φασικά μοντέλα του 1990.

Πολλά εξαιρετικά βιβλία οδηγοί και άρθρα επισκόπησης ασχολούνται με τα μοντέρνα φασικά μοντέλα (Reading, 1986; Walker, 1984a; Blatt et al. 1980; Reineck & Singh, 1980; Friedman & Sanders, 1978; Leeder, 1982).

Ένα από τα προβλήματα που έχουν σχέση με την εξέλιξη της έρευνας των φασικών μοντέλων είναι η ευαισθησία των ερευνητών να δημιουργούν νέα φασικά μοντέλα για κάθε μία μελέτη μιας παλιάς μονάδος πετρώματος. Αυτά τα μοντέλα μπορεί να δίνουν εξαιρετικά εργαλεία για την τοπική παλαιογεωγραφική ερμηνεία, αλλά η γενική τους εφαρμοστικότητα είναι γενικά αμφισβητήσιμη. Υπάρχει μεγάλη ανάγκη να γίνει τώρα επισκόπηση και σύνθεση από ότι να πολλαπλασιάζονται τα νέα μοντέλα. Αυτή η ανάγκη οδήγησε τον Miall (1985,1988a) να προσπαθήσει μια γενίκευση των ιδεών του Allen (1983) λαμβάνοντας υπόψη αρχιτεκτονικά στοιχεία σε κλαστικά συστήματα.

Η γενίκευση των ιδεών αυτών αναφέρεται στα φασικά μοντέλα και για τα περιβάλλοντα: 1. ποτάμια, 2. δελταικά, 3. λιμναία, 4. αιολικά, 5. κλαστικές ακτογραμμές, 6. άνυδρες ακτογραμμές και εβαπορίτες, 7. κλαστικές ηπειρωτικές κατωφέρειες, 8. ανθρακικά, 9. παγετώδη, 10. βαθιοί ωκεανοί.

Η περιγραφή και η ανάπτυξη των μοντέλων αυτών γίνεται τόσο στα μαθήματα "Εισαγωγή στην ιζηματολογία" όσο και στα "Περιβάλλοντα ιζηματογένεσης", για το λόγο αυτό τα περιβάλλοντα αυτά δίνονται μόνο ονομαστικά.

## 2.7. Συμπεράσματα και κλίμακα μελέτης, εξέτασης.

Η εστίαση σε αυτό το κεφάλαιο ήταν πάνω στις αναλυτικές μεθόδους. Οι λεπτομέρειες όλων των κύριων φασικών μοντέλων αποφεύχθηκαν γιατί το υλικό αυτό καλύπτεται στα δύο προαναφερθέντα μαθήματα.

Σ'αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να σχεδιαστεί ένας αριθμός ιδεών που εμφανίζονται σε διαφορετικά τμήματα των σημειώσεων που αγγίζουν πάνω στις στρωματογραφικές κλίμακες.

Ο πίνακας 3, είναι μια προσπάθεια να περιγραφεί η παγκόσμια στρωματογραφική ιεραρχία και τα είδη των αναλυτικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για να ερμηνεύσουν κάθε επίπεδο της ιεραρχίας. Στο κεφάλαιο 1 περιγράφηκαν διαφορετικοί τύποι και κλίμακες προγραμμάτων ανάλυσης λεκανών, τα είδη των δεδομένων που τυπικά συγκεντρώνονται και λαμβάνονται υπόψη, και τα προβλήματα και οι ευκαιρίες που καθένα προσφέρει. Εγινε διάκριση ανάμεσα στη φασική ανάλυση και στα μοντέλα των φάσεων από τη μια μεριά και της ανάλυσης αποθετικών συστημάτων από την

άλλη. Αυτά αντικατοπτρίζουν διαφορετικά επίπεδα της στρωματογραφικής ιεραρχίας και αντιστοιχούμενης αναλυτικής συνθετότητας. Αυτό το σημείο περιγράφεται στον πίνακα 5. Οι συγκεντρωμένες αναλυτικές μέθοδοι ταξινομούνται με την ένδειξη των ειδών πληροφόρησης που αποκτώνται στις μικρότερες, φασικής ανάλυσης κλίμακες και οι μεγαλύτερες, αποθετικών συστημάτων κλίμακες. Ανάλογα, κάθε αποθετικό περιβάλλον μπορεί να αναλυθεί σε δύο διαφορετικές κλίμακες, και μερικά παραδείγματα δόθηκαν για να αποδείξουν αυτή την ιδέα. Ο πίνακας δεν είναι εξαντλητικός-πλήρης, αλλά δόθηκε σαν μια περιγραφή αυτών των θεωρήσεων για τις κλίμακες.

1. Scales	Facies analysis	Depositional systems analysis
2. General definitions	Outcrop or local-scale facies assemblages and environmental interpretations, within-basin (autocyclic) cyclic mechanisms, facies models	Basin-wide paleogeography and stratigraphic architecture, effects of contemporaneous tectonics, sea-level changes, climatic change, sequence stratigraphy
3. Selected analytical methods	Facies analysis scale	Depositional systems scale
Sedimentary structures and paleocurrents	Bar and bedform geometry and relative arrangement, local hydraulics, identification of river, wave, and tide influence	Basin dispersal patterns and relationship to tectonic elements
Vertical profile studies	Environmentally diagnostic, autocyclic mechanisms	Alloccyclic mechanisms
Petrology (siliciclastic)	Authigenic components may be environmentally diagnostic.	Basin dispersal patterns, plate tectonics setting of source rocks
Petrology (carbonate)	Basis of most lithofacies identifications and paleogeographic reconstructions at all scales	
Paleoecology	Local environmental interpretations	Regional paleobathymetry, gross salinity, and temperature changes
4. Selected environments	Facies analysis scale	Depositional systems scale
Fluvial	Bar type, channel geometry, local fluvial style	Areal and stratigraphic variations of fluvial style, relation of dispersal patterns to contemporaneous tectonic elements
Eolian	Dune type and geometry, interdune environments	Erg paleogeography, relation to playa and fluvial systems
Deltaic	Discrimination of river, wave, and tide influence is main objective at all levels of analysis as these are main controls on all scales of cyclicity and facies geometry.	
Shelf	Types of HCS <sup>a</sup> and storm sequence, tidal sand wave evolution	Relative dominance of tides versus storms
Continental rise	Fan channel geometry and facies, channel migration, and lobe progradation	Canyon-fan-basin-plain relations, paleogeography of fan complexes
Carbonate platform	Local environments, tidal exposure, reef paleoecology	Discrimination of windward and leeward shelf margins, reef distribution
Evaporite basins	Recognition of deep- or shallow-water origin	Large-scale cyclicity and relation to water level fluctuations

<sup>a</sup> HCS, hummocky cross-stratification.

Πίνακας 3: Κλίμακες από την ιζηματολογική ανάλυση (Miall, 1990).

Σε κάποια έκταση, οι διαφορές ανάμεσα στα φασικά μοντέλα και στα αποθετικά συστήματα είναι τεχνητές. Τα όρια ανάμεσα στα δύο είναι ασαφή και για μερικά περιβάλλοντα, τέτοια όπως δέλτα, η διάκριση είναι το παν αλλά αδύνατη να οριστεί. Ακόμη, μια χρήσιμη προσέγγιση να

παίρνεται, επειδή βοηθά στο να ξεχωριστεί και να αποσαφηνιστεί ο σκοπός ενός αριθμού διαφορετικών διαδικασιών εκτελούμε περισσότερες ή λιγότερες ταυτόχρονες πραγματοποιήσεις ανάλυσης λεκανών.

## 2.8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AGER, D.V., 1963: Principles of palaeoecology; McGraw-Hill, New York, 371 p.
- ALEXANDER, J., and LEEDER, M.R., 1987: Active tectonic controls on alluvial architecture; in F.G. Ethridge, M.R. Flores and M.D. Harvey, eds., Recent developments in fluvial sedimentology; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 39, p. 243-252.
- ALLEN, J.R.L., 1983: Studies in fluvial sedimentation: bars complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders, Sedimentary Geology, v. 33, p. 237-293.
- ALLEN, P., and COLLINSON, J.D., 1986: Lakes, in H.G. Reading, ed., Sedimentary environments and facies, 2nd ed., Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 63-94.
- AMDERTON, R., 1985: Clastic facies models and facies analysis; in P.J. Brenchley and B.P.J. Williams, eds., Sedimentology: Recent developments and applied aspects; Geological Society of London Special Publication 18, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 31-47.
- BARWIS, J.H., 1978: Sedimentology of some South Carolina tidal-creek point bars, and a comparison with their fluvial counterparts; in A.D. Miall, ed., Fluvial sedimentology, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 5, p. 129-160.
- BEERBOWER, J.R., 1964: Cyclothems and cyclic depositional mechanisms in alluvial plain sedimentation; in D.F. Merriam, ed., Symposium on cyclic sedimentation, Kansas Geological Survey Bulletin 169, v.1, p. 31-42.
- BLATT, H., MIDDLETON, G.V., and MURRAY, R., 1980: Origin of sedimentary rocks; 2nd ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 782 p.
- BOUMA, A.H., 1962: Sedimentology of some flysch deposits; Elsevier, Amsterdam, 168 p.
- BYERS, C.W., and DOTT, R.J., Jr., 1981: SEPM Research Conference on modern shelf and ancient cratonic sedimentation-the orthoquartzite-carbonate suite revisited; Journal of Sedimentary Petrology, v.51, p. 329-347.
- CANT, D.J., and WALKER, R.G., 1976: Development of a braided-fluvial facies model for the Devonian Battery Point Formation; Canadian Journal of Earth Sciences, v.13, p. 102-119.
- CLIFTON, H.E., HUNTER, R.E., and PHILLIPS, R.L., 1971: Depositional structures and processes in the non-barred, high energy nearshore; Journal of Sedimentary Petrology, v.41, p. 651-670.
- COLEMAN, J.M., and WRIGHT, L.D., 1975: Modern river deltas; variability of processes and sand bodies; in M.L. Broussard, ed., Deltas, models for exploration; Houston Geol. Soc., 99-149.
- COOK, H.E., and ENOS, P., EDS., 1977: Deep-water carbonate environments; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 25, 336 p.
- DAVIES, D.K., and ETHRIDGE, F.G., 1975: Sandstone composition and depositional environments; American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.59, p. 239-264.
- DICKINSON, W.R., and SUCZEK, C.A., 1979: Plate tectonics and sandstone composition; American Association of petroleum Geologists Bulletin, v.63, p. 2164-2182.
- DODSON, P., 1971: Sedimentology and taphonomy of the Oldman Formation (Campanian), Dinosaur Provincial Park, Alberta (Canada); Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol., v.10, p. 21-74.
- DONOVAN, R.N., 1975: Devonian lacustrine limestones at the margin of the Orcadian Basin, Scotland; Journal of the Geological Society of London, v.131, p. 489-510.
- EINSELE, G., and SEILACHER, A., eds., 1982: Cyclic and event stratification; Springer-Verlag, Berlin and New York, 536 p.
- ELLIOT, T., 1986b: Siliciclastic shorelines, in H.G. Reading, ed., Sedimentary environments and facies, 2nd ed., Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 155-188.
- ETHRIDGE, F.G., and WESCOTT, W.A., 1984: Tectonic setting, recognition and hydrocarbon reservoir potential of fan-delta deposits; in E.H. Koster and R.J. Steel, eds., Sedimentology of gravels and conglomerates; Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 10, p. 217-235.



- EUGSTER, H.P., and HARDIE, L.A., 1975: Sedimentation in an ancient playa-lake complex: The Wilkins Peak Member of the Green River Formation of Wyoming; *Geological Society of America Bulletin*, v.86,p. 319-334.
- EYLES, N.,EYLES,C.H., and MIALL, A.D., 1983: Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict sequences;*Sedimentology*, v.30, p. 393-410.
- EYLES,N.,DAY,T.E.,and GAVICAN,A.,1987:Depositional controls on the magnetic characteristics of lodgement tills and other glacial diamict facies; *Can. J. Earth Sciences*, v.24, p. 2436-2458.
- FAWCETT,J.J., 1982: Facies (metamorphic facies); *McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology*, 5th ed.,McGraw-Hill,New York, p. 303.
- FRANKE, W., and PAUL, J., 1980: Pelagic redbeds in the Devonian of Germany-deposition and diagenesis;*Sedimentary Geology*,v.25,p.231-256.
- FRAZIER, D.E., 1974: Depositional episodes: their relationship to the Quaternary stratigraphic framework in the northwestern portion of the Gulf Basin; *Bureau of Economic Geology, University of Texas, Circular 74-1*.
- FRIEDMAN,G.M.,and SANDERS,J.E.,1978: Principles of sedimentology; *John Wiley and Sons, New York*, 792 p.
- FRIEND,P.F.,ALEXANDER-MARRACK,P.D.,NICHOLSON,J., and YEATS, A.K.,1976: Devonian sediments of east Greenland I;*Meddelelser om Gronland*,Bd. 206, 382 p.
- GALLOWAY, W.E., 1975: Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of the deltaic depositional systems;in M.L.Broussard,ed.,*Deltas, models for exploration*, Houston Geological Society, Houston, p. 87-98.
- GALLOWAY, W.E., 1986: Reservoir facies architecture of microtidal barrier systems; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.70, p.787-808.
- GRAVENOR,C.P., and WONG, T., 1987: Magnetic and pebble fabrics and origin of the Sunnybrook Till, Scarborough, Ontario, Canada; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v.24, p. 2038-2046.
- HAMBLIN,A.P.,and WALKER, R.G.,1979: Storm-dominated shallow marine deposits; the Fernie-Kootenay (Jurassic) transition, southern Rocky Mountains; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v.16, p. 1673-1690.
- HARBAUGH,J.W.,and DEMIRMEN,F.,1964:Application of factor analysis to petrologic variations of Americus Limestone (Lower Permian), Kansas and Oklahoma; *Special Distribution Publication Geological Survey of Kansas 15*, p. 1-40.
- HARBAUGH, J.W., and MERRIAM, D.F., 1968: *Computer applications in stratigraphic analysis*; Wiley, New York, 282 p.
- HARMS,J.C.,and FAHNESTOCK,R.K.,1965:Stratification,bed forms,and flow phenomena (with an example from the Rio Grande); in G.V. Middleton, ed., *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*; *Soc.Econ. Paleont. Miner., Spec. Publ.*, 12, p. 84-115.
- HARMS,J.C.,SOUTHARD, J.B., SPEARING, D.R., and WALKER, R.G., 1975: Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences; *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course 2*, 161 p.
- HARMS,J.C., SOUTHARD, J.B., and WALKER, R.G., 1982: Structures and sequences in clastic rocks; *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course 9*.
- HEIN,F.J.,1982: Depositional mechanisms of deep-sea coarse clastic sediments, Cap Enrage Formation, Quebec; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v.19, p. 267-287.
- HOWARD,J.D., and REINECK, R.E., 1981: Depositional facies of high-energy beach-to-offshore sequence: comparison with low energy sequence; *Am.Ass.Petr.Geol. Bull.*, v.65, p. 807-830.
- HSU, K.J., CITA, M.B., and RYAN, W.B.F., 1973: The origin of the mediterranean evaporites;in W.B.F.Ryan,K.J.Hsu et al.,*Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, v.13, p. 1203-1231.
- HUNTER, R.E., 1985: Subaqueous sand-flow cross strata; *J.Sed.Petr.*, v.55, p. 886-894.
- IMBRIE,J.,and PURDY, E.G., 1962: Classification of modern Bahamian carbonate sediments;in W.E.Ham,ed.,*Classification of carbonate rocks*; *Am.Ass.Petr. Geol. Mem.*, I, p. 253-272.

- KENDALL, A.C., 1984: Evaporites; in R.G. Walker, ed., *Facies Models*, 2nd ed.; Geoscience Canada Reprint Series I, p. 259-296.
- KINSMAN, D.J.J., 1969: Modes of formation, sedimentary associations, and diagenetic features of shallow-water supratidal evaporites. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, v.53, p.830-840.
- KIRK, M., 1983: Bar development in a fluvial sandstone (Westphalian "A"), Scotland; *Sedimentology*, v.30, p. 727-742.
- KOSTER, E.H., and STEEL, R.J., eds., 1984: *Sedimentology of gravels and conglomerates*; Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 10, 441 p.
- KRUMBEIN, W.C., and SLOSS, L.L., 1963: *Stratigraphy and sedimentation*, 2nd ed.; Freeman, San Francisco, 660 p.
- KRYNINE, P.D., 1942: Differential sedimentation and its products during one complete geosynclinal cycle; *Proceedings of the 1st. Pan American Congress on Mining and Engineering Geology*, Pt. 1, v.2, p.537-560.
- KUMAR, N., and SANDERS, J.E., 1976: Characteristics of shoreface deposits; modern and ancient; *Journal of Sedimentary Petrology*, v.46, p. 145-162.
- LEEDER, M.R., 1982: *Sedimentology: process and product*; George Allen and Unwin, London, 344 p.
- LOWE, D.R., 1979: Sediment gravity flows: their classification and some problems of application to natural flows; in L.J. Doyle and O.H. Pilkey Jr., eds., *Geology of Continental Slopes*; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 27, p. 75-82.
- LUDVIGSEN, R., 1978: Middle Ordovician trilobite biofacies, southern Mackenzie Mountains; in C.R. Stelck and B.D.E Chatterton, eds., *Western and Arctic Canadian biostratigraphy*; Geological Association of Canada Special Paper 18, p.1-37.
- MACDONALD, K.B., 1975: Quantitative community analysis: recurrent group and cluster techniques applied to the fauna of the Upper Devonian Sonyea Group, New York; *Journal of Geology*, v.83, p.473-499.
- McLREATH, I.A., and JAMES, N.P., 1984: Carbonate slopes; in R.G. Walker, ed., *Facies Models*, 2nd ed.; Geoscience Canada Reprint Series 1, p.245- 257.
- MELLO, J.F., and BUZAS, M.A., 1968: An application of cluster analysis as a method of determining biofacies; *Journal of Paleontology*, v.42, p.747-758.
- MIALL, A.D., 1973: Markov chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession; *Sedimentology*, v.20, p. 347-364.
- MIALL, A.D., 1977: A review of the braided river depositional environment; *Earth Science Reviews*, v.13, p. 1-62.
- MIALL, A.D., 1978: Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary; in A.D. Miall, ed., *Fluvial sedimentology*, Canadian Soc. of Petroleum Geologists Mem.5, p.597-604.
- MIALL, A.D., 1980: Cyclicality and the facies model concept in fluvial deposits; *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v.28, p. 59-80.
- MIALL, A.D., 1985: Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits; *Earth Science Reviews*, v.22, p. 261-308.
- MIALL, A.D., 1988a: Facies architecture in clastic sedimentary basins; in K. Kleinspehn and C. Paola, eds., *New Perspectives in basin analysis*; Springer-Verlag, New York, p.63-81.
- MIALL, A.D., 1988b: Architectural elements and bounding surfaces in channelized clastic deposits: notes on comparisons between fluvial and turbidite systems; in A. Taira and F. Masuda, eds., *Sedimentary facies in the active plate margin*; Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, Japan, p.3-15.
- MIALL, A.D., 1990: Hierarchies of architectural units in clastic rocks, and their relationship to sedimentation rate; in A.D. Miall and N. Tyler, ed., *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic-sediments*; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, in press.
- MIDDLETON, F.V., 1973: "Johannes Walther's law of the correlation of facies"; *Geological Society of America Bulletin*, v.84, p. 979-988.

- MIDDLETON, G.V., and HAMPTON, M.A., 1976: Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows; in D.J. Stanley and D.J.P. Swift, eds., *Marine sediment transport and environmental management*; Wiley, New York, p. 197-218.
- MOORE, R.C., 1949: Meaning of facies; *Geological Society of America Memoir* 39, p.1-34.
- MUTTIE, E., and NORMARK, W.R., 1987: Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts; in J.K. Leggett and G. G. Zuffa, eds., *Marine clastic sedimentology: concepts and case studies*; Graham and Trotman Ltd., London, p. 1-38.
- MUTTI, E., and RICCI-LUCCHI, F., 1972: Le turbiditi dell'Appennino settentrionale: introduzione all'analisi di facies; *Soc. Geol. Ital. Mem.* 11, p.161-199.
- NEMEC, W., and STEEL, R.J., eds., 1988: *Fan deltas: sedimentology and tectonic setting*; Blackie and Son, 464 p.
- NILSEN, T., BARTOW, J.A., STUMP, E., and LINK, M.H., 1977: New occurrences of dish structure in the stratigraphic record; *Journal of Sedimentary petrology*, v.47, p. 1299-1304.
- NUMMEDAL, D., PILKEY, O.H., and HOWARD, J.D., eds., 1987: *Sea-level fluctuation and coastal evolution*; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 41, 267 p.
- ODIN, G.S., and MATTER, A., 1981: De glauconiarum origine; *Sedimentology*, v.28, p.611-642.
- PARRISH, J.T., 1983: Upwelling deposits: nature of association of organic-rich, chert, chalk, phosphorite and glauconite; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.67, p. 529.
- PIPER, D.J.W., 1978: Turbidite muds and silts on deep-sea fans and abyssal plains; in D.J. Stanley and G. Kelling, eds., *Sedimentation in submarine canyons, fans, and trenches*; Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pennsylvania, p. 163-176.
- PIPER, D.J.W., SHOR, A.N., FARRE, J.A., O'CONNELL, S., and JACOBI, R., 1985: Sediment slides and turbidity currents on the Laurentian Fan: sidescan sonar investigations near the epicenter of the 1929 Grand Banks earthquake; *Geology*, v.13, p. 538-541.
- POSTMA, G., 1986: Classification of sediment gravity-flow deposits based on flow conditions during sedimentation; *Geology*, v.14, p.291-294.
- POTER, P.E., 1959: Facies models conference; *Science*, v.129, p.1292-1294.
- PURDY, E.G., 1963: Recent calcium carbonate facies of the Great Bahama Bank; *Journal of Geology*, v.71, p. 334-355, p. 472-497.
- READING, H.G., ed., 1986: *Sedimentary environments and facies*, 2nd ed.; Blackwell, Oxford, 615 p.
- REINECK, H.E., and SINGH, I.B., 1980: *Depositional sedimentary environments - with reference to terrigenous clastics*; 2nd ed.; Springer-Verlag, New York, 549 p.
- REINECK, H.E., and WUNDERLICH, R., 1968: Classification and origin of flaser and lenticular bedding; *Sedimentology*, v.11, p. 99-104.
- REINSON, G.E., 1984: Barrier island and associated strand-plain systems; in R.G. Walker, ed., *Facies models*, 2nd ed., *Geoscience Canada Reprint Series* 1, p. 119-140.
- RUST, B.R., 1972: Pebble orientation in fluvial sediments; *Journal of Sedimentary Petrology*, v.42, p. 384-388.
- SCHREIBER, B.C., FRIEDMAN, G.M., DECIMA, A., and SCHREIBER, E., 1976: Depositional environments of the Upper Miocene (Messinian) evaporite deposits of the Sicilian Basin; *Sedimentology*, v.23, p. 729-760.
- SCHWAB, F.L., 1981: Evolution of the western continental margin, French-Italian Alps: sandstone mineralogy as an index of plate tectonic setting; *Journal of Geology*, v.89, p. 349-368.
- SELLEY, R.C., 1970: Studies of sequence in sediments using a simple mathematical device; *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, v.125, p. 557-581.
- SHANMUGAM G., and MOIOLA, R.J., 1988: Submarine fans: characteristics, models, classification, and reservoir potential; *Earth Science Reviews*, v.24, p.383-428.
- SHINN, E.A., 1983: Birdseyes, fenestrae, shrinkage pores, and loferites: a reevaluation; *Journal of Sedimentary Petrology*, v.53, p.619-628.
- SHOR, A.N., KENT, D.V., and FLOOD, R.D., 1984: Contourite or turbidite?: magnetic fabric of fine-grained Quaternary sediments, Nova Scotia continental rise; in D.A.V. Stow and D.J.W. Piper,

- eds., *Fine-grained sediments: deep-water processes and facies*; Geological Society of London Special Publication 15, p. 257-273.
- SIMONS, D.B., and RICHARDSON, E.V., 1961: Forms of bed roughness in alluvial channels; *American Society of Civil Engineers Proceedings*, v.87, no.HY3, p.87-105.
- SIMONS, D.B., RICHARDSON, E.V., and NORDIN, CLF., 1965: Sedimentary structures generated by flow in alluvial channels; in G.V. Middleton, ed., *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 12, p. 34-52.
- SOUTHARD, J.B., 1971: Representation of bed configurations in depth-velocity-size diagrams; *Journal of Sedimentary Petrology*, v.41, p.903-915.
- STOW, D.A.V., and PIPER, D.J.W., eds., 1984: *fine-grained sediments: deep-water processes and facies*; Geological Society of London Special Publication 15, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 659 p.
- TEICHERT, C., 1958: Concept of facies; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.42, p. 2718-2744.
- TURNER, P., 1980: *Continental red beds*; *Developments on Sedimentology*, Elsevier, Amsterdam, No.29.
- TYLER, N., GALLOWAY, W.E., GARRETT, C.M., Jr., and EWING, T.E., 1984: Oil accumulation, production characteristics, and targets for additional recovery in major oil reservoirs of Texas; Bureau of Economic Geology, Texas, *Geologic Circular* 84-2, 31 p.
- VAI, G.B., and RICCI-LUCCHI, F., 1977: Algal crusts, autochthonous and clastic gypsum in a cannibalistic evaporite basin: a case history from the Messinian of Northern Apennines; *Sedimentology*, v.24, p.211-244.
- VAN HOUTEN, F.B., 1964: Cyclic lacustrine sedimentation, Upper Triassic Lockatong Formation, central New Jersey and adjacent Pennsylvania; in D.F. Merriam, ed., *Symposium on cyclic sedimentation*, Geological Survey of Kansas Bulletin 169, p. 495-531.
- VAN HOUTEN, F.B., 1973: Origin of red beds: a review-1961-1972; in F.A. Donath, ed., *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v.1, p.39-62.
- WALKER, R.G., 1973: Mopping up the turbidite mess; in R.N. Ginsburg, ed., *Evolving concepts in sedimentology*; Johns Hopkins University Press, Baltimore, p. 1-37.
- WALKER, R.G., 1975: Generalized facies models for resedimented conglomerates of turbidite association; *Geological Society of America Bulletin*, v.86, p. 737-748.
- WALKER, R.G., 1978: Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.62, p. 932-966.
- WALKER, R.G., ed., 1984a: *Facies models*, 2nd ed.; Geoscience Canada Reprint Series 1, 317 p.
- WALKER, R.G., 1984b: Turbidites and associated coarse clastic deposits; in R.G. Walker, ed., *Facies models*, 2nd ed., Geoscience Canada Reprint Series 1, p. 171-188.
- WALKER, T.R., 1967: Formation of red beds in modern and ancient deserts; *Geological Society of America Bulletin*, v.78, p. 353-368
- WALTHER, J., 1893-1894: *Einleitung in die Geologie als Historische Wissenschaft*; Jena, Fischer Verlag, 3 vols.
- WEIMER, R.J., and HOYT, H.J., 1964: Burrows of *Callianassa major* Say, geologic indicators of littoral and shallow neritic environments; *Journal of Paleontology* v.38, p. 761-767.
- WILSON, J.L., 1975: *Carbonate facies in geologic history*; Springer-Verlag, New York, 471 p.