

3. Αποθετικά συστήματα και στρωματογραφία ακολουθιών

3.1. Εισαγωγή

Μια απ'τις πιο ενεργές περιοχές ανάπτυξης στην γεωλογία ιζημάτων είναι αυτή της στρωματογραφίας ακολουθιών. Όπως σημειώνει ο Nummedal (1987) "η ερμηνεία της στρωματογραφικής καταγραφής αναπτύχθηκε έντονα στη διάρκεια των τελευταίων χρόνων από την γρήγορη εξέλιξη στη χρήση της "στρωματογραφίας ακολουθιών" π.χ. η προσπάθεια να αναλυθούν στρωματογραφικές διαδοχές σε όρους από γενετικά συσχετιζόμενα πακέτα στρωμάτων. Η αξία της ιδέας μιας "στρωματογραφικής ακολουθίας" βρίσκεται στην αναγνώριση μιας σταθερής ή διευθετημένης τακτοποίησης των φάσεων σε τρεις διευθύνσεις εσωτερικά της ακολουθίας, την αρχιτεκτονική των φάσεων, και την περιφερειακή (και ενδο-περιφερειακή) συσχέτιση των ορίων της ακολουθίας. Έχει επίσης υποστηριχθεί ότι πολλά όρια ακολουθιών είναι παγκόσμια συσχετίσιμα, και ότι αυτά αντικατοπτρίζουν περιόδους χαμηλού επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, π.χ. όρια ακολουθιών είναι υπαεριώδεις διαβρωσιγενείς επιφάνειες".

3.2. Στρωματογραφική αρχιτεκτονική

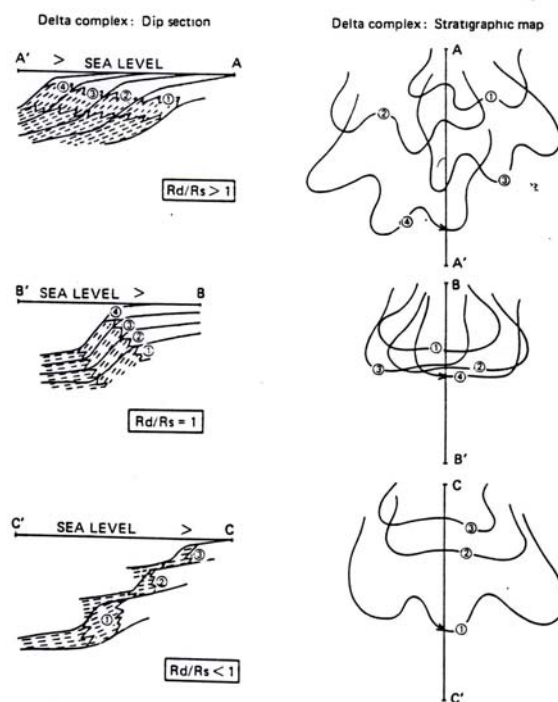
Ο νόμος της υπέρθεσης των στρωμάτων είναι μια απ'τις παλιότερες αρχές της γεωλογίας ιζημάτων, και αυτός παραμένει ότι σε κάθε διαδοχή στρωμάτων τα στρώματα αποτέθηκαν σε μια απλή κατακόρυφη διάταξη από τη βάση προς την κορυφή. Αυτή η πολύ προφανής άποψη είναι η βάση του μοντέλου της αφθονίας των στρωμάτων της στρωματογραφίας, το οποίο βλέπει τα ιζήματα σαν περισσότερο ή λιγότερο ομοιόμορφες επίπεδες επιφάνειες - "κουβέρτες"- ή σφήνες, αν και ίσως δείχνονται αλλαγές πάχους ή φάσεων απ'το ένα τμήμα της λεκάνης στο άλλο.

Η γεωμετρία ή η αρχιτεκτονική ενός αποθετικού πακέτου ή στρωματογραφικής ακολουθίας ελέγχεται από την ενδοσυσχέτιση τριών διαδικασιών:

1. το ρυθμό της παροχής ιζημάτων (κλαστική) ή τη γένεση ιζημάτων (χημική);
2. το ρυθμό της βύθισης της λεκάνης, και
3. το ρυθμό της αλλαγής στη στάθμη της θάλασσας.

Οι φασικές αλλαγές, το ξετύλιγμα των σχέσεων, και τα χάσματα θα μπορούσαν να δώσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της ενδοσυσχέτισης των δύο πρώτων διαδικασιών. Νεώτερες έρευνες δείχνουν ότι αλλαγές μακράς και μικράς διάρκειας του παγκόσμιου επιπέδου της στάθμης της θάλασσας πιθανά εμφανίζονται σχεδόν ασταμάτητα, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια του Φανεροζωϊκού. Όμως η χρονική και ποσοτική τεκμηρίωση τέτοιων αλλαγών είναι πολύ μακριά απ'το τέλειο. Για παράδειγμα, δοσμένες επαρκείς παροχές ιζημάτων και σχετικά αργή βύθιση, είναι πιθανό η ιζηματογενής πρόελαση και οπισθοχώρηση να εμφανίζεται ακόμη και κατά τη διάρκεια της ανύψωσης του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας. Αντίθετα, μπορεί γρήγορη βύθιση μιας

φτωχής ιζημάτων υφαλοκρηπίδας να αιτιολογήσει -προκαλέσει επίκλυση ακόμη και κατά τη διάρκεια της πτώσης του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας. Είναι επομένως σημαντικό να διακριθούν τοπικά γεγονότα τα οποία μπορούν να ερμηνευτούν άμεσα από την καταγραφή των ιζημάτων, τέτοια όπως επίκλυση και απόσυρση. Η εικόνα 3.1 περιγράφει την σχέση ανάμεσα στο ρυθμό της απόθεσης και στο ρυθμό της βύθισης σε μιά δελταϊκή σύνθεση, θεωρώντας ακίνητο-αμετάβλητο το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας (Curtis, 1970).



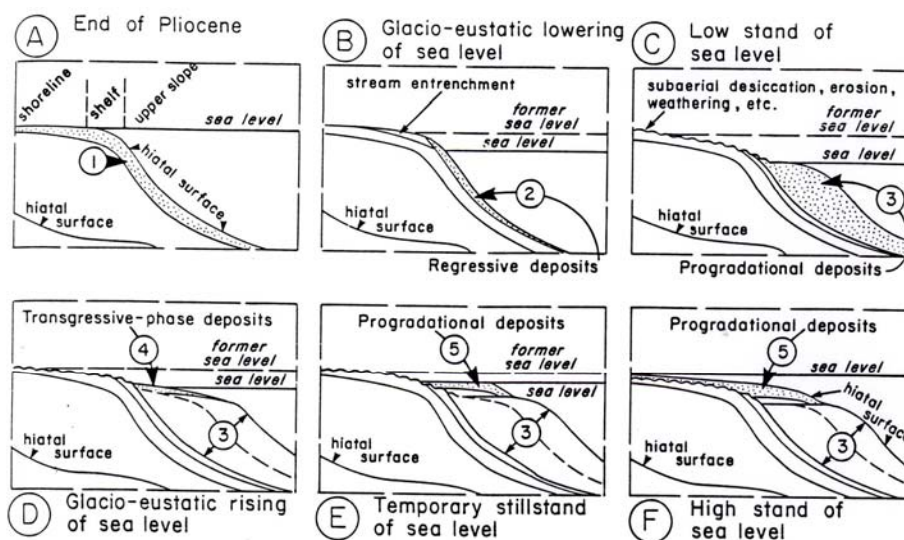
Εικόνα 3.1: Σχέση μεταξύ ρυθμών απόθεσης (R_d) και ρυθμού βύθισης (R_s) σ'ένα δελταϊκό σύστημα (Curtis, 1970).

Αυτό μπορεί να συγκριθεί με την εικόνα 3.2 η οποία δείχνει ένα μοντέλο βασισμένο στην αλλαγή του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας. Μόνο εκεί όπου είναι εμφανείς οι αλλαγές στο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας είναι ασφαλές να θεωρείται ότι το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας πραγματικά αλλάζει και μόνο εκεί μπορούν ακριβώς να συχετισθούν περιφερειακά ή παγκόσμια.

Δοσμένων αυτών των βασικών ιδεών και κοιτάζοντας την στρωματογραφική αρχιτεκτονική μεγάλης κλίμακας, μπορούμε να εξετάζουμε τα κύρια θαλάσσια και μη θαλάσσια αποθετικά συστήματα. Μπορούν να περιγραφούν οι διάφοροι τρόποι με τους οποίους αυτά τα αποθετικά συστήματα χτίζουν-δημιουργούν ίχνη-αποτυπώσεις συστημάτων, τα οποία διαδέχονται το ένα το άλλο, στο χρόνο και στο χώρο, σαν αποτέλεσμα της σχετικής αλλαγής του επιπέδου της στάθμης

της θάλασσας. Η μελέτη τέτοιων διαδικασιών σε κλίμακα λεκάνης ονομάζεται στρωματογραφία ακολουθιών (sequence stratigraphy).

Τα Ολοκαινικά ιζήματα περιέχουν αρκετά ή πολλά τέτοια γεγονότα σαν αποτέλεσμα των γρήγορων αλλαγών στο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια της παγετώδους ηλικίας.



Εικόνα 3.2: Ένα αποθετικό γεγονός στο Δέλτα του Μισσισιππί, όπως δείχθηκε απ'τον Frazier (1974).

3.3. Στρωματογραφία ακολουθιών.

3.3.α. Ανάπτυξη της ιδέας και της σπουδαιότητας.

Η στρωματογραφία ακολουθιών, είναι ένας ειδικός τύπος της στρωματογραφίας γεγονότων.. Ο τελευταίος όρος χρησιμοποιείται όταν η λεκάνη πλήρωσης κύρια ελέγχεται από επιδράσεις ενός ή περισσοτέρων πλατιά διαδεδομένων στρωματογραφικών γεγονότων, τέτοιων όπως μια κύρια καταγιδα ή μια βαρυτική ροή ιζημάτων. Οι αλλαγές του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας είναι επίσης γεγονότα, αν και περιφερειακές αλλαγές παίρνουν τουλάχιστον μερικές χιλιάδες χρόνια και αυτά δεν είναι ακαριαία. Η αναγνώριση της σημαντικότητας των ασυμφωνιών στην στρωματογραφική καταγραφή οδήγησε σε μια πρόταση για μια νέα τάξη στρωματογραφικής μονάδας, ονομαζόμενη αλλοστρωματογραφική μονάδα. Οι κλασικές λιθοστρωματογραφικές

μονάδες (σχηματισμός, μέλος κ.α.) πολύ λίγο ταιριάζουν για την τεκμηρίωση των ακολουθιών, γιατί, με τον ορισμό, αυτές δεν θα υπερβαίνουν (transgress) κύρια φασικά όρια.

Η έρευνα στην περιοχή της στρωματογραφίας ακολουθιών αναζωογόνησε το αντικείμενο της φασικής ανάλυσης εξ'αιτίας του ενδιαφέροντος της τεκμηρίωσης κατακορύφων και πλευρικών φασικών αλλαγών στην καταγραφή των πετρωμάτων, και αυτό έχει ξανατονίσει την σημασία της ακριβούς χρονοστρωματογραφικής συσχέτισης. Η ανάλυση κατακορύφων λιθοφασικών προφύλ έγινε ένα ζωτικό εργαλείο για την εξερεύνηση της πλευρικής μετανάστευσης των αποθετικών συστημάτων, διαμέσου της εφαρμογής του νόμου του Walther. Η πλευρική συσχέτιση είναι απαραίτητη με σκοπό να σκιαγραφηθούν ανεξάρτητες ακολουθίες διαμέσου μιας λεκάνης και να αναπαρασταθεί ο τρόπος με τον οποίο ταυτόχρονα, πλευρικά διπλανά αποθετικά συστήματα ενοποιήθηκαν μέσα σε περιοχές περιφερειακών συστημάτων.

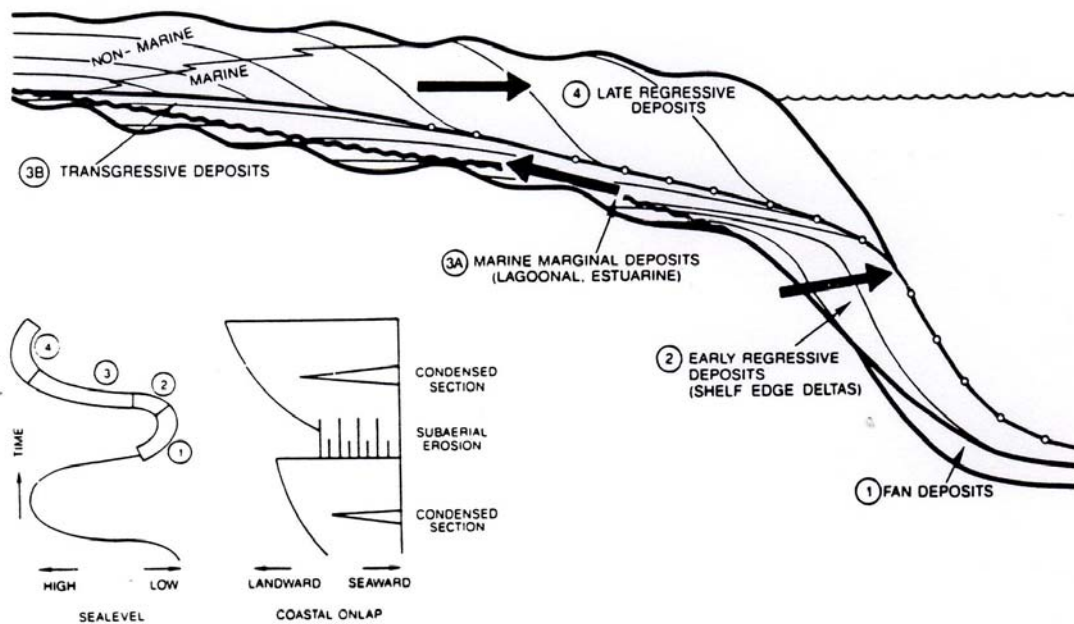
Υπάρχουν τρεις κύριες περιοχές έρευνας. Η πρώτη είναι απλά η τεκμηρίωση των στρωματογραφικών ακολουθιών στην καταγραφή των πετρωμάτων. Οι μελέτες των μοντέρνων περιβαλλόντων, ειδικότερα οι επιδράσεις των προσφάτων (μεταπαγετώδεις) αλλαγών του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, δέχθηκε επίσης εντατική έρευνα. Ένα τρίτο κομμάτι της έρευνας αποτελείται από τις προσπάθειες να προσομοιωθεί η ανάπτυξη της στρωματογραφικής αρχιτεκτονικής με πολυάριθμα μοντέλα μέσα από υπολογιστές. Μερικά απ'αυτά τα μοντέλα χρησιμοποίησαν αυθαίρετες στρωματογραφικές γεωμετρίες και ρυθμούς αλλαγών, ενώ πιο μοντέρνα μοντέλα προσπάθησαν να προσομοιώσουν ιζηματογενείς διαδικασίες όσο προσεκτικά ήταν δυνατόν να γίνει. Αυτό απαιτεί μια μεγάλη ποσότητα από ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις ιζηματολογικές διαδικασίες, μια χρήση η οποία έχει, με τη σειρά της, παρακινήσει ένα νέο ενδιαφέρον σε τέτοια διαφορετικά αντικείμενα όπως η γεωλογία του Τεταρτογενούς και μηχανικές των ιζημάτων. Μια υπάρχουσα δημιουργική τάση με τις παρούσες συνθήκες υπάρχει ανάμεσα στους ερευνητές σ'αυτές τις διάφορες περιοχές, όπως η προσπάθεια να εναρμονιστούν οι διαφορετικές βάσεις δεδομένων τους, συνθέσεις και προκαταλήψεις.

Η στρωματογραφία ακολουθιών με τις παρούσες συνθήκες είναι μιά απ'τις πιο γρήγορα αναπτυσσόμενες περιοχές της ιζηματογενούς γεωλογίας. Μια κύρια έρευνα, εστιασμένη στον παρόντα χρόνο, είναι η ανάπτυξη ποσοτικών μοντέλων που συνδέουν στρωματογραφίες ακολουθιών με την συμπεριφορά του φλοιού κατά τη διάρκεια της βύθισης της λεκάνης και στις επιδράσεις των περιφερειακών (τεκτονικών) και παγκόσμιων (ευστατικών) αλλαγών του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας.

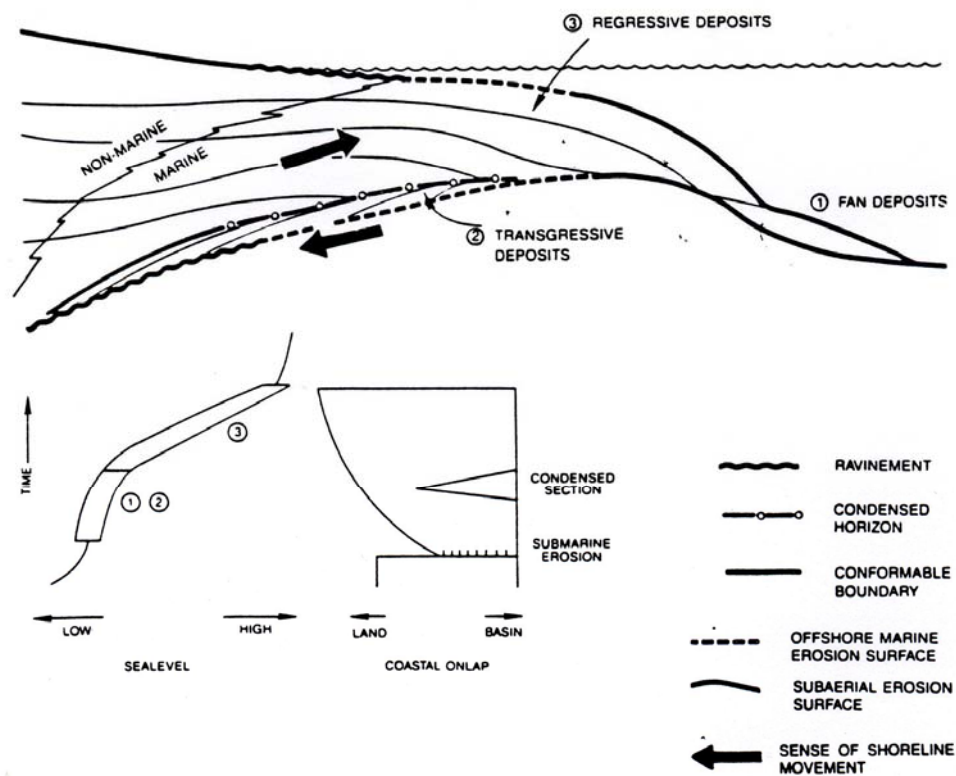
3.3.β. Μοντέλα ακολουθιών.

Διάφορα μοντέλα ακολουθιών με λεπτές διαφορές έχουν αναπτυχθεί από διάφορες ομάδες περιφερειακών στρωματογράφων. Η ιδέα της σεισμικής στρωματογραφικής ομάδας της Eχxon έγινε πολύ σημαντική και πολύ πρόσφατα εκφράστηκε με μιά σειρά θεωρητικών μοντέλων της στρωματογραφίας των ηπειρωτικών περιθωρίων από τον Vail (1987) και τους Posamentier et al. (1988). Αυτοί πρότειναν ότι το σχήμα της καμπύλης της σχετικής αλλαγής στο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας με το χρόνο προσεγγίζει αυτή ενός κύματος, και παρουσίασαν μια σειρά στρωματογραφικών μοντέλων για να παρουσιάσουν τις ερμηνείες τους για τα αποθετικά καλούπια σε κάθε στάδιο ανύψωσης και πτώσης. Οι Swift κ.α. (1987) απέδειξαν ότι το μοντέλο της Eχxon αναπτύχθηκε κύρια για λεκάνες που υφίστανται αργή, σταθερή διαφορική βύθιση η οποία αυξάνει σε ρυθμό προς το κέντρο της λεκάνης, τέτοια όπως τα αποκλίνοντα ηπειρωτικά περιθώρια. Για λεκάνες στις οποίες αυξάνεται ο ρυθμός βύθισης προς τα περιθώρια απαιτείται ένα διαφορετικό μοντέλο ακολουθίας. Αυτοί πρότειναν ένα μοντέλο βασισμένο στις έρευνες τους σε foreland λεκάνες, όπου η βύθιση είναι παλμική και σχετικά γρήγορη. Τα δύο μοντέλα συγκρίνονται στην εικόνα 3.3. Δύο στάδια στο μοντέλο της Eχxon καταγράφονται στην εικόνα 3.4. Οι ποικιλομορφίες στα στρωματογραφικά καλούπια από αυτά τα βασικά μοντέλα εξαρτώνται απ'τους σχετικούς ρυθμούς της βύθισης και της ιζηματογένεσης και απ'το πλάτος και την κλίση της υφαλοκρηπίδας και του παράκτιου πεδίου. Μερικές απ'αυτές τις ποικιλομορφίες καταγράφονται στην εικόνα 3.5. Τα μοντέλα ακολουθιών δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμη για άλλους τύπους λεκανών.

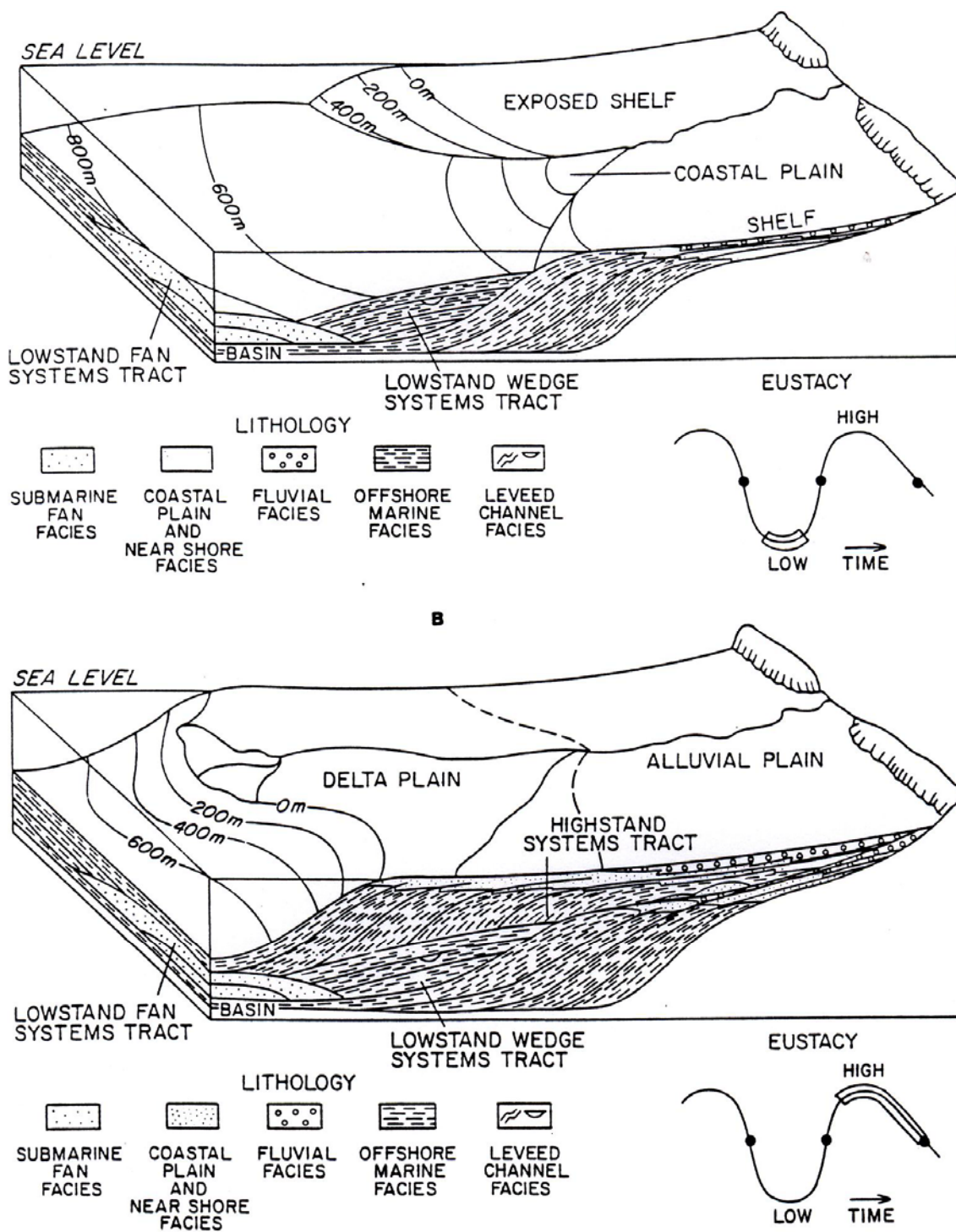
A. PASSIVE MARGIN MODEL



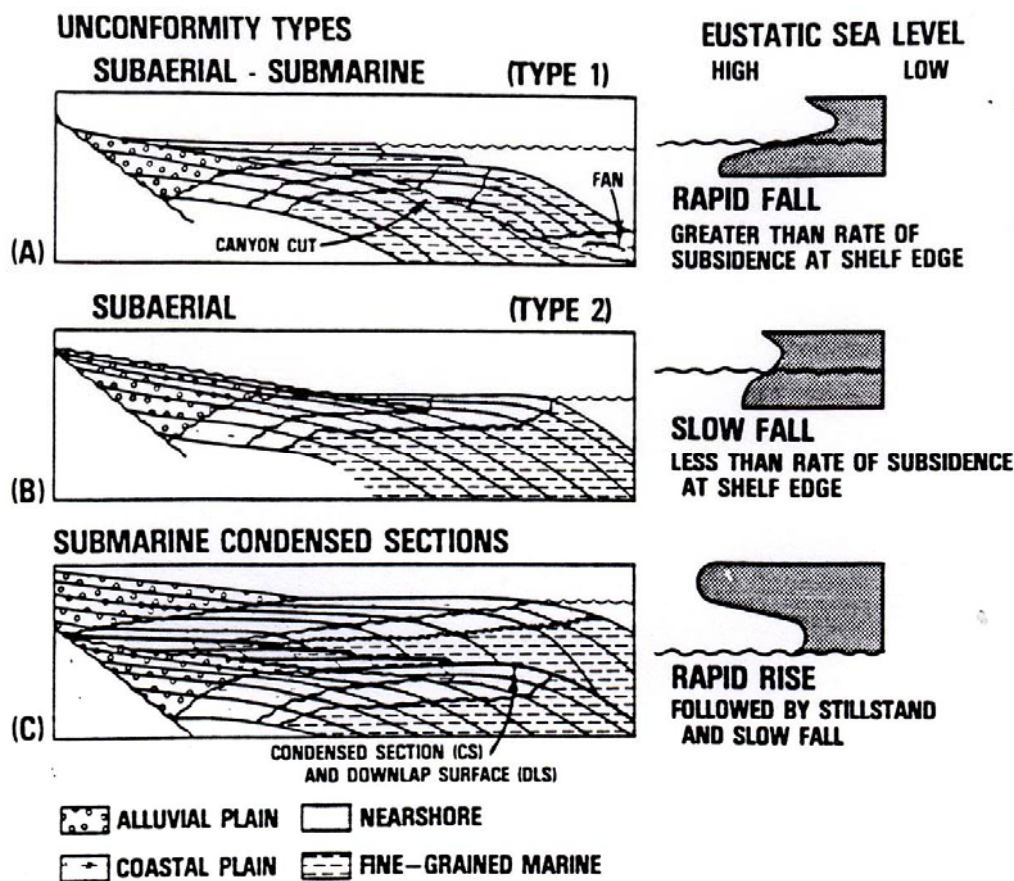
B. FORELAND BASIN MODEL



Εικόνα 3.3: Σύγκριση της αρχιτεκτονικής των ακολουθιών σε παθητικά περιθώρια με αυτές που αναπτύσσονται σε λεκάνες προχώρας (foreland) (Swift κ.α. 1987).



Εικόνα 3.4: Θεωρητικά μοντέλα της στρωματογραφικής αρχιτεκτονικής και των αποθετικών συστημάτων που αναπτύχθηκαν καθώς το επίπεδο της θάλασσας ανεβαίνει και πέφτει (Α: χαμηλωμένο πεδίο, Β: ανυψωμένο πεδίο) (Posamentier κ.α. 1988).



Εικόνα 3.5: Η εξάρτηση της φύσης των ορίων-επαφών των ακολουθιών πάνω στους σχετικούς ρυθμούς της ανύψωσης και πτώσης του επιπέδου της θάλασσας (Vail κ.α. 1984).

Κάθε ακολουθία υπόκειται μιας διαβρωσιγενούς ασυμφωνίας αιτιολογημένης απ'την σχετική πτώση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας και της έκθεσης όλων ή τμημάτων της ηπειρωτικής κατωφέρειας. Αυτή η ασυμφωνία αντικατοπτρίζει το όριο της ακολουθίας. Τα ποτάμια εκτείνουν το πέρασμά τους σε νέα επίπεδα στάθμης της θάλασσας και μπορεί να κόβουν τις κοιλάδες τους, εξαρτώμενα απ'το πλάτος της υφαλοκρηπίδας, τη σχετική κλίση των ποταμών και της υφαλοκρηπίδας, και του ρυθμού και του τρόπου βύθισης (διαφορική βύθιση, γρηγορότερα προς το κέντρο της λεκάνης, θα αυξήσει τις κλίσεις και τείνει να διακαιολογήσει τις κοιψές). Εάν το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας πέφτει σχεδόν κοντά στο χείλος της υφαλοκρηπίδας (τύπος 1 ασυμφωνίας: εικόνα 3.5) λαμβάνει χώρα σημαντική ανανέωση των υποθαλασσιών χαραδρών εξ'αιτίας της μεγάλης αύξησης της ποσότητας των ιζημάτων που προέρχονται απ'αυτές. Τα υποθαλάσσια ριπίδια υφίστανται γρήγορη ιζηματογένεση και γενικά υπερκαλύπτουν (onlap) την ηπειρωτική κατωφέρεια και αρχίζουν να γεμίζουν προς τα πίσω τις υποθαλάσσιες χαράδρες.

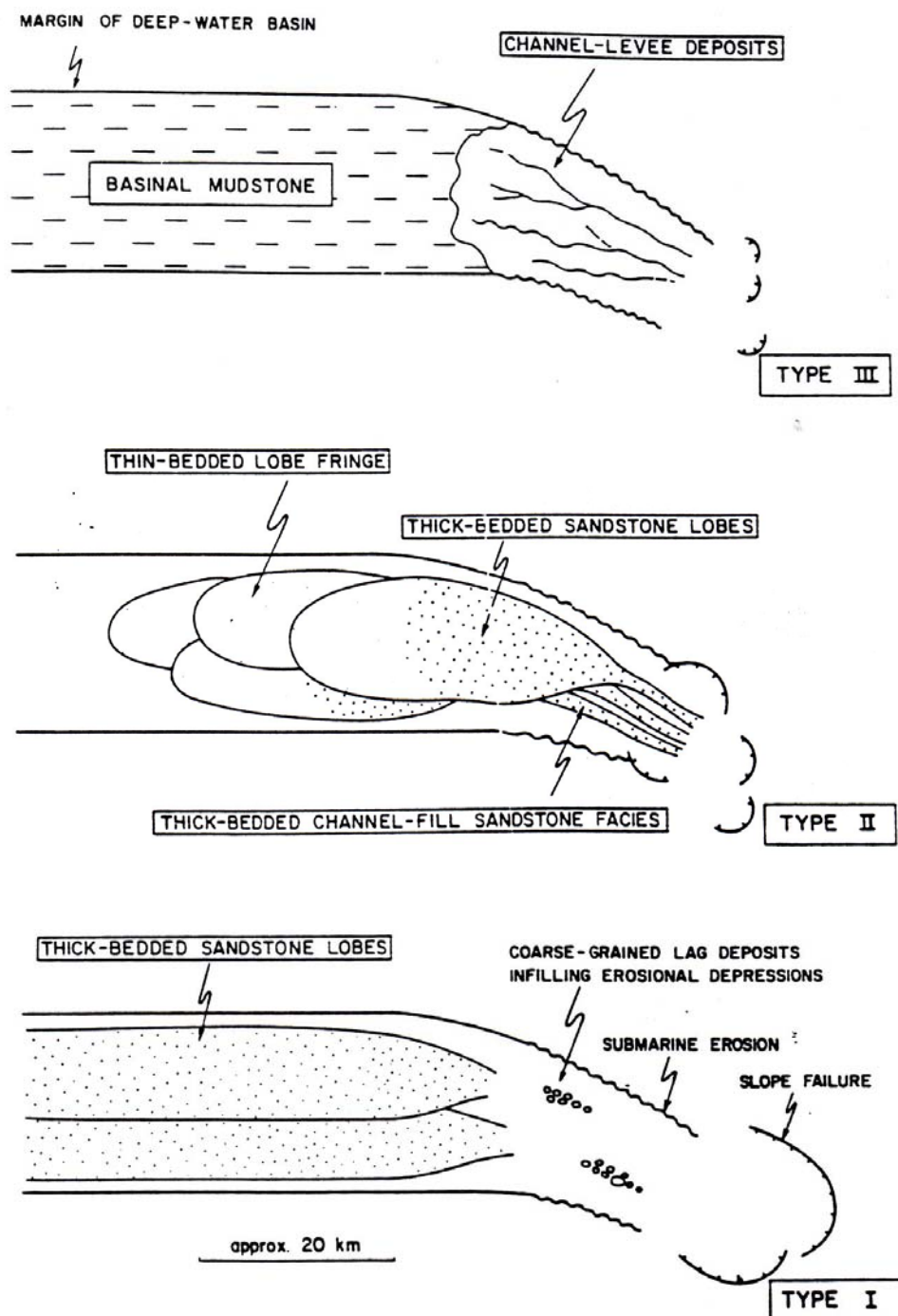
Μπορούν επίσης να σχηματίζονται χαμηλωμένα, ηπειρωτικών παρεμφών, δέλτα. Αυτές οι αποθέσεις μαζί συνθέτουν τα συστήματα των χαμηλωμένων περιοχών (lowstand systems tracts).

Με την ανύψωση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, η ακτογραμμή ανεβαίνει σκαρφαλώνει πίσω, διαμέσου της υφαλοκρηπίδας. Η στρωματογραφική γεωμετρία που αναπτύσσεται αυτή τη χρονική περίοδο εξαρτάται απ'τους σχετικούς ρυθμούς της βύθισης και της ιζηματογένεσης. Με μία πολύ γρήγορη ανύψωση μπορεί να εμφανίζεται απουσία ιζηματογένεσης στην υφαλοκρηπίδα, και να αναπτύσσεται μια συνοπτική τομή (είκονες 3.3 και 3.5). Με πιο αργή ανύψωση, μπορεί να υπάρχει μικρότερη ή μεγαλύτερη ανάπτυξη μιας περιοχής επικλυσιγενών συστημάτων (transgressive systems tracts) που καλύπτουν σαν κουβέρτα την υφαλοκρηπίδα. Προηγούμενες κοιμές από κοιλάδες ποταμών γεμίζουν με ίζημα και αποθέσεις ακτής και παράκτιου πεδίου αποτίθενται πάνω στην κορυφή απ'αυτές. Τα κύρια χερσαία φορτία ιζημάτων συνεχίζουν να αποτίθενται σε δέλτα, αλλά καθώς αυτά υφίστανται οπισθοδρόμηση απ'τα ηπειρωτικά περιθώρια, το ίζημα που τροφοδοτεί τις υποθαλάσσιες χαράδρες διακόπτεται. Επομένως, η ιζηματογένεση στα υποθαλάσσια ριπίδια μειώνεται προς τα κάτω και μπορεί να σταματάει εντελώς, εκτός απ'την απόθεση μιάς λεπτής πελαγικής πηλούχας "κουβέρτας".

Στις χρονικές περιόδους υψηλού επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, υπό το όρο ότι υπάρχει άφθονη τροφοδοσία ιζήματος, το παράκτιο πεδίο μπορεί σταδιακά να προελαύνει εγκάρσια της υφαλοκρηπίδας, αναπτύσσοντας μία παχιά αλλουβιακή και δελταϊκή σύνθεση, συνθέτοντας την περιοχή ανεβασμένων συστημάτων (highstand systems tract). Οι Posamentier et al. (1988) πρότειναν ότι η κύρια ανάπτυξη των αλλουβιακών ιζημάτων εμφανίζεται ξαφνικά, ακολουθώντας την περίοδο του υψηλότερου επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, καθώς μια νέα πτώση του επιπέδου αρχίζει, εξ'αιτίας της στροφής-αλλαγής κατεύθυνσης- των ποταμίων προφύλ προς την θάλασσα, γενώντας έτσι προσαρμοσμένα διαστήματα πάνω απ'τις προηγούμενες δικιές τους πορείες. Όμως, αυτό το μοντέλο εξαρτάται πάρα πολύ απ'τις σχετικές κλίσεις των ποταμών και των υφαλοκρηπίδων, και δεν λαμβάνει υπ'όψιν του τις επιδράσεις απ'την προς τα κάτω αποκοπή της πηγής τροφοδοσίας.

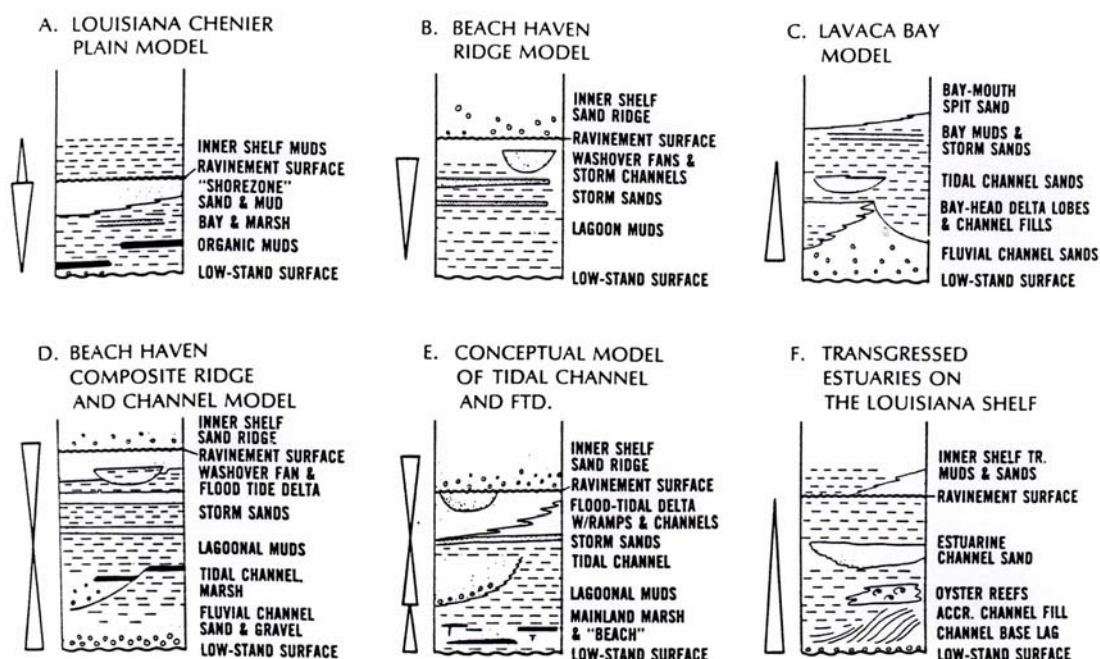
Οι επιδράσεις απ'την αλλαγή του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας και οι ποικιλομορφίες στο παρεχόμενο ίζημα μπορεί να προκύψουν από τη φύση των φασικών ακολουθιών και των κατακορύφων λιθοφασικών προφύλ εσωτερικά των αποθέσεων των υποθαλασσιών ριπιδίων. Ο Mutti (1985) υποδιείρεσε παλιές ριπιδιακές συναθροίσεις στην Ιταλία και στα Πυρηνεία σε τρεις τύπους, I, II, III (εικόνα 3.6). Ο τύπος I είναι χαρακτηριστικός χρονικών περιόδων χαμηλού επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, όπου μεγάλες ποσότητες από κλαστικά υλικά τυπικά τοποθετούνται πάνω στη βάση της ηπειρωτικής κατωφέρειας. Οι συναθροίσεις του τύπου III εμφανίζονται κατά τη διάρκεια υψηλών επιπέδων της στάθμης της θάλασσας, όπου ο όγκος των αδρομερών

συντριμμάτων (coarse debris) παγιδεύεται μέσα στα δέλτα, και το ίζημα το οποίο φθάνει στην κατωφέρεια είναι πολύ πιο λεπτόκοκκο. Η συνάθροιση I μπορεί να υπερκεται της συνάθροισης III καθώς ανέρχεται το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας.



Εικόνα 3.6: Τρεις κύριοι τύποι από τουρβιδιτικά αποθετικά συστήματα στις τουρβιδιτικές αποθέσεις της Ιταλίας και των Πυρηνέων (Mutti, 1985).

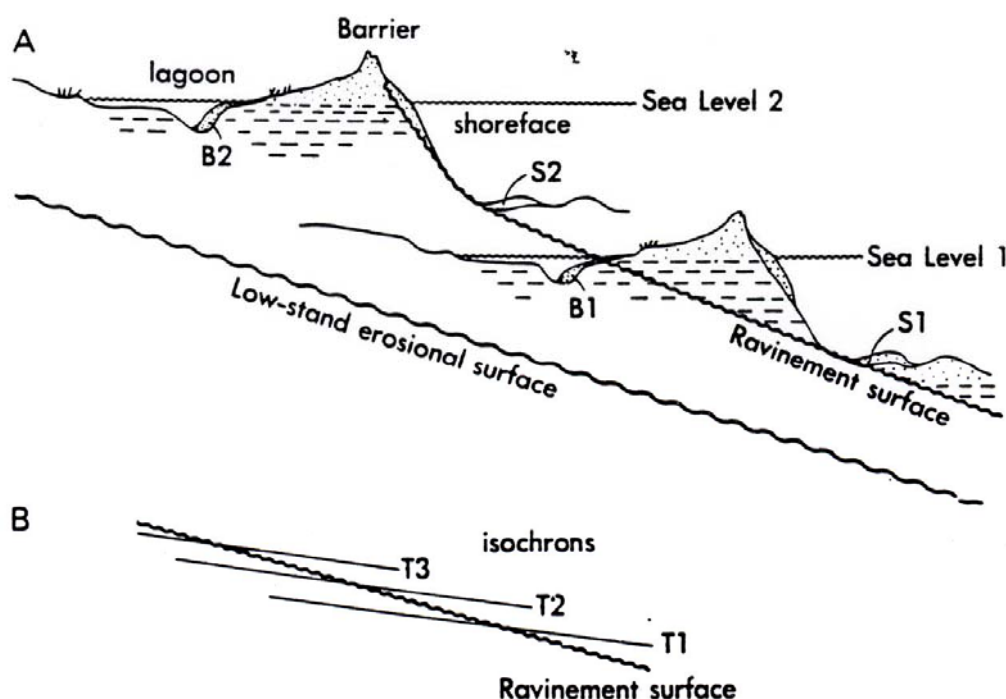
Τα περιβάλλοντα που είναι πιο ευαίσθητα στις αλλαγές της στάθμης της θάλασσας, είναι φυσικά, αυτά των ακτογραμμών και της υφαλοκρηπίδας. Η στρωματογραφία ακολουθιών των παρακτίων αποθέσεων και αυτών της αβαθούς υφαλοκρηπίδας είναι πολύ σύνθετη εξ'αιτίας της αλληλεπίδρασης τέτοιων παραμέτρων όπως ο ρυθμός των αλλαγών της στάθμης της θάλασσας, ο ρυθμός της παροχής ιζημάτων, ο ρυθμός της βύθισης, η συχνότητα και η ποσότητα της κυματικής διάβρωσης, και η φύση της τοπικής παλαιογεωγραφίας. Εξι γενικευμένες στρωματογραφικές κολώνες μέσα σε περιοχές συστημάτων επίκλυσης έχουν καταγραφεί απ'τους Nummedal & Swift (1987) σαν παραδείγματα αυτής της συνθετότητας (εικόνα 3.7). Παράκτια προφύλ με αυξανόμενο κοκκομετρικό μέγεθος προς τα πάνω και προφύλ εκβολών πλήρωσης ή παλιρροιακών καναλιών με μειούμενο κοκκομετρικό μέγεθος προς τα πάνω είναι μεταξύ των τύπων της τοπικής διαδοχής που μπορεί να είναι παρόντες.



Εικόνα 3.7: Στρωματογραφικές κολώνες από Ολοκαινικά περιβάλλοντα θαλασίων περιθωρίων, που δείχνουν περιοχές επικλησιγενών συστημάτων (Nummedal & Swift, 1987).

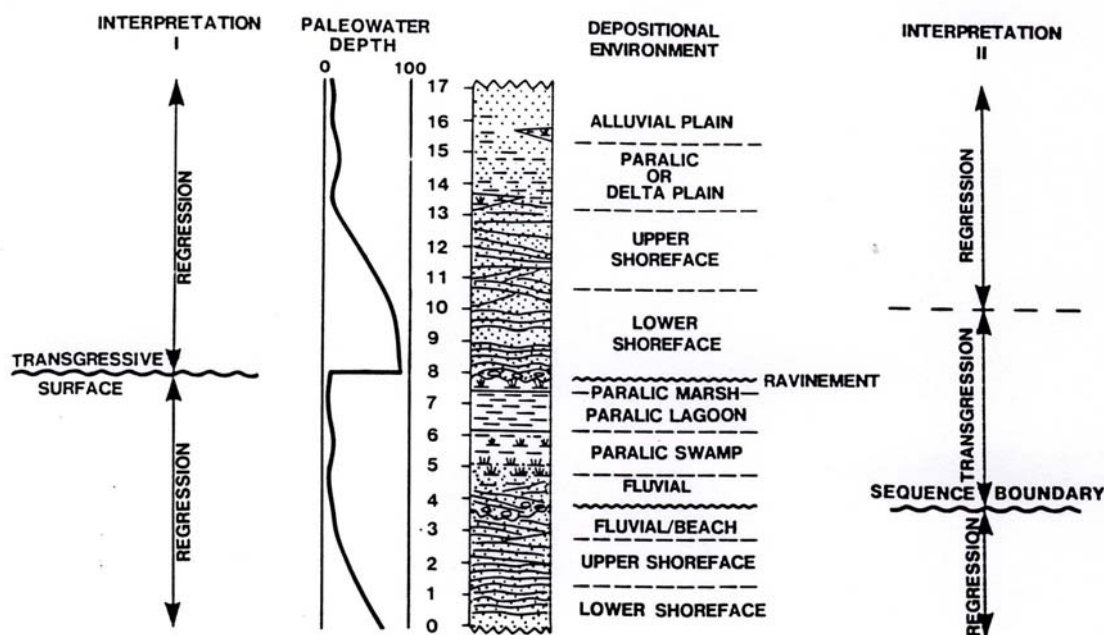
Σημειώνεται η παρουσία από μιά χαραδρωποιημένη επιφάνεια που καλύπτεται από άμμους ή πηλούς υφαλοκρηπίδας ή στα περισσότερα απ'αυτά τα διαγράμματα. Αυτή η επιφάνεια είναι η επιφάνεια ισορροπίας στην υφαλοκρηπίδα που σχηματίστηκε σαν αντίδραση στο τοπικό κυματικό και ρευματικό καθεστώς. "Καθώς το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας ανέρχεται το παράκτιο

προφύλ ερμηνεύει μια προς τα πάνω και προς τη χέρσο υποχώρηση διαμέσου μιας διαδικασίας διάβρωσης της παράκτιας περιοχής. Η χαραδρωποιημένη επιφάνεια που κόβεται με αυτή τη διαδικασία μπορεί φυσικά να αναδύεται προς τα περιθώρια της λεκάνης. Αυτή μπορεί επίσης να γίνει νεώτερη στην ίδια διεύθυνση" (Nummedal & Swift, 1987; εικόνα 3.8). Η χαραδρωποιημένη επιφάνεια είναι μόνο μία απ'τους πολλούς τύπους διαστημάτων που μπορεί να συναντώνται-αντιμετωπίζονται σε περιοχές επικλυσιγενών συστημάτων. Άλλες περιλαμβάνουν κοιχές καναλιών και επιφάνειες θαλάσσιας διάβρωσης. Αυτές μπορούν να κάνουν δύσκολο τον καθορισμό των ορίων των ακολουθιών. Η χαραδρωποιημένη επιφάνεια, ιδιαίτερα, είναι γενικά μια κύρια διαβρωσιγενής επιφάνεια η οποία χωρίζει φανερά διαφορετικές φάσεις, αλλά σχηματίζεται εσωτερικά των περιοχών επικλυσιγενών συστημάτων και επομένως δεν είναι μια επιφάνεια ορίων, εκτός εάν το βάθος της διάβρωσης στην χαραδρωποιημένη επιφάνεια είναι τέτοιο έτσι ώστε να μην εμφανίζονται επικλυσιγενείς αποθέσεις. Στην τελευταία περίπτωση, η χαραδρωποιημένη επιφάνεια συμπίπτει με την επιφάνεια διάβρωσης στην κορυφή της υποκείμενης παρα-ακολουθίας απόσυρσης.



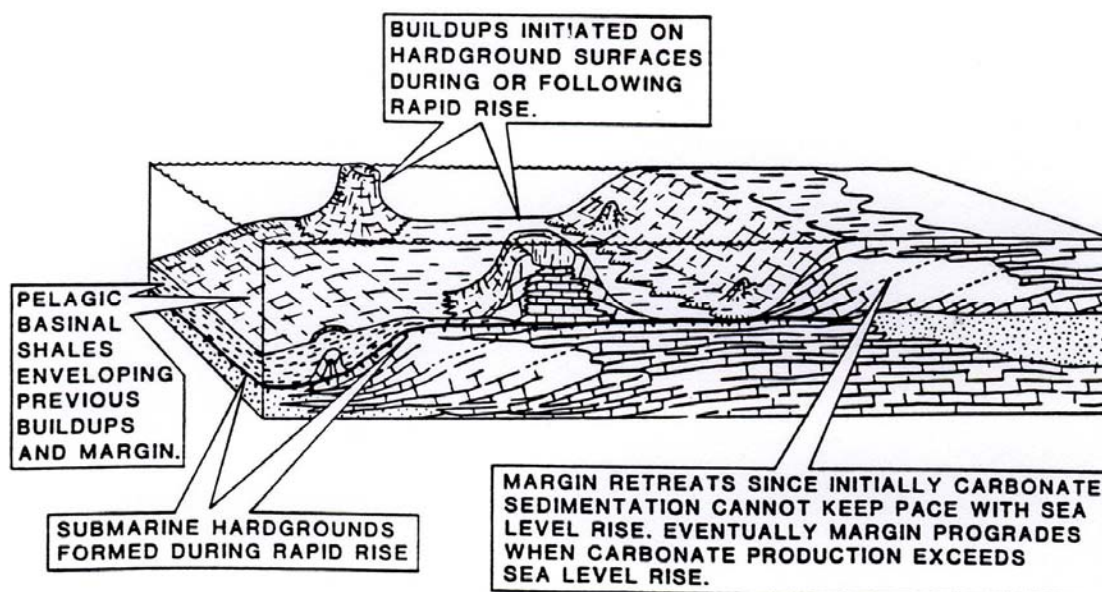
Εικόνα 3.8: Προέλευση των χαραδρωμένων επιφανειών. Μια διάβρωση από καταιγίδα μπορεί να εμφανίζεται στο χρόνο του επιπέδου 1 της θάλασσας με προς τα πίσω απόθεση φραγμών. Καθώς το επίπεδο της θάλασσας ανέρχεται στο επίπεδο 2 η διάβρωση απ'τις καταιγίδες κινείται προς τη χέρσο απομακρύνονται μερικές ή όλες οι υποκείμενες παράκτιες αποθέσεις (Nummedal & Swift, 1987).

Οι Demarest & Kraft (1987) περιέγραψαν δύο πιθανές ερμηνείες της παράκτιας διαδοχής η οποία θα μπορούσε να γίνει βασισμένη σε διαφορετικές αναλύσεις της κύριας διαβρωσιγενούς επιφάνειας η οποία μπορεί να είναι παρούσα (Εικ.3.9). Στα αριστερά η κύρια αλλαγή στο βάθος του νερού μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει εμφανιστεί στο επίπεδο των 8m στην ακολουθία αυτή ερμηνεύτηκε σαν τό όριο της ακολουθίας, που σχηματίστηκε στο χρόνο του ξαφνικού βαθέματος. Μια διαβρωσιγενής επιφάνεια στα 3.5 μέτρα ερμηνεύτηκε σαν μια μικρότερη επιφάνεια κοψίματος από κανάλι. Στην δεύτερη ερμηνεία, στα δεξιά της εικόνας 3.9, η διαβρωσιγενής επιφάνεια στα 8 μέτρα ερμηνεύτηκε σαν μια χαραδρωποιημένη επιφάνεια, και το όρια της ακολουθίας τοποθετείται πιο χαμηλά, στα 3.5 μέτρα, εντελώς εσωτερικά της ποτάμιας διαδοχής. Η διαβρωσιγενής επιφάνεια εκεί σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια του χρόνου του μέγιστου χαμηλώματος, με τα ποτάμια στρώματα πάνω απ'αυτή να έχουν σχηματιστεί πολύ αργότερα, όταν το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας ξεκίνησε πάλι να αναδύεται. Η δεύτερη ερμηνεία είναι μία που μπορεί να προτιμηθεί από τα μοντέλα της στρωματογραφίας ακολουθιών σε ρεύματα. Σημειώνεται ότι σ'αυτή την περίπτωση το όριο της ακολουθίας είναι πολύ μικρότερης προφανώς σημασίας διαβρωσιγενούς επιφάνειας απ'ότι η χαραδρωποιημένη επιφάνεια.



Εικόνα 3.9: Υποθετικές κατακόρυφες διαδοχές με δύο πιθανές ερμηνείες βασισμένες σε διαφορετικά κατακόρυφα μοντέλα ακολουθιών (Demarest & Kraft, 1987).

Η αντίδραση των ανθρακικών συστημάτων στις αλλαγές του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας είναι κάτι το διαφορετικό, εξ'αιτίας της διαφορετικής φύσης του παρεχόμενου ιζήματος και εξ'αιτίας της ιακνότητας των ανθρακικών συστημάτων να προσαυξάνονται κατακόρυφα με μεγάλη ταχύτητα (Kendall & Schlager, 1981). Κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλού επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, τα κλαστικά ιζήματα παγιδεύονται στην υφαλοκρηπίδα και πολύ λίγο ιζημα φθάνει στην κατωφέρεια, ενώ η ανθρακική παραγωγικότητα είναι υψηλή και η ανάπτυξη των τραπεζών των περιθωρίων της υφαλοκρηπίδας είναι γρήγορη, με την παροχή άφθονων κλασμάτων στην κατωφέρεια. Κατά τη διάρκεια χαμηλού επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, η κλαστική ιζηματογένεση στην κατωφέρεια είναι γρήγορη, ενώ στα ανθρακικά περιβάλλοντα, εξ'αιτίας της έκθεσης και καρστικοποίησης, η ανθρακική παραγωγικότητα είναι χαμηλή και η παροχή κλασμάτων στην κατωφέρεια είναι μικρή (Kendall, 1984). Η ανθρακική ιζηματογένεση τείνει να υπερτονίζει τοπογραφικές ανωμαλίες οργανικών συγκεντρώσεων και υποθαλάσσιας τσιμεντοποίησης, ενώ η κλαστική ιζηματογένεση τείνει να σκεπάζει ανωμαλίες και να τις μειώνει. Ένα υποθετικό παράδειγμα από ανθρακικά περιθώρια που δείχνει τις επιδράσεις της αλλαγής του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας φαίνεται στην εικόνα 3.10.



Εικόνα 3.10: Ένα υποθετικό ανθρακικό περιθώριο, δείχνοντας αντιδράσεις στις αλλαγές του επιπέδου της θάλασσας.

Πολλά νέα μοντέλα ανθρακικής κυκλικότητας έχουν εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια. Ο τονισμένος προσχωσηγενής κύκλος (PAC) του Goodwin & Anderson (1985) και Goodwin κ.α. (1986) είναι ένα τέτοιο παράδειγμα. Ερμηνεύτηκε σαν το παράγωγο μιας γρήγορης

παγετοευστατικής ανύψωσης του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, που ακολουθήθηκε από ιζηματογένεση και δημιουργία υφάλων κάτω από συνθήκες σταθερής ή αργής πτώσης του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας. Τα πρώτα παραδείγματα αυτών των κύκλων περιγράφηκαν απ'την Δεβόνια καταγραφή, η οποία έχει επιπτώσεις στην ιστορία και τις αιτίες της αλλαγής του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας διαμέσου της γεωλογικής καταγραφής.

Πολλές παλιές αποθέσεις υφαλοκρηπίδας είναι σύνθεση ανθρακικών και κλαστικών αποθέσεων, περιλαμβάνοντας λεπτές αμμούχες τράπεζες ή δελταϊκά αμμούχα φύλλα και ανθρακικές τράπεζες. Οι Galloway & Brown (1973) περιέγραψαν ένα παράδειγμα από την Πενσυλβάνια του βορειότερου κεντρικού Τέξας, στο οποίο ένα δελταϊκό σύστημα προελαύνει πάνω σε μία σταθερή υφαλοκρηπίδα. Τα κανάλια διανομής κόβουν και εισέρχονται μέσα στις υποκείμενες αποθέσεις. Οι ανθρακικές τράπεζες εμφανίζονται στο εξωτερικό χείλος της υφαλοκρηπίδας, πέρα απ'το οποίο τα ιζήματα παχαίνουν δραματικά μέσα σ'ένα σύστημα κεκλιμένης μορφής κατωφέρειας. Αυτή η οργάνωση των ανθρακικών και κλαστικών αποθέσεων πιθανά αντικατοπτρίζει ομαλές αλλαγές στο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας, με την ανθρακική φάτσα να αντικατοπτρίζει υψηλό επίπεδο της στάθμης της θάλασσας και η κλαστική φάτσα χαμηλό επίπεδο της στάθμης της θάλασσας. Τα δελταϊκά και υφαλοκρηπίδας αμμούχα φύλλα και οι κεκλιμένες μορφές, αποθέσεις κατωφέρειας, αντικατοπτρίζουν συστήματα περιοχών χαμηλομάτων, ενώ οι ανθρακικές αποθέσεις είναι αποθέσεις ανεβασμένων περιοχών. Κατά τη διάρκεια επεισοδίων από υψηλά επίπεδα της στάθμης της θάλασσας, τα κλαστικά ιζήματα παγιδούνται σε δέλτα κοντά στην ακτή, ενώ κατά τη διάρκεια χαμηλώματος τα περισσότερα απ'τα κλάσματα διαπερνούν την υφαλοκρηπίδα και αποτίθενται στην κατωφέρεια.

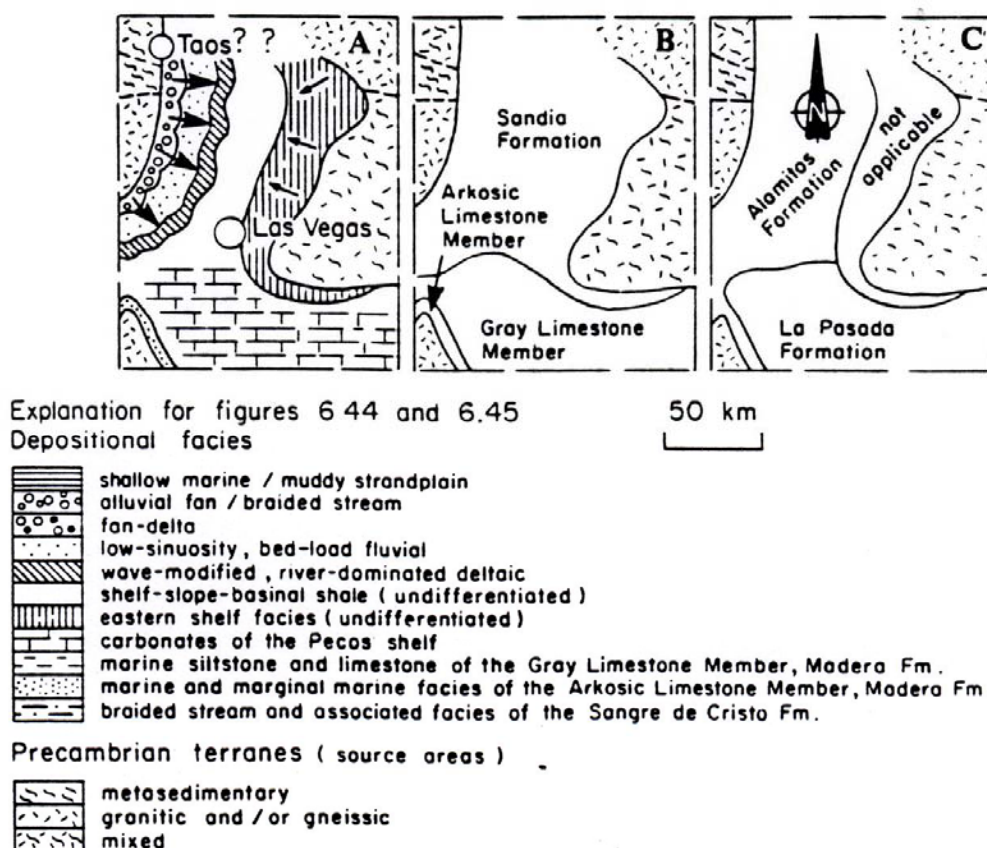
3.4. Αποθετικά συστήματα και στρωματογραφική ονοματολογία.

Οι Handford & Dutton (1980) περιέγραψαν την εξέλιξη μιάς σύνθετης ανθρακικής - κλαστικής διαδοχής υφαλοκρηπίδας και κατωφέρειας στην Πενσυλβάνια (Πέρμιας ηλικίας) στο βορειότερο Τέξας.

Στα προηγούμενα κεφάλαια, προτάθηκε ότι ο καθορισμός μιας τυπικής στρωματογραφικής μονάδας θα έπρεπε να αφαιρεθεί σε αργότερα στάδια της ανάλυσης λεκανών. Στις μεθωριακές λεκάνες, αυτό είναι εύκολο να γίνει, αλλά σε παλαιότερες πιο ώριμες ή καλά εξερευνημένες λεκάνες, εκεί αναπόφευκτο υπάρχει μια προσαρμογή των στρωματογραφικών ονομάτων, πολλά απ'τα οποία έχουν στηθεί πριν ακόμη γίνει καλά κατανοητή η προέλευση των πετρωμάτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, υπάρχει μεγάλη ανάγκη για μια ριζική επανεκτίμηση της στρωματογραφίας της λεκάνης χρησιμοποιώντας τις μεθοδολογίες της φασικής ανάλυσης, των αποθετικών συστημάτων και της στρωματογραφίας ακολουθιών. Ο αναλυτής πρέπει να ξεκαθαρίσει και να προσδιορίσει

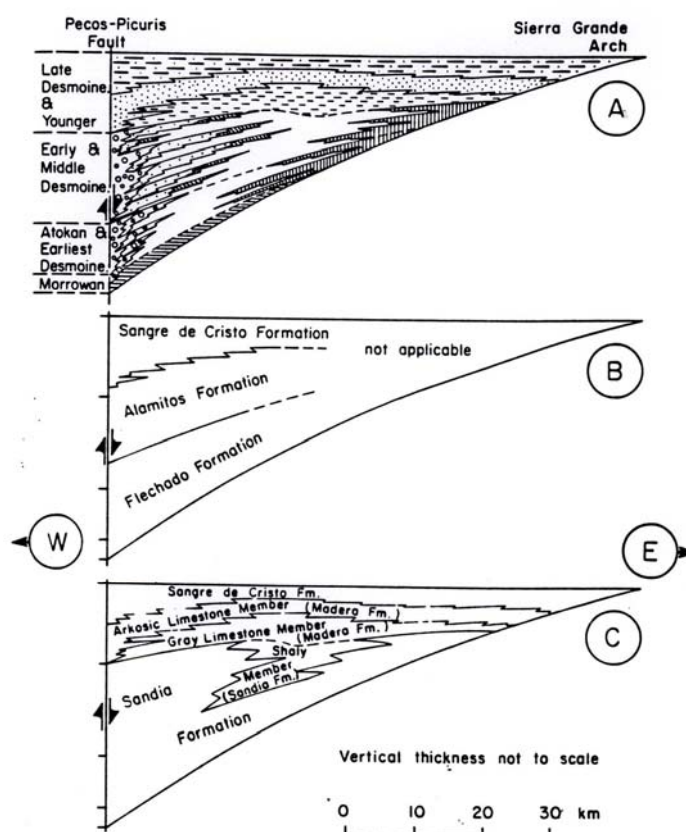
αρκετά για να κόψει και να απομακρίνει μέσα από ένα σωρό ονομάτων, διατηρώντας μόνο αυτές τις λιθοστρωματογραφικές και βιοστρωματογραφικές συσχετίσεις οι οποίες είναι σταθερά βασισμένες σε ανεξάρτητα γεγονότα, και να ξαναχτίσει την στρωματογραφία απ'την αρχή. Παλιά ονόματα σχηματισμών μπορούν μετά να αναθεωρούνται, εάν είναι απαραίτητο, ή μια νέα ονοματολογία μπορεί να δημιουργηθεί για να απεικονίσει την βελτιωμένη κατανόηση των πετρωμάτων, ίσως χρησιμοποιώντας αλλοστρωματογραφικές και όχι λιθοστρωματογραφικές μονάδες.

Ο Casey (1980) περιέγραψε την εξέλιξη του κατωτέρου Παλαιοζωϊκού της τάφρου του Taos στο βορειότερο Μεξικό, βασισμένη στην ανάλυση των αποθετικών συστημάτων. Αυτός παράγγαγε μια σειρά από έξι παλαιογεωγραφικούς χάρτες για την περιοχή, δείχνοντας την σχέση των διαφόρων αποθετικών περιβαλλόντων στις παλιότερη στρωματογραφική ονοματολογία σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ένας απ'αυτούς τους χάρτες φαίνεται στην εικόνα 3.11. Μια εγκάρσια τομή διαμέσου της λεκάνης καταγράφει την σύνθετη φασική σχέση (εικόνα 3.12) και ο Casey απέδειξε πως τα ίδια πετρώματα έχουν υποδιαιρεθεί σε δύο νεότερα συστήματα της ονοματολογίας.

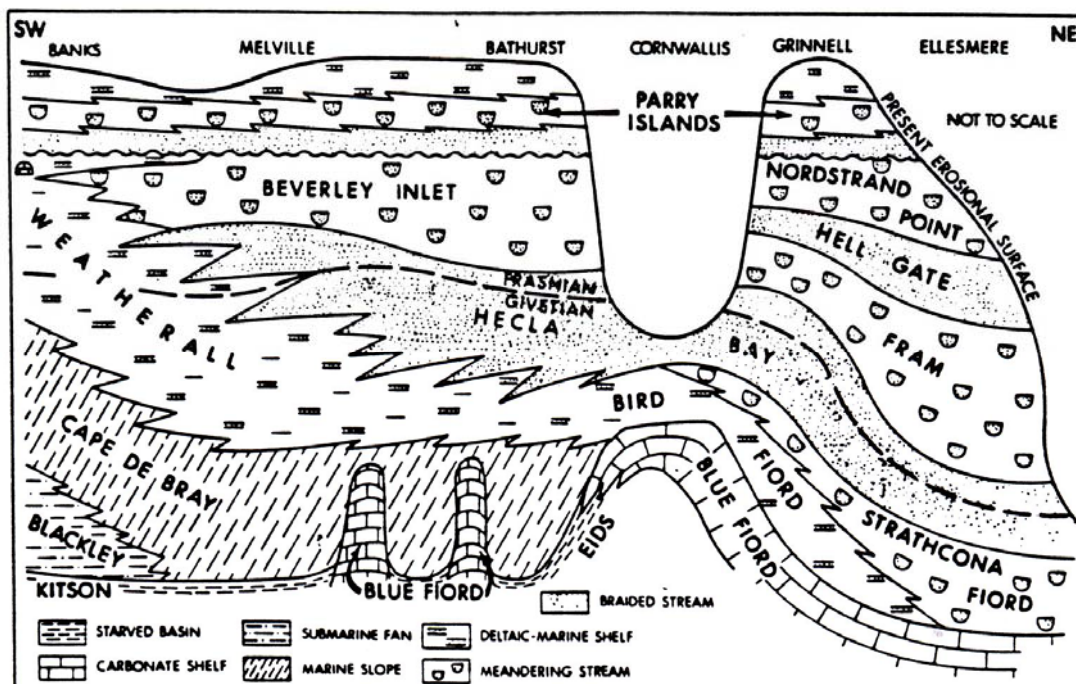


Εικόνα 3.11: Ένα αποθετικό σύστημα στην τάφρο Taos, Νέο Μεξικό. B & C δύο συστήματα από στρωματογραφική ονοματολογία που αναφέρονται στο ίδια πετρώματα (Casey, 1980).

Η κλαστική σφήνα του μέσου και άνω Δεβονίου των Καναδικών Αρκτικών νησιών αποτελείται από στρώματα, πάνω από 5km, που εκτείνονται στην επιφάνεια και υποεπιφάνεια σε μια περιοχή μεγαλύτερη των 200.000 km². Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1950 και 1960 η στρωματογραφία της ακολουθίας δουλεύτηκε από πολλούς ερευνητές που κατέληξαν στην ανάπτυξη δύο ομάδων από στρωματογραφικές ονοματολογίες, μία για την Δυτική Αρκτική και μια για την Δυτική Αρκτική. Δεν επιχειρήθηκε καμιά ιζηματολογική ανάλυση. Οι Embry & Klovan (1976) πραγματοποίησαν μια ανάλυση των αποθετικών συστημάτων αυτών των πετρωμάτων, ενσωματώνοντας νέα υποεπιφανειακά δεδομένα που έγιναν πλέον διαθέσιμα. Η εικόνα 118 είναι η γενικευμένη εγκάρσια τους τομή διαμέσου της κλαστικής σφήνας, δείχνοντας το να αποτελείται από μία σύνθεση προελαύνοντος ποταμό- δελταϊκού- καταφύγειας- υποθαλάσσιο- ριπίδιο. Τρεις περιόδους προέλασης έχουν αναγνωρισθεί, βασισμένες σε ιζηματολογικά και παλυνολογικά δεδομένα. Πολλά από τα παλιότερα ονόματα σχηματισμών και μελών έχουν διατηρηθεί, αλλά η έννοια τους και η χρησιμότητα τους είναι τώρα πιο ευκολοκατανόητη.



Εικόνα 3.12: Μια εγκάρσια τομή διαμέσου της τάφρου του Taos που δείχνει την εξέλιξη των αποθετικών συστημάτων (Casey, 1980).



Εικόνα 3.13: Εγκάρσια τομή διαμέσου του Μέσο- Ανω- Δεβονίου κλαστικής σφήνας των Καναδικών Αρκτικών Νησιών βασισμένη στην ανάλυση των αποθετικών συστημάτων (Embry & Klovan, 1976).

3.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BEAUMONT, E.A., 1984: Retrogradational shelf sedimentation: Lower Cretaceous Viking Formation, central Alberta; in R.W. Tillman and C.T. Siemers, eds., Siliciclastic shelf sedimentation; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 34, p.163-177.
- BROWN, L.F., Jr., and FISHER, W.L., 1977: Seismic- stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull-apart basins; in C.E. Payton, ed., Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration; American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, p.213-248.
- CASEY, J.M., 1980: Depositional systems and basin evaluation of the Late Paleozoic Taos Trough, northern New Mexico; Texas, Petroleum Research Committee, Austin, Texas, Report UT 80-1.
- CURTIS, D.M., 1970: Miocene deltaic sedimentation, Louisiana Gulf Coast; in J.P. Morgan, ed., Deltaic sedimentation modern and ancient; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 15, p.293-308.
- DEMAREST, J.M., II, and KRAFT, J.C., 1987: Stratigraphic record of Quaternary sea levels: implications for more ancient strata; in D. Nummedal, O.H. Pilkey, and J.D. Howard, eds., Sea-level fluctuation and coastal evolution; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 41, p.223-239.
- DIETZ, R.S., and WOODHOUSE, M., 1988: Mediterranean theory may be all wet; *Geotimes*, May 1988, p.4.
- DUKE, W.L., 1985: Hummocky cross-stratification, tropical hurricanes, and intense winter storms; *Sedimentology*, v.32, p.167-194.
- DUKE, W.L., 1985: The paleogeography of Paleozoic and Mesozoic storm depositional systems: discussion; *Journal of Geology*, v.93, p.88-90.
- EMBRY, A., and KLOVAN, J.E., 1976: The Middle-Upper Devonian clastic wedge of the Franklinian Geosyncline; *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v.24, p.485, 639.
- EVANS, W.E., 1970: Imbricate linear sand bodies of Viking Formation in Dodsland-Hoosier area of southwestern Saskatchewan, Canada; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.54, p.469-486.
- GALLOWAY, W.E., 1975: Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems; in M.L. Broussard, ed., *Deltas, models for exploration*; Houston Geological Society, p.87-98.
- GALLOWAY, W.E., and BROWN, L.F., Jr., 1973: Depositional systems and shelf-slope relations on cratonic basin margin, uppermost Pennsylvanian of north-central Texas; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.57, p.1185-1218.
- GOODWIN, P.W., and ANDERSON, E.J., 1985: Punctuated aggradational cycles: a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation; *Journal of Geology*, v.93, p.515-533.
- GOODWIN, P.W., ANDERSON, E.J., GOODMAN, W.M., and SARAHA, L.J., 1986: Punctuated aggradational cycles: implications for stratigraphic analysis; *Paleoceanography*, v.1, p.417-429.
- HANDFORD, C.R., and DUTTON, S.P., 1980: Pennsylvanian -Early Permian depositional systems and shelf-margin evolution, Palo Duro Basin, Texas; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.64, p.88-106.
- HAYES, M.O., 1967: Hurricanes as geologic agents: case studies of Hurricanes Carla 1961, and Cindy 1963; Texas Bureau of Economic Geology Report of Investigations 61, 54p.
- 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; U.S. Government Printing Office, Washington, v.13, p.1203-1231.
- JAMES, D.P., and LECKIE, D.A., eds., 1988: Sequences, stratigraphy, sedimentology: surface and subsurface; Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 15, 586 p.

- KENDALL, A.C., 1984: Evaporites, in R.G.Walker, ed., *Facies models*, 2nd ed.; Geoscience Canada Reprint Series 1, p.259-296.
- KENDALL, G.St.C., and SCHLAGER, W., 1981: Carbonates and relative changes in sea level; *Marine Geology*, v.44, p.181-212.
- MEISSNER, F.F., 1972: Cyclic sedimentation in Middle Permian strata of the Permian basin, West Texas and New Mexico; in J.C.Elam and S.Chuber, eds., *Cyclic sedimentation in the Permian Basin*, 2nd ed.; West Texas Geological Society, p.203-232.
- MUTTI, E., 1985: Turbidite systems and their relations to depositional sequences; in G.G.Zuffa, ed., *Provenance of arenites*; D.Reidel, Dordrecht, p.65-93.
- NUMMEDAL, D., 1987: Preface, in D.Nummedal, O.H.Pilkey, and J.D.Howard, eds., *Sea-level fluctuation and coastal evolution*; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 41, p.iii-iv.
- NUMMEDAL, D., and SWIFT, D.J.P., 1987: Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples; in D.Nummedal, O.H.Pilkey, and J.D.Howard, eds., *Sea-level fluctuation and coastal evolution*; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 41, p.241-260.
- NUMMEDAL, D., PILKEY, O.H., and HOWARD, J.D., eds., 1987: *Sea-level fluctuation and coastal evolution*; Soc.Econ. Paleont. and Miner., Spec. Publ., 41, 267p.
- OFF, T., 1963: Rhythmic linear sand bodies caused by tidal currents; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.47, p.324-341.
- PLINT, A.G., WALKER, R.G., and BERGMAN, K.M., 1986: Cardium Formation 6. Stratigraphic framework of the Cardium in subsurface; *Bull. Can. Petr.Geol.*, v.34, p.213-225.
- POSAMENTIER, H.W., JERVEY, M.T., and VAIL, P.R., 1988: Eustatic controls on clastic deposition; in C.K.Wilgus, B.S.Hastings, and C.G.St.C.Kendall, eds., *Sea level research - an integrated approach*; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 42, p.109-154.
- SCHREIBER, B.C., 1986: Arid shorelines and evaporites; in H.G.Reading, ed., *Sedimentary environments and facies*, 2nd ed.; Blackwell Scientific Publications, Oxford, p.189-228.
- SLATT, R.M., 1984: Continental shelf topography: key to understanding distribution of shelf sand-ridge deposits from Cretaceous Western Interior Seaway; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.68, p.1107-1120.
- SONNENFELD, P., 1985: Models of Upper Miocene evaporite genesis in the Mediterranean region; in D.J.Stanley and F.-C.Wezel, eds., *Geological evolution of the Mediterranean Basin*; Springer-Verlag Inc., New York, p.323-346.
- SONNENFELD, P., and FINETTI, I., 1985: Messinian evaporites in the Mediterranean: a model of continuous inflow and outflow; in D.J.Stanley and F.-C.Wezel, eds *Geological evolution of the Mediterranean Basin*; Springer-Verlag Inc., New York, p.347-353.
- STRIDE, A.H., ed., 1982: *Offshore tidal sands*; Chapman and Hall, London, 222p.
- SWIFT, D.J.P., JUDELSON, P.M., BRENNER, R.L., and THOMPSON, P., 1987: Shelf construction in a foreland basin: storm beds, shelf sandbodies, and shelf-slope depositional sequences in the Upper Cretaceous Mesaverde Group, Book Cliffs, Utah; *Sedimentology*, 34, 423-457.
- VAIL, P.R., 1987: Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure; in A.W.Bally, ed., *Atlas of seismic stratigraphy*; American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology 27, v.1, p.1-10.
- WARREN, J.K., and KENDALL, C.G.St.C., 1985: Comparison of sequences formed in marine sabkha (subaerial) and salina (subaqueous) settings - modern and ancient; *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.69, p.1013-1023.
- WILSON, I.G., 1973: Ergs; *Sedimentary Geology*, v.10, p.77-106.
- WILSON, J.L., and D'ARGENIO, B., 1982: Penrose conference report: controls on carbonate platforms and basin systems development; *Geology*, v.10., p. 659-661.