

Εισαγωγή στην Στρωματογραφία Ακολουθιών

Καθηγ. Χαρά Ντρίνια
Αθήνα 2023

Βασικές αρχές Στρωματογραφίας Ακολουθιών

1. Εισαγωγή

Η Στρωματογραφία Ακολουθιών αποτελεί ένα σχετικά καινούριο αντικείμενο των Γεωεπιστημών και μία από τις πιο πρόσφατες θεωρητικές επαναστάσεις στον ευρύτερο τομέα της Ιζηματολογίας (Miall, 1995). Γενικό αντικείμενο της Στρωματογραφίας Ακολουθιών είναι η μελέτη των σχέσεων των ιζηματογενών φάσεων και η αρχιτεκτονική των στρωμάτων μέσα σε ένα χρονοστρωματογραφικό πλαίσιο. Η Στρωματογραφία Ακολουθιών δίνει έμφαση στην αναγνώριση βασικών στρωματογραφικών επιφανειών, τη σχέση τους με το διαθέσιμο χώρο ιζηματογένεσης, τη χρονοστρωματογραφική τους σημασία, την προγνωστική τους χρησιμότητα και απαιτεί συνδυαστικές γνώσεις Ιζηματολογίας, Στρωματογραφικών αρχών και Τεκτονικής και έχει άμεση εφαρμογή στη διερεύνηση υδρογονανθράκων.

Εχουν δοθεί πολλοί ορισμοί για τη στρωματογραφία ακολουθιών, αλλά ίσως ο απλούστερος και πλέον προτιμότερος από τους ερευνητές είναι ο εξής: «*Στρωματογραφία Ιζηματογενών Ακολουθιών (ή Στρωματογραφία Ακολουθιών – Sequence Stratigraphy) είναι η υποδιαίρεση των ιζημάτων μιας λεκάνης σε «πακέτα» της ίδιας γενετικής προέλευσης που οριοθετούνται από ασυμφωνίες και τις σχετικές τους προεκτάσεις σε συμφωνίες*».

Η Στρωματογραφία Ακολουθιών χρησιμοποιεί τους κύκλους της αλλαγής της σχετικής στάθμης της θάλασσας και του διαθέσιμου χώρου ιζηματογένεσης (χώρος υποδοχής ιζημάτων), στις ιζηματογενείς λεκάνες, για να εξηγήσει και να προβλέψει τη γεωμετρία των στρωμάτων.

Το αντικείμενο αποτελεί μετεξέλιξη της *Αλλοστρωματογραφίας* (Allostratigraphy), η οποία είναι μια στρωματογραφική μέθοδος που υποδιαιρεί τις γεωλογικές ακολουθίες, με βάση ένα ιεραρχικό πλαίσιο επιφανειών οριοθέτησης ή ασυνχειών, που χρησιμεύουν για την ομαδοποίηση διακριτών πακέτων ιζημάτων ή πετρωμάτων. Οι επιφάνειες αυτές είναι *αλλογενείς* (δημιουργούνται από διεργασίες, ουσιαστικά, εξωτερικές προς την περιοχή ιζηματογένεσης) και είναι χρονοστρωματογραφικά σημαντικές (παρέχουν πληροφορίες για τη σχετική γεωλογική ηλικία) (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature-NACSN, 1983).

Σύμφωνα με τον Nickols (1999), «*σε κάθε δεδομένη λεκάνη ιζηματογένεσης, ή τμήμα αυτής, η επίδραση στο διαθέσιμο χώρο, των μεταβολών του βασικού επιπέδου θα ασκήσει θεμελιώδη έλεγχο στη στρωματογραφία. Τα αποτελέσματα αυτών των αλλαγών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τρόπος ανάλυσης της ακολουθίας των ιζηματογενών στρωμάτων. Η χρησιμότητα της αλλοστρωματογραφικής προσέγγισης είναι αδιαμφισβήτητη, ανεξάρτητα από την αδυναμία μας να καθορίσουμε με σαφήνεια τον συγκερασμό της παγκόσμιας ευστατικής αλλαγής με την τοπική, αλλαγή της σχετικής στάθμης της θάλασσας*».

Γενικά, η Στρωματογραφία Ακολουθιών αποτελεί έναν *περιγραφικό κλάδο*, ο οποίος διαχωρίζει το ιζηματογενές πλήρωμα μιας λεκάνης σε ακολουθίες οριοθετημένες από ασυμφωνίες οι οποίες χρησιμοποιούνται με επιτυχία, στους στρωματογραφικούς συσχετισμούς σε επίπεδο λεκάνης και έχουν τη δυνατότητα συσχετισμών μεταξύ λεκανών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Μια *ακολουθία* είναι ένα σύνολο παρατηρήσιμων φαινομένων που συμβαίνουν με προβλέψιμη σειρά. Στη στρωματογραφία ακολουθιών, πρόκειται για στρώματα ιζημάτων που εναποτίθενται με την πάροδο του χρόνου με προβλέψιμο τρόπο, λόγω των επιδράσεων των περιβαλλοντικών μεταβολών που επηρεάζουν την *τεκτονική*, την *προσφορά ιζημάτων* και τη *στάθμη της θάλασσας*.

Με τον χρόνο, τα περιβάλλοντα αλλάζουν λόγω μιας μεγάλης ποικιλίας μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων παραμέτρων που επηρεάζουν το γήινο σύστημα. Αυτές οι παράμετροι μπορεί να είναι *εξωγενείς*, προερχόμενες από το διαστημικό περιβάλλον, ή *ενδογενείς*, που προκύπτουν εντός του γήινου συστήματος. Παραδείγματα ενδογενών συμβάντων μπορεί να είναι μια μεγάλη έκχυση βασάλτη, η οποία μπορεί να επηρεάσει άμεσα την υδρόσφαιρα, την ατμόσφαιρα και τη βιόσφαιρα. Παράδειγμα εξωγενών γεγονότων θα μπορούσαν να είναι οι σταδιακές αλλαγές στις παραμέτρους της τροχιάς ή της κλίσης της Γης (κύκλοι Milankovitch). Αυτές επηρεάζουν την ποσότητα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορα επίπεδα, η οποία επηρεάζει όλες τις σφαίρες της Γης (ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, γεώσφαιρα, κρούσφαιρα και υδρόσφαιρα).

Το μεγάλο μειονέκτημα της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών είναι ότι ο ορισμός, η ορολογία και η ερμηνεία των επιφανειών είναι πολύπλοκη και συχνά αμφιλεγόμενη (Neal & Abrue, 2009).

2. Ιστορική αναδρομή

Ελάχιστοι γεωλόγοι-στρωματογράφοι αμφισβητούν τον ισχυρισμό ότι η στροφή προς τους στρωματογραφικούς συσχετισμούς ακολουθιών με βάση τις ιζηματογενείς φάσεις αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μετεξελίξεις στο πλαίσιο της σύγχρονης στρωματογραφίας. Αυτό που είναι λιγότερο ευρέως αποδεκτό είναι ότι η πλειονότητα των βασικών αρχών της στρωματογραφίας ακολουθιών καθιερώθηκε από μια μικρή ομάδα πρωτοπόρων, στις αρχές έως τα μέσα της δεκαετίας του 1900- οι περισσότεροι από αυτούς είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστοι ή δεν έχουν εκτιμηθεί επαρκώς από τη σημερινή γενιά των στρωματογράφων ακολουθιών. Οι Eliot Blackwelder, Amadeus Grabau, Joseph Barrell, John Rich και Harry Wheeler είναι μεταξύ των πιο αξιοσημείωτων.

Αρχικά, όμως, τις βάσεις για τη δημιουργία και εξέλιξη του γνωστικού αντικειμένου της Στρωματογραφίας Ακολουθιών, έθεσε ο James Hutton (1726-1797), σκωτσέζος γεωλόγος του δέκατου όγδοου αιώνα και πατέρας της σύγχρονης Γεωλογίας, ο οποίος πρώτος περιέγραψε ασυμφωνία στη Βόρεια Σκωτία (Siccar Point). Στο έργο του "Η Θεωρία της Γης" (1785), ο Hutton αναγνώρισε την σημασία της ασυμφωνίας. Οι «μεγάλες» ασυμφωνίες περιφερειακής ή ηπειρωτικής κλίμακας (τόσο στη γεωγραφία όσο και στη γεωχρονολόγηση) συνδέονται είτε με παγκόσμιες μεταβολές στο ευστατικό επίπεδο της θάλασσας, είτε με τον κύκλο των υπερηπείρων, μία περιοδική ένωση ηπείρων που συμβαίνει περίπου κάθε 500 εκατομμύρια χρόνια.

Ο Blackwelder ήταν, ίσως, ο πρώτος που αναγνώρισε και υπογράμμισε την παρουσία και τη σημασία των τοπικών διαφορών στη συγκέντρωση των στρωμάτων στη Βόρεια Αμερική, οι οποίες αργότερα αποτέλεσαν τη βάση για τις γνωστές *κρατονικές μεγα-ακολουθίες*¹ του Larry Sloss. Ωστόσο, ο Blackwelder είναι περισσότερο γνωστός ως ο μέντορας και συνάδελφος, όχι μόνο των υπόλοιπων προαναφερθέντων πρωτοπόρων, αλλά και των σημαντικότερων επιστημόνων, που τελικά αποτέλεσαν τους μέντορες ορισμένων από τους πιο διάσημους στρωματογράφους των δεκαετιών 1970 και 1980.

Ο Amadeus Grabau επικέντρωσε την προσοχή του στην εξήγηση του νόμου της συσχέτισης των φάσεων του Johannes Walther (*νόμος του Walther*) και στην εφαρμογή των συσχετίσεων με βάση τις φάσεις στη στρωματογραφία- μια προσέγγιση που έρχεται σε αντίθεση με την έως τότε επικρατούσα άποψη της λιθοστρωματογραφίας ως το κύριο φυσικό στρωματογραφικό εργαλείο.

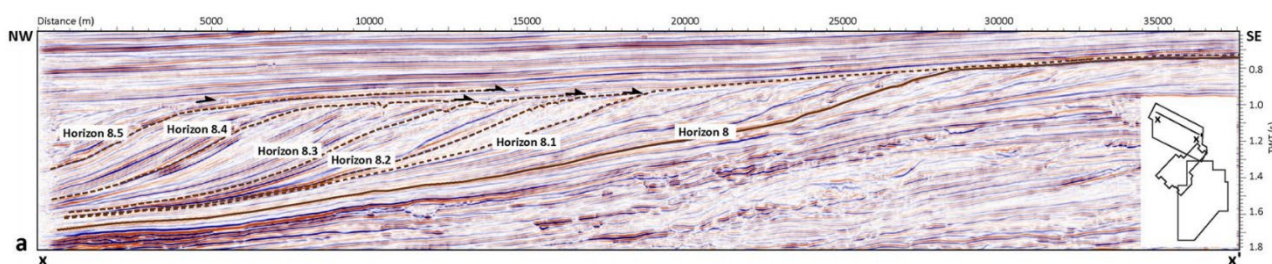
Ο Grabau διαπίστωσε ότι το αρχείο των ιζηματογενών πετρωμάτων περιέχει πολλά χρονικά κενά που διαχωρίζουν τις ακολουθίες των φάσεων, για τα οποία καθιέρωσε τον όρο "*hiatus*". Η θεωρία των παλμικών κινήσεων χρησιμοποιήθηκε για να εξηγήσει τους κύκλους απόθεσης και διάβρωσης καθώς και τα κενά ιζηματογένεσης, και παρόλο που ο μηχανισμός είναι διαφορετικός, το καθαρό αποτέλεσμα αυτών των "*ταλαντώσεων*" είναι σε γενικές γραμμές παρόμοιο με τα αποτελέσματα των ευστατικών και τεκτονικών κινήσεων που αποδίδουμε σε τέτοιες μεταβολές σήμερα.

Ο Joseph Barrell επινόησε τον όρο "*επίπεδο βάσης*" και μελέτησε το ρόλο του στον έλεγχο της διάβρωσης σε σχέση με την απόθεση. Όπως και ο Grabau, ο Barrell επέμεινε ότι η ιζηματογένεση δεν είναι συνεχής, με αποτέλεσμα η στρωματογραφία να χαρακτηρίζεται από διαλείμματα διαφορετικής διάρκειας. Έτσι, επινόησε τον όρο "*διάστημα*" (*diastem*) για τις μικρές αλλά πολυάριθμες διακοπές ιζηματογένεσης, οι οποίες θα μπορούσαν να αντιπαραβληθούν με εκείνες που αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερες διακοπές, τις οποίες ονομάζει "*ασυνέχειες*".

Το 1951, ο John L. Rich, εκτιμώντας την τοπογραφία των ιζηματογενών αποθέσεων, προτείνει την έννοια των κλινομορφών (*clinoforms*) - γεωμετρικών στοιχείων που αποτελούν βασικό συστατικό της

¹ Μια *κρατονική ακολουθία* στη γεωλογία είναι μια λιθοστρωματογραφική ακολουθία, πολύ μεγάλης κλίμακας, στο αρχείο πετρωμάτων, που αντιπροσωπεύει έναν πλήρη κύκλο θαλάσσιας επίκλυσης και απόσυρσης σε ένα κρατόνιο (τεμάχιο ηπειρωτικού φλοιού), κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Οι κρατονικές ακολουθίες είναι επίσης γνωστές ως "μεγασειρές", "στρωματογραφικές ακολουθίες", "ακολουθίες Sloss", "υπερακολουθίες" ή απλώς "ακολουθίες". Αποτελούν γεωλογική απόδειξη της ανόδου και, στη συνέχεια, της πτώσης της σχετικής στάθμης της θάλασσας, με αποτέλεσμα την απόθεση ποικίλων στρωμάτων ιζημάτων, τα οποία εκφράζονται πλέον ως ιζηματογενή πετρώματα.

σύγχρονης στρωματογραφίας ακολουθιών. Σύμφωνα με τον Rich, μια κλινομορφή είναι μια ημιτονοειδής επιφάνεια που εκτείνεται κατά μήκος της υφαλοκρηπίδας από τη βάση κύματος² έως τη βάση της παρακείμενης κατωφύρειας (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Κλινομορφές ανοιχτά της Νέας Ζηλανδίας (από Franzel & Back 2019).

Ο Rich αναγνώρισε ότι οι κλινομορφές συνδέουν γενετικά συσχετιζόμενες συσσωρεύσεις ιζημάτων που έχουν αποθεθεί από την ακτογραμμή προς το κέντρο της λεκάνης - αυτό που σήμερα θεωρούμε ως σύστημα απόθεσης (ή αποθετικό σύστημα). Στη σύγχρονη στρωματογραφία ακολουθίας, οι προκύπτουσες αρχιτεκτονικές που οριοθετούνται από αυτές τις επιφάνειες χρησιμεύουν ως βάση για όλα τα τμήματα της υποακολουθίας. Πλέον, ο όρος «κλινομορφή» δεν περιορίζεται μόνο στις μορφολογίες της υφαλοκρηπίδας, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν σε οποιαδήποτε κλίμακα (Patruno & Helland-Hansen, 2018).

Κορυφαίος στρωματογράφος της εποχής, ήταν ο Harry Wheeler, ο οποίος ήταν ένας από τους πρώτους που χρησιμοποίησε τον όρο "ακολουθία" για να αναφερθεί σε ενότητες πετρωμάτων που συνδέονται με ασυμφωνίες. Ο Harry Eugene Wheeler (1907-1987), του Πανεπιστημίου της Ουάσιγκτον, υπήρξε πρωτοπόρος των γενετικών στρωματογραφικών αρχών που αποτελούν τη βάση της σύγχρονης αντίληψής μας για τη στρωματογραφία ακολουθίας. Οι εργασίες του σχετικά με αυτό που του άρεσε να αποκαλεί "στρωματολογία", περιελάμβαναν την ταξινόμηση των στρωματογραφικών ενοτήτων σε λιθοστρωματογραφικές και βιοστρωματογραφικές ενότητες, καθώς και κυκλοθέματα, ενότητες που συνδέονται με ασυμφωνίες, και την ανάλυση του επιπέδου βάσης και του ρόλου του στη διαμόρφωση των στρωματογραφικών ασυνεχειών. Το έργο του σχετικά με τις "ακολουθίες", που περιορίζονται από ασυμφωνίες, οδήγησε τελικά τη Διεθνή Υποεπιτροπή για τη Στρωματογραφική Ταξινόμηση, να τις ορίσει επίσημα το 1987. Τα διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για την αποσαφήνιση των χρονικών σχέσεων των πετρωμάτων αναφέρονται πλέον ως "διαγράμματα Wheeler". Το διάγραμμα Wheeler είναι ένα θεμελιώδες εξάρτημα της εργαλειοθήκης των γεωλόγων για την κατανόηση των χωροχρονικών σχέσεων των στρωμάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες, τα διαγράμματα αυτά έχουν βελτιωθεί λόγω της προόδου της σεισμικής τεχνολογίας. Παρά το θεωρητικό πλαίσιο για την ανάλυση ακολουθιών που διατύπωσε ο Wheeler (1958a), ελάχιστες αναφορές έγιναν στο έργο του στις δεκαετίες του 1970 και 1980. Μαθητευόμενος του Blackwelder, και έχοντας ως όπλο την έννοια του βασικού επιπέδου του Joseph Barrell, ο Wheeler ήταν από τους πρώτους που αναγνώρισαν την έννοια της χρονικής στρωματογραφίας. Παρόλα αυτά, λόγω της ανορθόδοξης άποψής του για τη στρωματογραφία, ο Wheeler αναμείχθηκε στη μία διαμάχη μετά την άλλη και οι απόψεις του θεωρήθηκαν προκλητικές.

Συντονισμένα, όλοι αυτοί οι στρωματογράφοι-οραματιστές δημιούργησαν ένα στρωματογραφικό πλαίσιο που επικεντρώθηκε στην κατανόηση του στρωματογραφικού αρχείου σε αντίθεση με την απλή λιθοστρωματογραφική χαρτογράφηση ή τη βιοστρωματογραφική χρονολόγηση. Αυτοί οι αφανείς πρωτοπόροι έθεσαν σε εφαρμογή σχεδόν όλα τα συστατικά στοιχεία της σύγχρονης στρωματογραφίας ακολουθιών, περισσότερο από δύο δεκαετίες πριν από τη διάδοσή της στην επιστημονική κοινότητα.

² Η βάση κύματος, σύμφωνα με τον Rich, είναι το όριο βάθους στο οποίο τα κύματα και οι κυματικές τροχιές παύουν να μετακινούν ιζήματα στον πυθμένα της θάλασσας. Αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό όριο μεταξύ της παράκτιας και της βαθύτερης ιζηματογένεσης της υφαλοκρηπίδας- σήμερα το χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε το εξωτερικό όριο της ακτής.

Το 1963, ο Lawrence Sloss αναγνώρισε με τη χρήση του διαγράμματος Wheeler, έξι μεγάλες ακολουθίες, τις οποίες αποκάλεσε «κρατονικές ακολουθίες», στη Βόρεια Αμερική, που ελέγχονται από τις ευστατικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, οι εξαιρετικοί μαθητές του Sloss, Peter Vail, Robert Mitchum και John Sangree, οι οποίοι ολοκλήρωσαν διατριβές που αφορούσαν στρώματα της Πενσυλβανίας, συνειδητοποίησαν ότι οι παγετώδεις ευστατικές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας θα μπορούσαν να είναι υπεύθυνες για τις πολυάριθμες εκτεταμένες ασυμφωνίες στα διάσημα κυκλοθέματα. Οι ερευνητές αυτοί εντάχθηκαν σε μια ερευνητική ομάδα της Exxon³, η οποία επρόκειτο να αναπτύξει τη σύγχρονη σεισμική στρωματογραφία. Υιοθέτησαν και βελτίωσαν σε μεγάλο βαθμό τη Στρωματογραφία Ακολουθιών για την ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων του υπεδάφους. Αναγνώρισαν παρόμοιες διαδοχές ακολουθιών και ασυμφωνιών σε διαφορετικά, ευρέως απομακρυσμένα ηπειρωτικά περιθώρια, γεγονός που υποδήλωνε κάποια παγκόσμια αιτία, ίσως παγετώδεις ευστατικές διακυμάνσεις.

Η δική τους προσέγγιση αναγνώριζε ακολουθίες μικρότερης διάρκειας από τις αρχικές ακολουθίες του Sloss. Ενώ κάθε μία από τις έξι κρατονικές ακολουθίες αντιπροσώπευαν εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια, οι σεισμικές ακολουθίες αντιπροσωπεύουν συνήθως, μόνο χιλιάδες έως μερικά εκατομμύρια χρόνια. Ένα από τα μεγάλα επιτεύγματα του Vail και των συναδέλφων του ήταν η αναγνώριση της θεμελιώδους φύσης των ασυμφωνιών και ότι οι ακολουθίες είναι τα δομικά στοιχεία του στρωματογραφικού αρχείου. Τα όρια ακολουθιών είναι τοπικές επιφάνειες διάβρωσης ή/και μη απόθεσης που μπορούν να αναγνωριστούν αντικειμενικά με σεισμικά, επιφανειακά και χρονοστρωματογραφικά δεδομένα.

Στη δεκαετία του 70, γεννιέται, επισήμως, η περίφημη μέθοδος της Στρωματογραφίας των Ιζηματογενών Ακολουθιών, η οποία βασιζόταν σε δεδομένα σεισμικών ανακλάσεων για την ερμηνεία στρωματογραφικών δομών μεγάλης κλίμακας. Ήταν η εποχή που οι εταιρίες πετρελαίου έδιναν μεγάλη σημασία στην αξιολόγηση σεισμικών μεθόδων με σκοπό τη διερεύνηση της δομής των λεκανών. Η μεγάλη συλλογή σεισμικών δεδομένων ανάκλασης σε συνδυασμό με τις εκτεταμένες διεθνείς γεωτρήσεις (και τα συνοδευτικά αρχεία καταγραφής με καλώδια που επίσης αναπτύσσονταν ραγδαία), καθώς και μια εκρηκτική βάση δεδομένων μικροαπολιθωμάτων, έδωσαν την ευκαιρία να ενσωματωθούν οι ιδέες των Sloss, Blackwelder και Wheeler σε ένα στρωματογραφικό μοντέλο που έδινε έμφαση στο χρόνο, στις βασικές στρωματογραφικές επιφάνειες, όπως είναι οι ασυμφωνίες, και στα συστήματα απόθεσης για τα οποία η κατανόηση των διαδικασιών απόθεσης είναι το κλειδί (Vail κ.ά. 1977).

Οι Vail κ.ά. (1977) πρότειναν μια ταξινόμηση των ακολουθιών σε τέσσερις "τάξεις" με βάση τη διάρκεια, αλλά στη συνέχεια αποδείχθηκε ότι η ταξινόμηση αυτή δεν υποστηρίζεται από δεδομένα σχετικά με τις διάρκειες των ακολουθιών. Αργότερα, ο Miall (1995) πρότεινε έναν εντελώς διαφορετικό τύπο ταξινόμησης με βάση τις κινητήριες αλλογενείς διεργασίες που δημιουργούν τις ακολουθίες.

Μετά τη δεκαετία του 2000, οι μέθοδοι και οι όροι στην ανάλυση στρωματογραφίας ακολουθιών τυποποιήθηκαν. Οι Catuneanu et al. (2009) όρισαν μια ακολουθία ως *"μια διαδοχή στρωμάτων που αποτίθενται κατά τη διάρκεια ενός πλήρους κύκλου αλλαγών στον διαθέσιμο χώρο ή στην παροχή ιζημάτων"*. Αυτός ο ευρύς, αλλά εξελιγμένος ορισμός είναι ανεξάρτητος από τις χρονικές και χωρικές κλίμακες και ισχύει για όλα τα μοντέλα ακολουθίας που είχαν προταθεί προηγουμένως. Παρά την ευρεία αποδοχή του από τους επιστήμονες (π.χ. Catuneanu et al. 2011), ο ορισμός αυτός είχε ένα ήσσονος σημασίας μειονέκτημα, καθώς δεν παρείχε αντικειμενικά κριτήρια για την περιγραφή ακολουθιών από ένα πραγματικό σύνολο δεδομένων. Έτσι, οι Catuneanu και Zecchin (2013) παρουσίασαν έναν αναθεωρημένο ορισμό μιας ακολουθίας ως *«κύκλου αλλαγής στα πρότυπα συσσώρευσης στρωμάτων, που διαιρείται σε υποακολουθίες και οριοθετείται από στρωματογραφικές επιφάνειες ακολουθίας»*.

Στην τελική, η Στρωματογραφία Ακολουθιών είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο συσχέτισης τόσο σε τοπική όσο και σε περιφερειακή κλίμακα. Η μέθοδος χρησιμοποιείται πλέον ευρέως ως η σύγχρονη προσέγγιση για την ολοκληρωμένη στρωματογραφική ανάλυση, συγκεντρώνοντας γνώσεις από όλους τους τύπους στρωματογραφίας καθώς και από διάφορους μη στρωματογραφικούς κλάδους. Είναι, ωστόσο, η μόνη στρωματογραφική μέθοδος που δεν διαθέτει τυποποιημένο στρωματογραφικό κώδικα. Έχουν καταβληθεί προσπάθειες τόσο από τη Βορειοαμερικανική Επιτροπή Στρωματογραφικής Ονοματολογίας (NACSN) όσο και από τη Διεθνή Υποεπιτροπή Στρωματογραφικής Ταξινόμησης (ISSC), όσον αφορά στην

³ Αμερικανική πολυεθνική εταιρεία πετρελαίου και φυσικού αερίου που εδρεύει στο Ίρβινγκ του Τέξας.

τυποποίηση της μεθόδου της Στρωματογραφίας Ακολουθιών, στον Βορειοαμερικανικό Στρωματογραφικό Κώδικα και στον Διεθνή Στρωματογραφικό Οδηγό αντίστοιχα. Η ομάδα εργασίας της ISSC για τη Στρωματογραφία Ακολουθιών υπέβαλε την τελική της έκθεση το 1999, χωρίς να καταλήξει σε συμφωνία σχετικά με την ονοματολογία και τη μεθοδολογία της Στρωματογραφίας Ακολουθιών. Ταυτόχρονα, η πολυετής επιτροπή της NACSN για την αλλοστρωματογραφία και τη Στρωματογραφία Ακολουθιών κατέθεσε τις προσπάθειές της το 2002, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ήταν πρόωρο να αναγνωριστούν επίσημες στρωματογραφικές μονάδες ακολουθίας στον Κώδικα.

3. Βασικές αρχές και κύρια συστατικά της Στρωματογραφίας Ακολουθιών

Όπως όλα τα γνωστικά αντικείμενα στις Γεωεπιστήμες, έτσι και η Στρωματογραφία Ακολουθιών βασίζεται στην *Αρχή του Ομοιομορφισμού*. Ο ομοιομορφισμός είναι μια γεωλογική θεωρία που υποστηρίζει ότι τα περισσότερα γεωλογικά φαινόμενα μπορούν να κατανοηθούν μέσω της προσεκτικής παρατήρησης των σύγχρονων διεργασιών και ότι όλες οι γεωλογικές διεργασίες που ήταν ενεργές στο παρελθόν εξακολουθούν να είναι ενεργές και σήμερα. Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο συστήματα όπως η υδρόσφαιρα, η γεώσφαιρα και η ατμόσφαιρα αλληλοεπίδρασαν στο παρελθόν, παρέχει πολλές πληροφορίες για παρόμοιες διεργασίες που συμβαίνουν σήμερα και οδηγούν στη δημιουργία *προγνωστικών μοντέλων*.

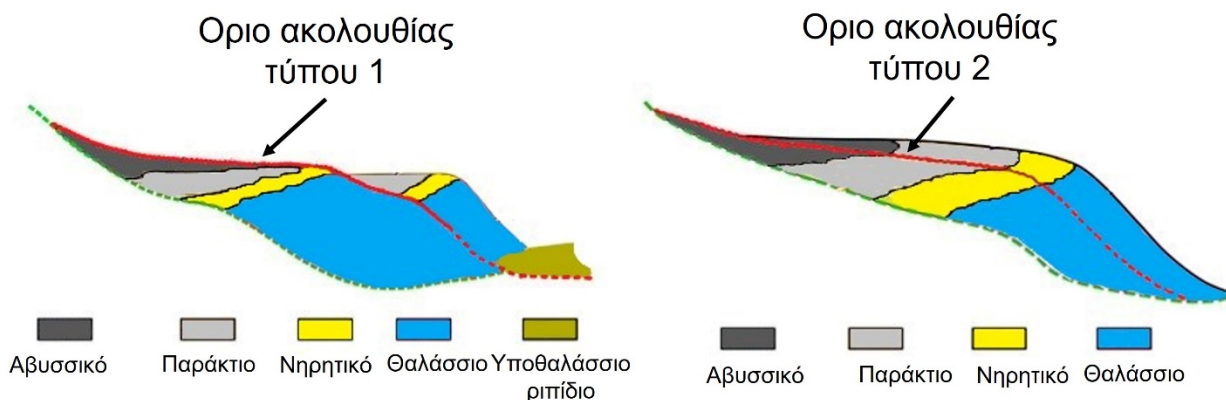
Η Στρωματογραφία Ακολουθιών επικεντρώνεται με μοναδικό τρόπο στην ανάλυση των αλλαγών στις φάσεις και τον γεωμετρικό χαρακτήρα των στρωμάτων και στον προσδιορισμό των βασικών επιφανειών για τον προσδιορισμό της χρονολογικής σειράς της πλήρωσης της λεκάνης και των διαβρωτικών γεγονότων. Ο τρόπος διευθέτησης των στρωμάτων ανταποκρίνεται στην *αλληλεπίδραση των μεταβολών των ρυθμών ιζηματογένεσης και του επιπέδου βάσης* που έχουν ως αποτέλεσμα την *προέλαση* (progradation), την *απόσυρση ή αναδρομή* (retrogradation) και την *προσαύξηση ή επισώρευση* (aggradation) των στρωμάτων. Κάθε πρότυπο συσσώρευσης στρωμάτων ορίζει έναν συγκεκριμένο γενετικό τύπο απόθεσης, με ξεχωριστή γεωμετρία και στυλ διατήρησης των φάσεων. Αυτές οι αποθέσεις είναι περιβαλλοντικά κοινές (δηλαδή μπορούν να βρεθούν σε διάφορα περιβάλλοντα απόθεσης) και μπορεί να περιλαμβάνουν περιοχές με διάφορα συστήματα απόθεσης ισοδύναμης ηλικίας.

Μία ακολουθία απαρτίζεται από μικρότερες ενότητες, τις *υποακολουθίες*, οι οποίες σχηματίζονται από μία ή περισσότερες *παρακολουθίες*, οι οποίες, με την σειρά τους, δημιουργούνται κατά τη διάρκεια λίγων εκατοντάδων χιλιάδων χρόνων και αποτελούν τον «δομικό λίθο» των ακολουθιών. Η διαδοχή των φάσεων μέσα σε μια παρακολουθία ακολουθεί γενικά το νόμο του Walther, ο οποίος δηλώνει ότι μια κανονική κατακόρυφη διαδοχή φάσεων αντικατοπτρίζει την πλευρική κατανομή των φάσεων σε ένα ιζηματογενές περιβάλλον.

Μία ακολουθία οριοθετείται από *όρια ακολουθίας* (sequence boundaries). Τα όρια ακολουθίας είναι ασυμφωνίες ή οι συσχετιζόμενες με αυτές συμφωνίες, που σχηματίζονται λόγω της πτώσης της στάθμης της θάλασσας. Ένα τυπικό *όριο ακολουθίας* (sequence boundary) είναι μια διαβρωτική επιφάνεια που διαχωρίζει κύκλους απόθεσης.

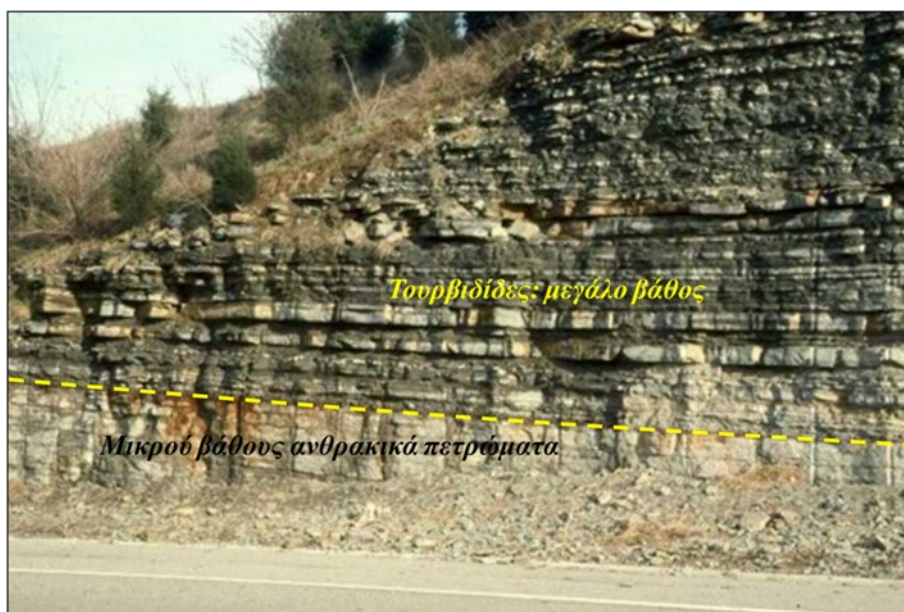
Ένα όριο ακολουθίας μπορεί να εκφράζεται ως μια ασυμφωνία που δημιουργείται από επιφανειακή έκθεση και διάβρωση η οποία λαμβάνει χώρα σε εκτεταμένες περιοχές τόσο προς την ξηρά όσο και προς τη λεκάνη. Μια τέτοια επιφάνεια ονομάζεται *όριο ακολουθίας τύπου 1* (*διαβρωσιγενές*) (Εικόνα 2).

Σε άλλες περιπτώσεις, τα χαρακτηριστικά ενός ορίου ακολουθίας δεν είναι τόσο ευδιάκριτα και η περιοχή που επηρεάζεται από την έκθεση και την επιφανειακή διάβρωση είναι ελάχιστη. Σε αυτήν την περίπτωση, η προκύπτουσα ασυμφωνία έχει συνήθως περιορισμένη έκταση και η μετατόπιση των φάσεων προς τη λεκάνη είναι μικρή. Πρόκειται για *όριο ακολουθίας τύπου 2* (*σύμμορφο*).



Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση των δύο τύπων ορίων ακολουθίας

Σε παλαιότερες δημοσιεύσεις στρωματογραφίας ακολουθιών, οι παγκόσμιοι χάρτες ακολουθιών χαρακτήριζαν τα μεμονωμένα όρια ακολουθίας είτε ως τύπου 1 είτε ως τύπου 2, συναρτήσει του ρυθμού πτώσης της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας- ωστόσο, σήμερα είναι γενικά αποδεκτό ότι τα όρια ακολουθιών δημιουργούνται πάντα κατά την πτώση της στάθμης της θάλασσας και μπορεί να είναι οποιουδήποτε τύπου ανάλογα με τον χώρο υποδοχής ιζήματος και τους ρυθμούς ιζηματογένεσης (Εικόνα 3). Σε γενικές γραμμές, οι ακολουθίες τύπου 1 και 2 διαφέρουν ως προς το τι συμβαίνει στην ακτογραμμή κατά τη διάρκεια μιας ευστατικής πτώσης της στάθμης της θάλασσας.



Εικόνα 3. Οριο ακολουθίας το οποίο διαχωρίζει τα κατώτερα αβαθή ανθρακικά πετρώματα από τις μεγάλες βάθους τουρβιδιτικές αποθέσεις.

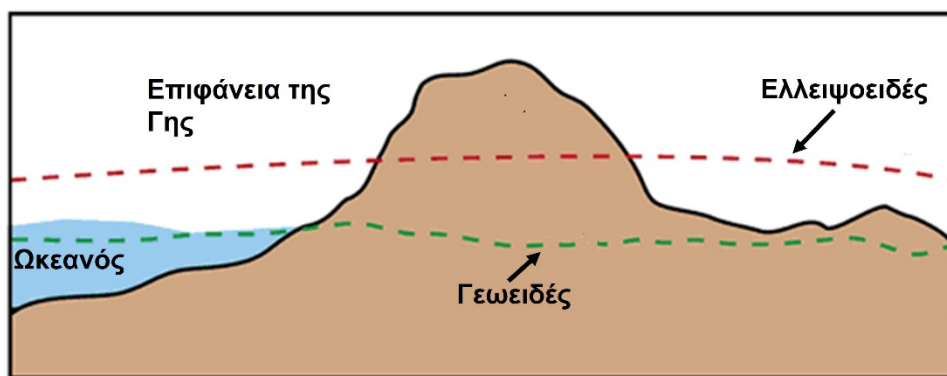
Σε μια ακολουθία τύπου 1, υπάρχει σχετική πτώση της στάθμης της θάλασσας στην ακτογραμμή, επειδή η ευστατική πτώση της στάθμης της θάλασσας είναι ταχύτερη από το ρυθμό βύθισης στην ακτογραμμή. Εν ολίγοις, η ακτογραμμή έρχεται αντιμέτωπη με την πτώση της στάθμης της θάλασσας σε μια ακολουθία τύπου 1.

Σε μια ακολουθία τύπου 2, ο ρυθμός της ευστατικής πτώσης δεν είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό της καταβύθισης στην ακτογραμμή, με αποτέλεσμα η ακτογραμμή να συνεχίζει να υφίσταται την σχετική άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

5. Παράγοντες που επιδρούν στη διαμόρφωση ακολουθιών

Στη μέθοδο της στρωματογραφίας ακολουθιών, τον κύριο και αποφασιστικό ρόλο στη διαμόρφωση μιας ιζηματογενούς ακολουθίας, έχουν οι *ευστατικές κινήσεις*. Η μεγάλης κλίμακας στρωματογραφική αρχιτεκτονική συσχετίζεται με κύκλους ανόδου και πτώσεις του θαλάσσιου επιπέδου (ευστατικές κινήσεις). Οι κύκλοι αυτοί είναι παγκόσμιας κλίμακας.

Η *απόλυτη στάθμη της θάλασσας (ASL)*, επίσης γνωστή ως *ευστατική στάθμη* της θάλασσας, είναι το επίπεδο που θα υπήρχε αν όλα τα νερά ήταν απόλυτα ήρεμα και υπό τη δύναμη της βαρύτητας. Αναφέρεται στο ύψος της επιφάνειας του ωκεανού πάνω από το κέντρο της γης, ανεξάρτητα από το αν η κοντινή ξηρά ανεβαίνει ή κατεβαίνει. Η απόλυτη στάθμη της θάλασσας μετρείται σε σχέση με ένα ελλειψοειδές αναφοράς, το οποίο είναι μια υποθετική σφαίρα μέσα στη Γη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς. Από αυτό μπορεί να προκύψει ένα *γεωειδές* για τη στάθμη της θάλασσας, το οποίο είναι το επίπεδο στο οποίο θα βρισκόταν μόνο υπό τη δύναμη της βαρύτητας και της περιστροφής της Γης, μείον τις παλιρροϊκές και άλλες βραχυπρόθεσμες μεταβολές (Εικόνα 4). Οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας είναι σταδιακές, αλλά επηρεάζονται από παγκόσμια γεγονότα όπως η κλιματική αλλαγή.



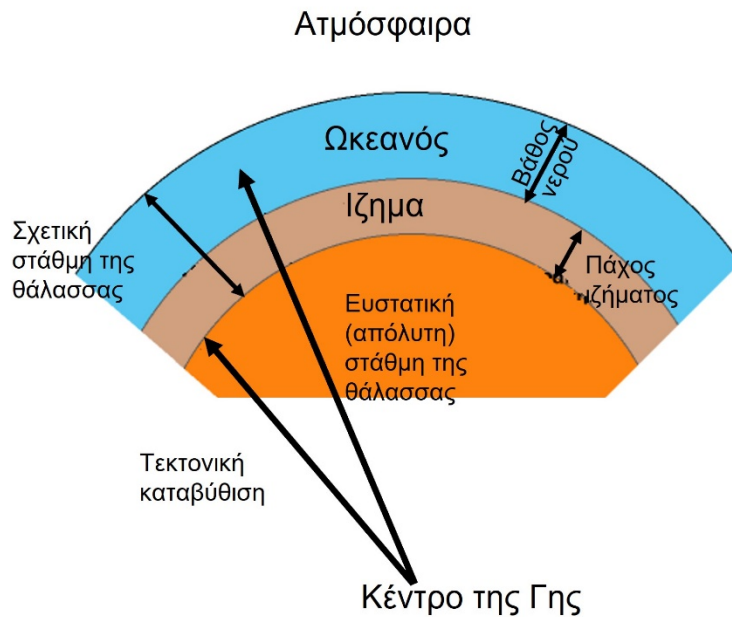
Εικόνα 4. Διατομή της γήινης επιφάνειας όπου απεικονίζονται το γεωειδές μοντέλου και το ελλειψοειδές (Πηγή earthquake.usgs.gov, δημόσια χρήση)

Η *ευστατική στάθμη της θάλασσας* ορίζεται ως η απόσταση από την επιφάνεια του ωκεανού μέχρι κάποιο σταθερό σημείο αναφοράς, που συνήθως είναι το κέντρο της γης. Η αλλαγή του όγκου του νερού στον ωκεανό ή του σχήματος των ωκεάνιων λεκανών μπορεί να αλλάξει την ευστατική στάθμη της θάλασσας.

Τεκτονική καταβύθιση είναι η προς τα κάτω ή προς τα πάνω κίνηση της λιθόσφαιρας που προκαλείται από τις τεκτονικές πλάκες σε σχέση με ένα σταθερό σημείο αναφοράς, το οποίο είναι συνήθως το κέντρο της γης. Η τεκτονική καταβύθιση, σε αντίθεση με την ισοστατική εξισορρόπηση της λιθόσφαιρας ως απόκριση στις μεταβολές του βάρους των ιζημάτων και του νερού, αποτελεί κινητήρια δύναμη για τη συσσώρευση ιζημάτων..

Η *σχετική στάθμη της θάλασσας* είναι η διαφορά μεταξύ της ευστατικής στάθμης της θάλασσας και της τεκτονικής καταβύθισης. Μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως η προς τα πάνω ή προς τα κάτω κίνηση της επιφάνειας του ωκεανού σε σχέση με την επιφάνεια του υποβάθρου, δηλαδή τη βάση της στήλης των ιζημάτων και των ιζηματογενών πετρωμάτων που χαρακτηρίζεται ως πάχος ιζήματος. Η σχετική επιφάνεια της θάλασσας ελέγχεται από τις ευστατικές κινήσεις καθώς και από τις τεκτονικές καταβυθίσεις και συχνά ονομάζεται *χώρος υποδοχής*.

Το *βάθος του νερού* είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του ωκεανού και του πυθμένα του. Μερικές φορές αναφέρεται εσφαλμένα ως σχετικό επίπεδο της θάλασσας ή στάθμη της θάλασσας. (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Ευστατική και σχετική μέση στάθμη της θάλασσας σε σχέση με το σημείο αναφοράς, το οποίο είναι το κέντρο της γης. (Σχηματικό διάγραμμα, όχι σε κλίμακα).

Οι κατακόρυφες κινήσεις της επιφάνειας της θάλασσας, της επιφάνειας του πυθμένα και του όγκου ιζημάτων διαμορφώνουν τον χώρο υποδοχής, ή διαφορετικά, τον διαθέσιμο χώρο (accommodation space) των ιζημάτων. Ως χώρος υποδοχής ή διαθέσιμος χώρος ορίζεται ο χώρος που είναι διαθέσιμος για την απόθεση ιζημάτων. Ο συνολικός διαθέσιμος χώρος σε μια λεκάνη είναι ο όγκος κάτω από το βασικό επίπεδο και πάνω από το δάπεδο της λεκάνης που είναι διαθέσιμος για τη συσσώρευση ιζημάτων και μπορεί να αυξάνεται ή να μειώνεται σε παγκόσμια, ή τοπική κλίμακα. Δημιουργείται από την καθίζηση του δαπέδου της λεκάνης. Ανά πάσα στιγμή, ο υπολειπόμενος διαθέσιμος χώρος στη λεκάνη είναι αυτός που δεν έχει ακόμη γεμίσει με ιζήματα και μετριέται με το βάθος νερού (ο χώρος μεταξύ της στάθμης της θάλασσας και της διεπαφής ιζήματος-νερού). Η συσσώρευση των ιζημάτων στον διαθέσιμο, κάθε φορά, χώρο απόθεσης (accommodation space) επηρεάζεται από την αλλαγή στο ρυθμό ιζηματογένεσης, την αλλαγή της ευστατικής στάθμης της θάλασσας (απόσυρση, επίκλυση) και την τεκτονική βύθιση ή ανύψωση της λεκάνης.

Για τον υπολογισμό του διαθέσιμου χώρου σε μια ιζηματογενή λεκάνη, χρησιμοποιείται η εξίσωση: $T+E=S+W$, όπου T = Ρυθμός τεκτονικής καθίζησης ή βύθισης της λεκάνης, E = Ρυθμός ευστατικής ή παγκόσμιας μεταβολής της στάθμης της θάλασσας, σε σχέση με ένα ελλειψοειδές αναφοράς, S = Ρυθμός ιζηματογένεσης/συσσώρευσης στη λεκάνη, W = Ρυθμός μεταβολής του βάθους του νερού εντός της λεκάνης. Η εξίσωση αυτή αντιπροσωπεύει ένα απλό ισοζύγιο. Εάν η αριστερή πλευρά της εξίσωσης είναι θετική, τότε υπάρχει αυξανόμενος διαθέσιμος χώρος στη λεκάνη και, εάν είναι αρνητική, μειούμενος χώρος. Στη δεξιά πλευρά, αν ο αριθμός είναι θετικός, τότε υπάρχει αυξανόμενη ιζηματογένεση και αρνητικός αν είναι μειούμενη. Έτσι, αν οι αριθμοί και στις δύο πλευρές της εξίσωσης είναι και οι δύο θετικοί, τότε τόσο ο χώρος όσο και η καθίζηση (S) αυξάνονται. Αν η αριστερή πλευρά είναι αρνητική και η δεξιά θετική, τότε μπορούμε να προβλέψουμε ότι η λεκάνη θα γεμίζει με την πάροδο του χρόνου μέχρι να μην είναι δυνατή πλέον η καθίζηση.

Η εξίσωση αυτή συνιστά προσέγγιση, διότι δεν λαμβάνει υπόψη δευτερογενείς επιδράσεις. Οι αυξήσεις στο πάχος των ιζημάτων ή στο βάθος του νερού, για παράδειγμα, προκαλούν ισοστατική καταβύθιση της λιθόσφαιρας, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόσθετος χώρος. Οι αυξήσεις στο πάχος των ιζημάτων προκαλούν συμπίεση των υποκείμενων ιζημάτων, δημιουργώντας επιπλέον χώρο.

Η επίλυση αυτής της εξίσωσης τις περισσότερες φορές είναι δύσκολη. Ορισμένοι από τους όρους είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν, όπως το πάχος των ιζημάτων με την πραγματοποίηση μετρήσεων σε μια λιθοστρωματογραφική τομή ή το βάθος του νερού με την πάροδο του χρόνου μέσω της ανάλυσης των φάσεων. Οι ρυθμοί της ευστατικής μεταβολής της στάθμης της θάλασσας και της τεκτονικής καταβύθισης είναι πολύ πιο δύσκολο να υπολογιστούν, καθώς οι επιπτώσεις τους δεν μπορούν να διακριθούν σε μια

μεμονωμένη στρωματογραφική στήλη. Με άλλα λόγια, δεν υπάρχει μοναδική λύση σε αυτή την εξίσωση για μία μόνο στρωματογραφική στήλη και χωρίς περιφερειακό έλεγχο ή εξωτερικές πληροφορίες, είναι αδύνατο να αποδοθούν αλλαγές στο βάθος του νερού ή στην ιζηματογένεση, στον ευστατισμό ή στην τεκτονική. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μεταβολές στο πάχος των ιζημάτων και στο βάθος του νερού θα χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο ο χώρος υποδοχής έχει μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου.

6. Ιεραρχία ακολουθίας

Η ιδέα στην οποία στηρίζεται η στρωματογραφία ακολουθιών είναι απλή: οι ιζηματογενείς αποθέσεις μιας λεκάνης μπορούν να διαιρεθούν σε ενότητες που οριοθετούνται από ασυμφωνίες και ονομάζονται στρωματογραφικές ακολουθίες. Οι στρωματογραφικές ακολουθίες επικάθονται η μία πάνω στην άλλη. Μέσα σε χρονικό διάστημα μιας *μεγα-ακολουθίας 1ης τάξης*, θα εμφανιστεί ένας αριθμός *υπερακολουθιών 2ης τάξης*. Εντός μιας υπερακολουθίας, εμφανίζεται ένας αριθμός μικρότερων ακολουθιών, και ούτω καθεξής. Κάθε ένα από αυτά τα διαφορετικά πακέτα, γενετικά συνδεδεμένων, στρωμάτων οριοθετείται από ασυμφωνίες, που δημιουργούνται από διαβρωτικές πλημμυρικές επιφάνειες (επικλύσεις), οι οποίες μπορούν να ανιχνευτούν σε μεγάλες αποστάσεις. Τα στρώματα είναι γενετικά συσχετιζόμενα εάν όλες οι φάσεις εντός της ακολουθίας έχουν αποθεθεί σε πλευρική συνέχεια μεταξύ τους, σύμφωνα με τον νόμο του Walther. Οι επιφάνειες πλημμύρας είναι έντονες επαφές που διαχωρίζουν τις υποκείμενες φάσεις ρηχότερων υδάτων από τις υπερκείμενες φάσεις βαθύτερων υδάτων.

Τα αίτια των ακολουθιών διαφόρων ιεραρχικών επιπέδων αποτελούν αντικείμενο συζήτησης. Είναι γνωστό ότι οι *μεγαακολουθίες 1ης τάξης* αντικατοπτρίζουν παγκόσμια φαινόμενα, όπως ο σχηματισμός και η διάσπαση των υπερηπείρων. Οι *υπερακολουθίες 2ης τάξης* πιστεύεται ότι είναι πιο περιφερειακές σε έκταση και πάλι καθοδηγούνται από την τεκτονική, αλλά αυτή τη φορά μέσα σε μια ωκεάνια λεκάνη. Κατά τη διάρκεια του Παλαιozoϊκού, αναπτύχθηκε μια παγκόσμια *μεγαακολουθία*, εντός της οποίας αναπτύχθηκαν τέσσερις *υπερακολουθίες 2ης τάξης*. Καθεμία από αυτές τις *υπερακολουθίες* φέρει ενδείξεις για μικρότερες, *3ης τάξης* *ακολουθίες*, εντός αυτών, *4ης τάξης*, και εντός αυτών, *5ης τάξης*. Μέχρι το επίπεδο μιας *ακολουθίας 5ης τάξης*, τα δεδομένα βρίσκονται εξ ολοκλήρου σε έναν ενιαίο στρωματογραφικό σχηματισμό. Οι βραχύτερες *ακολουθίες*, *4ης* και *5ης τάξης*, μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, με τις μεταβολές των τροχιακών παραμέτρων του Milankovitch να είναι πιο πιθανές (Εικόνα 6).

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΑΙΤΙΕΣ ΤΟΥΣ Vail et al. (1977)

Τύπος	Διάρκεια (m.y.)	Πιθανές αιτίες
1 ^{ης} τάξεως	200 - 400 (10 ⁸)	Μεγάλης κλίμακας ευστατικοί κύκλοι που προκλήθηκαν από τον σχηματισμό και τη διάρρηξη των υπερ-ηπείρων.
2 ^{ης} τάξεως	10 - 100 (10 ⁷)	Ευστατικοί κύκλοι που προκλήθηκαν από μεταβολές όγκου, σε παγκόσμια μεσο-ωκεάνια κέντρα εξάπλωσης.
3 ^{ης} τάξεως	1 - 10 (10 ⁶)	Περιφερειακοί κύκλοι που προκλήθηκαν από συμπίεσεις εντός των πλακών. Οι περισσότεροι δεν είναι παγκόσμιας έκτασης.
4 ^{ης} τάξεως	0,2 - 0,5 (10 ⁵)	1) Milankovitch παγετο-ευστατικοί κύκλοι 2) Περιφερειακοί κύκλοι από κάμψη λόγω φόρτωσης
5 ^{ης} τάξεως	0,01 - 0,2 (10 ⁴)	1) Milankovitch παγετο-ευστατικοί κύκλοι 2) Περιφερειακοί κύκλοι από κάμψη λόγω φόρτωσης

Εικόνα 6. Ταξινόμηση των στρωματογραφικών κύκλων με αναφορές στους υπευθύνους για τη δημιουργία τους μηχανισμούς.

Ακολουθίες οποιασδήποτε τάξης, οι οποίες σχηματίζονται κατά τη διάρκεια ενός μόνον κύκλου μεταβολής της στάθμης της θάλασσας, δηλαδή σχετικής πτώσης της στάθμης της θάλασσας, ανόδου και επακόλουθης πτώσης σε χρονικό πλαίσιο μεταξύ 1 έως 10 my (κύκλοι τρίτης τάξης σχετικής αλλαγής της στάθμης της θάλασσας), μπορούν να συσχετιστούν διαχρονικά και να μελετηθούν.

Μια ακολουθία αποτελείται από τέσσερα υποσυστήματα – υποακολουθίες (*systems tracts*), τα οποία απαντώνται με συγκεκριμένη σειρά: υποακολουθίες πτωτικής στάθμης της θάλασσας και σχηματισμού ορίων ακολουθίας (Falling Stage Systems Tract and Sequence Boundary Formation-FST), υποακολουθίες χαμηλής στάθμης (lowstand system tracts-LST), επικλυσίγενείς υποακολουθίες (transgressive system tracts-TST) και υποακολουθίες υψηλής στάθμης (highstand system tracts-HST). Αυτά τα συστήματα συνδέονται άμεσα με τη συμπεριφορά της σχετικής στάθμης του νερού εντός της λεκάνης. Οι υποακολουθίες είναι υποδιαίρεσις ακολουθιών που αποτελούνται από διακριτό σύνολο ιζηματογενών, αποθετικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών που διαφέρουν από τις παρακείμενες υποακολουθίες, και έχουν ευδιάκριτα όρια στα σεισμικά δεδομένα. Διαφορετικές υποακολουθίες θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν διαφορετικές φάσεις των ευστατικών αλλαγών της θάλασσας.

Η τοποθέτηση ενός συγκεκριμένου συνόλου στρωμάτων σε ένα συγκεκριμένο σύστημα γίνεται με τη χρήση χρονοστρωματογραφικών και λιθοστρωματογραφικών εργαλείων. Γενικά, οι υποακολουθίες αποτελούνται από όλα τα ιζήματα που συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου στάθμης της θάλασσας και, στο μέτρο του δυνατού, οριοθετούνται από χρονοστρωματογραφικούς δείκτες ή παγκόσμιες στρωματογραφικές τομές και σημεία (GSSP).

6.1. Υποακολουθία πτωτικής στάθμης της θάλασσας και σχηματισμού ορίων ακολουθίας (Falling Stage Systems Tract and Sequence Boundary Formation-FSST)

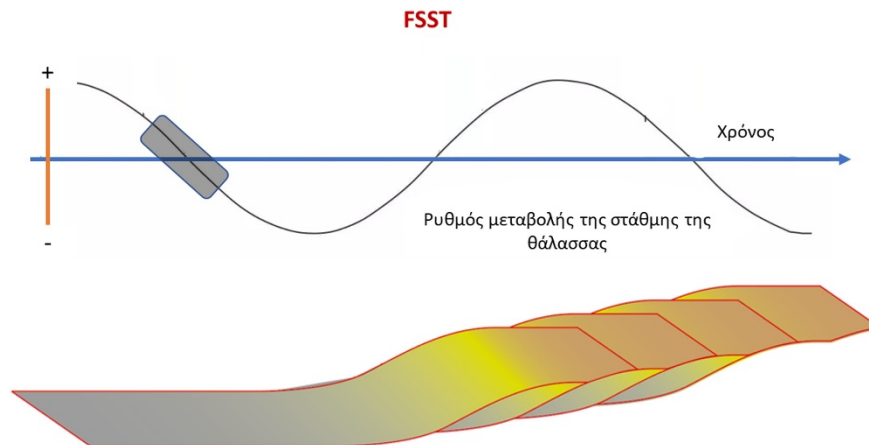
Το σύστημα αυτό αναφέρεται σε όλες τις αποσυρισγενείς (υποχωρούμενες) αποθέσεις που συσσωρεύτηκαν μετά την *έναρξη της σχετικής πτώσης της στάθμης της θάλασσας* και πριν από την *έναρξη της επόμενης σχετικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας*.

Η υποακολουθία πτωτικής στάθμης της θάλασσας (Εικόνα 7) είναι το προϊόν μιας εξαναγκασμένης απόσυρσης της στάθμης της θάλασσας και βρίσκεται ακριβώς στο όριο της ακολουθίας και καλύπτεται από τα υπερκείμενα ιζήματα της επόμενης υποακολουθίας χαμηλής στάθμης.

Αυτή η υποακολουθία χαρακτηρίζεται από μια ποικιλία προτύπων συσσώρευσης παραακολουθιών, συμπεριλαμβανομένων: κλινομορφές που εξελίσσονται προς τα κάτω, αλυσιδωτές παραακολουθίες και αποθέσεις ρών μάζας σε απομακρυσμένες περιοχές. Καθένα από αυτά τα πρότυπα συσσώρευσης παραακολουθιών εξαρτάται από το μοντέλο απόθεσης, τον ρυθμό παροχής ιζημάτων και τον ρυθμό της σχετικής πτώσης της στάθμης της θάλασσας.

Το FSST ορίστηκε και περιεγράφηκε για πρώτη φορά πλήρως από τους Plint και Nummedal, (2000). Η υποακολουθία αυτή ονομάζεται επίσης *υποσύστημα πρώιμης χαμηλής στάσης* (early lowstand systems tract - ELST) (Posamentier and Allen, 1999).

Παλαιότερες μελέτες που αφορούσαν στα υποσυστήματα και τα χαρακτηριστικά τους, συμπεριλαμβανομένων των Vail (1987) και Posamentier και Vail (1988), τοποθετούσαν μέρος του FSST στο υποσύστημα χαμηλής στάθμης (LST) το οποίο περιλάμβανε τις αποθέσεις που συσσωρεύονταν αμέσως μετά το μέγιστο ρυθμό σχετικής πτώσης της στάθμης της θάλασσας και χωρίζονταν σε τρεις ξεχωριστές αποθετικές μονάδες - ριπίδια του πυθμένα της λεκάνης, ριπίδια κλιτύος και σφηνοειδείς αποθέσεις χαμηλής στάθμης, οι οποίες υπέρκεινται του λεγόμενου ορίου ακολουθίας τύπου 1.

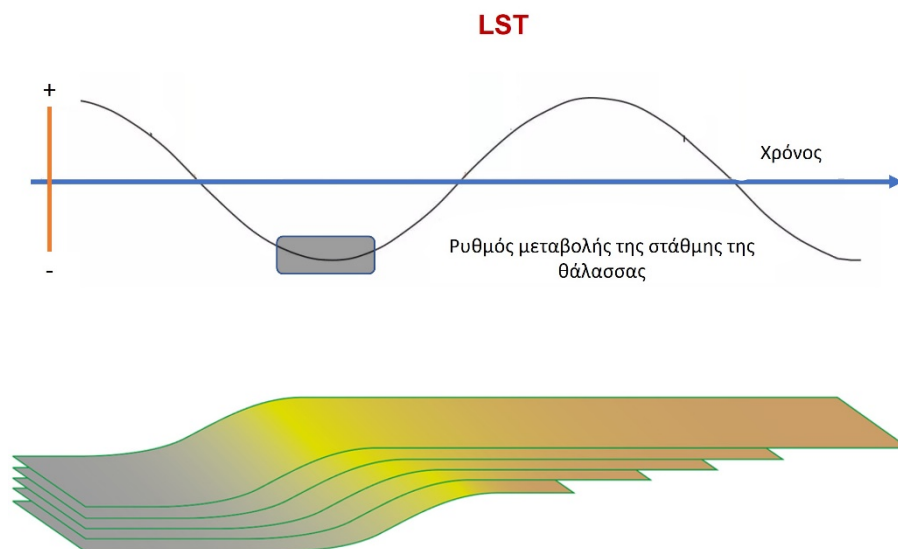


Εικόνα 7. Υποακολουθία πτωτικής στάθμης της θάλασσας και σχηματισμού ορίων ακολουθίας (Falling Stage Systems Tract and Sequence Boundary Formation-FSST)

6.2. Υποακολουθία χαμηλής στάθμης (Lowstand Systems Tracts-LST)

Η υποακολουθία χαμηλής στάθμης (Lowstand Systems Tracts) (Εικόνα 8) περιλαμβάνει τις αποθέσεις που συσσωρεύονται όταν η στάθμη της θάλασσας βρίσκεται στο χαμηλότερό της επίπεδο μέσα στη λεκάνη καθώς και κατά την έναρξη της ανόδου της σχετικής στάθμης της θάλασσας. Σε αυτό το σημείο του κύκλου της στάθμης της θάλασσας, η κύρια διαδικασία είναι η *υψηλού ρυθμού ιζηματογένεση*. Κύριο χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος είναι τα μεγάλα πάχους ιζήματα που αποτίθενται στο κέντρο της λεκάνης, οι αποθέσεις βαθέων υδάτων, όπως οι τουρβιδίτες, καθώς και η προέλαση της ακτογραμμής η οποία έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του διαθέσιμου χώρου. Η φάση αυτή οριοθετείται στο κάτω μέρος της από το όριο της ακολουθίας, που είναι πάντοτε μια διαβρωσιγενής ασυμφωνία που ακολουθεί την προηγούμενη υποακολουθία πτωτικής στάθμης και καλύπτεται από την επικλυσιογενή επιφάνεια (transgressive surface – TS) η οποία είναι η πρώτη σημαντική θαλάσσια πλημμυρική επιφάνεια σε μια ακολουθία. Η *επικλυσιογενής επιφάνεια - TS*, στις περισσότερες πυριτοκλαστικές και ορισμένες ανθρακικές ακολουθίες, σηματοδοτεί την έναρξη της περιόδου κατά την οποία ο ρυθμός της δημιουργίας του χώρου υποδοχής είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό παροχής ιζημάτων.

Η υποακολουθία χαμηλής στάθμης περιλαμβάνει τέσσερα στάδια απόθεσης που εναποτίθενται κατά τη διάρκεια περιόδων *ταχείας πτώσης της σχετικής στάθμης της θάλασσας* (ταχεία μείωση του διαθέσιμου χώρου), *υποθαλάσσια διάβρωση*, *επακόλουθη χαμηλή στάση* και *αργή άνοδος της στάθμης της θάλασσας* (αργή αύξηση του διαθέσιμου χώρου). Κατά τη διάρκεια και των τεσσάρων αυτών σταδίων, ο ρυθμός παροχής ιζήματος είναι επαρκής για την προέλαση της ακτογραμμής μέσα στη θαλάσσια λεκάνη.

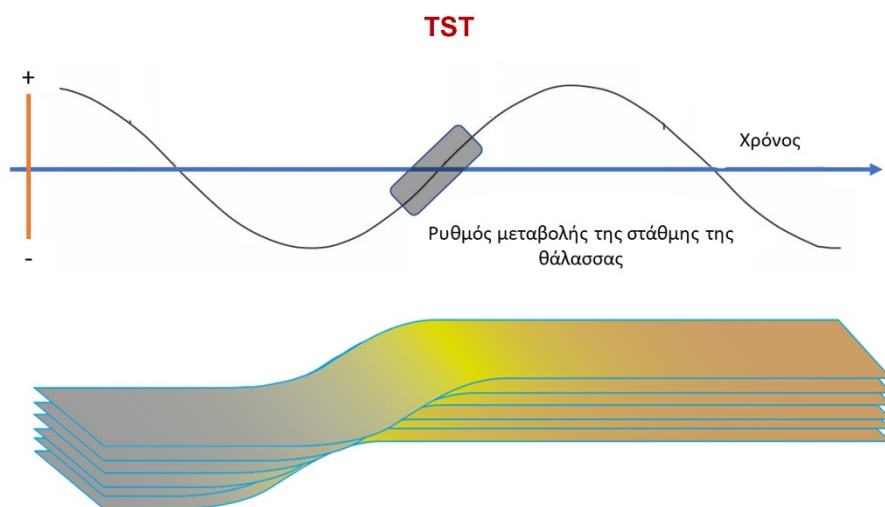


Εικόνα 8. Υποακολουθία χαμηλής στάθμης (Lowstand Systems Tracts)

6.3. Επικλυσιογενής υποακολουθία (Transgressive systems tracts-TST)

Η *επικλυσιογενής υποακολουθία* (Transgressive systems tracts) (Εικόνα 9) αποτίθεται κατά τη διάρκεια της ταχέως ανερχόμενης σχετικής στάθμης της θάλασσας (ταχεία αύξηση του διαθέσιμου χώρου) που ακολουθεί την απόθεση της υποακολουθίας χαμηλής στάθμης. Καθώς η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει, παρατηρείται υποχώρηση της ακτογραμμής και άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Η επικλυσιογενής υποακολουθία βρίσκεται ακριβώς πάνω στην επικλυσιογενή επιφάνεια (TS) που σχηματίζεται όταν τα ιζήματα επικαλύπτουν την υποκείμενη υποακολουθία χαμηλής στάθμης (LST) και επικαλύπτεται από τη μέγιστη επιφάνεια πλημμύρας (mfs) που σχηματίζεται όταν τα θαλάσσια ιζήματα φθάνουν στην πιο χερσαία θέση τους.

Οι ρυθμοί ιζηματογένεσης κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης είναι μεγαλύτεροι γύρω από το περιθώριο της λεκάνης και μικρότεροι στο κέντρο της. Τελικά, στο κέντρο της λεκάνης θα παρατηρηθεί σημαντική πτώση της ιζηματογένεσης και οι παράκτιες περιοχές θα παρουσιάσουν ενδείξεις παλιρροιακής επιρροής. Τέτοιες ενδείξεις μπορεί να περιλαμβάνουν την ανάπτυξη στρωματολίθων ή διαδοχικές αποθέσεις αργίλου πάνω σε εξατμιζόμενες μικρές αλυκές. Με λίγα λόγια, ο ρυθμός με τον οποίο δημιουργούνται νέοι διαθέσιμοι χώροι υπερβαίνει τον ρυθμό συσσώρευσης ιζημάτων με αποτέλεσμα την επίκλυση της θάλασσας. Συνήθως, η έναρξη της επίκλυσης είναι απότομη και μια βασική επικλυσιογενής επιφάνεια διαχωρίζει την υποακολουθία χαμηλής στάθμης από την επικλυσιογενή υποακολουθία.

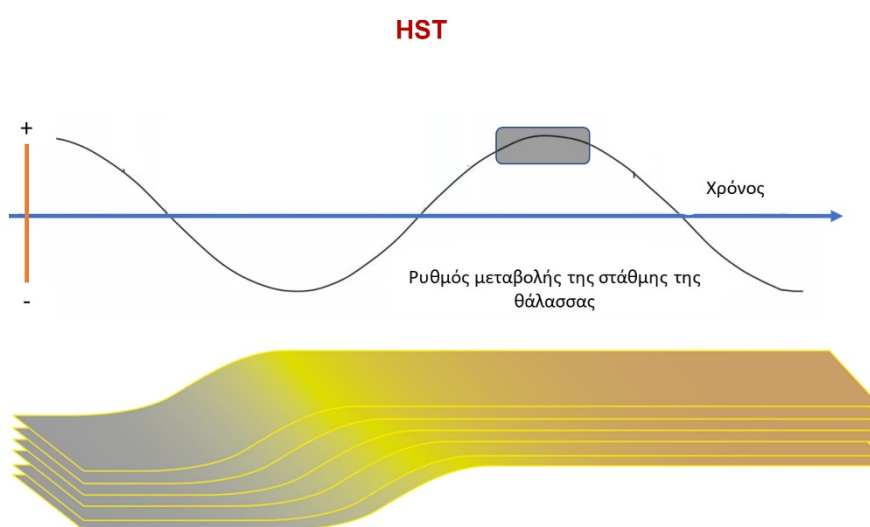


Εικόνα 9. Επικλυσιογενής υποακολουθία (Transgressive systems tracts)

6.4. Υποακολουθία υψηλής στάθμης (Highstand systems tracts – HST)

Η υποακολουθία υψηλής στάθμης (Highstand systems tracts) (Εικόνα 10) αποτελεί την ανώτερη υποακολουθία μιας στρωματογραφικής ακολουθίας και βρίσκεται ακριβώς πάνω απ' τη μέγιστη επιφάνεια πλημμύρας (mfs) που σχηματίζεται όταν τα θαλάσσια ιζήματα φτάνουν στην πιο χερσαία θέση τους και καλύπτεται από το ανώτερο όριο της ακολουθίας.

Κατά τη δημιουργία της υποακολουθίας υψηλής στάθμης, ο ρυθμός παροχής ιζημάτων υπερβαίνει το ρυθμό αύξησης του χώρου υποδοχής, με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται και πάλι ένα σύστημα προέλασης προς το κέντρο της λεκάνης. Μόλις αρχίσει πάλι η πτώση της στάθμης της θάλασσας, αρχίζει και πάλι η διάβρωση, και ένα νέο όριο ακολουθίας θα σχηματιστεί κατά τη διάρκεια της σταδίου πτώσης. Το τέλος ενός κύκλου της στάθμης της θάλασσας συμπίπτει με την έναρξη και πάλι της υποακολουθίας πτώσης και χαμηλής στάθμης.



Εικόνα 10. Υποακολουθία υψηλής στάθμης (Highstand systems tracts - HST)

6.5. Παρακολουθία

Η παρακολουθία είναι η βασική μονάδα της Στρωματογραφίας Ακολουθιών. Πρόκειται για μία σύμφωνη ακολουθία ιζηματογενών πετρωμάτων η οποία τυπικά αντιπροσωπεύει έναν κύκλο σχετικής ανόδου και πτώσης της στάθμης της θάλασσας σε χρονικό πλαίσιο μεταξύ 0,1 έως 1 my (κύκλοι τέταρτης ή πέμπτης ("ανώτερης") τάξης της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας ή μεταβολές στην εισροή ιζημάτων λόγω αυτοκυκλικών διεργασιών), που οριοθετείται από επιφάνειες θαλάσσιας πλημμύρας.

Η παρακολουθία ορίζεται ως μια σχετικά σύμφωνη διαδοχή ⁴γενετικά συγγενών στρωμάτων ⁵ή συνόλων στρωμάτων που οριοθετούνται από επιφάνειες θαλάσσιας πλημμύρας και τις αντίστοιχες επιφάνειές τους. Οι επιφάνειες πλημμύρας που οριοθετούν τις παρακολουθίες είναι το κρίσιμο στοιχείο του ορισμού τους: οι επιφάνειες πλημμύρας είναι απότομες επαφές που διαχωρίζουν τις υποκείμενες φάσεις ρηχότερων υδάτων από τις υπερκείμενες φάσεις βαθύτερων υδάτων. Πρόκειται για λιθολογική επαφή που σηματοδοτεί μια απότομη μετάβαση από τις εγγύτερες φάσεις (κάτω) στις απώτερες φάσεις (πάνω) και ενδεχομένως να συνδέονται με τις διακυμάνσεις των παγετώνων που καθοδηγούνται από εξωτερικούς

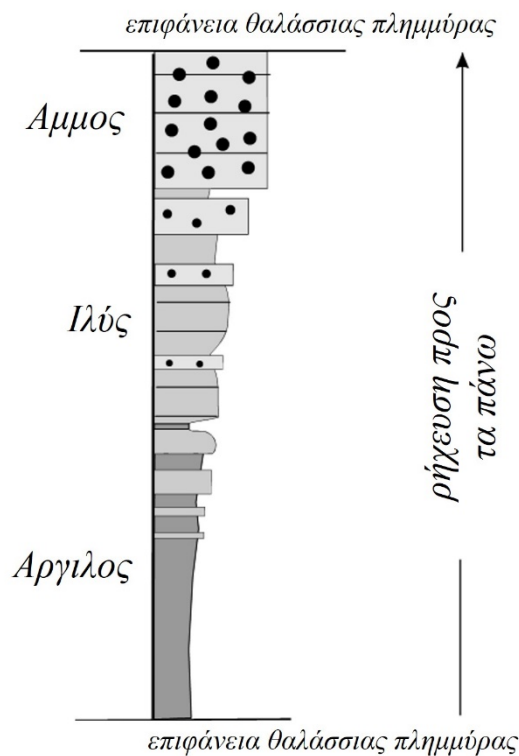
⁴ «Σχετικά σύμφωνη» σημαίνει ότι αν και μια παρακολουθία μπορεί να περιέχει σύντομες διακοπές στην απόθεση (διάστημα), δεν περιέχει σημαντικές περιόδους διάβρωσης ή μη απόθεσης.

⁵ «Γενετικά συγγενής» σημαίνει ότι όλες οι φάσεις μέσα σε μια παρακολουθία αποτέθηκαν σε πλευρική συνέχεια μεταξύ τους, δηλαδή ισχύει ο νόμος του Walther.

κύκλους Milankovich, αλλά θα μπορούσαν επίσης να αντανakλούν τεκτονική υποβύθιση ή αυτοκυκλικές διαδικασίες. Χαρακτηρίζονται από μη απόθεση ή μικρή διάβρωση καθώς και από την παρουσία σημαντικών ιχνοαπολιθωμάτων με τη μορφή λαγουμιών (burrows) από οργανισμούς, την απόθεση χονδρόκοκκου υλικού, όπως κελύφη, χάλικες, αυτογενή ορυκτά που σχηματίζονται από τη διάβρωση και την απομάκρυνση υλικού κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.

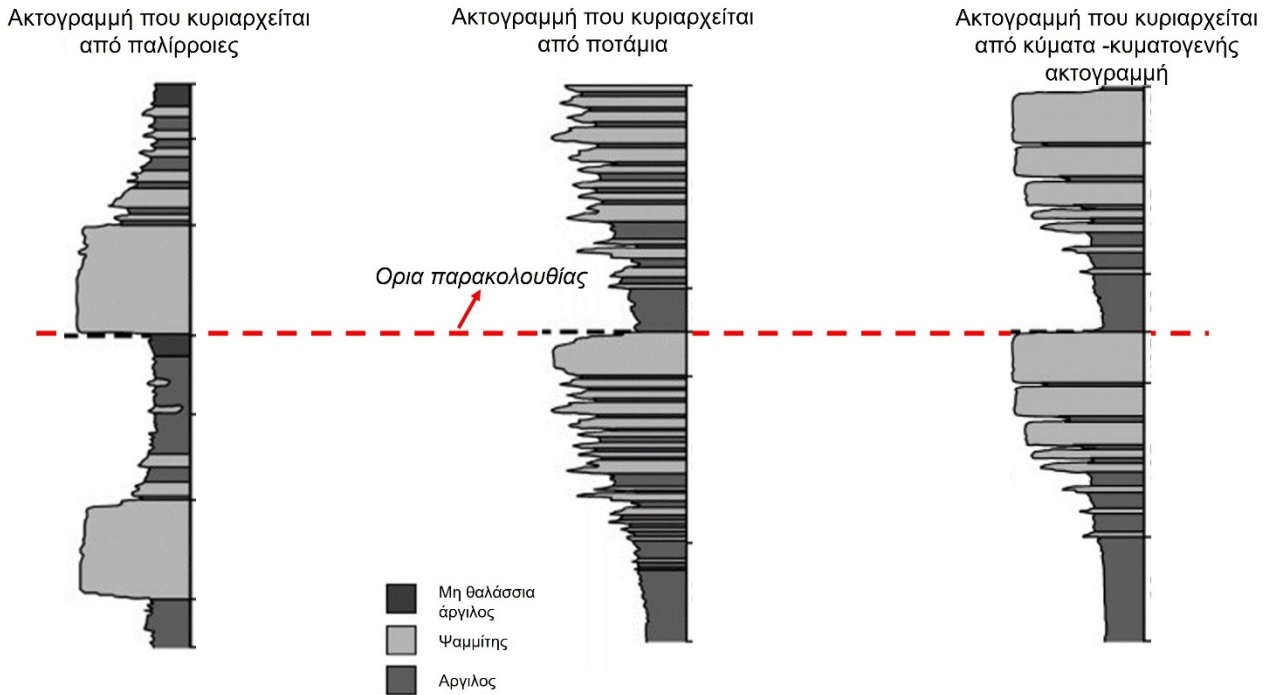
Η παρακολουθία είναι μια έννοια που αφορά παράκτιες και αβαθείς περιοχές όπου μπορούν να δημιουργηθούν πλημμυρικά φαινόμενα. Αντιπροσωπεύει ένα μοναδικό επεισόδιο προέλασης ιζήματος (μετακίνηση της ακτογραμμής προς τη θάλασσα), η οποία τυπικά διαρκεί δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια.

Οι περισσότερες παρακολουθίες είναι ασύμμετροι ιζηματογενείς κύκλοι που υποδεικνύουν ρήχευση προς τα πάνω (Εικόνα 11). Επιπλέον, οι περισσότερες παρακολουθίες τείνουν να έχουν πάχος από λίγα μέτρα έως μερικές δεκάδες μέτρα. Υπάρχουν, όμως, πολλές εξαιρέσεις και στις δύο αυτές περιπτώσεις.



Εικόνα 11. Βασική μονάδα της Στρωματογραφίας Ιζηματογενών Ακολουθιών είναι η παρακολουθία η οποία οριοθετείται από επιφάνειες θαλάσσιας πλημμύρας, και υποδεικνύει ρήχευση προς τα πάνω.

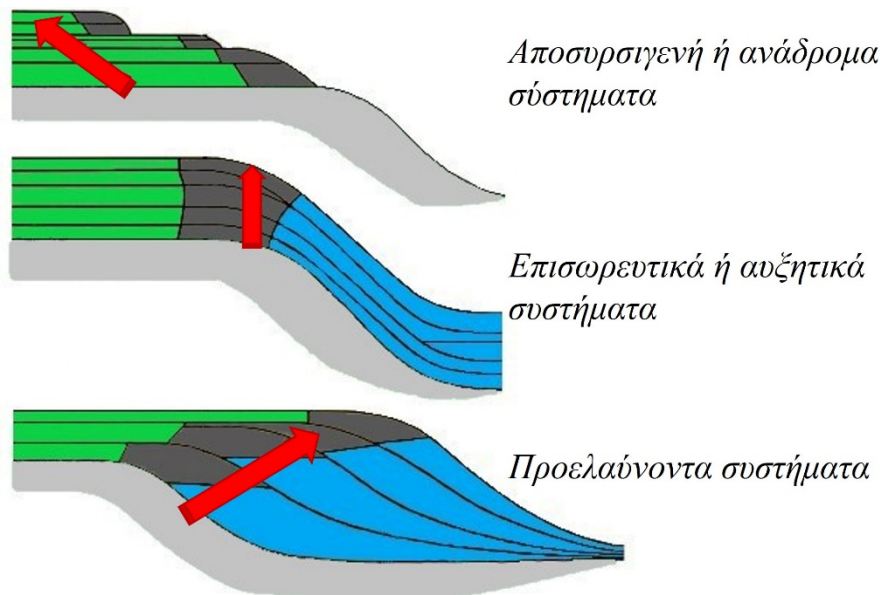
Σε αβαθή θαλάσσια περιβάλλοντα ιζηματογένεσης, οι παρακολουθίες συνήθως γίνονται αδρομερέστερες προς τα πάνω με αύξηση της περιεκτικότητας σε άμμο και γενική αύξηση στο πάχος των στρωμάτων άμμου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορούν να αναγνωριστούν παρακολουθίες οι οποίες γίνονται λεπτομερέστερες όσον αφορά στο μέγεθος του κόκκου προς τα πάνω. Για παράδειγμα, σε περιθωριακά-θαλάσσια περιβάλλοντα, η βάση της παρακολουθίας χαρακτηρίζεται από την απότομη εμφάνιση θαλάσσιας άμμου πάνω από θαλάσσιες αργίλους, πάνω από την οποία το ποσοστό άμμου μειώνεται και οι στρώσεις άμμου γίνονται πιο λεπτές. Αυτό το μοντέλο φάσεων είναι συχνό σε υποπαλιρροιακά - μεσοπαλιρροιακά έως υπερπαλιρροιακά περιβάλλοντα (Εικόνα 12).



Εικόνα 12. Διαφορετικά μοντέλα παρακολουθίας ανάλογα με το ενεργειακό καθεστώς

Η σχέση μεταξύ της δημιουργίας διαθέσιμου χώρου (A) και του ρυθμού ιζηματογένεσης (S) καθορίζει τον τρόπο διεύθυνσης των παρακολουθιών. Έτσι λοιπόν, ανάλογα με το ποια είναι σχέση του ρυθμού παροχής ιζήματος και του ρυθμού δημιουργίας διαθέσιμου χώρου, οι παρακολουθίες μπορεί να δημιουργούν (Εικόνα 13):

- 1 *Προελαύνοντα συστήματα:* όταν ο ρυθμός παροχής ιζήματος ξεπερνά τον ρυθμό δημιουργίας διαθέσιμου χώρου ($S > A$) και τα ιζήματα προωθούνται πλευρικά στη λεκάνη. Ο όρος *απόσυρση* εδώ θα χρησιμοποιηθεί μόνο για να αναφερθούμε ειδικά στη μετατόπιση της ακτογραμμής προς τη λεκάνη. Αυτή η απόσυρση δεν οφείλεται στην ταπείνωση της θαλάσσιας στάθμης.
- 2 *Επισωρευτικά ή αυξητικά συστήματα* όταν ο ρυθμός παροχής ιζήματος είναι περίπου ίσος με τον ρυθμό δημιουργίας διαθέσιμου χώρου ($S = A$). Τα ιζήματα επομένως παρουσιάζουν κατακόρυφη επισώρευση και δεν υπάρχει μετανάστευση ούτε προς την ξηρά ούτε προς τη λεκάνη.
- 3 *Αποσυρσιγενή ή ανάδρομα σύστημα* όπου ο ρυθμός παροχής ιζήματος είναι μικρότερος από τον ρυθμό δημιουργίας διαθέσιμου χώρου ($S < A$). Τα ιζήματα επομένως μεταναστεύουν προς τη ξηρά. Ο όρος *επίκλυση* χρησιμοποιείται εδώ μόνο για να αναφερθούμε στη μετατόπιση της ακτογραμμής προς την ξηρά, που δεν γίνεται όμως εξαιτίας ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης.



Εικόνα 13 Τρόπος διεύθυνσης των παρακολουθιών, ανάλογα με το ποια είναι σχέση του ρυθμού παροχής ιζήματος και του ρυθμού δημιουργίας διαθέσιμου χώρου

7. Εφαρμογή

Η εφαρμογή της στρωματογραφίας ακολουθιών συνήθως προκύπτει από τις ερμηνείες της μικρότερης κλίμακας αποθέσεων προς τις μεγαλύτερες. Η *ερμηνεία των επιμέρους στρωμάτων* όσον αφορά τις συνθήκες απόθεσης είναι το πρώτο βήμα αυτής της προσέγγισης, η οποία περιλαμβάνει την αξιολόγηση της τεκτονικής δραστηριότητας στο περιβάλλον, τον τύπο των ρευμάτων μεταφοράς (ρεύματα, κύματα, παλίρροιες, συνδυασμένη ροή), τη βιολογική επιβάρυνση και τα ιχνοαπολιθώματα κ.λπ. Αυτές οι πληροφορίες είναι κρίσιμες για το επόμενο βήμα, την *αναγνώριση των συνόλων στρωμάτων*, δηλαδή ομάδων στρωμάτων που αποτυπώνουν παρόμοιες συνθήκες απόθεσης, και την ερμηνεία αυτών των συνόλων στρωμάτων ως φάσεις που παραπέμπουν σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα απόθεσης. Τα βήματα αυτά είναι ζωτικής σημασίας, δεδομένου ότι τα σφάλματα σε αυτό το στάδιο οδηγούν συχνά σε σφάλματα στην ερμηνεία του σχετικού βάθους, γεγονός που επηρεάζει τον εντοπισμό των παρακολουθιών και των μορφών συσσώρευσης. Η σοβαρή ανάλυση των φάσεων είναι απαραίτητη για μια σωστή και καλά τεκμηριωμένη στρωματογραφία ακολουθιών.

Από την κατακόρυφη αλληλουχία των στρωμάτων θα πρέπει να προσδιοριστούν τα όρια των στρωμάτων τα οποία μπορεί να είναι διαβαθμισμένα ή απότομα. Τα διαβαθμισμένα όρια υποδηλώνουν γενικά μια επαφή που παραπέμπει στον νόμο του Walther, όπου τα γειτονικά σύνολα στρωμάτων αποτέθηκαν σε πλευρικά γειτονικά περιβάλλοντα. Τα απότομα όρια συνόλων στρωμάτων θα πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά για να διαπιστωθεί αν πρόκειται για επιφάνειες πλημμύρας (φάσεις βαθύτερων υδάτων που υπερκαλύπτουν απότομα φάσεις ρηχών υδάτων) ή για πιθανές επιφάνειες απότομης απόσυρσης (φάσεις ρηχών υδάτων που υπερκαλύπτουν απότομα φάσεις βαθύτερων υδάτων). Στη συνέχεια, οι επιφάνειες πλημμύρας χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των παρακολουθιών μεταξύ τους, ενώ οι επιφάνειες βεβιασμένης απόσυρσης χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των ακολουθιών υψηλής συχνότητας.

Τα πιθανά όρια της ακολουθίας θα πρέπει να προσδιορίζονται με την αναγνώριση των επιφανειακών ασυμφωνιών. Συχνά, οι επιφανειακές ασυμφωνίες επικαλύπτονται από μια συστάδα χονδρόκοκκων πυριτικοκλαστικών χαλικιών.

Από την αναγνώριση των συνόλων παρακολουθιών και των επιφανειακών ασυμφωνιών, μπορούν να αναγνωριστούν οι υποακολουθίες (LST, TST, HST, FSST) με βάση το πρότυπο συσσώρευσης και τη θέση τους μέσα σε μια ακολουθία. Επιπλέον, μπορούν επίσης να προσδιοριστούν οι κύριες στρωματογραφικές επιφάνειες, και συγκεκριμένα το όριο της ακολουθίας, η επικλυσιογενής επιφάνεια, η επιφάνεια μέγιστης πλημμύρας.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όλες αυτές οι επιφάνειες ή υποακολουθίες δεν μπορούν να εμφανιστούν με την ίδια σειρά σε μια εμφάνιση. Η έλλειψη μιας ή περισσότερων επιφανειών ή συστημάτων μπορεί να παρέχει σημαντικές ενδείξεις για τη σχετική θέση της απόθεσης εντός της λεκάνης.

Βιβλιογραφία/Αναφορές

- Barrell, J., (1917). Rhythms and the measurement of geologic time *Geol. Soc. Am. Bull.*, 28, pp. 745-904
- Blackwelder, E. (1909). The valuation of unconformities *J. Geol.*, 17, pp. 289-299
- Catuneanu O, Galloway WE, Kendall CGSC, et al. (2011). Sequence Stratigraphy: Methodology and nomenclature. *Newsletters Stratigr.*;44(3). doi:10.1127/0078-0421/2011/0011
- Catuneanu, Octavian; Abreu, V.; Bhattacharya, J. P.; Blum, M. D.; Dalrymple, R. W.; Eriksson, P. G.; Fielding, Christopher R.; Fisher, W. L.; Galloway, W. E.; Gibling, M. R.; Giles, K. A.; Holbrook, J. M.; Jordan, R.; Kendall, C. G. St.C.; Macurda, B.; Martinsen, O. J.; Miall, A. D.; Neal, J. E.; Nummedal, D.; Pomar, L.; Posamentier, H. W.; Pratt, B. R.; Sarg, J. F.; Shanley, K. W.; Steel, R. J.; Strasser, A.; Tucker, M. E.; and Winker, C., (2009). "Towards the Standardization of Sequence Stratigraphy". *Papers in the Earth and Atmospheric Sciences*. 238. <https://digitalcommons.unl.edu/geosciencefacpub/238>
- Franzel, M., Back, S., (2019). Three-dimensional seismic sedimentology and stratigraphic architecture of prograding clinoforms, central Taranaki Basin, New Zealand, *International Journal of Earth Sciences*, Vol. 108, Is. 2, 475-496.
- Grabau, A.W., (1913). *Principles of Stratigraphy*, New York A. G. Seiler and Company.
- Holland, S. (2018). An Online Guide to Sequence Stratigraphy. <https://strata.uga.edu/sequence/index.html>.
- Miall, A.D. (1995). Whither stratigraphy? *Sediment. Geol.*, 100, pp. 5-20
- Neal, J., Abreu, V., (2009). Sequence stratigraphy hierarchy and the accommodation succession method. *Geology* 37, 779-782.
- Nichols, G. (1999) *Sedimentology and Stratigraphy*. Blackwell Science Ltd., Oxford, 355 p.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, (1983). North American stratigraphic code. *AAPG Bulletin* 67, 841-875.
- Patruno S, Helland-Hansen W. (2018).Clinoforms and clinoform systems: Review and dynamic classification scheme for shorelines, subaqueous deltas, shelf edges and continental margins. *Earth-Science Rev.*;185. doi:10.1016/j.earscirev.2018.05.016
- Plint, A.G., Nummedal, D., (2000). The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. In: Hunt, D., Gawthorpe, R.L. (Eds.), *Sedimentary Response to forced regression*, vol. 172. *Geol. Soc. London Speci. Publ.*, pp. 1–17.
- Posamentier, H.W., Vail, P.R., (1988). eustatic controls on clastic deposition. II. Sequence and systems tract models. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), *Sea Level Changes—An Integrated Approach*, vol. 42. *SEPM Special Publication*, pp. 125–154.
- Posamentier, H.W., Allen, G.P., (1999). Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology* no. 7, 210 p
- Rich, J.L., (1951). Three critical environments of deposition and criteria for recognition of rocks deposited in each of them. *Geol. Soc. Am. Bull.* 62, 1-20
- Sloss, L.L., (1963). Sequences in the cratonic interior of North America: *Geological Society of America Bulletin*, v. 74, p. 93–114, doi:10.1130/0016-7606(1963)74[93:SITCIO]2.0.CO;2.
- Vail, P.R., (1987). Seismic stratigraphy interpretation procedure. In: Bally, A.W. (Ed.), *Atlas of Seismic Stratigraphy*, vol. 27. *American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology*, pp. 1–10.

Vail, P.R., Mitchum Jr., R.M., Todd, R.G., Widmier, J.M., Thompson III, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N. Hatlelid, W.G. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea-level C.E. Payton (Ed.), Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration, American Association of Petroleum Geologists Memoir, Vol. 26, pp. 49-212

Wheeler, H.E. (1958) Time-stratigraphy. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 42, 1047–1063

Zecchin M, Catuneanu O. High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves III: Applications to reservoir geology. Mar Pet Geol. 2015;62. doi:10.1016/j.marpetgeo.2014.08.025

