



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΟΥ Χ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

**Υποθαλάσσια ριπίδια: Τύποι ροών και υπό-περιβάλλοντα
ιζηματογένεσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023-24





ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ Χ. ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΟΥ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας ΑΕΜ:5695

Υποθαλάσσια ριπίδια: Τύποι ροών και υπό-περιβάλλοντα
ιζηματογένεσης

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια Προπτυχιακού προγράμματος,
Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

Επιβλέπων

Άγγελος Γ. Μαραβέλης, Αναπληρωτής Καθηγητής



© Παρασκευή Χ. Βασιλειάδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ, Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2023-24. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

© Paraskevi X. Vasileiadou, School of Geology, Dept. of Tectonic, Historical, and applied Geology, 2023-24. All right reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

1. Περίληψη	7
2. Abstract	7
3. Εισαγωγή.....	8
4. Μηχανισμοί δημιουργίας : Διάφοροι Τύποι Ροής σχετικά με τις Ιζηματογενείς Ακολουθίες των Υποπεριβαλλόντων Ιζηματογένεσης....	10
4.1. Κροκαλοπαγή.....	10
4.1.1. Κροκαλοπαγές πλούσιο σε κροκάλες (Clast-supported conglomerate).....	10
4.1.2. Κροκαλοπαγές πλούσιο σε συνδετικό υλικό (Matrix-supported conglomerate).....	11
4.2. Ψαμμίτης.....	12
4.2.1. Συμπαγής ψαμμίτης {Structureless sandstone (T_A)}.....	12
4.2.2. Ψαμμίτης με παράλληλη ελασμάτωση από ροές σύρσης {Spaced planar-laminated sandstone (T_{B-3})}.....	13
4.2.3. Ψαμμίτης με παράλληλη ελασμάτωση {Parallel laminated sandstone (T_{B-1})}.....	14
4.2.4. Ψαμμίτης με ελικοειδής ελασμάτωση {Convolute cross-laminated sandstone (T_C)}.....	14
4.2.5. Ψαμμίτης με αναρριχώμενη διασταυρούμενη ελασμάτωση (Climbing-ripple cross-laminated sandstone).....	15
4.3. Ιλυόλιθος.....	16
4.3.1. Συμπαγής ιλυόλιθος (Structureless mudstone).....	16
4.3.2. Ιλυόλιθος με διασταυρούμενη ελασμάτωση (Ripple Cross-laminated mudstone T_D).....	16
4.3.3. Ιλυόλιθος με παράλληλη ελασμάτωση (Parallel laminated mudstone).....	17
5. Κατηγοριοποίηση υποπεριβαλλόντων ιζηματογένεσης ενός συστήματος υποθαλάσσιων ριπιδίων.....	18

5.1. Εξωτερικό ριπίδιο (outer fan).....	18
5.1.1. Αποθέσεις στον άξονα των λοβών (lobe axis deposits).....	18
5.1.2. Αποθέσεις παραπλεύρως του άξονα των λοβών (lobe off axis deposits).....	19
5.1.3. Αποθέσεις στα περιθώρια των λοβών (lobe fringe deposits).....	22
5.1.4. Αποθέσεις στα απομακρυσμένα περιθώρια των λοβών (distal lobe fringe deposits).....	25
5.2. Εσωτερικό ριπίδιο (inner fan).....	26
5.2.1. Αποθέσεις εσωτερικών αναχωμάτων (internal levee deposits).....	27
5.2.1.1. Αποθέσεις ενδότερων εσωτερικών αναχωμάτων (inner internal levee deposits).....	27
5.2.1.2. Αποθέσεις εξώτερων εσωτερικών αναχωμάτων (outer internal levee deposits).....	30
5.2.2. Αποθέσεις εξωτερικών αναχωμάτων (external levee deposits).....	33
5.2.2.1. Αποθέσεις ενδότερων εξωτερικών αναχωμάτων (inner external levees deposits).....	33
5.2.2.2. Αποθέσεις εξώτερων εξωτερικών αναχωμάτων (outer external levee deposits).....	36
6. Βιβλιογραφία.....	39

1. Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των διαφορετικών τύπων ροών που ευθύνονται για την απόθεση του ιζήματος στα βαθιά αποθετικά περιβάλλοντα, καθώς και μια ανασκόπηση των πιο συχνών υποπεριβαλλόντων ιζηματογένεσης που συναντώνται στα συστήματα των υποθαλάσσιων ριπιδίων. Η ανασκόπηση περιγράφει και ερμηνεύει δέκα διαφορετικές ιζηματογενείς φάσεις (κροκαλοπαγή πλούσιο σε συνδετικό υλικό και κροκάλες, συμπαγή ψαμμίτη, ψαμμίτης με παράλληλη ελασμάτωση από ροές σύρσης, ψαμμίτης με παράλληλη ελασμάτωση, ψαμμίτης με αναρριχώμενη διασταυρούμενη ελασμάτωση, ψαμμίτης με ελικοειδής ελασμάτωση, συμπαγής ιλυόλιθος, ιλυόλιθος με διασταυρούμενη ελασμάτωση και ιλυόλιθος με παράλληλη ελασμάτωση). Επιπλέον, η ανασκόπηση περιγράφει και ερμηνεύει οχτώ διαφορετικά υποπεριβαλλόντα ιζηματογένεσης (στον άξονα των λοβών, παραπλεύρως του άξονα των λοβών, στα περιθώρια των λοβών, στα απομακρυσμένα περιθώρια των λοβών, ενδότερων και εξώτερων εσωτερικών αναχωμάτων, ενδότερων και εξώτερων εξωτερικών αναχωμάτων).

2. Abstract

This Honours thesis offers a literature review on the most common flow types that are responsible for the sediment deposition in deep water settings, along with a review on the most common depositional sub-environments that occur in deep-water submarine fan deposits. The review describes and interprets ten different sedimentary facies (matrix- and clast-supported conglomerate, structureless sandstone, spaced planar-laminated sandstone, parallel-laminated sandstone, climbing ripple-cross laminated sandstone, convolute cross-laminated sandstone, sandstone, structureless mudstone, ripple cross-laminated mudstone and parallel laminated mudstone). Further, the review describes and interprets eight depositional sub-environments (lobe axis, lobe off axis,

lobe fringe, distal lobe fringe, inner- and outer internal levee, inner and outer external levee).

3. Εισαγωγή

Οι παλαιά υποθαλάσσια ριπίδια, τα οποία είναι πλούσιοι σε άμμο δεν παρουσιάζουν μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον αλλά και μπορεί επίσης να έχουν σημαντική οικονομική αξία λόγω των πιθανών συσσωρεύσεων υδρογονανθράκων, όπως αυτές που βρέθηκαν στη Βόρεια Θάλασσα ή στην Καλιφόρνια (Mattern, 2005). Ωστόσο, η κατανόηση, ο εντοπισμός και η ανάλυση των πλούσιων σε άμμο υποθαλάσσιων ριπιδίων ήταν ιστορικά δύσκολη. Οι βασικές παρεμβάσεις σε αυτόν τον τομέα συχνά δημοσιεύονταν σε σχετικά δυσεύρετη βιβλιογραφία (π.χ. Mutti, 1979; Nilsen, 1984), και τα τελευταία 30 χρόνια έπρεπε να αντιμετωπιστούν σημαντικά προβλήματα. Ορισμένα βασικά προβλήματα αντιμετωπίστηκαν με: (1) τη συσχέτιση της παλαιάς και της σύγχρονης ορολογίας των ριπιδίων (Normark, 1978; Nilsen, 1980; Pickering et al., 1989), (2) συνειδητοποιώντας ότι τα ριπίδια πρέπει να μοντελοποιούνται ανάλογα με τη σύσταση του μεγέθους των κόκκων τους (Nilsen, 1980, 1984; Reading and Richards, 1994), (3) η αντίληψη ότι οι υποκειμενικά αναγνωρισμένες ασύμμετρες μέγα-ακολουθίες είναι σχεδόν ανύπαρκτες στα ριπίδια (π.χ. Nilsen, 1980; Anderton, 1995; Chen and Hiscott, 1999a; ανασκόπηση στο Mattern, 2002), και τέλος (4) η κατανόηση ότι η κλίμακα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τη σύγκριση παρατηρήσεων σε σύγχρονα και αρχαία ριπίδια (π.χ. Mutti and Normark, 1987). Επιπλέον, δεν υπάρχει ολοκληρωμένη κριτική επί του θέματος. Έτσι, ήταν δύσκολο, δυσνόητο και περίπλοκο να κατανοήσουμε αρκετές κύριες πτυχές των αρχαίων υποθαλάσσιων ριπιδίων πλούσιων σε άμμο. Σκοπός του παρόντος άρθρου είναι να συνθέσει μια απλή ανασκόπηση των πλούσιων σε άμμο υποθαλάσσιων ριπιδίων (Mattern, 2005). Πρώτον, θα περιγραφούν οι μηχανισμοί γένεσης των διαφορετικών τύπων ροών που εμφανίζονται στις ιζηματογενείς αποθέσεις των υποπεριβαλλόντων ιζηματογένεσης. Στη συνέχεια, θα συζητηθούν τα μοντέλα των ριπιδίων που εισάγουν τα μεγάλα εσωτερικά χαρακτηριστικά των ριπιδίων, τα οποία αποτελούν προϋπόθεση για την κατανόηση των μικρών εσωτερικών χαρακτηριστικών και των όψεων των ριπιδίων που συζητούνται

στη συνέχεια. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην ποσοτικοποίηση των διαστάσεων των σημαντικών χαρακτηριστικών του ριπιδίου (Mattern, 2005). Επιπλέον, επιχειρείται να αποσαφηνιστεί ποιες έννοιες της βιβλιογραφίας προέρχονται από την ανάλυση των πλούσιων σε άμμο ριπιδίων και είναι άμεσα εφαρμόσιμες στους πλούσιους σε άμμο ριπιδίων και ποιες έννοιες βασίζονται σε μελέτες μη πλούσιων σε άμμο ριπιδίων και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να εφαρμόζονται με προσοχή (αν εφαρμόζονται καθόλου) στους πλούσιους σε άμμο ριπιδίων. Οι διεργασίες περιγράφονται όποτε κρίνεται σκόπιμο. Αν και η έμφαση δίνεται στους αρχαίους υποθαλάσσιους ανεμιστήρες πλούσιους σε άμμο, περιλαμβάνονται σημαντικά δεδομένα από μελέτες σύγχρονων ανεμιστήρων πλούσιων σε άμμο και μερικά ενδιαφέροντα δεδομένα από υποθαλάσσιους ανεμιστήρες πλούσιους σε άμμο. Για να τοποθετηθούν οι πλούσιοι σε άμμο οπαδοί σε μια γενική προοπτική, συγκρίνονται ορισμένες πτυχές των πλούσιων σε λάσπη οπαδών (Mattern, 2005).

4. Μηχανισμοί γένεσης : Διαφορετικοί τύποι ροών που εμφανίζονται στις ιζηματογενείς αποθέσεις των υποπεριβαλλόντων ιζηματογένεσης

Τα υποθαλάσσια ριπίδια μπορούν να δημιουργηθούν μέσω διάφορων μηχανισμών κυρίως λόγω των ροών και των κυμάτων ρεύματος. Οι ιζηματογενείς δομές αποτίθενται με πλευρική μετανάστευση με την επίδραση των καναλιών, πάνω σε αναχώματα. Τα ιζήματα αυτά δηλώνουν την επίδραση των ρευμάτων. Οι ιζηματογενείς δομές διακρίνονται σε τρεις ακολουθίες, στα κροκαλοπαγή, στα ψαμμιτικά και στα λεπτόκοκκα ιζήματα. Η κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των εσωτερικών δομικών διαιρέσεων, των ιζηματογενών δομών και των διαφόρων τύπων ροής βοηθά τους γεωλόγους να ερμηνεύσουν τα περιβάλλοντα του παρελθόντος και των διεργασιών που διαμορφώνουν τα ιζηματογενή πετρώματα. Χαρακτηριστικά όπως η αναρριχόμενη ελασμάτωση, διασταυρούμενη ελασμάτωση, η διαβαθμισμένη στρώση, τα σημάδια κυματισμού και οι ρωγμές παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τις δυναμικές συνθήκες κατά την απόθεση των ιζημάτων, είτε επηρεάστηκαν από θαλάσσια ρεύματα, τον άνεμο ή άλλες γεωλογικές διεργασίες.

Παρακάτω θα αναφερθούμε στις διάφορες ιζηματογενείς δομές και στις αντίστοιχες σχέσεις που προκύπτουν από συγκεκριμένες ροές.

4.1. ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ

4.1.1. Κροκαλοπαγές πλούσιο σε κροκάλες (Clast-supported conglomerate)

Περιγραφή

Οι κροκάλες καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος σε αυτήν την υποδιαίρεση των δομών. Αποτελούνται κυρίως από ψαμμίτη, ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους το μέγεθος τους κυμαίνεται από 0,5 εκατοστά έως και 12 εκατοστά σε διάμετρο, είναι υποστρογγύλα έως καλά στρογγυλεμένα. Ο ψαμμίτης αντιπροσωπεύει το συνδετικό υλικό αυτού, ο οποίος βρίσκεται συμπαγής και σε διακεκομμένη οριζόντια ελασμάτωση (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Το πλούσιο σε κροκάλες κροκαλοπαγές σχηματίζεται στα περιθώρια μιας χαλικώδους ροής σαν αποτέλεσμα του παγώματος (σταματήματος της ροής) λόγω τριβής (Mutti et al., 2003). Οι περισσότερες ισχυρές ροές που μπορούν να σχηματίσουν αυτόν τον τύπο του κροκαλοπαγούς είναι συνήθως τυρβώδεις (Talling et al., 2012a). Οι συγκεκριμένες αποθέσεις προέρχονται από υψηλής πυκνότητας τουρβιδιτικά ρεύματα (Hubbard et al., 2009). Μπορεί επίσης να συνδέονται και με ροές που αυξάνουν την ενέργεια τους ή με πλήρωση αυλάκων, όπου η προοδευτική αύξηση του αδρόκοκκου υλικού προκαλεί την απόθεση παχύτερων και πιο αδρόκοκκων στρωμάτων (Talling et al., 2012a).

4.1.2. Κροκαλοπαγές πλούσιο σε συνδετικό υλικό (Matrix-supported conglomerate)

Περιγραφή

Έχει παρόμοια λιθολογική σύσταση με τις κροκάλες που αναφέραμε παραπάνω. Χαρακτηρίζεται από υπό-στρογγυλεμένα έως καλά στρογγυλεμένα κροκαλοπαγή με διάμετρο από 0,5 έως και 12 εκατοστά. Επιπλέον κ εξίσου σημαντικό είναι ότι δεν αναγνωρίζεται κεραμωτή ταξιθέτηση, καθώς οι κροκάλες επιπλέουν στο συνδετικό ψαμμιτικό υλικό (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Η έλλειψη οργάνωσης ανάμεσα στις κροκάλες δηλώνει την περιορισμένη μεταφορική ικανότητα πριν από την απόθεση τους, η οποία ακολουθείται από γρήγορη κάλυψη από την εξελισσόμενη ροή (Kane et al., 2007). Το πλούσιο σε άμμο συνδετικό υλικό υπονοεί μεταφορά από ροές που βρίσκονται στο μεταβατικό στάδιο (ανάμεσα σε τυρβώδεις και γραμμικές, Kane et al., 2007). Η περιορισμένη εμφάνιση λεπτόκοκκου ιζήματος (ιλύς) υποδηλώνει μεταφορά υλικού στον πυθμένα της ροής και επαναεπεξεργασία (Walker, 1975, 1978). Επιπλέον, είναι πιθανόν να έχει προέρθει από ένα κροκαλοπαγές πλούσιο σε κροκάλες μέσα από διεργασίες απομάκρυνσης και σύρσης (Collinson Thompson, 1988; Kane et al., 2007).

4.2. ΨΑΜΜΙΤΕΣ

4.2.1. Συμπαγής Ψαμμίτης {Structureless sandstone (T_A)}

Περιγραφή

Υπάρχουν επίπεδα συγχώνευσης, όπου υπάρχουν στρώματα τα οποία είναι διαβαθμισμένα αλλά κυρίως επικρατούν αδιαβάθμητα. Το πάχος των στρωμάτων αναπτύσσεται έως και 3,5 μέτρα και σε μερικά μέρη εμφανίζονται και ιλυολιθικές κροκάλες μεγέθους 0,5 έως 2 εκατοστά (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

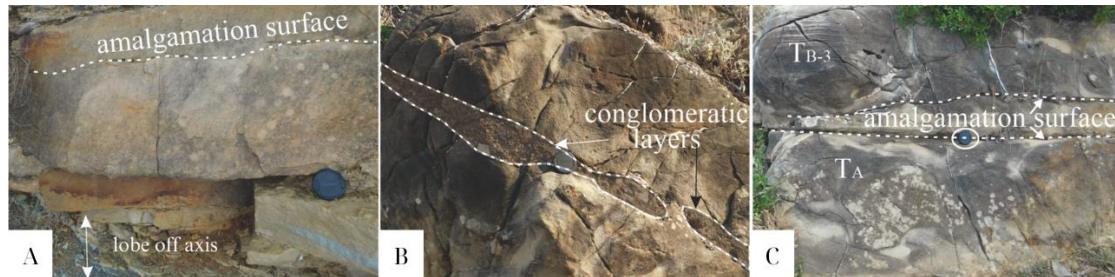
Ο συμπαγής ψαμμίτης (T_A) μπορεί να αποτεθεί σταδιακά από υψηλής πυκνότητας τουρβιδικά ρεύματα, τα οποία προκύπτουν από ένα λεπτό στρώμα στη βάση της ροής που οδηγείται από την υπερκείμενη ροή (Talling et al., 2012b). Ο συμπαγής ψαμμίτης σχετίζεται με την επιβράδυνση της ροής και την ταχεία απόθεση του ιζήματος οι οποίες συνδέονται με επέκταση της ροής (Kneller and Branney, 1995; Kane et al., 2007). Εναλλακτικά, ο συγκεκριμένος τύπος ψαμμίτη είναι πιθανόν να συνδέεται με ροές που περιέχουν μεγάλη ποσότητα ιζήματος και χαρακτηρίζονται από σταθερούς ρυθμούς απόθεσης ιζήματος προς τα επάνω (Lowe, 1988; Leclair and Arnott, 2005; Kane et al., 2007). Η ύπαρξη κροκάλων στη βάση του συμπαγούς ψαμμίτη θεωρείται ότι είναι το αποτέλεσμα της σταδιακής διάβρωσης του στρώματος του υποκείμενου ιλυόλιθου (Walker, 1978; Kane et al., 2007).

4.2.2. Ψαμμίτης με παράλληλη ελασμάτωση από ροές σύρσης

{Spaced planar-laminated sandstone (T_{B-3})}

Περιγραφή

Αυτή η υποδιαίρεση του ψαμμίτη εμφανίζεται με πάχος μερικών εκατοστών και υποδηλώνει είτε την βάση των στρωμάτων T_A (εικόνα 1C),



Εικόνα 1 Εξωτερικές φωτογραφίες υπαίθρου των αμμούχων αποθέσεων (sandy channel fill)¹, των κροκαλοπαγών αποθέσεων (conglomeratic channel fill)² μαζί με τις αποθέσεις δίπλα από τον άξονα του λοβού (lobe off axis). Α) Μέσης στρώσης ψαμμίτη με επιφάνειες συγχώνευσης σε χωρίς δομή ψαμμίτη που επικαλύπτει λεπτόκοκκες αποθέσεις (sandy channel fill). Β) Κροκαλοπαγές στρώμα στη βάση της στρώσης ψαμμίτη (sandy channel fill). C) Ανοδική μετάβαση από τον συμπαγή ψαμμίτη σε παράλληλη ελασμάτωση ψαμμίτη (Botziolis et al., 2021).

είτε βρίσκεται από πάνω τους. Τα λεπτόκοκκα ιζήματα επικάθονται στην βάση και στην συνέχεια, προς τα πάνω βρίσκονται απότομα τα χονδροκόκκα ιζήματα του ψαμμίτη (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Ο συγκεκριμένος τύπος ψαμμίτη T_{B-3} , μπορεί να σχετίζεται με απόθεση από ροές σύρσης που αντιπροσωπεύουν πυκνότερες ροές και χαρακτηρίζονται από υψηλότερους ρυθμούς απόθεσης ιζήματος προς τα επάνω (Botziolis et al., 2021). Αυτού του τύπου η ελασμάτωση σχηματίζεται από επαναλαμβανόμενη κατάρρευση των στρωμάτων που προέρχονται από γραμμική ροή και που βρίσκονται στο κατώτερο τμήμα της ροής (Sumner et al., 2008; Talling et al., 2012b). Μπορεί επίσης να σχετίζονται με έντονα κυμαινόμενες υδροδυναμικές συνθήκες και έντονους κύκλους διάβρωσης/απόθεσης σε μεγάλα τουρβιδικά ρεύματα (Hiscott, 1994b, 1995).

¹ Προέρχονται από λεπτόκοκκο έως πολύ χονδροκόκκο ψαμμίτη, πάχους (0,5-2,0 m) και εξελίσσεται προς τα πάνω σε ψαμμίτη με μεσαίες έως λεπτές στρώσεις. Κροκαλοπαγή που υποστηρίζονται από κροκαλοπαγή βρίσκονται στη βάση όσο και μέσα σε στρώματα ψαμμίτη και εμφανίζουν διαβρωτικές επαφές με τα υποκείμενα ιζήματα (Botziolis et al., 2021, Εικόνα 1B).

² Είναι κροκαλοπαγή στρώματα πλούσια σε κροκάλες με παρουσία δομών πέλματος στη βάση των στρωμάτων. Παρουσιάζει τάσεις λείανσης και αραίωσης προς τα πάνω με συχνές συγχωνεύσεις διαδοχικών αποθέσεων (Botziolis et al., 2021).

4.2.3. Ψαμμίτης με παράλληλη ελασμάτωση {Parallel laminated sandstone (T_{B-1})}

Περιγραφή

Ο ψαμμίτης είναι λεπτόκοκκος έως μεσαίου μεγέθους ιζήματος στην παράλληλη ελασμάτωση. Απαρτίζεται από στρώματα πάχους περίπου 2 χιλιοστών (Botziolis et al., 2021, Εικόνα 2C).

Ερμηνεία

Ο ψαμμίτης με παράλληλη ελασμάτωση (T_{B-1}) μπορεί να σχηματιστεί τόσο από υψηλής πυκνότητας (ροές σύρσης), όσο και από υψηλής πυκνότητας ροές (μικρού πλάτους κύματα στη βάση της ροής, Kneller and Branney, 1995; Hiscott and Middleton, 1979, 1980; Talling et al., 2012a; Sumner et al., 2012). Παρόλο που γενικά θεωρείται ότι σχηματίζεται εξαιτίας της δράσης ροών σύρσης, οι μηχανισμοί που ευθύνονται για το σχηματισμό του παραμένουν ακόμη αβέβαιοι (Talling et al., 2012a).

4.2.4. Ψαμμίτης με ελικοειδής ελασμάτωση {Convolute cross-laminated sandstone (T_C)}

Περιγραφή

Στον συγκεκριμένο ψαμμίτη επικρατούν μικρές κανονικές πτυχές, οι οποίες επικάθονται στο άνω μέρος της μονάδας αυτής (T_C). Οι πτυχές ανάλογα στο μέρος που βρίσκονται θα είναι είτε ασθενείς είτε ισχυρές. Ασθενείς πτυχές έχουμε προς τα πάνω και προς τα κάτω, όπου είναι οι απαραμόρφωτες στρώσεις, ενώ στο ενδιάμεσο στα παραμορφωμένα στρώματα έχουμε τις ισχυρότερες πτυχώσεις, όπου έχουν ισχυρότερο πλάτος. Αυξάνονται προς τα παχύτερα στρώματα κατά μήκος. (Botziolis et al., 2021, Εικόνα 2B).

Ερμηνεία

Ο ψαμμίτης με ελικοειδής ελασμάτωση είναι δυνατόν να εμφανιστεί όταν το τμήμα με τη διασταυρούμενη ελασμάτωση (T_C) αποτελεί τη βάση του ψαμμιτικού στρώματος, αντανakλώντας έτσι τη γρήγορη απόθεση των ρυτιδώσεων άμμου (Hiscott, 1994a,b;

Kneller and McCaffrey, 1999), αλλά και την απομάκρυνση των αρχικών δομών σύρσης (Lowe, 1975; Kane et al., 2007). Επιπλέον, είναι δυνατόν να εμφανιστεί όταν το τμήμα T_C καλύπτει το T_B (παράλληλη ελασμάτωση) ή/και το T_A (συμπαγής) και συνδέεται με την ανοδική κίνηση του νερού (Talling et al., 2012a). Αυτή η τάση για παραμόρφωση των ιζημάτων θεωρείται ότι σχετίζεται με τη χαμηλή διαπερατότητα της λεπτόκοκκης άμμου που σχηματίζει τις ρυτιδώσεις (Middleton, 1970), παρόλο που αυτές εμφανίζουν συχνά ιδιαίτερα καλή ταξινόμηση (Kuenen and Humbert, 1969).

4.2.5. Ψαμμίτης με αναρριχώμενη διασταυρούμενη ελασμάτωση (Climbing-ripple cross-laminated sandstone)

Περιγραφή

Το μέγεθος των κόκκων στην αναρριχώμενη στρώση μειώνεται προς τα πάνω, ενώ συντηρείται ομοιόμορφη η διαβάθμιση τους σε όλη την έκταση, αλλά σε άλλες περιπτώσεις δεν υπάρχει αισθητή μεταβολή του μεγέθους των συσσωρευμένων κόκκων. Το μοτίβο αυτό τυποποιείται κυρίως από την γωνία αναρρίχησης (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Η αναρριχώμενη διασταυρούμενη ελασμάτωση (T_C) αποτίθεται από τα ρεύματα όταν η καθίζηση του αιωρούμενου φορτίου της ροής πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την μεταφορά υλικού στη βάση της ροής (Allen and Leeder, 1980; Baas, 2004; Sumner et al., 2008). Η διαδικασία αυτή είναι το αποτέλεσμα της απόθεσης αιωρούμενου υλικού μέσω μη ομοιόμορφων ρευμάτων ενώ αυτά διέρχονται από το πεδίο σταθερότητας των ρυτιδώσεων (Allen and Leeder, 1980; Baas, 2004; Sumner et al., 2008). Άρα, οι ανάντη ρυτιδώσεις ρεύματος αναρριχώνται επάνω από την επόμενη ρυτίδωση που βρίσκεται στα κατάντη (Jobe et al., 2012), αναπαριστώντας τη μεταφορά του φορτίου στη βάση της ροής από ένα κατώτερης ροής μονοκατευθυντήριο ρεύμα (Raudkivi, 1963; Allen, 1968).

4.3. ΙΛΥΟΛΙΘΟΣ

4.3.1. Συμπαγής Ιλυόλιθος (Structureless mudstone)

Περιγραφή

Συγκροτεί στρώματα με πάχος μέχρι και 5 εκατοστά και επικάθεται πάνω από τις ψαμμιτικές μονάδες (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Η απουσία διαβάθμισης (T_{E-3}) μπορεί να σχετίζεται με μαζική απόθεση από ένα υψηλής συγκέντρωσης στρώμα πηκτής ή ρευστής ιλύος. Είναι πολύ πιθανόν ότι αυτά τα πυκνά στρώματα εξελίχθηκαν, μέσω καθίζησης, από μια αρχικά πιο αραιή αιώρηση (Mulder and Alexander, 2001; Talling et al., 2012a). Η παρουσία του διαβαθμισμένου τμήματος (T_{E-2}) μπορεί να οφείλεται σε καθίζηση διαχωρισμού, αλλά χωρίς την επανεπεξεργασία της ιλύος και την ανάπτυξη επαναλαμβανόμενης και καλά καθορισμένης ελασμάτωσης στα στρώματα που βρίσκονται στη βάση της ροής (Talling et al., 2012b). Μια τέτοια καθίζηση διαχωρισμού θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μέσω διαφορεικής καθίζησης μεμονωμένης ιλύος ή όταν ένα πήκτωμα (ζελέ) χαμηλής αντοχής δεν είναι ικανό να μεταφέρει τους χονδρότερους κόκκους, και συνεπώς αυτοί καθιζάνουν (Talling et al., 2012b).

4.3.2. Ιλυόλιθος με διασταυρούμενη ελασμάτωση (Ripple Cross-laminated mudstone T_D)

Περιγραφή

Παρατηρείται ότι συνήθως η ζώνη αυτή του ιλυολίθου σχηματίζει στρώματα μερικών εκατοστών και βρίσκεται πάνω από τον ψαμμίτη με διασταυρούμενη ελασμάτωση (T_C) ενώ έχει μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων και πιο διακριτή εμφάνιση από την οριζόντια ελασμάτωση του ψαμμίτη (e. g. Walker, 1967; 1978; Piper, 1978; Allen, 1982; Komar, 1985; Sylvester και Lowe, 2004) (e. g. Bouma, 1962; Baas, 2000; Talling et al., 2007b, c; Sumner et al., 2012).

Ερμηνεία

Το τμήμα με την παράλληλη ελασμάτωση (T_D) σε μη συνεκτικά ιζήματα σχηματίζεται από φθίνουσα αραιή ροή (Lowe, 1988), όταν η επανεπεξεργασία του φορτίου κοίτης

είναι μικρής διάρκειας και σχηματίζει κυματισμούς ή θίνες (Talling et al., 2012a). Η προέλευση της παράλληλης ελασμάτωσης (υποδιαίρεση T_D Bouma) σε μη συνεκτικά ιζήματα έχει αποδοθεί στο κατώτερο τμήμα ροής (Harms και Fahnestock, 1965; Walker, 1965).

4.3.3. Ιλυόλιθος με παράλληλη ελασμάτωση (Parallel laminated mudstone)

Περιγραφή

Η παράλληλη ελασμάτωση του ιλυολίθου κατά κανόνα συγκροτείται μαζί με συμπαγή ψαμμίτη και δημιουργούν μαζί στρώματα πάχους 2-5 εκατοστά. Ο ιλυόλιθος καταλαμβάνει περίπου πάχος 0,5 έως 2 χιλιοστά (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Η παράλληλη ελασμάτωση (T_{E-1}) προκύπτει από τη διάσπαση συσσωματωμάτων που περιέχουν ιλύ σε ένα έντονα τυρβώδες κατώτερο τμήμα ροής, κάτω από ένα πολύ αραιό αιώρημα (Stow and Bowen, 1978). Η διάσπαση των συσσωματωμάτων προκαλεί την απόθεση του πιο αδρόκοκκου ιλυολίθου, η οποία ακολουθείται από σταδιακή καθίζηση της ιλύος και προκαλεί την διακοπή της τυρβώδους ροής και τη γρήγορη απόθεση ιλύος (Talling et al., 2012a). Η διάσπαση αυτή των συσσωματωμάτων και η απόθεση ιλύος μπορεί να πραγματοποιήθηκαν στη βάση διάτμησης ενός υψηλότερης συγκέντρωσης ρευστού στρώματος ιλύος (McCave and Jones, 1988), έτσι ώστε η αποθετική δομή να μοιάζει σε γενικές γραμμές με τη δομή της κατακόρυφης ροής (Baas et al., 2009).

5. Κατηγοριοποίηση υποπεριβαλλόντων ιζηματογένεσης ενός συστήματος υποθαλάσσιων ριπιδίων

Τα υποπεριβάλλοντα ιζηματογένεσης των υποθαλάσσιων ριπιδίων ανήκουν σε περιβάλλον βαθιάς θάλασσας, ξεκινούν από την βάση της κατωφέρειας όπου βρίσκεται περίπου στα 500 μέτρα βάθος και εκτείνονται περίπου μέχρι και τα 2000 μέτρα. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ριπιδίων, στα εξωτερικά ριπίδια και στα εσωτερικά ριπίδια (Εικόνες 8 και 9). Το κάθε ένα από αυτά περιέχει και ένα σύνολο υποπεριβαλλόντων ιζηματογένεσης.

5.1. Εξωτερικό ριπίδιο (outer fan)

5.1.1. Αποθέσεις στον άξονα των λοβών (lobe axis deposits)

Περιγραφή

Οι αποθέσεις του άξονα λοβού ερμηνεύονται ως τα παχιά και χονδρόκοκκα συγχωνευμένα στρώματα ψαμμίτη, που παρουσιάζουν αύξηση του πάχους των ψαμμιτικών στρωμάτων προς τα επάνω (Botziolis et al., 2021). Τα στρώματα του ψαμμίτη και του ιλυόλιθου που είναι συμπαγή αποτελούν προϊόν απόθεσης από υψηλής πυκνότητας τουρβιδικά ρεύματα (Kneller and Branney, 1995), ενώ αυτά με παράλληλη ελασμάτωση και απόθεση από αιώρηση προέρχονται από χαμηλής πυκνότητας ρεύματα (McCaffrey and Kneller, 2001), αντίστοιχα. Οι επιφάνειές συγχώνευσης του ψαμμίτη σχηματίζονται από το πέρασμα υψηλής πυκνότητας τουρβιδικών ρευμάτων με έντονη διαβρωτική ικανότητα (Lowe, 1982). Τα υποπεριβάλλοντα απόθεσης υποδηλώνεται και από την αύξηση του πάχους και του κοκκομετρικού μεγέθους προς τα επάνω (Prelat et al., 2009), από το περιθώριο των λοβών σε αποθέσεις παραπλεύρως του άξονα και τέλος σε αποθέσεις στον άξονα των λοβών (Mutti and Ricci-Lucchi, 1978; Walker, 1978).

Ερμηνεία

Οι αποθέσεις στον άξονα των λοβών ερμηνεύονται ως τα παχιά και τα χονδρόκοκκα στρώματα του ψαμμίτη με τις επιφάνειες συγχώνευσης του με τον ιλυόλιθο, όπου προς τα πάνω γίνεται όλο και μεγαλύτερη πάχυνση των στρωμάτων (Botziolis et al., 2021). Τα στρώματα του ψαμμίτη και του ιλυόλιθου δεν έχουν δομή. Παρουσιάζουν προϊόν απόθεσης από τουρβιδικά ρεύματα υψηλής πυκνότητας (Kneller και

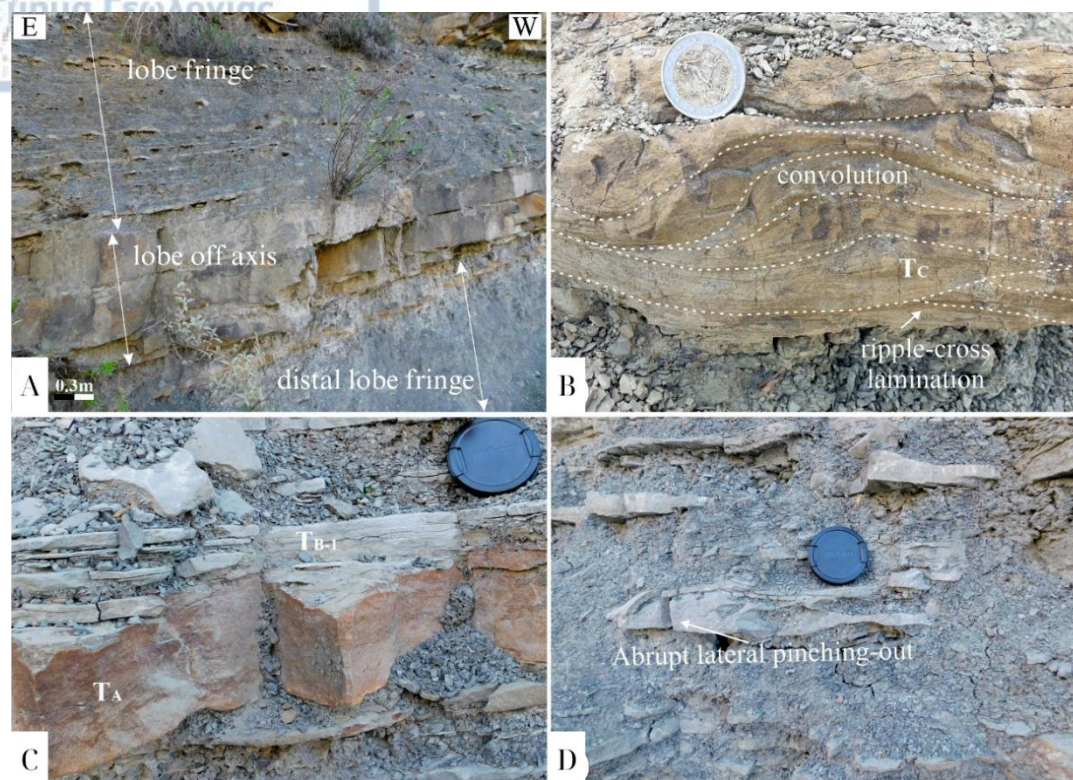
Branney, 1995), με παράλληλη ελασμάτωση και απόθεση από αιώρηση και αποτελούνται από ρεύματα χαμηλής πυκνότητας (McCaffrey και Kneller, 2001), αντίστοιχα. Οι επιφάνειες συγχώνευσης του ψαμμίτη παρουσιάζουν διαβρωτικά τουρβιδικά ρεύματα υψηλής πυκνότητας (Lowe, 1982), και για αυτόν το λόγο ο ιλυόλιθος διαβρώνεται από αυτά. Τα υποπεριβάλλοντα απόθεσης συμπίπτουν με την χονδροποίηση και την πάχυνση των στρωμάτων προς τα πάνω όπου ερμηνεύονται ως αποθέσεις του άξονα των λοβών (Prelat et al., 2009), τα περιθώρια των λοβών σε αποθέσεις παραπλεύρως του άξονα και τέλος σε λοβοαξονικές αποθέσεις (Mutti και Ricci-Lucchi, 1978; Walker, 1978).

5.1.2. Αποθέσεις παραπλεύρως του άξονα των λοβών (lobe off axis deposits)

Περιγραφή

Οι αποθέσεις αυτές σχηματίζουν αλληλουχία 3 έως 20 μέτρα μαζί με τις λοβοαξονικές, των περιθωρίων και των απομακρυσμένων περιθωρίων των λοβών (Botziolis et al., 2023b). Έχει μέτριο έως λεπτό στρώμα με πάχος από 1 μέτρο έως 5 μέτρα. Σχηματίζεται από λεπτόκοκκο ιλυόλιθο που παρεμβάλλεται μέσα σε ψαμμίτη μεσαίας-παχιάς στρώσης 0,1-0,5 μέτρα (Botziolis et al., 2023b, Εικόνα 3Α, 4C). Η βάση των στρωμάτων είναι απότομη με διαβρωτικά ρεύματα που αντιπροσωπεύουν δομές πέλματος με ίχνη

βιοαναμόχλευση (Botziolis et al., 2021; 2023b, Εικόνα 2Α).

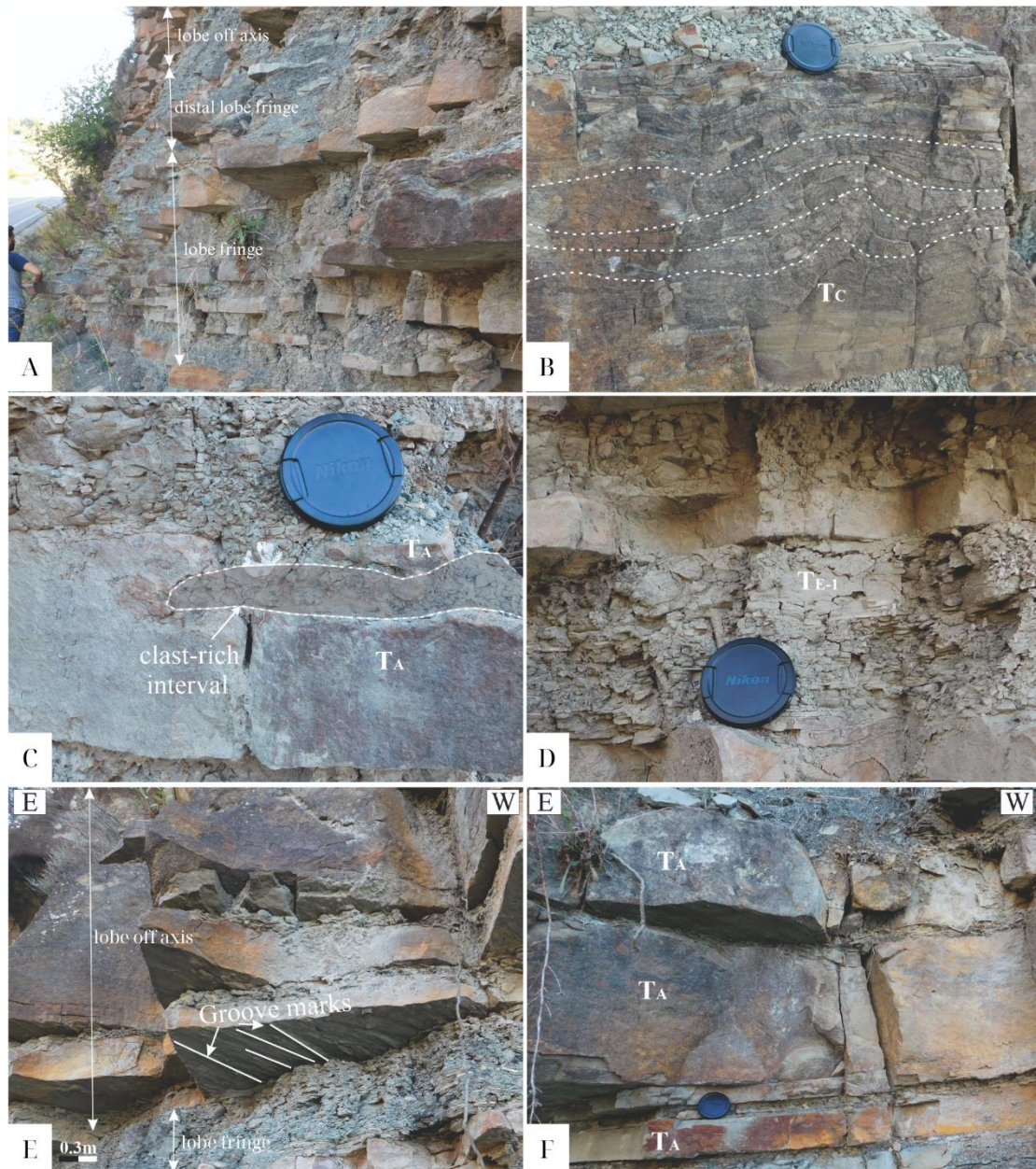


Εικόνα 2 Φωτογραφίες υπαίθρου που υποδηλώνουν τις αποθέσεις των ιζημάτων παραπλεύρως του άξονα των λοβών, στα περιθώρια των λοβών (lobe fringe) και στα απομακρυσμένα περιθώρια των λοβών (distal lobe fringe). Α) Οι αποθέσεις των απομακρυσμένων περιθωρίων επικαλύπτονται από πλούσια σε άμμο ιζήματα παραπλεύρως του άξονα των λοβών (lobe off axis) και από τις αποθέσεις στα περιθώρια των λοβών (lobe fringe). Β) Μέσης στρώσης ψαμμίτης (lobe off axis). Γ) Η μετάβαση προς τα πάνω γίνεται από συμπαγή σε παράλληλα στρωμένο ψαμμίτη (lobe off axis). Δ) Λεπτό έως μεσαίας στρώσης συμπαγή ψαμμίτη (κατώτερο τμήμα) και παράλληλα στρωμένο ιλυόλιθο (ανώτερο τμήμα) (Botziolis et al., 2021).

Η μετάβαση των στρωμάτων προς τα πάνω γίνεται με λέπτυνση και μεταβαίνει από ψαμμίτη σε ιλυόλιθο (Botziolis et al., 2023b). Οι ιλυολιθικές αποθέσεις αναδύονται σε συνεχή στρώματα αλλά συμπαγή. Επίσης υπάρχουν μερικές ενδείξεις και για ασυνεχή στρώματα (Botziolis et al., 2021; 2023b). Τα ψαμμιτικά έχουν μεγαλύτερο πάχος από 0,1 μέτρα όπου βρίσκεται μέσα ιλυόλιθος και υπάρχουν ενδείξεις για ενανθρακωμένα φυτικά απολιθώματα (Botziolis et al., 2023b). Επιπλέον μέσα στον ψαμμίτη και όσο εξελίσσεται αυτός προς τα πάνω υπάρχουν φακοειδής-κυματοειδής ελασμάτωση, παράλληλη ελασμάτωση, διασταυρούμενη ή/ και αναρριχώμενη ελασμάτωση (Botziolis et al., 2021; 2023b, Εικόνα 4Α).

Μια εξίσου σημαντική άποψη που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι υπάρχουν δύο τύποι υβριδικών στρωμάτων που σχηματίζονται σε αυτό το στρώμα: 1) Είναι υβριδικά στρώματα που διαχωρίζονται από τα κροκαλοπαγή με ένα καθαρό ψαμμιτικό συνδετικό υλικό (η υποδιαίρεση D₃ Hodgson, 2009). 2) Διαχωρισμός από μια ανώτερη ζωνώδη

ψαμμίτικη διαίρεση (Lowe and Guy, 2000; η υποδιαίρεση H₂ Haughton et al., 2009). Παρεμβάλλονται ανοιχτόχρωμες και σκουρόχρωμες ζώνες του ψαμμίτη, όπου έχουν πάχος μέχρι και 20 εκατοστά, που κάθε μία από αυτές αντιπροσωπεύει κάτι διαφορετικό (πάχος 2 εκατοστών). Οι σκουρόχρωμες είναι πλούσιες με συνδετικό ιλυολιθικό υλικό και ανθρακικά υλικά, ωστόσο οι ανοιχτόχρωμες με χαλαζία (Spychala et al., 2017c).



Εικόνα 3 Φωτογραφίες υπαίθρου οι οποίες αντικατοπτρίζουν τις αποθέσεις στα περιθώρια των λοβών, στα απομακρυσμένα και τις αποθέσεις παραπλεύρως του άξονα των λοβών. Α) Επαναλήψεις των στρωμάτων ψαμμίτη και ιλυόλιθο που ανήκουν στις αποθέσεις lobe fringe, σε συνδυασμό με τις αποθέσεις distal lobe fringe και lobe off axis. Β) Πτυχωμένο στρώμα ψαμμίτη μεσαίου πάχους. Γ) Πλούσιο στρώμα με κροκαλοπαγή που εμφανίζεται σε συμπαγής λεπτостρωματώδη ψαμμίτη. Δ) Παράλληλη ελασμάτωση ιλυολίθου. Ε) Οι αποθέσεις lobe off axis αποτίθενται πάνω στις αποθέσεις των περιθωρίων. Σ) Λεπτές



έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης. Η επίπεδη βάση του ψαμμίτη υποδηλώνει έλλειψη σημαντικής διάβρωσης (Botziolis et al., 2021).

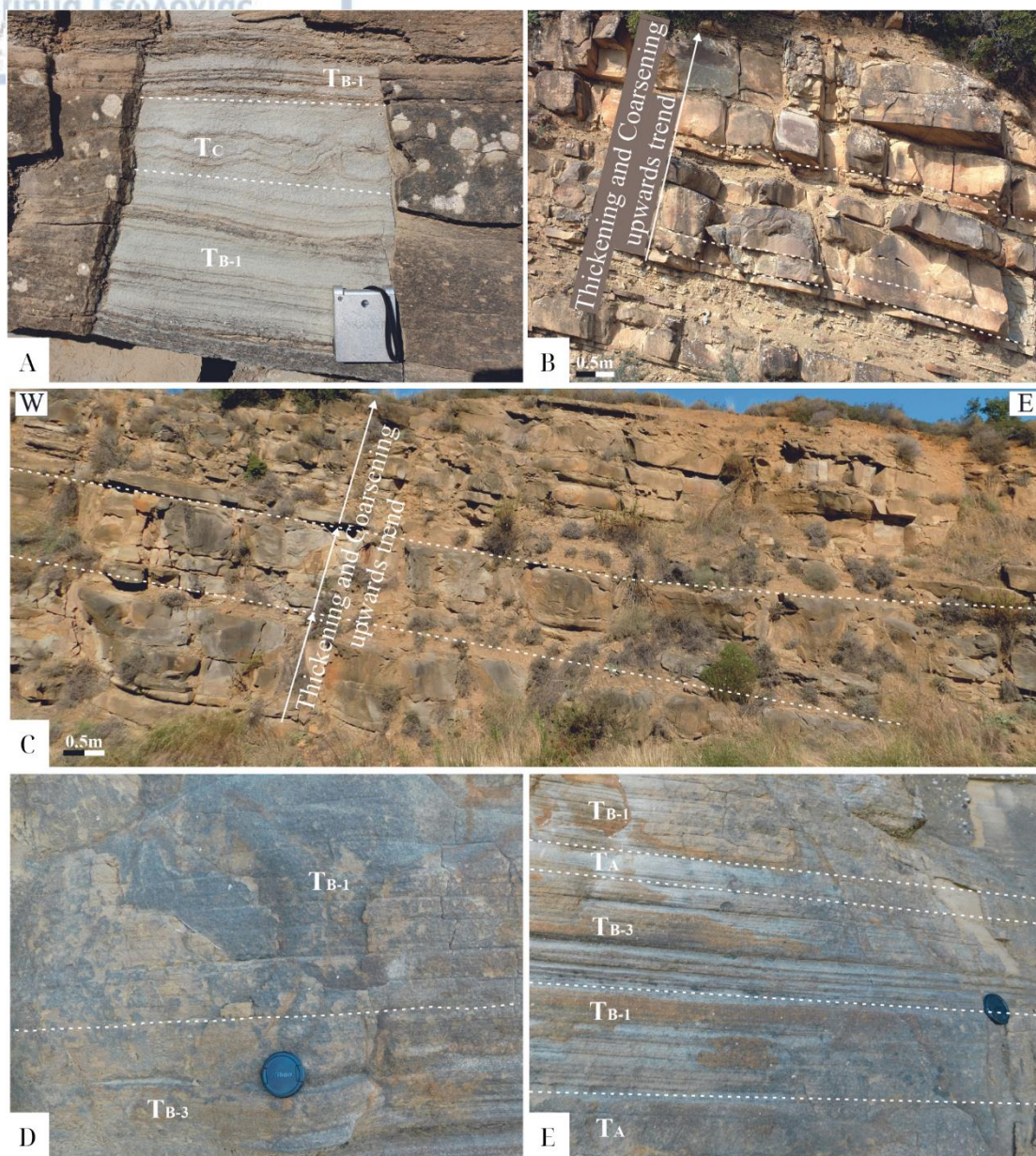
Ερμηνεία

Τα ιζηματογενή χαρακτηριστικά εντός μιας κοίτης, μπορεί να υποδηλώνουν την εμφάνιση είτε διαρκών πλημμυρών με κύματα είτε ροών με κατάρρευση (Jobe et al., 2012). Τα στρώματα του συμπαγή ψαμμίτη προκύπτουν από υψηλής πυκνότητας τουρβιδικά ρεύματα (Lowe, 1988). Τα στρώματα του ψαμμίτη με τα διάφορα ιζηματογενή χαρακτηριστικά τους, όπως η παράλληλη και διασταυρούμενη ελασμάτωση, υποδηλώνουν επανασεξεργασία του ιζήματος από αραιές ροές ενώ ο ψαμμίτης με αναρριχώμενη διασταυρούμενη ελασμάτωση υποδηλώνει υψηλούς ρυθμούς απόθεσης ιζήματος προς τα επάνω (Botziolis et al., 2021; 2023b). Ένα κύριο χαρακτηριστικό των αποθέσεων αυτών είναι η έλλειψη της διάβρωσης και η αύξηση της συχνότητας των ψαμμιτικών στρωμάτων προς τα επάνω (Botziolis et al., 2021; 2023b). Ο συμπαγής ιλυόλιθος σχηματίστηκε μέσω της καθίζησης αιωρούμενων σωματιδίων από αραιά ρεύματα πυκνότητας (Bouma, 1962; Kneller, 1995).

5.1.3. Αποθέσεις στα περιθώρια των λοβών (lobe fringe deposits)

Περιγραφή

Οι αποθέσεις σε αυτόν τον σχηματισμό έχουν πάχος από 2 μέτρα έως 25 μέτρα περίπου σύμφωνα με Srychala (2017c). Αναγνωρίστηκαν στρώματα ιλυολίθου με λεπτόκοκκο έως μέτριας κοκκομετρίας ψαμμίτης στην βάση και παρουσιάζουν καλή πλευρική



Εικόνα 4 Οι παραπάνω εικόνες αντιπροσωπεύουν ιζήματα του άξονα των λοβών (lobe axis) και παραπλεύρως από αυτόν (lobe off axis). A) Ιζηματογενείς δομές σε στρώμα ψαμμίτη που απεικονίζει τις επαναλήψεις παράλληλων και κυματοειδών στρωμάτων (lobe off axis). B) Ιζήματα του άξονα λοβού (lobe axis) που παρεμβάλλονται με τα lobe fringe και lobe off axis. Παρατηρείται επίσης μια ευρέως προς τα πάνω πάχυνση. C) Κυριαρχούν αμμώδεις αποθέσεις lobe off axis που αποτελούνται από παχυστρωματώδεις και αμιγείς (καθαροί) ψαμμίτες. Η επίπεδη γεωμετρία των στρωμάτων του ψαμμίτη είναι ενδεικτική μιας σχετικά μη διαβρωτικής επιφάνειας. D) Μετάβαση προς τα πάνω από ψαμμίτη δημιουργούμενος από ροές σύρσης σε παράλληλο στρωμένο ψαμμίτη. E) Ανοδική μετάβαση από συμπαγή ψαμμίτη σε ψαμμιτική ελασμάτωση από ροές σύρσης (Botziolis et al., 2021).

Ο ψαμμίτης είναι συμπαγής και τα στρώματα του εμφανίζονται κανονικά διαβαθμισμένα, έχει απότομη βάση και προκύπτει ότι ο ψαμμίτης είναι με διασταυρούμενη ελασμάτωση, αναρριχώμενη διασταυρούμενη, φακοειδής έως κυματοειδής ελασμάτωση. Από την άλλη, το στρώμα του ιλυολίθου που

παρεμβάλλεται στον ψαμμίτη βρίσκεται συμπαγή με αμυδρή παράλληλη ελασμάτωση (Botziolis et al., 2021; 2023b, εικόνα 3Α). Επιπλέον, δεν υπάρχουν ίχνη μεγάλης διάβρωσης, αλλά υπάρχουν δομές πέλματος τύπου flute με ιχνοαπολιθώματα. Στις αποθέσεις αυτές επικρατεί η τάση για πάχυνση και χονδροποίηση προς τα πάνω (Botziolis et al., 2021; 2023b).

Σύμφωνα με Spsychala (2017c) στα ετερολιθικά πακέτα της Λεκάνης Karoo, επισημαίνονται δύο τύποι υβριδικών στρωμάτων εντός των ιζηματογενών ακολουθιών. Στον πρώτο τύπο του υβριδικού στρώματος παρατηρείται καθαρός ψαμμίτης που τον καταλαμβάνει από πάνω ένας ιλυώδεις χωρισμός, ο οποίος χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε μαρμαρυγία και φυτικά υπολείμματα (η υποδιαίρεση D₁ Hodgson, 2009, και η υποδιαίρεση H₃ Haughton et al., 2009). Στον πυρήνα επισημαίνεται μια στροβιλώδη δομή, στην ανώτερη ιλυώδη διαίρεση, με ένα συνήθως διαβαθμισμένο όριο μεταξύ της κατώτερης και της ανώτερης διαίρεσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι ορισμένοι κόκκοι άμμου στο ιλυολιθικό τμήμα είναι πιο χονδροειδείς από εκείνους του υποκείμενου αμμώδους τμήματος. Τέλος ο άλλος τύπος υβριδικού στρώματος διαθέτει ένα ανώτερο ιλυολιθικό τμήμα πλούσιο σε κροκάλες (η υποδιαίρεση D₂ Hodgson, 2009, και η υποδιαίρεση H₃ από τους Haughton et al., 2009). Αποτελείται από συνδετικό υλικό ιλυολιθικής άμμου και υπό-γωνιώδεις έως ύπο-αποστρογγυλεμένες κροκάλες που προέρχονται από τη διάβρωση του ίδιου του σχηματισμού. Δεν παρατηρήθηκε συγκεκριμένος προσανατολισμός των κροκάλων. Ο ψαμμίτης εμφανίζει κυματοειδή ή ψευδο-ελασμάτωση, ιδίως όταν περιέχει σημαντική ποσότητα λατυποπαγών.

Ερμηνεία

Σύμφωνα με την άποψη του Botziolis (2021; 2023b) οι αποθέσεις, οι οποίες ερμηνεύονται ως αποθέσεις στα περιθώρια των λοβών, χαρακτηρίζονται από αύξηση του πάχους των ψαμμιτικών στρωμάτων προς τα επάνω, έλλειψη διάβρωσης, την μεγάλη και ικανοποιητική πλευρική συνέχεια των στρωμάτων και τέλος τη στρωματογραφική του θέση σε σχέση με τις υπόλοιπες αποθέσεις των εξωτερικών ριπιδίων. Όπως είδαμε και παραπάνω οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από τον λεπτοστρωματώδη ιλύολιθο, ο οποίος παρεμβάλλεται στον επίσης λεπτοστρωματώδη ψαμμίτη. Ο συμπαγής ψαμμίτης προκύπτει σύμφωνα με τον Hodgson (2009) από τουρβιδικά ρεύματα υψηλής πυκνότητας, θεωρείται ως η απόθεση της κεφαλής και

κυρίως του σώματος των ροών. Ο ψαμμίτης με αναρριχώμενη διασταυρούμενη ελασμάτωση σχετίζεται με ροές που έχουν υψηλό ρυθμό απόθεσης υλικού προς τα επάνω (Jobe et al., 2012; Southard, 1991). Ο ψαμμίτης με διασταυρούμενη ελασμάτωση αποτίθεται από αραιά τουρβιδιτικά ρεύματα που αναμοχλεύουν το θαλάσσιο πυθμένα και έχουν περιορισμένους ρυθμούς απόθεσης ιζήματος προς τα επάνω λεκάνης (Southard, 1991). Σύμφωνα με τους Stow και Bowen (1978), Mulder και Alexander (2001), και Talling (2012a) τα στρώματα του ιλυολίθου έχουν αποτεθεί ενώ βρίσκονταν σε αιώρηση από: (1) γρήγορη απόθεση από ένα υψηλής συγκέντρωσης στρώμα ιλυολίθου, (2) επαναεπεξεργασία του υλικού πυθμένα και (3) διαχωρισμό των συσσωματομάτων του ιλυολίθου. Η αύξηση του πάχους και του κοκκομετρικού μεγέθους των ψαμμιτικών στρωμάτων αντικατοπτρίζει την προοδευτική αύξηση της συχνότητας και της συγκέντρωσης των ροών (Grundvag et al., 2014), ή την αποτελεσματικότητα την μεταφοράς ιζήματος μέσω των κύριων τροφοδοτικών αυλάκων (Hodgson et al., 2016). Η συσχέτιση αναρριχώμενης ελασμάτωσης, φακοειδούς-διασταυρούμενης και κυματοειδούς ελασμάτωσης αποτελεί ροές όπου μειώνουν την ταχύτητα τους γρήγορα και παρατηρούνται σημαντικές ενδείξεις με μεγάλα ποσοστά ιζημάτων (Jobe et al., 2012). Επιπλέον υποστηρίζεται ότι οι ροές αυτές είναι ασταθής και προκύπτουν από μακροχρόνιες ροές ή από καταρρέουσα ροή (Jobe et al., 2012).

5.1.4. Αποθέσεις στα απομακρυσμένα περιθώρια των λοβών (distal lobe fringe deposits)

Περιγραφή

Οι αποθέσεις των απομακρυσμένων περιθωρίων έχουν πάχος 1 έως 2 μέτρα, σε σύγκριση με τα προηγούμενα είναι το μόνο με το μικρότερο πάχος και αυτό συμβαίνει διότι είναι η πιο απομακρυσμένη περιοχή απόθεσης (Botziolis et al., 2021; 2023b). Στις αποθέσεις αυτές συμπεριλαμβάνεται ιλυολίθος και ψαμμίτης (Εικόνα 3Α). Ο ιλυολίθος έχει μέγεθος στρώσης λεπτή έως μεσαία και ο ψαμμίτης βρίσκεται σε στρώμα μικρότερο από 0,1 μέτρα (Botziolis et al., 2021; 2023b). Υπάρχουν διάφορα διασκορπισμένα απολιθώματα στα στρώματα, στα οποία έχουν παρατηρηθεί, συγκεκριμένα τα Ophiomorpha και Planolites (Botziolis et al., 2021). Η βάση των στρωμάτων είναι απότομη και κυριαρχεί ο ψαμμίτης, ο οποίος είναι συνήθως συμπαγής αλλά βρίσκεται σε όλη την έκταση κανονικά διαβαθμισμένος με διάφορες

ιζηματογενείς δομές όπως διασταυρούμενη ελασμάτωση, αναρριχώμενη διασταυρούμενη, φακοειδής έως κυματοειδής ελασμάτωση (Botziolis et al., 2021; 2023b, Εικόνα 2Α).

Ερμηνεία

Ο λεπτοστρωματώδης ιλυόλιθος σχηματίζεται μέσω της καθίζησης αιωρούμενων σωματιδίων και η απόθεσή του μπορεί να οδηγήσει σε δομές όπως η παράλληλη και η κυματοειδής διασταυρούμενη ελασμάτωση. Εναλλακτικά, μπορεί να εναποτεθεί χωρίς να υποστεί τρέχουσα επεξεργασία, εμφανιζόμενος χωρίς δομές (Botziolis et al., 2021; 2023b). Σε αντίθεση με τις αποθέσεις αβυσσικού πεδίου (abyssal plain deposits Εικόνα 8), οι αποθέσεις στα απομακρυσμένα περιθώρια των λοβών παρουσιάζουν μια αύξηση της συχνότητας των ψαμμιτικών στρωμάτων. Η εμφάνιση λεπτοστρωματώδους ψαμμίτη μπορεί να συνδέεται με ροές που χαρακτηρίζονται από μείωση της ενέργειας και μειωμένες ταχύτητες, ενδεικτικές ενός περιβάλλοντος χαμηλής ενέργειας (Bouma, 1962; Kneller, 1995). Ο ψαμμίτης με διασταυρούμενη ελασμάτωση ρεύματος (Ripple cross-laminated) σχηματίζεται μέσω της διαδικασίας επεξεργασίας των ιζημάτων (Stow and Piper, 1984), ενώ ο συμπαγής ψαμμίτης προέρχεται από την καθίζηση αιωρούμενων σωματιδίων, κοινώς γνωστή ως αιωρούμενη κατακρήμνιση (Bouma, 1962). Εν κατακλείδι σηματοδοτεί απόθεση σε περιβάλλον χαμηλής ενέργειας που χαρακτηρίζεται από ελάχιστη περιεκτικότητα άμμου στις ροές. Αυτό ευθυγραμμίζεται με ένα περιβάλλον απόθεσης στο περιθώριο ενός απομακρυσμένου λοβού (Prelat et al., 2009). Αναγνωρίζεται ως αποθέσεις στο περιθώριο ενός απομακρυσμένου λοβού, και η ερμηνεία αυτή ενισχύεται από διάφορες ενδείξεις. Αυτές περιλαμβάνουν την απουσία διάβρωσης, την πολύ καλή πλευρική συνέχεια των στρωμάτων, τις διακυμάνσεις στο πάχος των στρωμάτων και το μέγεθος των κόκκων, καθώς και η στρωματογραφική τους θέση σε σχέση με τις αποθέσεις αβυσσικού πεδίου, περιθωρίου λοβού, λοβού παραπλεύρως του άξονα και στον άξονα λοβού (Botziolis et al., 2021).

5.2. Εσωτερικό ριπίδιο (inner fan)

Οι αποθέσεις των εσωτερικών ριπιδίων συγκροτούνται από κανάλια στα οποία συσσωρεύεται ο μεγαλύτερος όγκος των ιζημάτων (Εικόνα 8,9).

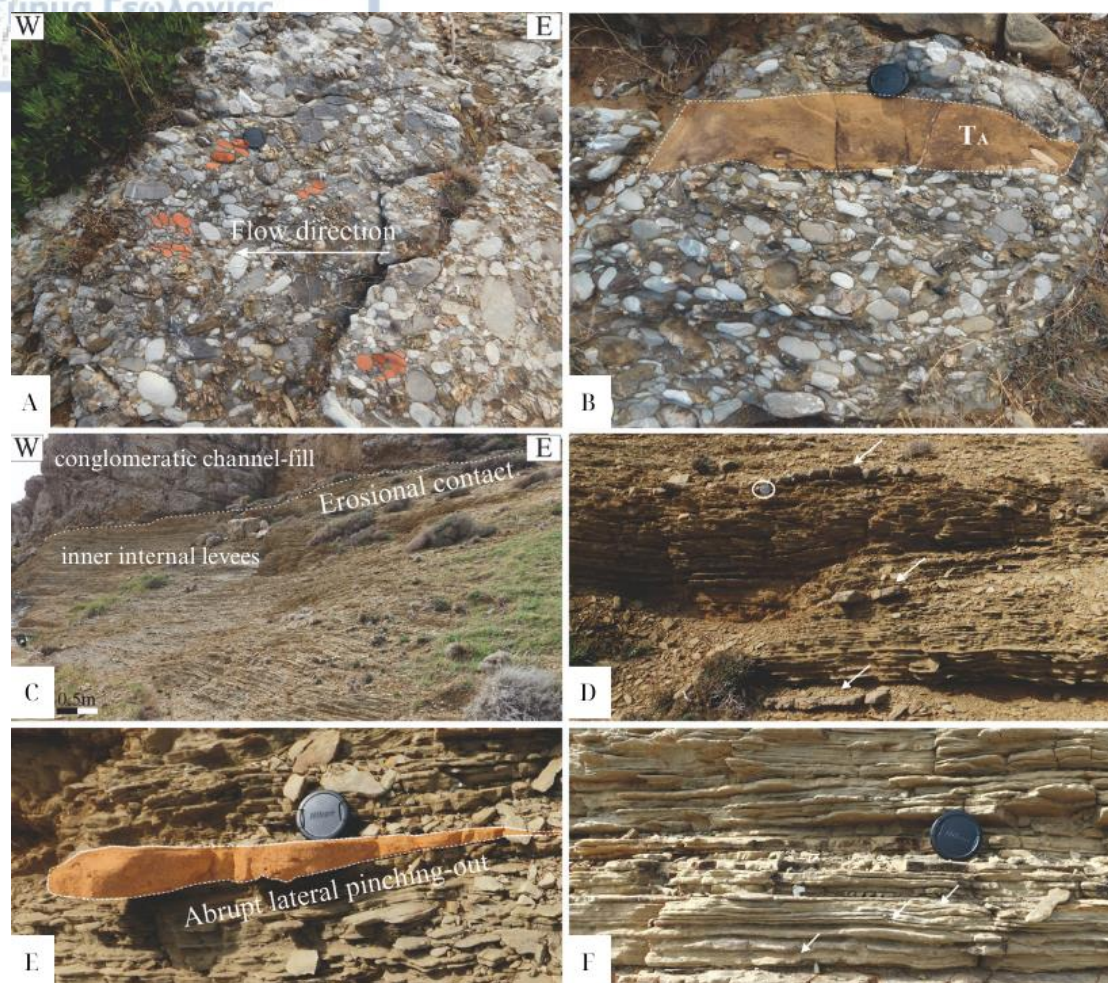
5.2.1. Αποθέσεις εσωτερικών αναχωμάτων (internal levees deposits)

5.2.1.1. Αποθέσεις ενδότερων εσωτερικών αναχωμάτων (inner internal levees deposits)

Περιγραφή

Η ένωση αυτή, εκτείνεται σε πάχος 2-15 μέτρων, χαρακτηρίζεται από σημαντική αφθονία άμμου και συνδέεται κυρίως με τις sandy channel-fill και conglomeratic channel-fill, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5C. Αυτή η γεωλογική ενότητα αποτελείται από ψαμμίτη μεσαίου έως χονδρόκοκκου μεγέθους, ο οποίος εμφανίζεται σε στρώματα λεπτών έως μεσαίων στρωμάτων που κυμαίνονται από 0,1 έως 0,3 μέτρα. Ενδιάμεσα υπάρχουν σπάνιες εμφανίσεις πολύ λεπτών στρωμάτων ιλυόλιθου με μέγεθος μικρότερο από 0,05 μέτρα (Botziolis et al., 2021; 2023b). Κατά διαστήματα, εμφανίζεται πολύ χονδρόκοκκος ψαμμίτης, ο οποίος είναι ιδιαίτερα λεπτό το στρώμα

του έως πολύ λεπτό, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5D.



Εικόνα 5 Φωτογραφίες υπαίθρου που απεικονίζουν τις αποθέσεις των εσωτερικών αναχωμάτων (inner internal levees) και αποθέσεις κροκαλοπαγών καναλιών (conglomeratic channel-fill). A) Κροκαλοπαγής στρώμα με διάφορα μεγέθη κροκάλων που διακρίνεται η κατεύθυνση της ροής. B) Λεπτό στρώμα ψαμμίτη που παρεμβάλλεται στην κορυφή του κροκαλοπαγούς. C) Εσωτερικά ιζήματα εσωτερικών αναχωμάτων (inner internal levees) που αποτελούνται από λεπτόκοκκο ψαμμίτη και ιλυόλιθο και υπέρκεινται από κροκαλοπαγή. D) Πολύ λεπτό και χονδρόκοκκο στρώμα ψαμμίτη των αποθέσεων (inner internal levees) που υποδηλώνει την παρουσία ισχυρών ρευμάτων. E) Συμπιεσμένο στρώμα ψαμμίτη. F) Παράλληλη ελασμάτωση του ψαμμίτη (Botziolis et al., 2021).

Τα στρώματα ψαμμίτη παρουσιάζουν συχνά μια τυπική κανονική διαβάθμιση ωστόσο, είναι επίσης εμφανείς περιπτώσεις μη διαβαθμισμένου ή/και αντίστροφα διαβαθμισμένου ψαμμίτη. Μεταξύ αυτών των στρωμάτων ψαμμίτη και του υποκείμενου ιλυόλιθου παρατηρούνται έντονες επαφές και περιστασιακά διαβρωτικές διεπιφάνειες (Botziolis et al., 2021, Εικόνα 5E). Ορισμένα στρώματα ψαμμίτη παρουσιάζουν συχνά ταχεία αποκόλληση και υπάρχουν ενδείξεις συγχώνευσης, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5E. Μικρής κλίμακας σημάδια δομών πέλματος και ιχνοαπολιθώματα διακρίνονται σε συγκεκριμένα στρώματα ψαμμίτη. . Εντός των παχύτερων στρωμάτων, ο ψαμμίτης βρίσκεται συμπαγής όπου είναι ένα κυρίαρχο

χαρακτηριστικό, είτε κυριαρχεί σε ολόκληρο το στρώμα είτε εμφανίζεται στη βάση του (Botziolis et al., 2021, Εικόνα 5D). Όταν ο ψαμμίτης διατηρείται στη βάση των στρωμάτων, υφίσταται μια αναπτυξιακή μετάβαση, η οποία εξελίσσεται προς τα πάνω σε ψαμμίτη με παράλληλες στρώσεις και σε ψαμμίτη με διασταυρούμενη ελασμάτωση. Αντίθετα, εντός του πλαισίου της ένωσης αυτής, τα λεπτότερα στρώματα χαρακτηρίζονται από επικράτηση παράλληλων στρωμάτων, τα οποία διαδέχονται είτε από διασταυρούμενη ελασμάτωση είτε από ένα κυματοειδές ανώτερο τμήμα με ελασματώσεις, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 5F. Ο Ιλυόλιθος που τον συνοδεύει, παρουσιάζει είτε σύνθεση συμπαγή είτε είναι σε παράλληλες στρώσεις. Επιπλέον, τα δεδομένα παλαιοροής υποδεικνύουν κατευθύνσεις ροής που έχουν κλίση με τάση λοξότητας ως προς τους προσανατολισμούς των κύριων καναλιών (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Ο προσδιορισμός αυτού του σχηματισμού φάσεων χαρακτηρίζεται ως αποθέσεις ενδότερων εσωτερικών αναχωμάτων όπου προκύπτουν από διάφορους βασικούς παράγοντες. Αυτοί περιλαμβάνουν την ανάλυση του κοκκομετρικού μεγέθους, το πάχος του στρώματος και των μετρήσεων παλαιορεύματος. Επιπλέον, η στρωματογραφική του θέση, που βρίσκεται μεταξύ των αμμούχων καναλιών (sandy channel-fill) και των καναλιών που περιέχουν κροκαλοπαγή (conglomeratic channel-fill), υποστηρίζει περαιτέρω αυτή την ερμηνεία η εικόνα 5C (Kane et al., 2007; Kane and Hodgson, 2011). Επιβεβαιωτικά στοιχεία προκύπτουν από την παρουσία διαβρωτικών επαφών με τα υποκείμενα ιζήματα και την κακή πλευρική συνέχεια των στρωμάτων ψαμμίτη σε κλίμακα μέτρων. Η επικρατούσα διάβρωση συνδέεται πιθανώς με τοπικές κλίσεις, ενδεικτικές της κατεύθυνσης της ροής καθώς εκβάλλει από το κανάλι. Αυτή η διάβρωση μπορεί επίσης να είναι αποτέλεσμα συνδυασμού παρόμοιων ροών που προέρχονται από άλλα τμήματα του καναλιού (Hiscott, 1994a; Deptuck et al., 2003; Kane et al., 2007). Ο σχηματισμός συμπαγούς ψαμμίτη αποδίδεται στην μείωση της μεταφορικής ικανότητας της ροής, που οδηγεί σε ταχεία απόθεση ιζήματος. Αντίθετα, η ανάπτυξη παράλληλης και διασταυρούμενης ελασμάτωσης συνδέονται με τη μείωση της ικανότητας μεταφοράς της ροής (Kneller and Branney, 1995). Ο χονδρόκοκκος ψαμμίτης μέσα στο λεπτόκοκκο αυτό περιβάλλον, υποδηλώνει τη διέλευση ισχυρών ροών, ενώ τα λεπτόκοκκα χαρακτηριστικά τους υποδηλώνουν

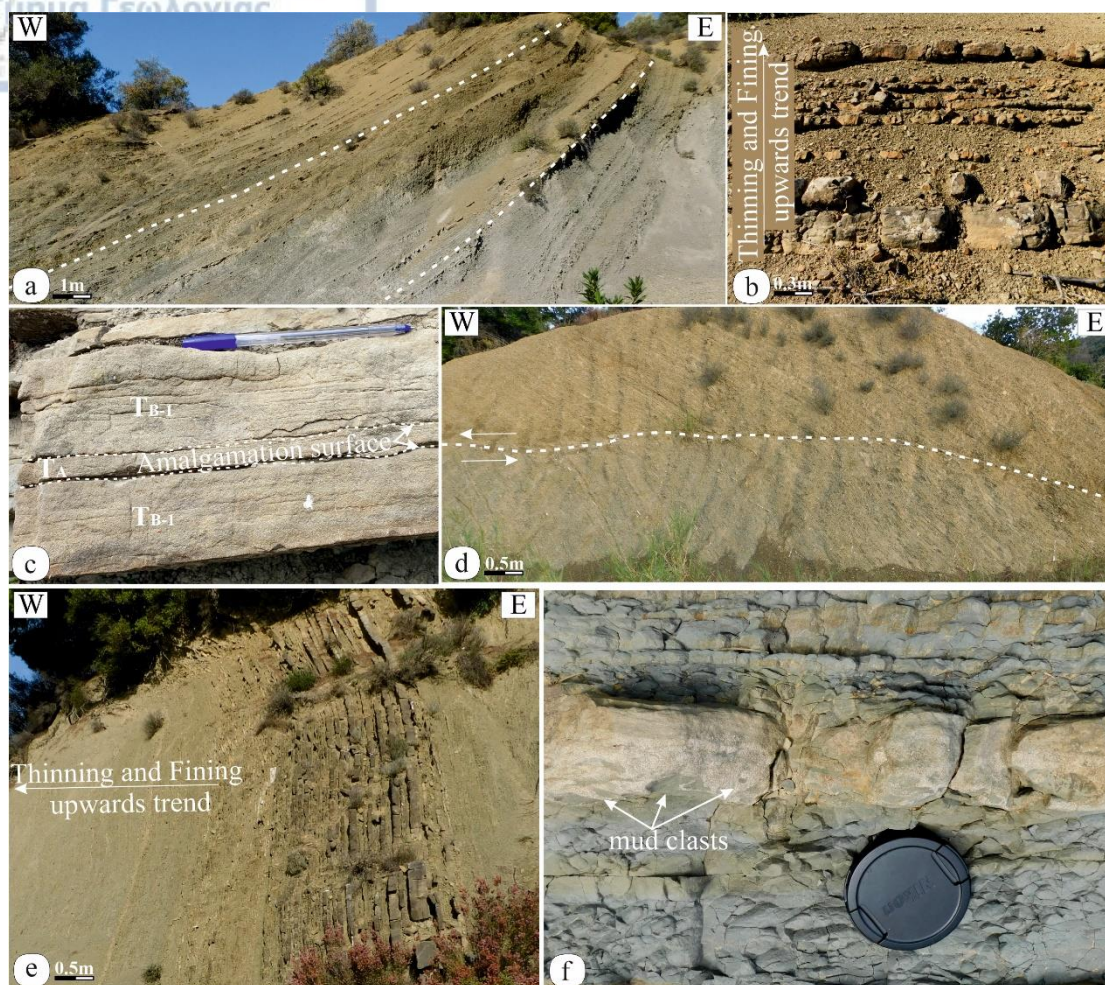
προέλευση από μικρότερα ρεύματα. Ο πλούσιος σε άμμο χαρακτήρας υποδηλώνει περαιτέρω μια σχετική εγγύτητα της πηγή τροφοδοσίας (Botziolis et al., 2021).

5.2.1.2. Αποθέσεις εξώτερων εσωτερικών αναχωμάτων (outer internal levees deposits)

Περιγραφή

Το συγκεκριμένο τμήμα των υποθαλάσσιων ριπιδίων περιλαμβάνει σημαντικές ιζηματογενείς ακολουθίες, με πάχος που κυμαίνεται από 10 έως 40 μέτρα. Αυτές οι ακολουθίες χαρακτηρίζονται από λεπτόκοκκο έως μεσαίου κόκκου ψαμμίτη, που εμφανίζεται σε πολύ λεπτά έως μεσαία στρώματα με διαστάσεις που κυμαίνονται από 0,05 έως 0,4 μέτρα (Εικόνα 6a). Ενδιάμεσα παρεμβάλλονται πολύ λεπτά έως μέσης στρώσης στρώματα ιλυολίθου, των ίδιων διαστάσεων, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 6a (Botziolis et al., 2021). Επίσης και αυτή η περιοχή εμφανίζεται με τις sandy channel-fill και conglomeratic channel-fill, όπως και οι εσωτερικές αποθέσεις ενδότερων αναχωμάτων, με την αντίθεση ότι αυτή η περιοχή είναι λιγότερο αμμώδεις και ο βαθμός συγχώνευσης απουσιάζει (Botziolis et al., 2021; 2023b). Η υποπεριοχή αυτή παρουσιάζει ένα σταθερό μοτίβο χωρίς σημαντικές μεταβολές στο πάχος των στρωμάτων ψαμμίτη και τα στρώματα αυτά χαρακτηρίζονται από κανονική διαβάθμιση (Εικόνα 6b). Λεπτά, συμπαγή στρώματα ψαμμίτη παρατηρούνται σπάνια. Αντ' αυτού, επικρατούν οι παράλληλες στρώσεις ψαμμίτη, με διασταυρούμενη ελασμάτωση και κυρίως, απουσιάζει η συγχώνευση σε αυτό το πλαίσιο (Botziolis et al., 2023b). Ο ιλυόλιθος είναι είτε συμπαγής είτε με παράλληλες στρώσεις. Τα στρώματα ψαμμίτη παρουσιάζουν ευδιάκριτες απότομες και διαβρωτικές επαφές με τον υποκείμενο ιλυόλιθο. Ειδικότερα, οι δείκτες παλαιορεύματος υποδεικνύουν μια κατεύθυνση ροής πλάγια προς τον κύριο προσανατολισμό του άξονα του καναλιού. Η παραμόρφωση είναι συχνό φαινόμενο εντός της περιοχής, με αρκετά στρώματα να παρουσιάζουν ελαφρές παραμορφώσεις. Επιπροσθέτως, παρατηρούνται συν-ιζηματογενείς καταπτώσεις σε λεπτοστρωματώδεις φάσεις, που συνδέονται στενά με

αυτές τις ιζηματογενείς αποθέσεις (Botziolis et al., 2023b).

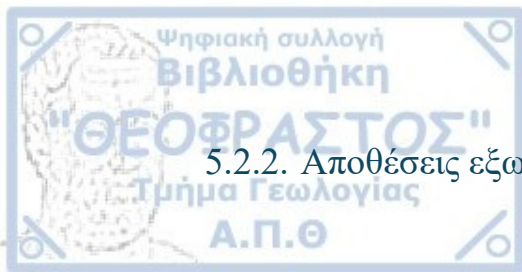


Εικόνα 6 Διάφορες εικόνες που υποδηλώνουν το εξώτερο εσωτερικό ανάχωμα (outer internal levee) και τις αποθέσεις του ενδότερου εξωτερικού αναχώματος (inner external levee). a) Επαναληπτικές στρώσεις του ψαμμίτη και του ιλυολίθου (outer internal levee). b) Ανοδική αραίωση του στρώματος ψαμμίτη που διακόπτεται από παχύτερα στρώματα του. c) Συγχωνευμένος ψαμμίτης με συμπαγή δομή στο βασικότερο τμήμα του και στην κορυφή υπάρχει παράλληλη στρώση. d) Λεπτά στρώματα ψαμμίτη και ιλυολίθου των αποθέσεων inner external levee. e) Ιζηματογενής αλληλουχία με τάση αραίωσης προς τα πάνω του ενδότερου εξωτερικού αναχώματος. f) Διαβρωσιγενείς κλάστες στη βάση των στρωμάτων ψαμμίτη που υποδηλώνουν την κίνηση ροών με αρκετή δύναμη ώστε να μετακινήσουν υλικό από τις υποκείμενες αποθέσεις (inner external levee) (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Η ερμηνεία των εξωτερικών αναχωμάτων υποστηρίζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του κοκκομετρικού μεγέθους, του πάχους των στρωμάτων, των μετρήσεων παλαιορεύματος και της συσχέτισής της με αμμόδεις αποθέσεις πλήρωσης καναλιών (sandy channel-fill) και κροκαλοπαγείς αποθέσεις καναλιών (conglomeratic channel fill) (Kane et al., 2007; Kane and Hodgson, 2011). Η παρουσία συμπαγούς ψαμμίτη υποδηλώνει μια διαδικασία απόθεσης που λαμβάνει χώρα από αιώρηση, γεγονός που αποδεικνύει ταχεία καθίζηση των ιζημάτων που εμποδίζει οποιαδήποτε

μεταφορά ως φορτίο πυθμένα (Lowe, 1982, 1988; Middleton, 1993). Αυτό επισημαίνει ότι η ικανότητα ροής υπεραίβει όταν η ροή ξεπέρασε την εσωτερική κορυφογραμμή του αναχώματος, με αποτέλεσμα να γίνει μη περιορισμένη. Κατά συνέπεια, υπήρξε ταχεία απόθεση ιζημάτων από την αιώρηση κοντά στη βάση της ροής. Το φαινόμενο αυτό ευθυγραμμίζεται με την έννοια ότι η υπερπήδηση της ροής, όπως περιγράφεται από τους Hiscott (1994), Kneller (1995) και Kneller and McCaffrey (2003), οδήγησε στην απεριόριστη και ταχεία απόθεση ιζημάτων. Η ανάπτυξη παράλληλης και διασταυρούμενης ελασμάτωσης ρεύματος ψαμμίτη συνδέεται με μείωση της ικανότητας ροής (Kneller and Branney, 1995). Αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε στην απώλεια της ικανότητας της ροής είτε στην επανεπεξεργασία των υφιστάμενων αποθέσεων από τις συνεχιζόμενες υπερχειλίζουσες ροές (Kane and Hodgson, 2011). Η απουσία ευρέως διαδεδομένων χαρακτηριστικών διάβρωσης, ερμηνεύεται ως συνέπεια της ταχείας έναρξης της απόθεσης που συνέβη στο μέτωπο της ροής όταν αυτή έπαψε να είναι περιορισμένη (Kneller and McCaffrey, 2003). Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η παρουσία συμπαγούς ψαμμίτη, που παρατηρείται συνήθως στη βάση των στρωμάτων (Kane et al., 2007). Οι εξωτερικές αποθέσεις των εσωτερικών αναχωμάτων διαφέρουν από τις εσωτερικές αποθέσεις εσωτερικών αναχωμάτων ως προς το ποσοστό του ιλυόλιθου, το οποίο είναι σημαντικά χαμηλότερο στο πρώτο. Επιπλέον, οι εξώτερες αποθέσεις των εσωτερικών αναχωμάτων διαθέτουν λεπτότερα στρώματα ψαμμίτη, μαζί με χαμηλότερο ή ανύπαρκτο βαθμό συγχώνευσης σε σύγκριση με τις ενδότερες αποθέσεις εσωτερικών αναχωμάτων (Botziolis et al., 2023b). Η ερμηνεία χαρακτηρίζει τις συγκεκριμένες αποθέσεις ως εξώτερες αποθέσεις εσωτερικών αναχωμάτων. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από εκτιμήσεις όπως το κοκκομετρικού μεγέθους και το πάχος του πυθμένα, μαζί με δεδομένα παλαιοροής, και τη στενή στρωματογραφική τους θέση με τα αμμώδη και τα κροκαλοπαγή κανάλια (Kane et al., 2007; Kane and Hodgson, 2011). Την ερμηνεία αυτή υποστηρίζει η παρατήρηση μικρής κλίμακας κύκλων μείωσης του πάχους προς τα πάνω, που περιστασιακά διακόπτονται από σπάνια παχύτερα στρώματα ψαμμίτη, όπως προτείνουν οι Kane και Hodgson (2011).



5.2.2. Αποθέσεις εξωτερικών αναχωμάτων

5.2.2.1. Αποθέσεις ενδότερων εξωτερικών αναχωμάτων (inner external levees deposits)

Περιγραφή

Χαρακτηρίζεται από παχιές ιζηματογενείς ακολουθίες από 10 μέτρα και μπορούν να φτάσουν έως και στα 100 μέτρα. Διακρίνονται από λεπτά στρώματα ψαμμίτη και παρεμβάλλεται με στρώματα ιλυολίθου ποικίλου πάχους (0,05-0,3 μέτρα), απεικονίζεται στην εικόνα 6d. Αυτός κυρίως παρεμβάλλεται με συμπαγής μορφή, αλλά σε λιγότερο συχνές περιπτώσεις με διασταυρούμενη και παράλληλη ελασμάτωση. Ο ψαμμίτης εμφανίζεται συμπαγής είτε με ιζηματογενείς δομές, όπως παράλληλη

ελασμάτωση

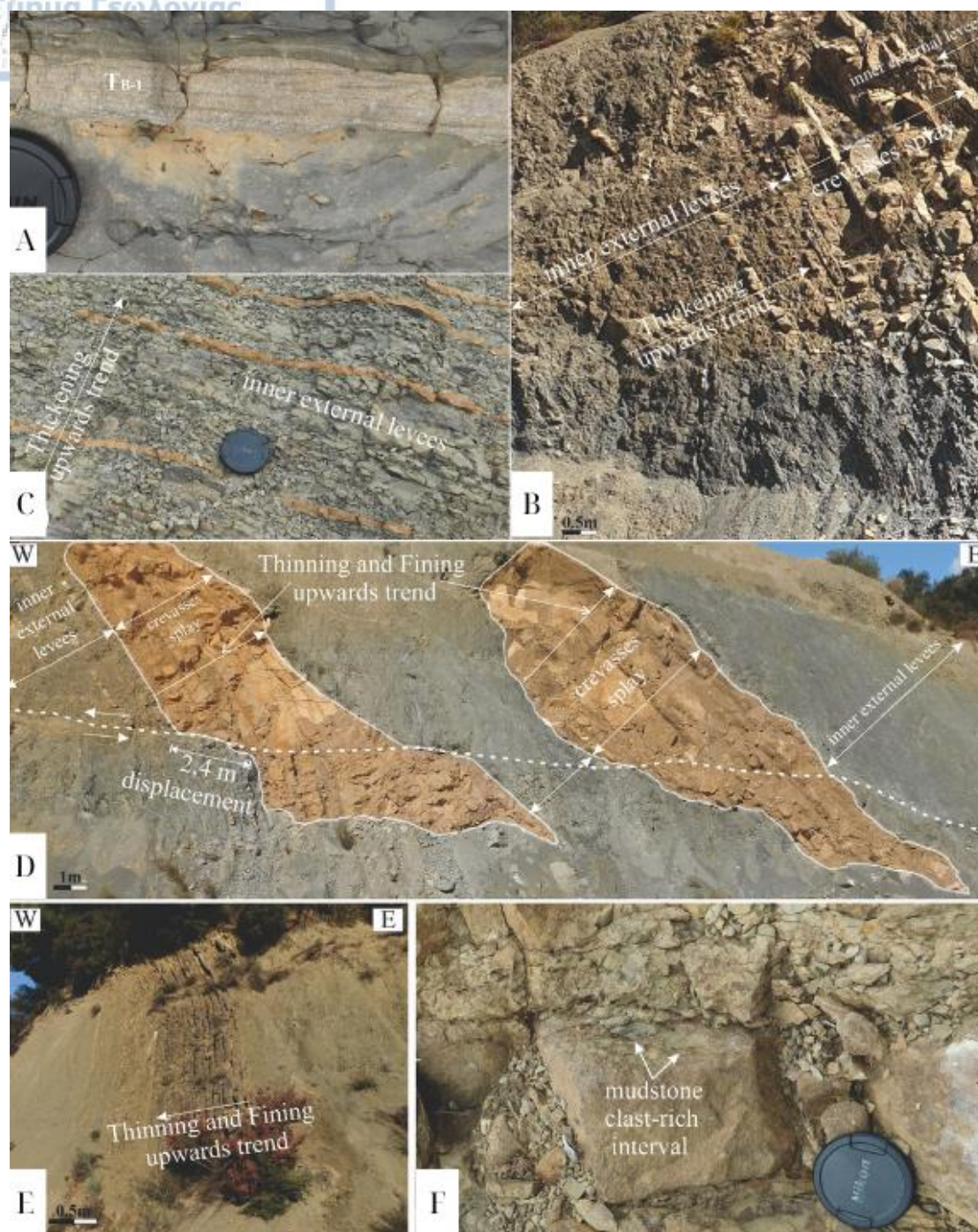
και

ελικοειδής

ελασμάτωση

(εικόνα

7a),



Εικόνα 7 Φωτογραφίες υπαίθρου που χαρακτηρίζουν τις ενδότερες αποθέσεις εξωτερικού αναχώματος (inner external levees), του εξώτερου εξωτερικού αναχώματος (outer external levees) και των αποθέσεων διάρρηξης καναλιών (crevasses splay)³. A) Μετάβαση προς τα πάνω από τη παράλληλη σε κυματοειδή στρώση ψαμμίτη (inner external levees). B) Αύξηση προς τα πάνω της συχνότητας και του πάχους των

³ Αποτελείται είτε από παχιάς έως μέσης στρώσης ψαμμίτη που παρεμβάλλεται με πολύ λεπτόκοκκο ιλυόλιθο είτε από ζεύγη λεπτόκοκκου έως μέσου πάχους ψαμμίτη και ιλυόλιθο. Το πρώτο αποτίθεται πάνω σε μια διαβρωτική επιφάνεια και το δεύτερο εμφανίζει ένα φύλλο που μοιάζει με φύλλο. Και τα δύο παρουσιάζουν τάση λέπτυνσης προς τα πάνω (Botziolis et al., 2021).

στρωμάτων ψαμμίτη (*inner external levees*).C) Ατροφικές ρυτιδώσεις (ανοιχτότερα χρωματισμένα στρώματα) που υποδηλώνουν έλλειψη ιζημάτων και κυριαρχία ροών πλούσιων σε ιλύ (*outer external levees*). D) Διαβρωτικά αμμώδης στρώματα χαρακτηριστικό των *crevasses splay* αποθέσεων, που παρεμβάλλονται με τις ενδότερες αποθέσεις εξωτερικού αναχώματος. E) Αποθέσεις λοβών ρωγμών που μοιάζουν με φύλλα και σχετίζονται με γεγονότα διάρρηξης αναχωμάτων (*crevasses splay*). F) Πλούσιο σε ιλυόλιθο που συνδέεται με τη διάρρηξη αναχώματος και τη διάβρωση των καναλιών (*crevasses splay*) (Botziolis et al., 2021).

είναι διαβαθμισμένος σε μεγάλο εύρος της περιοχής και σπανιότερα αδιαβάθμητος. Επιπλέον τα στρώματα του περιέχουν κροκάλες ιλύος στη βάση και περιστασιακά παρουσιάζουν απότομες μειώσεις του πάχους ή διαβρωσιγενείς επαφές με τα υποκείμενα ιζήματα (Εικόνα 6f) και έχουν γεωμετρία με καλή πλευρική συνέχεια (Botziolis et al., 2021; 2023b).

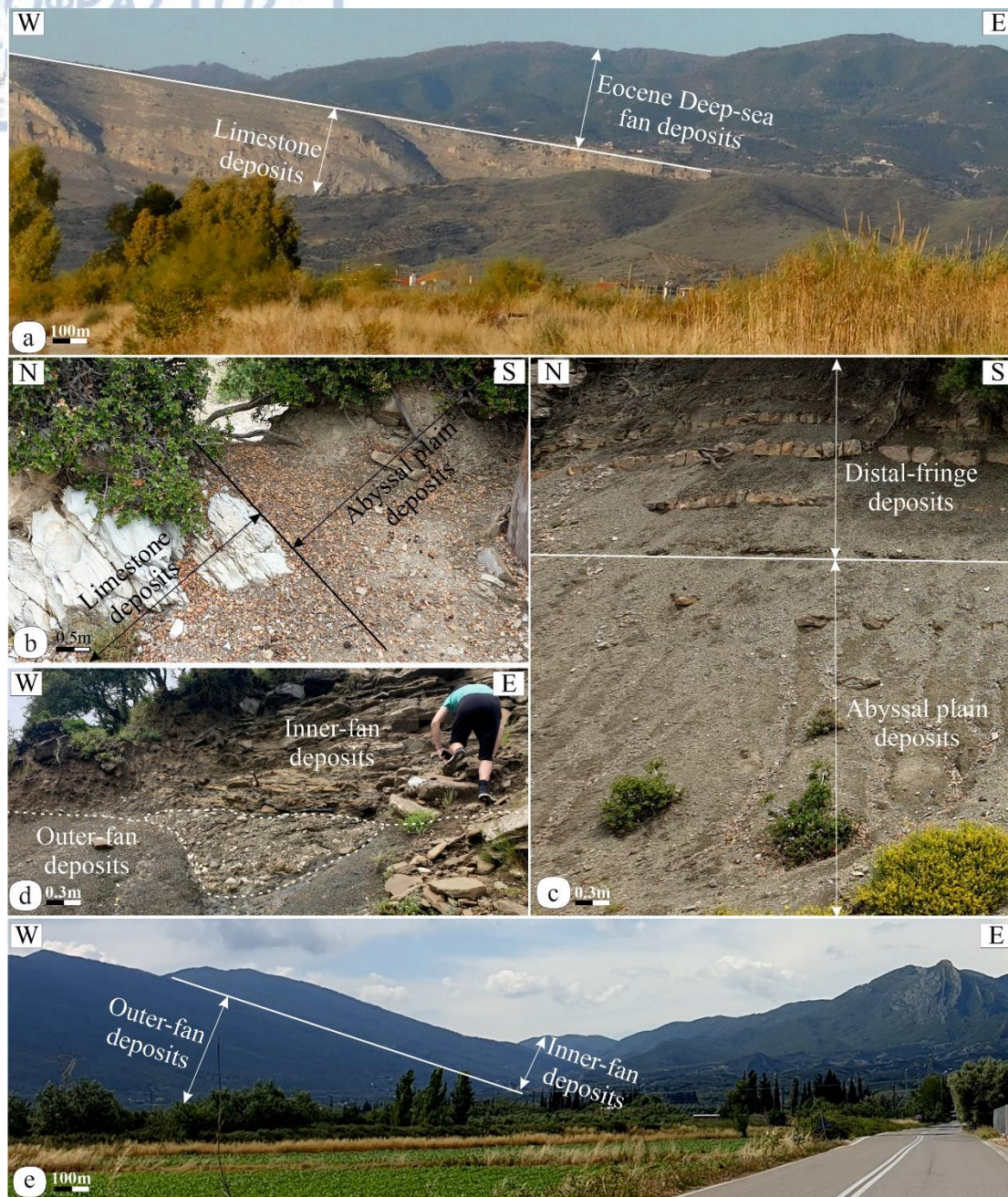
Ερμηνεία

Αποθέσεις ενδότερων εξωτερικών αναχωμάτων προσδιορίζονται με βάση το κοκκομετρικό μέγεθος, το πάχος των στρωμάτων μαζί και τα ιζηματολογικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων (Kane et al., 2007; Kane and Hodgson, 2011; Morris et al., 2014). Διακρίνεται παρατηρούμενη τάση αραίωσης προς τα πάνω που υποδηλώνει σταδιακή δημιουργία αναχώματος και αυξημένη απόθεση ιζημάτων σε σύγκριση με το παρακείμενο κανάλι (Botziolis et al., 2021), ενδεχομένως με περιορισμό της ροής λόγω μείωσης της ποσότητας των υπερχειλισμένων ροών (Kane et al., 2007). Στη βάση των στρωμάτων ψαμμίτη παρατηρούνται κροκάλες ιλυολίθου και ερμηνεύονται ως κροκάλες αποκόλλησης και υποδηλώνουν έντονη διαβρωτική ικανότητα (Walker, 1985). Ο συμπαγής ψαμμίτης αντιπροσωπεύει ταχεία απόθεση ιζημάτων (Lowe, 1988; Middleton, 1993) και έχει ως αποτέλεσμα την εξάπλωση της ροής και την μείωση της μεταφορικής ικανότητας κατά τη μετάβαση από περιορισμένη (στα κανάλια) σε μη περιορισμένη ροή (στο ανάχωμα) (Botziolis et al., 2021). Η παράλληλη ή/και διασταυρούμενη ελασμάτωση του ψαμμίτη σχετίζονται με την μειωμένη ικανότητα ροής (Kneller and Branney, 1995), υποδηλώνοντας χαμηλότερη συγκέντρωση ροής κατά την εκροή από τα κανάλια (Botziolis et al., 2021).

5.2.2.2. Αποθέσεις των εξώτερων εξωτερικών αναχωμάτων (outer external levees deposits)

Περιγραφή

Ενδεικνύει ιζηματογενείς δομές με πάχος που ξεκινάει από 10 μέτρα και μπορεί να φτάσει έως και 40 μέτρα περίπου. Αυτές οι δομές σχετίζονται με πολύ λεπτό και λεπτόκοκκο στρώμα ψαμμίτη μαζί με εμφάνιση λεπτόκοκκου ιλυολίθου έως και χονδρόκοκκου από 0,05 έως και 0,5 μέτρα (Botziolis et al., 2021). Τα στρώματα του ψαμμίτη παρουσιάζουν καλή πλευρική μετάβαση και παρατηρείται αύξηση της συχνότητας και του πάχους των στρωμάτων ψαμμίτη (Εικόνα 7b). Επίσης χαρακτηρίζεται από απότομες βάσεις και είναι κατά κύριο λόγο διασταυρούμενη ελασμάτωση, με περιστασιακή παράλληλη στρώση ή και συμπαγής δομή. Οι ατροφικές ρυτιδώσεις είναι συχνές και εμφανίζονται είτε ως σειρές ρυτιδώσεων, είτε ως μεμονωμένες ρυτιδώσεις πάχους 0,05 m, που καλύπτονται από λατυποπαγή (Εικόνα 7c). Ο ιλυολίθος είναι είτε συμπαγής είτε με παράλληλες στρώσεις (Botziolis et al., 2021).

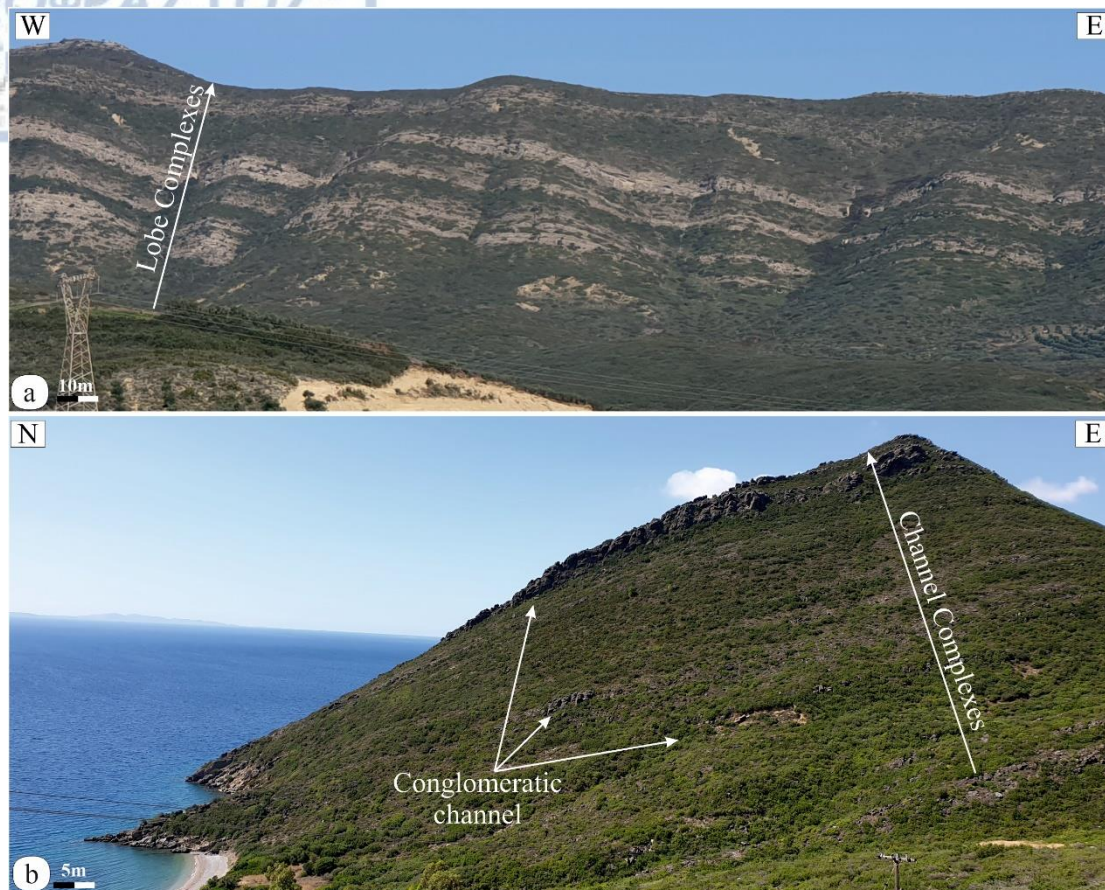


Εικόνα 8 Φωτογραφίες υπαίθρου από τις αποθέσεις των υποθαλάσσιων ριπιδίων που αντιπροσωπεύουν την στρωματογραφική εξέλιξη τους. Οι εξωτερικές αποθέσεις των ριπιδίων (*outer fan deposits*) υπερκαλύπτουν αποθέσεις αβυσσικής πεδιάδας (*abyssal plain deposits*)⁴ και με τη σειρά τους υπερκαλύπτονται από τις εσωτερικές αποθέσεις των ριπιδίων (*inner fan deposits*). Αυτή η μετάπτωση υποδηλώνει την προοδευτική εξέλιξη του συστήματος των υποθαλάσσιων ριπιδίων και την προοδευτική πλήρωση της λεκάνης (Botziolis et al., 2021).

⁴ Είναι ιζηματογενείς στρώματα πάχους περίπου 10 μέτρα όπου κυριαρχεί ο ιλύόλιθος και έχει παρουσία λεπτοστρωματώδη ασβεστόλιθου. Τα στρώματα ασβεστόλιθου έχουν απότομη βάση και περιέχουν πτυχωτά, φακοειδή έως κυματοειδή, ή και κυματοειδείς εγκάρσιες στρώσεις (Botziolis et al., 2021).

Ερμηνεία

Ερμηνεύοντας τις εξώτερες αποθέσεις εξωτερικών αναχωμάτων, επισημάνθηκαν τα κυριότερα χαρακτηριστικά της τα οποία: είναι οι πλούσιες σε ιλύ αποθέσεις, το κοκκομετρικό μέγεθος, το πάχος του στρώματος του ψαμμίτη και η επικράτηση των ατροφικών ρυτιδώσεων (Kane et al., 2007; Kane and Hodgson, 2011; Morris et al., 2014). Η παρατηρούμενη τάση αύξησης του πάχους προς τα επάνω των αποθέσεων αυτών, (outer external levees), μπορεί να αποδοθεί στο αυξημένο ύψος ροής σε σχέση με το ύψος του αναχώματος, το οποίο οδηγεί σε πιο συχνές και πιο αμμώδεις ροές υπερχείλισης από το κανάλι με την πάροδο του χρόνου (Kane et al., 2007). Επιπλέον, εάν το κανάλι του βαθύτερου τμήματος του καναλιού (thalweg) μεταναστεύσει, το εξώτερο εξωτερικό ανάχωμα θα μετακινηθεί βαθμιαία πιο κοντά στο σημείο της υπερχείλισης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους και της συχνότητας των ροών, συμβάλλοντας στις τάσεις αύξησης του πάχους και του κοκκομετρικού μεγέθους προς τα επάνω που παρατηρούνται στις αποθέσεις. Αντίθετα, το τμήμα του ενδότερου εσωτερικού αναχώματος (inner internal levee) που απομακρύνεται περισσότερο από το σημείο υπερχείλισης θα εμφανίσει με την πάροδο του χρόνου μείωση του πάχους και του κοκκομετρικού μεγέθους προς τα επάνω, καθώς δέχεται σταδιακά λεπτότερες και λεπτότερες αποθέσεις (Kane et al., 2011). Η αφθονία των κυματισμών, ιδίως των ατροφικών ρυτιδώσεων, υποδηλώνει περιορισμένη ποσότητα ιζημάτων και ο σχηματισμός των κυματισμών σχετίζεται από ρεύματα πλούσια σε αιωρούμενο πηλό και άργιλο (Kane et al., 2007).



Εικόνα 9 Φωτογραφίες οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις ιζηματογενείς περιοχές που αναφερθήκαμε παραπάνω. α) Εξωτερικές αποθέσεις ριπιδίου: Τα διάφορα στοιχεία των λοβών είναι συσσωρευμένα μεταξύ τους δημιουργώντας πυκνά συμπλέγματα λοβών. β) Εσωτερικές αποθέσεις ριπιδίου: Τα συμπλέγματα κροκαλοπαγών καναλιών παρεμβάλλονται με ψαμμίτη και ιλυολιθικά ζεύγη που ερμηνεύονται ως εσωτερικά αναχώματα (Botziolis et al., 2021).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Allen, J. R. L. (1968). Current Ripples North- Holland (Vol. 433).

Allen, J. (1982). Sedimentary structures, their character and physical basis Volume 1. Elsevier.

ALLEN, J. R., & Leeder, M. R. (1980). Criteria for the instability of upper-stage plane beds. *Sedimentology*, 27(2), 209-217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1980.tb01171.x>

Anderton, R. (1995). Sequences, cycles and other nonsense: are submarine fan models any use in reservoir geology?. *Geological Society, London, Special Publications*, 94(1), 5-11. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.094.01.02>

Baas, J. H. (2004). Conditions for formation of massive turbiditic sandstones by primary depositional processes. *Sedimentary Geology*, 166(3-4), 293-310. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.01.011>

Baas, J. H., Best, J. L., Peakall, J., & Wang, M. (2009). A phase diagram for turbulent, transitional, and laminar clay suspension flows. *Journal of Sedimentary Research*, 79(4), 162-183. <https://doi.org/10.2110/jsr.2009.025>

Baas, J. H., Van Dam, R. L., & Storms, J. E. A. (2000). Duration of deposition from decelerating high-density turbidity currents. *Sedimentary Geology*, 136(1-2), 71-88. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00088-9](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00088-9)

Botziolis, C., Maravelis, A. G., Pantopoulos, G., Kostopoulou, S., Catuneanu, O., & Zelilidis, A. (2021). Stratigraphic and paleogeographic development of a deep-marine foredeep: Central Pindos foreland basin, western Greece. *Marine and Petroleum Geology*, 128, 105012. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105012>

Botziolis, C., Maravelis, A. G., Catuneanu, O., & Zelilidis, A. (2024). Controls on sedimentation in a deep-water foredeep: Central Pindos foreland basin, western Greece. *Basin Research*, 36(1), e12804. <https://doi.org/10.1111/bre.12804>

Bouma, A. H. (1962). Sedimentology of some flysch deposits. Agraphic approach to facies interpretation, 168.

Chen, C., Hiscott, R.N., 1999a. Statistical analysis of turbidite cycles in submarine fan associations: tests for short-term persistence. *J. Sediment. Res.* 69, 486–504.

Collinson, J. D., & Thompson, D. B. (1988). *Sedimentary structures* (2nd ed., p. 207). Unwin Hyman.

Deptuck, M. E. (2003). Post-rift geology of the Jeanne d'Arc Basin, with a focus on the architecture and evolution of early Paleogene submarine fans, and insights from modern deep-water systems.

Grundvåg, S. A., Johannessen, E. P., Helland-Hansen, W., & Plink-Björklund, P. (2014). Depositional architecture and evolution of progradationally stacked lobe complexes in the Eocene Central Basin of Svalbard. *Sedimentology*, 61(2), 535-569. <https://doi.org/10.1111/sed.12067>

Harms, J., & Fahnestock, R. K. (1965). Stratification, bed forms, and flow phenomena (with an example from the Rio Grande). <https://doi.org/10.2110/pec.65.08.0084>

Haughton, P., Davis, C., McCaffrey, W., & Barker, S. (2009). Hybrid sediment gravity flow deposits—classification, origin and significance. *Marine and Petroleum Geology*, 26(10), 1900-1918. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.02.012>

Hiscott, R. N. (1994). Loss of capacity, not competence, as the fundamental process governing deposition from turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, 64(2a), 209-214. <https://doi.org/10.2110/jsr.64.209>

Hiscott, R. N., & Williams, H. (1995). Middle Ordovician clastic rocks (Humber zone and St. Lawrence platform). Williams, H., ed, 87-98.

Hiscott, R. N., & Middleton, G. V. (1979). Depositional mechanics of thick-bedded sandstones at the base of a submarine slope, Tourelle Formation (Lower Ordovician), Quebec, Canada. <https://doi.org/10.2110/pec.79.27.0307>

Hiscott, R. N., & Middleton, G. V. (1980). Fabric of coarse deep-water sandstones, Tourelle Formation, Quebec, Canada. *Journal of Sedimentary Research*, 50(3), 703-721. <https://doi.org/10.1306/212F7AC7-2B24-11D7-8648000102C1865D>

Hodgson, D. M. (2009). Distribution and origin of hybrid beds in sand-rich submarine fans of the Tanqua depocentre, Karoo Basin, South Africa. *Marine and Petroleum Geology*, 26(10), 1940-1956. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.02.011>

Hodgson, D. M., Kane, I. A., Flint, S. S., Brunt, R. L., & Ortiz-Karpf, A. (2016). Time-transgressive confinement on the slope and the progradation of basin-floor fans: Implications for the sequence stratigraphy of deep-water deposits. *Journal of Sedimentary Research*, 86(1), 73-86. <https://doi.org/10.2110/jsr.2016.3>

Hubbard, S. M., de Ruig, M. J., & Graham, S. A. (2009). Confined channel-levee complex development in an elongate depo-center: deep-water Tertiary strata of the Austrian Molasse basin. *Marine and Petroleum Geology*, 26(1), 85-112. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.11.006>

Jobe, Z. R., Lowe, D. R., & Morris, W. R. (2012). Climbing-ripple successions in turbidite systems: depositional environments, sedimentation rates and accumulation times. *Sedimentology*, 59(3), 867-898. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2011.01283.x>

Kane, I.A., Kneller, B.C., Dykstra, M., Kassem, A., McCaffrey, W.D., 2007. Anatomy of a submarine channel-levee: an example from upper cretaceous slope sediments, rosario formation, baja California, Mexico. *Mar. Petrol. Geol.* 24, 540–563. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.01.003>

Kane, I.A., Hodgson, D.M., 2011. Sedimentological criteria to differentiate submarine channel levee subenvironments: exhumed examples from the rosario Fm. (Upper cretaceous) of baja California, Mexico, and the fort Brown Fm. (Permian), Karoo Basin, S. Africa. *Mar. Petrol. Geol.* 28 (3), 807–823. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.05.009>

Kneller, B. (1995). Beyond the turbidite paradigm: physical models for deposition of turbidites and their implications for reservoir prediction. Geological Society, London, Special Publications, 94(1), 31-49. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.094.01.04>

Kneller, B. C., & Branney, M. J. (1995). Sustained high-density turbidity currents and the deposition of thick massive sands. *Sedimentology*, 42(4), 607-616. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1995.tb00395.x>

Kneller, B., & McCaffrey, W. (1999). Depositional effects of flow nonuniformity and stratification within turbidity currents approaching a bounding slope; deflection, reflection, and facies variation. *Journal of Sedimentary Research*, 69(5), 980-991. <https://doi.org/10.2110/jsr.69.980>

Kneller, B. (2003). The influence of flow parameters on turbidite slope channel architecture. *Marine and Petroleum Geology*, 20(6-8), 901-910. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.03.001>

Komar, P. D. (1991). The hydraulic interpretation of turbidites from their grain sizes and sedimentary structures. *Deep-Water Turbidite Systems*, 41-53.
<https://doi.org/10.1002/9781444304473.ch3>

Kuenen, P. H., & Humbert, F. L. (1969). Grain size of turbidite ripples. *Sedimentology*, 13(3-4), 253-261.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1969.tb00172.x>

Leclair, S. F., & Arnott, R. W. C. (2005). Parallel lamination formed by high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, 75(1), 1-5.
<https://doi.org/10.2110/jsr.2005.001>

Lowe, D. R. (1975). Water escape structures in coarse-grained sediments. *Sedimentology*, 22(2), 157-204. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1975.tb00290.x>

Lowe, D. R. (1982). Sediment gravity flows; II, Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of sedimentary research*, 52(1), 279-297. <https://doi.org/10.1306/212F7F31-2B24-11D7-8648000102C1865D>

Lowe, D. R. (1988). Suspended-load fallout rate as an independent variable in the analysis of current structures. *Sedimentology*, 35(5), 765-776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1988.tb01250.x>

Lowe, D. R., & Guy, M. (2000). Slurry-flow deposits in the Britannia Formation (Lower Cretaceous), North Sea: a new perspective on the turbidity current and debris flow problem. *Sedimentology*, 47(1), 31-70. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2000.00276.x>

Mattern, F. (2002). Amalgamation surfaces, bed thicknesses, and dish structures in sand-rich submarine fans: numeric differences in channelized and unchannelized deposits and their diagnostic value. *Sedimentary Geology*, 150(3-4), 203-228.
[https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00180-4](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00180-4)

Mattern, F. (2005). Ancient sand-rich submarine fans: depositional systems, models, identification, and analysis. *Earth-Science Reviews*, 70(3-4), 167-202.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.12.001>

McCaffrey, W., & Kneller, B. (2001). Process controls on the development of stratigraphic trap potential on the margins of confined turbidite systems and aids to reservoir evaluation. *AAPG bulletin*, 85(6), 971-988. <https://doi.org/10.1306/8626ca41-173b-11d7-8645000102c1865d>

McCave, I. N., & Jones, K. P. N. (1988). Deposition of ungraded muds from high-density non-turbulent turbidity currents. *Nature*, 333(6170), 250-252.
<https://doi.org/10.1038/333250a0>

Middleton, G. V. (1970). Experimental studies related to problems of flysh sedimentation. *Geol. Assoc. Can. Spec. Paper*, 7, 253-272.

Middleton, G. V. (1993). Sediment deposition from turbidity currents. *Annual review of earth and planetary sciences*, 21(1), 89-114. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.21.050193.000513>.

Morris, E. A., Hodgson, D. M., Brunt, R. L., & Flint, S. S. (2014). Origin, evolution and anatomy of silt-prone submarine external levées. *Sedimentology*, 61(6), 1734-1763. <https://doi.org/10.1111/sed.12114>

Mulder, T., & Alexander, J. (2001). The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology*, 48(2), 269-299. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2001.00360.x>

Mutti, E. (1979). Turbidites et cones sous-marins profonds. *Sédimentation détritique (fluviale, littorale et marine)*, 1, 353-419.

Mutti, E., & Normark, W. R. (1987). Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts. *Marine clastic sedimentology: Concepts and case studies*, 1-38.

Mutti, E., & Ricci Lucchi, F. (1978). Turbidites of the northern Apennines: introduction to facies analysis. *International geology review*, 20(2), 125-166. <https://doi.org/10.1080/00206817809471524>

Mutti, E., Tinterri, R., Benevelli, G., di Biase, D., & Cavanna, G. (2003). Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. *Marine and Petroleum Geology*, 20(6-8), 733-755. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.09.001>.

Nilsen, T.H., 1980. Modern and ancient submarine fans: discussion of papers by R.G. Walker and W.R. Normark. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 64, 1094–1112.

Nilsen, T.H., 1984. Turbidite facies. Turbidite facies associations. Models of ancient turbidite deposits. In: Nelson, H., Nilsen, T.H. (Eds.), *Modern and Ancient Deep-sea Fan Sedimentation*. SEPM Short Course, vol. 14, pp. 170–325. Tulsa.

Normark, W.R., 1978. Fan valleys, channels, and depositional lobes on submarine fans: characters for recognition of sandy turbidite environments. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 62, 912–931.

Pickering, K.T., Hiscott, R.N., Hein, F.J., 1989. *Deep marine environments*. Unwin Hyman, London, 416 pp.

Piper, D. J., Panagos, A. G., & Pe, G. G. (1978). Conglomeratic Miocene flysch, western Greece. *Journal of Sedimentary Research*, 48(1), 117-125. <https://doi.org/10.1306/212F740A-2B24-11D7-8648000102C1865D>.

Prélat, A., Hodgson, D. M., & Flint, S. S. (2009). Evolution, architecture and hierarchy of distributary deep-water deposits: a high-resolution outcrop investigation from the Permian Karoo Basin, South Africa. *Sedimentology*, 56(7), 2132-2154. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2009.01073.x>.

Raudkivi, A. J. (1963). Study of sediment ripple formation. *Journal of the Hydraulics Division*, 89(6), 15-34. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000952>.

Reading, H.G., Richards, M., 1994. Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 78, 792–822.

Southard, J. B. (1991). Experimental determination of bed-form stability. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 19(1), 423-455. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.19.050191.002231>.

Spychala, Y. T., Hodgson, D. M., Stevenson, C. J., & Flint, S. S. (2017). Aggradational lobe fringes: The influence of subtle intrabasinal seabed topography on sediment gravity flow processes and lobe stacking patterns. *Sedimentology*, 64(2), 582-608. <https://doi.org/10.1111/sed.12315>.

Stow, D. A., & Bowen, A. J. (1978). Origin of lamination in deep sea, fine-grained sediments. *Nature*, 274(5669), 324-328. <https://doi.org/10.1038/274324a0>

Stow, D. A. V., & Piper, D. J. W. (1984). Deep-water fine-grained sediments: facies models. *Geological Society, London, Special Publications*, 15(1), 611-646. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1984.015.01.38>.

Sumner, E. J., Amy, L. A., & Talling, P. J. (2008). Deposit structure and processes of sand deposition from decelerating sediment suspensions. *Journal of Sedimentary Research*, 78(8), 529-547. <https://doi.org/10.2110/jsr.2008.062>.

Sumner, E. J., Talling, P. J., Amy, L. A., Wynn, R. B., Stevenson, C. J., & Frenz, M. (2012). Facies architecture of individual basin-plain turbidites: Comparison with existing models and implications for flow processes. *Sedimentology*, 59(6), 1850-1887. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01329.x>.

Sylvester, Z., & Lowe, D. R. (2004). Textural trends in turbidites and slurry beds from the Oligocene flysch of the East Carpathians, Romania. *Sedimentology*, 51(5), 945-972. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2004.00653.x>.

Talling, P. J., Amy, L. A., & Wynn, R. B. (2007). New insight into the evolution of large-volume turbidity currents: comparison of turbidite shape and previous modelling results. *Sedimentology*, 54(4), 737-769. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00858.x>.

Talling, P. J., Malgesini, G., Sumner, E. J., Amy, L. A., Felletti, F., Blackbourn, G., ... & Akbari, S. (2012). Planform geometry, stacking pattern, and extrabasinal origin of low strength and intermediate strength cohesive debris flow deposits in the Marnoso-arenacea Formation, Italy. *Geosphere*, 8(6), 1207-1230. <https://doi.org/10.1130/GES00734.1>.

Talling, P. J., Malgesini, G., Sumner, E. J., Amy, L. A., Felletti, F., Blackbourn, G., ... & Akbari, S. (2012). Planform geometry, stacking pattern, and extrabasinal origin of low strength and intermediate strength cohesive debris flow deposits in the Marnoso-

arenacea Formation, Italy. *Geosphere*, 8(6), 1207-1230.
<https://doi.org/10.1130/GES00734.1>.

Talling, P. J., Masson, D. G., Sumner, E. J., & Malgesini, G. (2012). Subaqueous sediment density flows: Depositional processes and deposit types. *Sedimentology*, 59(7), 1937-2003. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01353.x>.

Walker, R. G. (1965). The origin and significance of the internal sedimentary structures of turbidites. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 35(1), 1-32. <https://doi.org/10.1144/pygs.35.1.1>.

Walker, R. G. (1978). Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps. *AAPG Bulletin*, 62(6), 932-966. <https://doi.org/10.1306/C1EA4F77-16C9-11D7-8645000102C1865D>.

Walker, R. G. (1985). Mudstones and thin-bedded turbidites associated with the Upper Cretaceous Wheeler Gorge conglomerates, California; a possible channel-levee complex. *Journal of Sedimentary Research*, 55(2), 279-290. <https://doi.org/10.1306/212F869D-2B24-11D7-8648000102C1865D>.

Walker, T. R. (1967). Formation of red beds in modern and ancient deserts. *Geological Society of America Bulletin*, 78(3), 353-368. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1967\)78\[353:FORBIM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1967)78[353:FORBIM]2.0.CO;2).