

10.1 Πεδία πηλού (mud flats)

10.1.1 Χαρακτηριστικά πηλωδών ιζημάτων

Ο όρος πηλός (mud) χρησιμοποιείται για ιζήματα που αποτελούνται από μείγμα ιλύος (μέγεθος κόκκων μεταξύ 0,004 και 0,063 mm) και αργίλου (μέγεθος κόκκων μικρότερο των 0,004 mm) (σχήμα 6.3). Το λεπτόκοκκο αυτό υλικό μπορεί εύκολα να διατηρηθεί σε αιώρηση και να μεταφερθεί για μεγάλες αποστάσεις από τα παράκτια ρεύματα και την παλίρροια. Σε αντίθεση με τα περισσότερα χονδρόκοκκα χαλαρά υλικά, όπως οι άμμοι και οι χάλικες, τα πηλώδη ιζήματα είναι συνεκτικά. Αυτό οφείλεται στις ηλεκτροχημικές ιδιότητες των μικροσκοπικών κόκκων - σωματιδίων των αργιλικών ορυκτών που συγκρατούν τους κόκκους μεταξύ τους με

ισχυρές δυνάμεις σχηματίζοντας μεγαλύτερα σύνθετα σωματίδια που ονομάζονται συσσωματώματα (flocs) με μια διεργασία που είναι γνωστή ως συσσωμάτωση ή κροκιδωση (flocculation). Η διεργασία αυτή επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες με σημαντικότερους την αλατότητα, τη δύναμη συνάφειας των ρευστών και τη συγκέντρωση του αιωρούμενου ιζήματος (Lick & Huang, 1993). Η συσσωμάτωση των σωματιδίων μπορεί να διαφέρει σημαντικά τόσο στο χώρο, όσο και στο χρόνο ειδικά στα εκβολικά συστήματα όπου το γλυκό νερό των ποταμών αναμειγνύεται με το αλμυρό θαλάσσιο νερό και η ένταση της ροής αλλάζει σημαντικά κατά τη διάρκεια του κύκλου της παλίρροιας.

Η συνεκτική φύση των πηλωδών ιζημάτων κάνει τη συμπεριφορά τους πολύ περισσότερο περίπλοκη από αυτή των μη συνεκτικών άμμων. Τα συσσωματώματα



Φωτο 10.1 Μαγκρόβια (mangrove) βλάστηση σε περιοχή των βορειοανατολικών ακτών του North Island, N. Zealand.

αποτίθενται από αιώρηση πολύ γρηγορότερα απ' ό,τι οι μεμονωμένοι κόκκοι των ορυκτών από τα οποία αποτελούνται. Η σταθερότητα, η περιορισμένη δηλαδή κινητικότητα, των φυσικών πηλωδών αποθέσεων ελέγχεται και επηρεάζεται όχι μόνο από φυσικές παράκτιες διεργασίες, αλλά και από τη βιολογική δραστηριότητα ενός πλούσιου και ποικίλου συστήματος χλωρίδας και πανίδας που περιλαμβάνει οργανισμούς όπως μακροσκοπικά και μικροσκοπικά φύκη, ασπόνδυλα και βακτήρια (Paterson, 1997).

10.1.2 Ακτές που καταλαμβάνονται από ίζημα μεγέθους πηλού

Ακτές που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ιζημάτων μεγέθους πηλού συνήθως βρίσκονται κατά μήκος ακτογραμμών χαμηλής ενέργειας που τροφοδοτούνται επαρκώς με ιλύ και άργιλο. Αυτές συνήθως βρίσκονται στα περιθώρια των εκβολικών συστημάτων των ποταμών, στα ποτάμια δέλτα και σε ορισμένες περιοχές χαμηλών ακτών εκτεθειμένων στην ανοικτή θάλασσα που δέχονται όμως μικρή κυματική ενέργεια (French, 2004). Στα περιβάλλοντα αυτά συνήθως κυριαρχεί η διεργασία της παλίρροιας. Οι χαρακτηριστικές γεωμορφές των πηλωδών ακτών είναι τα παλιρροιακά πεδία (tidal flats), τα αλμυρά έλη (salt marshes) και τα έλη με μαγκρόβια βλάστηση (mangrove swamps). Οι γεωμορφές αυτές είναι πολύ καλά ανεπτυγμένες σε παράκτιες περιοχές μακρο-παλιρροιακών συνθηκών, όπου το εύρος παλίρροιας δηλαδή είναι μεγάλο, οπότε σημαντικές εκτάσεις κατά μήκος των ακτών τους βρίσκονται στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη (Hayes, 1975). Τα μεγαλύτερα ποτάμια του κόσμου αποστραγγίζουν μεγάλες εκτάσεις και μεταφέρουν σημαντική ποσότητα λεπτόκοκκων ιζημάτων (πηλού) που καταλήγουν στις εκβολές τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα εκτεταμένες περιοχές των εκβολικών τους συστημάτων ή των δέλτα τους να καταλαμβάνονται από παλιρροιακά πεδία και αλμυρά έλη ή έλη με μαγκρόβια βλάστηση (φωτο 10.1).

Η ενδοπαλιρροιακή ζώνη των ακτών πηλωδών ιζημάτων περιλαμβάνει μια χαμηλή περιοχή, που χαρακτηρίζεται από την παρουσία παλιρροιακών πεδίων που επικρατεί η άμμος, μια ενδιάμεση ζώνη παλιρροιακών πεδίων από πηλό και μια ανώτερη ενδοπαλιρροιακή περιοχή που καταλαμβάνεται από αλμυρά έλη ή έλη με μαγκρόβια (φωτο 10.1, 10.2). Σε μερικές περιοχές το ανώτερο τμήμα της ενδοπαλιρροιακής ζώνης χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό υπερπαλιρροιακό πεδίο (high supratidal plain or flat) που καλύπτεται από το θαλάσσιο νερό μόνο όταν επικρατούν συνθήκες εξαιρετικά υψηλής στάθμης θάλασσας, όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Το τοπογραφικά χαμηλό τμήμα της ενδοπαλιρροιακής ζώνης κυριαρχείται από επιφάνειες μικρής κλίσης που διασχίζονται από κοίτες παλίρροιας (creeks ή tidal channels) μικρού βάθους (φωτο 10.3). Η μορφή των κοιτών αυτών ποικίλει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να είναι από απλά ρυάκια έως μεγάλα περίπλοκα δίκτυα κοιτών. Το μέγεθος των κόκκων των επιφανειακών ιζημάτων της ενδοπαλιρροιακής ζώνης γενικά μειώνεται από την ακτογραμμή προς την ξηρά ενώ η κατακόρυφη στρωματογραφική ακολουθία εμφανίζει μια σταδιακή μείωση του μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων από τα κατώτερα προς τα ανώτερα στρώματα (French, 2004).

Οι φυσικές διεργασίες της ιζηματογένεσης στα πεδία πηλού έχουν μελετηθεί αρκετά κυρίως σε ό,τι αφορά τη μεταφορά και απόθεση του ιζήματος. Η ελάττωση της ταχύτητας των παλιρροιακών ρευμάτων προς τη διεύθυνση της ξηράς έχει σαν αποτέλεσμα την απόθεση του αιωρούμενου ιζήματος κατά τη διάρκεια της πλημμυρίδας. Αυτή η μείωση της μεταφορικής ικανότητας των ανερχόμενων παλιρροιών εξηγεί την προς την πλευρά της ξηράς μείωση του μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων στα πεδία πηλού. Ένα μέρος του υλικού που αποτίθεται κατά την πλημμυρίδα επανατίθεται σε αιώρηση κατά την άμπωτη. Τόσο η οριζόντια προέλαση, όσο και η κατακόρυφη προσαύξηση (accretion) των ενδοπαλιρ-



Φωτο 10.2 Άποψη αλμυρού έλους (salt marsh) και πεδίου παλίρροιας (tidal flat) κατά τη διάρκεια της άμπωτης στο Newport Bay Estuary, Orange County, California, U.S.A. (φωτογραφία: Ann Dittmer)



Φωτο 10.3 Κοίτη παλίρροιας (tidal creek) στο χαμηλό τμήμα της ενδοπαλιρροιακής ζώνης στο Cairns, Queensland, North Australia.



Φωτο 10.4 Έλος με μαγκρόβια βλάστηση (mangrove swamp) Cairns, Queensland, North Australia.

ροιακών πηλωδών ιζημάτων αποτελούν ένδειξη ότι η απόθεση λαμβάνει χώρα κυρίως κατά την πλημμυρίδα (Evans, 1965).

Οι ρυθμοί της ιζηματογένεσης στα πεδία πηλού μπορεί αρχικά να είναι υψηλοί (της τάξης των αρκετών εκατοστών ανά έτος) αλλά στη συνέχεια καθώς η άνοδος του υψόμετρου της επιφάνειας του πεδίου, λόγω της απόθεσης των ιζημάτων, μειώνει τη συχνότητα κατάκλυσης από το θαλάσσιο νερό, οι ρυθμοί αυτοί ελαττώνονται. Η ανάπτυξη αλοφυτικής βλάστησης και η μετάβαση από το παλιρροιακό πεδίο στο αλμυρό έλος ή έλος με μαγκρόβια βλάστηση μπορεί να συνοδεύεται από μια επιπλέον αύξηση στο ρυθμό της ιζηματογένεσης. Η αύξηση αυτή αποδίδεται στη μετάβαση προς ένα περιβάλλον μικρότερης ενέργειας, όπως είναι αυτό του έλους, εξαιτίας της παρουσίας της βλάστησης που οδηγεί σε αυξημένη συνοχή του ιζήματος. Αυτοί οι ρυθμοί ιζηματογένεσης όμως γρήγορα ελαττώνονται καθώς η κατακόρυφη προσαύξηση περιορίζει την έκταση που καλύπτεται από το θαλάσσιο νερό. Έτσι τα υψόμετρα της επιφάνειας των υγρότοπων τείνουν προς ένα καθεστώς ισορροπίας μεταξύ της ιζηματογένεσης (απόθεσης), της συμπίκνωσης των παλαιότερων υποκείμενων αποθέσεων, που προκαλεί την ταπείνωση της επιφάνειας, και της στάθμης της θάλασσας που μεταβάλλεται λόγω της παλίρροιας.

10.1.3 Μορφολογία και προφίλ των πεδίων πηλού

Η τοπογραφία των πεδίων πηλού εξαρτάται από τη δυναμική αλληλεπίδραση των υδροδυναμικών συνθηκών, που σχετίζονται με την παλίρροια και τον κυματισμό, και την ιζηματογένεση. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η δράση του κυματισμού είναι περισσότερο σημαντική απ' ό,τι πίστευαν παλαιότερα. Επιπλέον αναγνωρίστηκε η σημασία της δράσης των βιολογικών διεργασιών στην σταθεροποίηση του ιζήματος. Ο Pethic (1996) έδειξε ότι υπάρχει μια αντιστοιχία μεταξύ της διαμόρφωσης της μορφολογίας των πεδίων πηλού και των διακυμάνσεων της κυματικής ενέργειας και των μορφοδυναμικών χαρακτηριστικών των μη συνεκτικών αμμωδών αιγιαλών. Η επίδραση του κυματισμού διαφέρει μεταξύ των εσωτερικών περιοχών των εκβολικών συστημάτων, που υπόκεινται στη δράση μικρών κυμάτων (με περιορισμένο μήκος αναπτύγματος), και των εξωτερικών τμημάτων των εκβολικών συστημάτων, που υπόκεινται στη δράση κυμάτων μεγαλύτερου ύψους. Ακόμη και σε περιοχές όπου το μήκος ανάπτυξης του κυματισμού (fetch) είναι περιορισμένο τα κύματα μπορεί να ασκούν δυνάμεις ισχυρότερες από αυτές που οφείλονται στα ρεύματα παλίρροιας με αποτέλεσμα να είναι ικανά να επαναθέσουν σε αιώρηση το ιζημα των πεδίων πηλού. Η ζώνη επανάθεσης σε αιώρηση των κόκκων των ιζημάτων της επιφάνειας των πεδίων πηλού μετακι-

νείται πάνω - κάτω κατά μήκος του προφίλ του πεδίου. Η μετακίνηση της ζώνης αυτής οφείλεται στη συνδυασμένη δράση του κυματισμού και της αυξομείωσης της στάθμης λόγω της παλίρροιας. Με την πάροδο του χρόνου το προφίλ του πεδίου πηλού αποκτά μια μορφή που βρίσκεται σε ισορροπία με τις δυνάμεις που ασκούνται από τον κυματισμό. Διάφορα πειραματικά αριθμητικά μοντέλα έδειξαν ότι το τελικό προφίλ ισορροπίας των πηλωδών ακτών συνήθως έχει μια κοίλη μορφή (Roberts et al., 2000).

Σε περιοχές που είναι περισσότερο εκτεθειμένες στον κυματισμό τα πεδία πηλού προσαρμόζονται σε ενεργειακά υψηλότερες κυματικές συνθήκες. Στην περίπτωση αυτή η μορφολογία του πεδίου καθορίζεται από μια ισορροπία μεταξύ μεμονωμένων επεισοδίων διάβρωσης λόγω κυματισμού και επεισοδίων ανάκτησης (προσαύξησης) λόγω απόθεσης στις περιόδους που μεσολαβούν.

Τα πεδία πηλού στα οποία κυριαρχεί η προέλαση έχουν ένα υψηλό και κυρτό προφίλ ενώ εκείνα που διαβρώνονται χαρακτηρίζονται από ένα χαμηλότερο και κοίλο προφίλ. Οι Mehta & Kirby (2001) αποδίδουν τη διαφορά αυτή στη μορφολογία στα διαφορετικά τους χαρακτηριστικά που διασκορπίζουν την κυματική ενέργεια. Στην περίπτωση των υψηλών κυρτών προφίλ το μείγμα νερού - ιζήματος διασκορπίζει σημαντικά τις δυνάμεις που ασκούν η παλίρροια και ο κυματισμός, ιδίως όταν είναι παρόντα λεπτά επιφανειακά στρώματα ρευστού πηλού. Αντίθετα στα χαμηλά κοίλα πεδία πηλού οι αποθέσεις είναι συνήθως υπερσυνεκτικοποιημένες με αποτέλεσμα η κυματική ενέργεια να διασκορπίζεται με το να θέτει σε κίνηση το ιζημα. Τέτοια συστήματα είναι συνήθως διαβρωσιγενή.

10.1.3.1 Η δράση των οργανισμών

Τα επιφανειακά ιζήματα των πεδίων πηλού συγκεντρώνουν μια ποικιλία οργανισμών. Η δράση μερικών από αυτούς σταθεροποιεί το ιζημα ενώ η δράση κάποιων άλλων διευκολύνει τη διάβρωση. Τα περισσότερα πεδία πηλού φιλοξενούν κοινότητες βενθονικών διατόμων που εκκρίνουν μεγάλες ποσότητες ουσιών που αποτελούν το κύριο συστατικό επιφανειακών μεμβρανών ο σχηματισμός των οποίων αυξάνει τη σταθερότητα της επιφάνειας των ιζημάτων (Paterson, 1997). Η δράση της μέσο-και μακρο-πανίδας είναι ενεργή σε μεγαλύτερα βάθη και μπορεί με διάφορους τρόπους να σταθεροποιήσει ή να μειώσει τη σταθερότητα του πεδίου. Οι βιολογικές διεργασίες ποικίλουν εξαιρετικά τόσο χωρικά, όσο και χρονικά και είναι πολύ σημαντικές για τον καθορισμό του ορίου της ασκούμενης δύναμης πέραν του οποίου λαμβάνει χώρα διάβρωση. Αν το όριο αυτό ξεπεραστεί, η διάβρωση μπορεί να προχωρήσει πολύ γρήγορα με ένα ρυθμό που ελέγχεται κυρίως από τις ιδιότητες του μεγέθους των συσσωματωμάτων του ιζήματος.

10.2 Ενδοπαλιρροιακά ή παλιρροιακά πεδία (intertidal or tidal flats)

Ενδοπαλιρροιακά ή παλιρροιακά πεδία (intertidal or tidal flats) ονομάζονται τα παράκτια περιβάλλοντα που έχουν τη μορφή εκτεταμένων επιφανειών μικρής κλίσης, καταλαμβάνονται από χαλαρά ιζήματα, χαρακτηρίζονται από την απουσία βλάστησης και φιλοξενούν ειδικά προσαρμοσμένους στις συνθήκες αυτές οργανισμούς. Τα παλιρροιακά πεδία καλύπτονται και αποκαλύπτονται διαδοχικά από το θαλάσσιο νερό κατά την πλημμυρίδα και την άμπωτη, κατά τα διάρκεια δηλαδή του κύκλου παλίρροιας, χωρίς όμως να είναι εκτεθειμένα σε σημαντική κυματική ενέργεια (φωτο 10.5, 10.6). Για παράδειγμα πολλοί αιγιαλοί εμφανίζουν εκτεταμένες περιοχές στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη χωρίς να καταλαμβάνονται από βλάστηση δε θεωρούνται όμως παλιρροιακά πεδία. Το εύρος και η έκταση των παλιρροιακών πεδίων εξαρτώνται άμεσα από το εύρος παλίρροιας, τη γεωλογία του υπεδάφους και τη μορφολογία της παράκτιας περιοχής στην οποία αναπτύσσονται. Ένας επιπλέον παράγοντας που καθορίζει την έκταση των παλιρροιακών πεδίων είναι η ποσότητα του διαθέσιμου ιζήματος στο εκβολικό σύστημα. Εκβολικά συστήματα που δεν έχουν πληρωθεί σημαντικά με ιζήμα εμφανίζουν περιορισμένου πλάτους παλιρροιακά πεδία ενώ αντίθετα εκείνα που διαθέτουν σημαντικές ποσότητες ιζήματος έχουν διαμορφώσει εκτεταμένα πεδία παλίρροιας.

Η κλίση των παλιρροιακών πεδίων κατά μήκος επίπεδων χαμηλών παράκτιων περιοχών, όπως είναι οι εκτεταμένες παράκτιες πεδιάδες, είναι πολύ μικρή. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις ακτών που η κλίση των παλιρροιακών πεδίων που φιλοξενούν είναι σχετικά μεγάλη.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η μορφολογικά μονότονη και σχεδόν επίπεδη επιφάνεια των παλιρροιακών πεδίων συνήθως διακόπτεται από κοίτες παλίρροιας (φωτο 10.3). Οι κοίτες αυτές μπορεί να είναι από μικρές και εφήμερες, που απέχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους, έως μεγάλες και αρκετά βαθιές. Οι μεγάλες και βαθιές κοίτες διαθέτουν συνήθως νερό καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου της παλίρροιας ακόμη και κατά τις παλίρροιες συζυγιών. Η γεωμορφολογική σημασία των κοιτών αυτών είναι μεγάλη διότι λειτουργούν ως κανάλια μεταφοράς ιζήματος από και προς το πεδίο τόσο κατά τις πλημμυρίδες όσο και κατά τις άμπωτες. Η ανάπτυξη των κοιτών στα παλιρροιακά πεδία μοιάζει αρκετά με τον τρόπο ανάπτυξης των κλάδων ενός τυπικού υδρογραφικού δικτύου, με μικρούς παραπόταμους που ενώνονται για να σχηματίσουν μια μεγαλύτερη κοίτη.

Το ιζήμα των παλιρροιακών πεδίων και των κοιτών παλίρροιας, που αρκετά συχνά διασχίζουν την επιφάνειά τους, είναι πηλός, άμμος ή στις περισσότερες περιπτώσεις μείγμα πηλού και άμμου. Αρκετά συχνά οι κοίτες παλίρροιας εμφανίζουν μεγάλη συγκέντρωση θραυσμάτων κελυφών στον πυθμένα τους. Το είδος του ιζή-



Φωτο 10.5 Αμώδες παλιρροιακό πεδίο (tidal flat) στις ακτές του δυτικού δέλτα του Εύηνου ποταμού.



Φωτο 10.6 Το παλιρροιακό πεδίο της φωτο 10.5 στις όχθες της λιμνοθάλασσας Κλείσοβα. Ιζηματολογικά κυριαρχεί η παρουσία πηλού (μείγματος ιλύος και αργίλου).

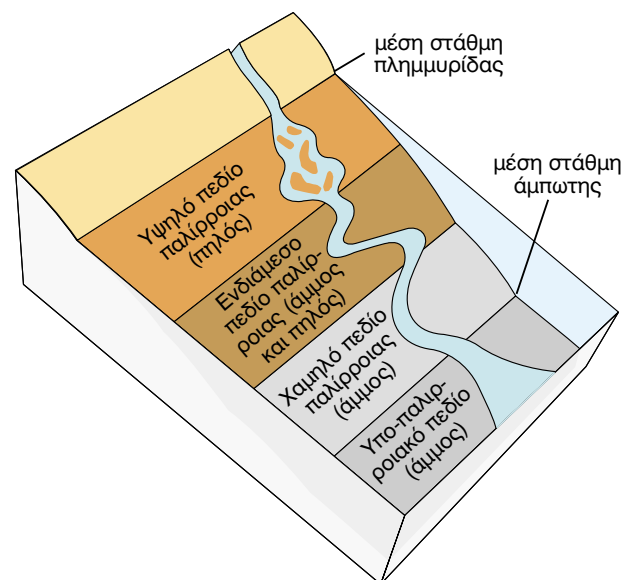
ματος, ο ρυθμός συγκέντρωσης και απόθεσής του αλλά και το είδος των μικρο-μορφολογικών χαρακτηριστικών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των παλιρροιακών πεδίων καθορίζονται από το είδος, την κανονικότητα και τη δριμύτητα των παλιρροιακών ρευμάτων.

10.2.1 Κατανομή των ιζημάτων στα παλιρροιακά πεδία

Τα τυπικά ιζήματα των παλιρροιακών πεδίων είναι άμμος και πηλός με μερικά σκόρπια κελύφη οργανισμών. Γενικά υπάρχει ένα σχέδιο διανομής των ιζημάτων που είναι κανονικό, σύνηθες και προβλέψιμο (σχήμα 10.1). Η κατανομή του ιζήματος εξαρτάται τόσο από το ενεργειακό καθεστώς, όσο και από τη θέση εντός του παλιρροιακού πεδίου. Η μεγαλύτερη ενέργεια λαμβάνει χώρα στη βάση της ενδοπαλιρροιακής ζώνης που είναι και το χαμηλότερο τμήμα του παλιρροιακού πεδίου. Η περιοχή αυτή συνήθως καταλαμβάνεται από άμμο το μέγεθος των κόκκων της οποίας εξαρτάται από το κοκκομετρικό φάσμα που είναι διαθέσιμο στο εκάστοτε εκβολικό σύστημα.

Το μέγεθος των κόκκων μειώνεται από την ακτογραμμή προς την ξηρά αλλά και προς τα πάνω διαμέσου του παλιρροιακού πεδίου (σχήμα 10.1) με τον πηλό να βρίσκεται στην κορυφή ή προς το εσωτερικό (δηλαδή στο προς την ξηρά) τμήμα του ενδοπαλιρροιακού περιβάλλοντος. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα περισσότερα παράκτια περιβάλλοντα όπου το μέγεθος των κόκ-

κων μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή προσφοράς του ιζήματος δηλαδή από τη χερσαία περιοχή. Αυτό οφείλεται στο ότι τα παλιρροιακά πεδία δέχονται το ιζήμα τους από την πλευρά της θάλασσας και συνεπώς το μέγεθος των κόκκων μειώνεται προς την ξηρά.



Σχήμα 10.1 Η συνήθης κατανομή των ιζημάτων σε ένα πεδίο παλίρροιας (tidal flat). Το μέγεθος των κόκκων μειώνεται από τη μέση στάθμη της άμπωτης προς τη μέση στάθμη της πλημμυρίδας. (τροποποιημένο από Davis & Fitzgerald, 2004)

Γενικά τα επιφανειακά ιζήματα των παλιρροιακών πεδίων είναι αρκετά καλά ταξινομημένα σε κάθε επιμέρους τμήμα τους, διότι οι συνθήκες σε κάθε ένα από αυτά παραμένουν ίδιες. Εξαιρέση σ' αυτή τη γενίκευση αποτελούν τα κελύφη των οργανισμών που μπορεί να είναι διασκορπισμένα σε διάφορα μεγέθη διότι πρόκειται για αυτόχθονα υλικά του περιβάλλοντος των παλιρροιακών πεδίων. Επίσης, σε τμήματα του παλιρροιακού πεδίου που υπάρχουν στάσιμα νερά μπορεί να εμφανίζονται αποθέσεις πηλού που αποτίθεται από αιώρηση. Υπάρχουν και περιπτώσεις παλιρροιακών πεδίων που βρίσκονται κοντά σε περιοχές εμφάνισης πετρωμάτων η διάβρωση των οποίων είναι δυνατόν να τα τροφοδοτεί με υλικά μεγάλων διαστάσεων.

10.3 Αλμυρά έλη (saltmarshes)

Τα παράκτια αλμυρά έλη (saltmarshes) είναι γεωμορφές απόθεσης που βρίσκονται στο ανώτερο τμήμα της ενδοπαλιρροιακής ζώνης και καταλαμβάνονται από αλοφυτική (ανθεκτική στο αλάτι) βλάστηση (φωτο 10.7). Η παρουσία βλάστησης είναι η κύρια αιτία που διαφοροποιεί τα αλμυρά έλη από τα παλιρροιακά πεδία από τα οποία συνήθως προκύπτουν.

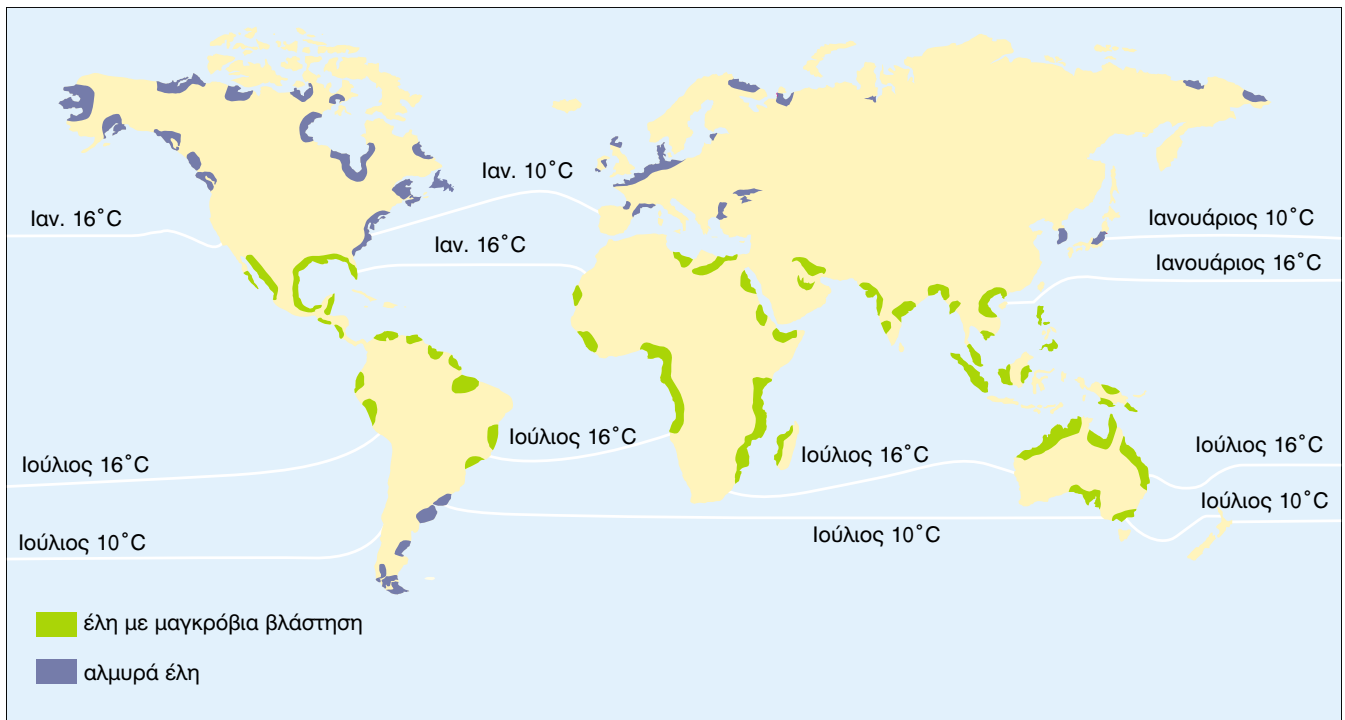
Αλμυρά έλη υπάρχουν κατά μήκος των παράκτιων εύκρατων περιοχών και των ακτών μεγάλων γεωγραφικών πλατών ενώ στις τροπικές περιοχές δίνουν τη θέση τους στα έλη με μαγκρόβια βλάστηση (mangroves swamps) (σχήμα 10.2, φωτο 10.4).

Τοπικά η εμφάνιση και ανάπτυξή τους περιορίζεται σε περιβάλλοντα χαμηλής κυματικής ενέργειας που ευνοούν τη συσσώρευση και απόθεση λεπτόκοκκου (πηλώδους) ιζήματος. Η μορφολογία των περισσότερων αλμυρών ελών χαρακτηρίζεται από μια ιζηματογενή επιφάνεια που καλύπτεται από βλάστηση και κλίνει ελαφρώς προς τη θάλασσα. Αρκετά συχνά η επιφάνεια, όπως και στα παλιρροιακά πεδία, διακόπτεται από κοίτες παλίρροιας (tidal channels ή creeks) (φωτο 10.8).

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας ενός αλμυρού έλους συχνά συνδέονται με μια ζώνωση στην παραγωγικότητα των φυτών και στη σύνθεση των φυτικών ειδών που αναπτύσσονται σε αυτό. Η ζώνωση αυτή καθορίζεται από το συνδυασμό πολύπλοκων παραγόντων όπως η αντοχή των φυτικών ειδών στην αλατότητα, η διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά και η συχνότητα της κάλυψης της επιφάνειας από το θαλάσσιο νερό που είναι συνάρτηση του υψόμετρου και της μορφολογίας (κυρίως της κλίσης).



Φωτο 10.7 Αλμυρό έλος (saltmarsh) στο δέλτα του Εύηνου (δυτικά της κοίτης του ποταμού).



Σχήμα 10.2 Παγκόσμια γεωγραφική κατανομή των αλμυρών ελών (saltmarshes) και των ελών με μαγκρόβια βλάστηση (mangrove swamps). Τα έλη με μαγκρόβια βλάστηση περιορίζονται στα μικρά και μέσα γεωγραφικά πλάτη διότι τα φυτά αυτά δεν μπορούν να επιβιώσουν σε ψυχρές κλιματικές συνθήκες. (τροποποιημένο από Davis & Fitzgerald, 2004)



Φωτο 10.8 Κοίτη παλίρροιας (tidal creek) σε αλμυρό έλος (saltmarsh) του δέλτα του Εύηνου ποταμού.

Σε παγκόσμια κλίμακα υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά των αλμυρών ελών από περιοχή σε περιοχή. Οι διαφορές αυτές είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των οικολογικών, των κλιματικών, των εδαφικών και των υδρολογικών συνθηκών της περιοχής στην οποία φιλοξενούνται. Τα αλμυρά έλη αποτελούν αντικείμενο μεγάλου επιστημονικού ενδιαφέροντος, διότι χαρακτηρίζονται από την ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικών, βιολογικών και γεωχημικών διεργασιών. Πρόσφατες επιστημονικές μελέτες στρέφουν το ενδιαφέρον των επιστημόνων κυρίως στις διεργασίες της αποίκισης των αλόφυτων κάτω από την επίδραση διαφόρων περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι περιβαλλοντικές αυτές συνθήκες περιλαμβάνουν το υψόμετρο, που είναι ο κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει τη συχνότητα της κάλυψης της περιοχής από το θαλάσσιο νερό κατά τη διάρκεια του κύκλου της παλίρροιας, την αλατότητα και τον αερισμό του εδάφους. Επιπλέον, αντικείμενο μελετών αποτελεί η σημασία και ο ρόλος της βλάστησης στην παγίδευση και απόθεση του λεπτόκοκκου ιζήματος.

Έρευνες στην Ευρώπη και τη Β. Αμερική τόνισαν το ρόλο των παράκτιων αλόφυτων ως παράγοντα απόθεσης του ιζήματος και προσαύξησης της επιφάνειας των αλμυρών ελών οδηγώντας σε ένα μοντέλο μορφολογικής ανάπτυξης τους κάτω από την επίδραση της διαδοχής αυτογενών φυτικών ειδών (Chapman, 1974).

Οι γεωγραφικές διαφοροποιήσεις στη διαδοχή των φυτών αποτελούν το βασικότερο κριτήριο για την ταξινόμηση των αλμυρών ελών σε διάφορους τύπους (Adam, 1990).

Μελέτες που αφορούν τα οικοσυστήματα έδειξαν ότι τα αλμυρά έλη αποτελούν περιοχές υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας ο κύκλος της οποίας ελέγχεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ βλάστησης – υποστρώματος και πανίδας και από τις ανταλλαγές νερού, ιζημάτων και θρεπτικών συστατικών με το θαλάσσιο νερό. Οι ανταλλαγές αυτές εξαρτώνται από την ένταση και την έκταση του φαινομένου της παλίρροιας.

10.3.1 Παράγοντες διαμόρφωσης των αλμυρών ελών

Στη διαμόρφωση των αλμυρών ελών εμπλέκονται τέσσερις κύριες φυσικές διεργασίες που περιλαμβάνουν την προσφορά ιζήματος, το καθεστώς της παλίρροιας, τον κυματισμό και τις σχετικές κινήσεις της θαλάσσιας στάθμης (Allen & Pye, 1992).

Καθοριστικό ρόλο τόσο για την προσφορά ιζήματος, όσο και για το διαθέσιμο χώρο για την ανάπτυξη των αλμυρών ελών παίζουν η διαμόρφωση και η έκταση των παράκτιων περιθωρίων στα οποία αναπτύσσονται. Για παράδειγμα υπάρχουν ουσιαστικές φυσικογεωγραφικές διαφορές μεταξύ των ανατολικών ακτών του Ειρηνικού και των δυτικών ακτών του Ατλαντικού της βόρειας Αμε-

ρικής. Στις τεκτονικά ενεργές και φτωχές σε ιζημα ακτές του Ειρηνικού τα αλμυρά έλη διακόπτονται και περιορίζονται σε στενά περιθώρια γύρω από προστατευμένους κόλπους. Αντίθετα στην εκτεταμένη παράκτια πεδιάδα του Ατλαντικού τα αλμυρά έλη έχουν μια συνέχεια και καταλαμβάνουν εκτεταμένες περιοχές. Επιπλέον οι τοπικές διαφοροποιήσεις στο πλάτος της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας καθορίζει το εύρος παλίρροιας το οποίο με τη σειρά του ορίζει μια ζώνη εντός της οποίας μπορεί να λάβει χώρα η ιζηματογένεση στα αλμυρά έλη.

10.3.1.1 Προσφορά ιζήματος

Τα αλμυρά έλη αποτελούν σημαντικούς φυσικούς χώρους αποθήκευσης για το λεπτόκοκκο ιζημα και παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανταλλαγή ιζήματος μεταξύ του γλυκού νερού των εκβολικών συστημάτων των ποταμών και του θαλάσσιου νερού. Η φύση των ιζημάτων των αλμυρών ελών διαφέρει σημαντικά μεταξύ των αλλόχθονων και των αυτόχθονων ελωδών συστημάτων. Τα αλλόχθονα ελώδη συστήματα χαρακτηρίζονται από την απόθεση εξωτερικά προερχόμενων ανόργανων ιζημάτων ενώ τα αυτόχθονα κυριαρχούνται από τη συγέντρωση οργανικού υλικού που παράγεται μέσα στα ίδια τα έλη (Dijkema, 1987). Η σχετική σημασία της συγέντρωσης – απόθεσης οργανικού και ανόργανου υλικού καθορίζει τη φύση της μορφοδυναμικής ανάπτυξης του αλμυρού έλους καθώς και την ικανότητα τόσο των φυσικών, όσο και των οικολογικών συστατικών του συστήματος να προσαρμοστούν στις αλλαγές των περιβαλλοντικών, συνθηκών που προσδιορίζουν τα όριά του. Οι κύριες περιβαλλοντικές συνθήκες που καθορίζουν τα όρια του έλου είναι το εύρος παλίρροιας και η μέση στάθμη θάλασσας (French, 1994).

10.3.1.2 Παλίρροια

Το είδος και ο ρυθμός της ιζηματογένεσης εντός των αλλόχθονων ελών εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη διεργασία της παλίρροιας. Τα καλύτερα ανεπτυγμένα αλλόχθονα έλη βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές μεγάλου εύρους παλίρροιας. Στα συστήματα αυτά η εισαγωγή λεπτόκοκκου ιζήματος (πηλού) ελέγχεται τόσο από το υψόμετρο (που καθορίζει τη συχνότητα και τη διάρκεια της κατάκλυσης από το θαλάσσιο νερό), όσο και από την εγγύτητα στις κοίτες παλίρροιας, μέσω των οποίων κινούνται τα νερά της παλίρροιας (French & Spencer, 1993). Η μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ υψόμετρου, κατάκλυσης λόγω παλίρροιας και ιζηματογένεσης μπορεί να βοηθήσει σημαντικά τον προσδιορισμό της μακροπρόθεσμης μορφοδυναμικής συμπεριφοράς του έλους (Allen, 2000; Friedrichs & Perry, 2001). Έλη που έχουν σχηματισθεί πρόσφατα συνήθως παρουσιάζουν γρήγορους ρυθμούς κάθετης (κατακόρυφης) ιζηματογένεσης, ενώ η ιζηματογένεση είναι πολύ πιο αργή στα παλαιότερα έλη, των οποίων το υψόμετρο

είναι μεγαλύτερο και συνεπώς δεν κατακλύζονται από θαλάσσιο νερό τόσο συχνά. Στα έλη που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές με πολύ μικρό εύρος παλίρροιας μεγαλύτερη σημασία για την εισαγωγή ιζήματος έχει η κατάκλυση από το θαλάσσιο νερό που δεν οφείλεται στην παλίρροια αλλά σε περιστασιακά γεγονότα (συνήθως μετεωρολογικά) που αυξάνουν παροδικά τη στάθμη της θάλασσας, όπως είναι οι καταιγίδες.

10.3.1.3 Κυματισμός

Ο κυματισμός ασκεί έναν πολύ σημαντικό τοπικό έλεγχο στην οριζόντια έκταση που καταλαμβάνει ένα έλος. Ακόμη και σε προστατευμένα εκβολικά συστήματα ή κόλπους, μικρές τοπικές διαφορές στο μήκος της ανάπτυξης του κύματος (fetch) μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά και την κινητικότητα του ιζήματος της ενδοπαλιρροιακής ζώνης. Η δύναμη που ασκείται από τη δράση του κυματισμού καθορίζει τη δυνατότητα εγκατάστασης, ανάπτυξης και διατήρησης της βλάστησης. Εκτός από τη μηχανική αντοχή των φυτών, μεγάλη σημασία έχει η επίδραση των κυμάτων στη σταθερότητα του υποστρώματος. Το κυματικό καθεστώς επίσης καθορίζει τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της ζώνης μετάβασης από το παλιρροιακό πεδίο προς το αλμυρό έλος. Σε περιοχές με συνθήκες ενδιάμεσης κυματικής ενέργειας η μετάβαση αυτή, από το παλιρροιακό πεδίο στο αλμυρό έλος, μπορεί να γίνεται με ένα μικρό διαβρωσιγενή κρημνό.

10.3.1.4 Μεταβολές στάθμης θάλασσας

Ο σχηματισμός και η ανάπτυξη των αλμυρών ελών σχετίζεται επίσης με τις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης. Η στάθμη της θάλασσας μαζί με το εύρος παλίρροιας καθορίζει το όριο της περιοχής όπου οι συνθήκες για την ανάπτυξη ενός έλους είναι κατάλληλες. Η στάθμη της θάλασσας, ως γνωστόν, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται οπότε το όριο αυτό δεν παραμένει σταθερό αλλά μετατοπίζεται. Η στάθμη θάλασσας και το εύρος παλίρροιας καθορίζουν την κατακόρυφη έκταση της ανάπτυξης ενός αλμυρού έλους σε μια περιοχή. Τα σύγχρονα αλμυρά έλη σχηματίστηκαν σε απόκριση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά το Ολόκαινο. Μικρές μεταβολές στη θαλάσσια στάθμη φαίνεται να

σχετίζονται με επεισόδια επέκτασης των αλμυρών ελών σε παράκτιες περιοχές που λαμβάνει χώρα συσσώρευση και απόθεση λεπτόκοκκου ιζήματος. Αυτό το παράδειγμα απόθεσης (Stevenson et al., 1986) έχει προταθεί από τη διαπίστωση ενός ιζηματολογικού ελλείμματος στα βυθιζόμενα δελταϊκά έλη. Για τη διατήρηση των αλμυρών ελών, ενόψει της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, τίθεται το ερώτημα κατά πόσο αυτά είναι ικανά να συγκεντρώνουν επαρκή ποσότητα υλικού ώστε η ανάπτυξή τους να συμβαδίζει με τους προβλεπόμενους ρυθμούς ανόδου της θαλάσσιας στάθμης κάτω από τα διάφορα σενάρια μελλοντικής ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Στα μη δελταϊκά έλη τόσο στη βόρεια Αμερική όσο και στην Ευρώπη οι σύγχρονοι ρυθμοί ιζηματογένεσης ξεπερνούν τους σημερινούς ρυθμούς ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Επιπλέον, τα υψόμετρα των ελών μπορούν να προσαρμοστούν σε μεγαλύτερους ρυθμούς ανόδου της θαλάσσιας στάθμης με την αύξηση του ρυθμού της ιζηματογένεσης λόγω των συχνότερων κατακλύσεων από το θαλάσσιο νερό (French, 1994). Αυτή η προσαρμογή του υψόμετρου του έλους στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την προσφορά ιζήματος. Σημαντική επίσης είναι η επίδραση που έχει η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης στη βλάστηση και στα εδάφη, ειδικά στα αυτόχθονα έλη, που η "εισαγωγή" ανόργανου ιζήματος είναι περιορισμένη.

Σε πολλά μέρη του κόσμου οι εκτάσεις των αλμυρών ελών έχουν περιοριστεί δραματικά κατά τη διάρκεια των ιστορικών χρόνων. Αίτια των απωλειών αυτών είναι τα έργα αναμόρφωσης των παράκτιων περιοχών, όπως οι αποξηράνσεις, αλλά και οι καταστροφικές βιομηχανικές χρήσεις τους (όπως για παράδειγμα η παραγωγή αλατιού με τη χρησιμοποίηση μικρών λιμνών για την εξάτμιση του θαλάσσιου νερού). Επιπλέον σημαντικές εκτάσεις ελών τόσο σε εκβολικά συστήματα και ποτάμια δέλτα, όσο και σε εκτεθειμένες στην ανοιχτή θάλασσα παράκτιες περιοχές έχουν χαθεί εξαιτίας της πρόσφατης διάβρωσης. Η εκτεταμένη διάβρωση οφείλεται τόσο στην άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, όσο και στην παρουσία θαλάσσιων τοίχων προστασίας και άλλων τεχνικών κατασκευών στον παράκτιο χώρο που εμποδίζουν τη φυσική "μετανάστευση" της ενδοπαλιρροιακής ζώνης προς την πλευρά της ξηράς.