

4

Παλίρροιες (Tides)

4.1 Γενικά για το φαινόμενο της παλίρροιας

Ως παλίρροια ορίζεται η μεταβολή (η ανύψωση και η πτώση) του επίπεδου της θάλασσας σε σχέση με την ξηρά που οφείλεται στη βαρυτική έλξη που ασκούν η σελήνη και ο ήλιος στην υδρόσφαιρα της γης. Η ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια ενός κύκλου παλίρροιας ονομάζεται πλημμυρίδα, ενώ η πτώση ονομάζεται άμπωτη (φωτο 4.1α, 4.1β). Οι παλίρροιες εμφανίζουν μια κυκλική περιοδικότητα, που εξαρτάται κυρίως από το συνδυασμό των τροχιών και τη θέση της γης σε σχέση με τη σελήνη και τον ήλιο. Συνεπώς είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να προβλεφθεί. Όλες οι παράκτιες περιοχές του κόσμου επηρεάζονται από τις

παλίρροιες, άλλες σε σημαντικό και άλλες σε μικρότερο βαθμό. Για λίγους όμως μόνο τύπους παράκτιων περιβαλλόντων μπορεί να θεωρηθεί ότι η δράση των παλίρροιών είναι η σημαντικότερη παράκτια διεργασία. Τέτοια περιβάλλοντα είναι τα εκβολικά συστήματα και τα δέλτα των ποταμών.

Πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες στον παράκτιο χώρο όπως είναι η αλιεία, η ναυσιπλοΐα, η κατασκευή και συντήρηση λιμενικών εγκαταστάσεων, τα θαλάσσια σπορ κ.α. επηρεάζονται σημαντικά από το εκάστοτε καθεστώς της παλίρροιας. Άνθρωποι που ζουν σε παράκτιες περιοχές που το φαινόμενο είναι έντονο, βιώνουν καθημερινά τον έλεγχο που ασκούν οι παλίρροιες στον ρυθμό της ζωής και στις δραστηριότητές τους.



(α)



(β)

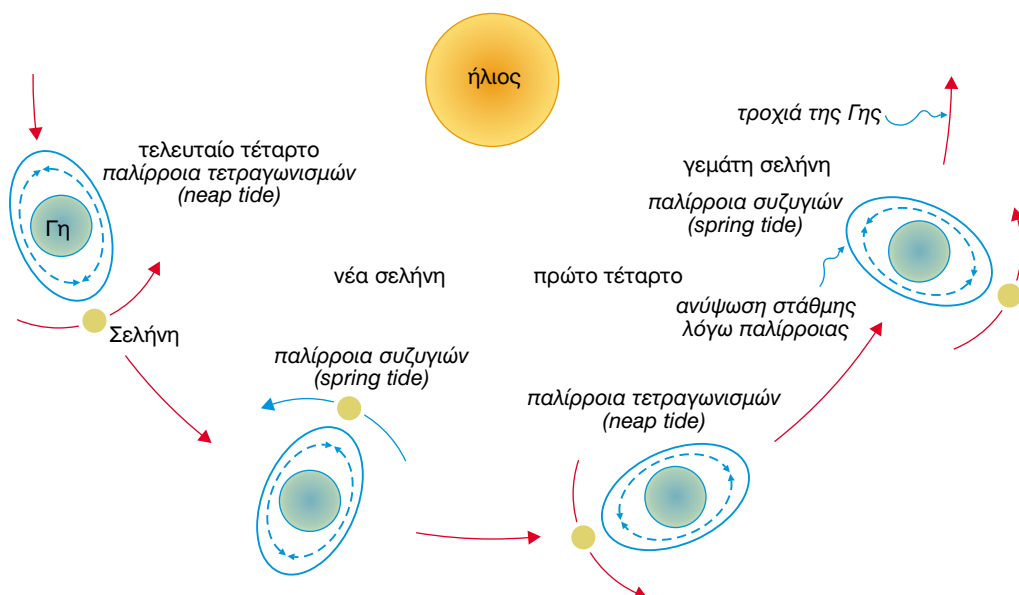
Φωτο 4.1 Αιγιαλός στην περιοχή Stanley, Tasmania, Australia (α) κατά την άμπωτη και (β) κατά την πλημμυρίδα. (φωτογραφίες: Rob Brander)

4.2 Γένεση των παλίρροιών – είδη παλίρροιας

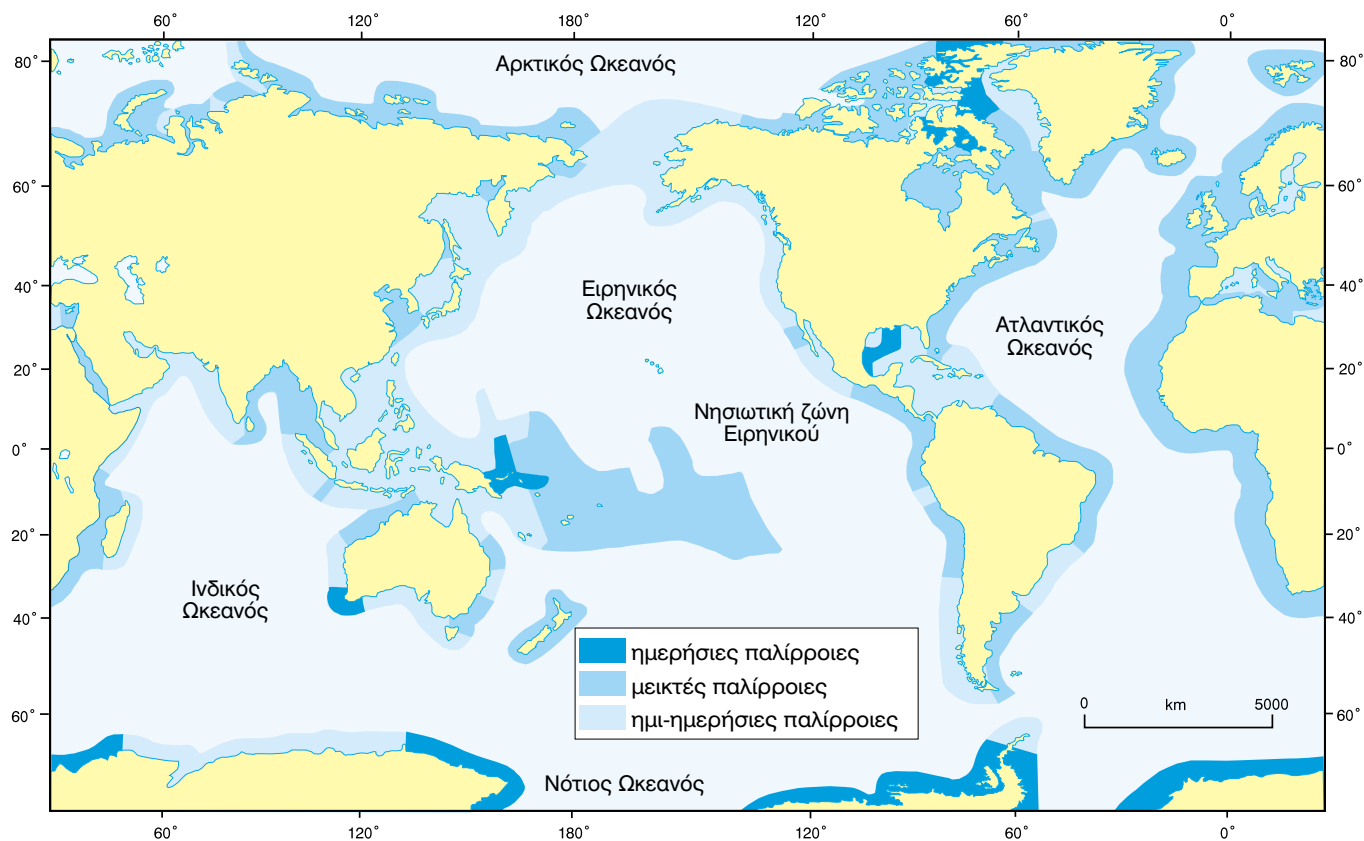
Οι παλίρροιες, όπως αναφέρθηκε, είναι το αποτέλεσμα της βαρυτικής έλξης που ασκούν ο ήλιος και η σελήνη στη γη. Στην πραγματικότητα αποτελούν κύματα με πολύ μεγάλο μήκος κύματος. Η σελήνη, παρότι είναι ένα πολύ μικρότερο σώμα, ασκεί μεγαλύτερη επίδραση από τον ήλιο διότι βρίσκεται πλησιέστερα στη γη. Ο ήλιος και η σελήνη, κατά τη διέλευσή τους πάνω από τη γη, έλκουν την υδάτινη επιφάνεια του ωκεανού προκαλώντας μια ανύψωση του επίπεδου της θάλασσας στάθμης (tidal bulge) (σχήμα 4.1). Εξαιτίας των φυγόκεντρων δυνάμεων, που οφείλονται στην περιστροφή της γης, μια αντίστοιχη άνοδος του επίπεδου της θάλασσας (tidal bulge) προκαλείται και στην αντιδιαμετρική της πλευρά. Όταν ένα από αυτά τα κύματα παλίρροιας συναντά την ακτή, η κορυφή του κύματος προκαλεί την ανύψωση της θάλασσας στάθμης που, όπως αναφέρθηκε, ονομάζεται πλημμυρίδα (high tide) ενώ η κοιλία προκαλεί την πτώση της θάλασσας στάθμης που ονομάζεται άμπωτη (low tide). Το μέγεθος και η ένταση του φαινομένου των παλίρροιών που γεννώνται με τον τρόπο αυτό, μεταβάλλεται ανάλογα με τις σχετικές θέσεις που αποκτούν η γη, η σελήνη και ο ήλιος κατά τη διάρκεια των τροχιών τους. Όταν ο ήλιος και η σελήνη ευθυγραμμίζονται με τη γη (δηλαδή κατά τη νέα σελήνη και κατά την πανσέληνο) τα βαρυτικά τους αποτελέσματα συνδυάζονται και προκαλούν παλίρροιες όπου η στάθμη της θάλασσας είναι υψηλότερη από τις μέσες στάθμες παλίρροιας που παρατηρούνται σε μια παράκτια περιοχή κατά την πλημμυρί-

δα. Οι παλίρροιες αυτές είναι γνωστές σαν παλίρροιες συζυγιών (spring tides) (σχήμα 4.1). Αντιστρόφως όταν ο ήλιος και η σελήνη σχηματίζουν ορθή γωνία με τη γη η βαρυτική τους έλξη διασκορπίζεται με αποτέλεσμα η ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας λόγω του φαινομένου της παλίρροιας, δηλαδή οι προκαλούμενες στάθμες πλημμυρίδας, να είναι χαμηλότερες από τη μέση τιμή. Οι παλίρροιες αυτές ονομάζονται παλίρροιες τετραγωνισμών (neap tides) (σχήμα 4.1). Ομοίως οι στάθμες που σημειώνονται κατά την άμπωτη στις παλίρροιες συζυγιών και τετραγωνισμών είναι αντιστοίχως χαμηλότερες και υψηλότερες από τη μέση τιμή της στάθμης άμπωτης. Ο κύκλος παλίρροιας συζυγιών - παλίρροιας τετραγωνισμών διαρκεί περίπου δεκατέσσερις ημέρες. Δηλαδή για τη μετάβαση από την παλίρροια συζυγιών στην παλίρροια τετραγωνισμών και πάλι στην παλίρροια συζυγιών απαιτείται χρονικό διάστημα δύο εβδομάδων. Η μεγαλύτερη από τις παλίρροιες συζυγιών (δηλαδή υψηλότερη στάθμη πλημμυρίδας και χαμηλότερη στάθμη άμπωτης) συμβαίνει κατά τη εαρινή και την φθινοπωρινή ισημερία.

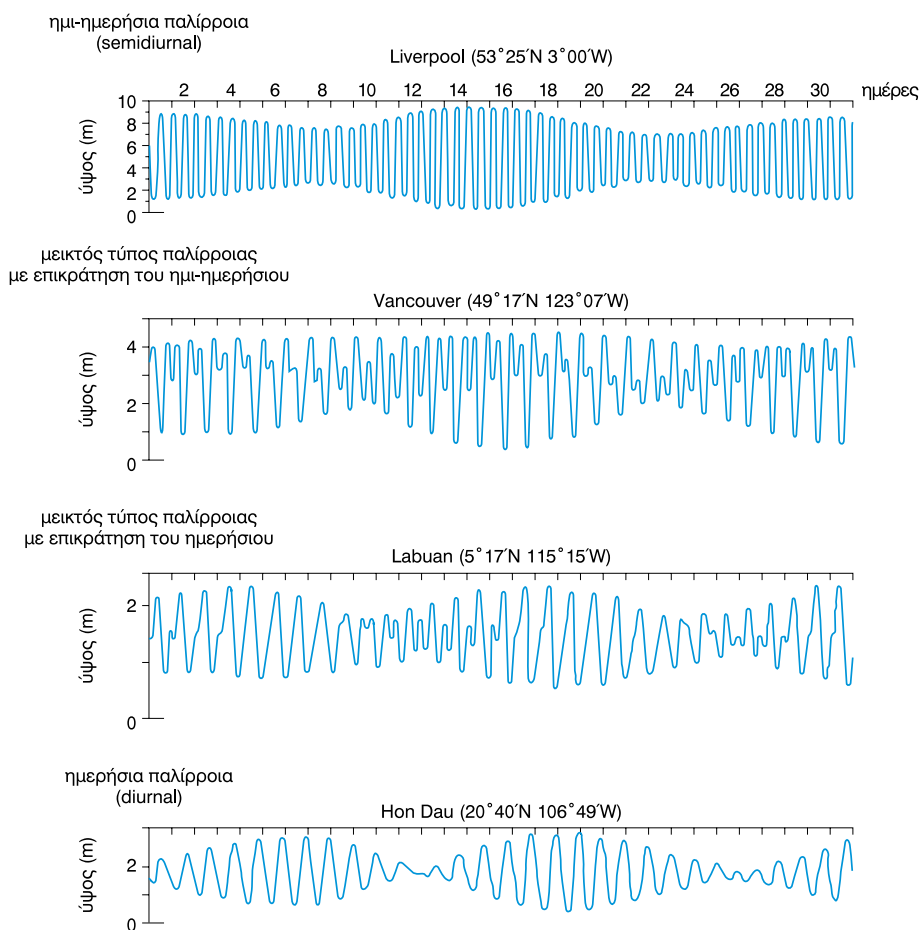
Οι περισσότερες ακτές, όπως για παράδειγμα σχεδόν το σύνολο των ακτογραμμών του Ατλαντικού ωκεανού, επηρεάζονται από δύο πλημμυρίδες και δύο άμπωτες κάθε ημέρα (σχήμα 4.2). Οι παλίρροιες αυτές ονομάζονται ημι-ημερήσιες (semi-diurnal tides). Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της υψηλής στάθμης, που επιτυγχάνεται στην πλημμυρίδα, και της χαμηλής στάθμης, που επιτυγχάνεται κατά την άμπωτη, είναι 6 ώρες και 13 λεπτά ενώ η πλημμυρίδα και η άμπωτη συμβαίνουν χρονικά ελαφρώς αργότερα κάθε ημέρα. Υπάρ-



Σχήμα 4.1 Η γένεση του φαινομένου της παλίρροιας αναφορικά με τις σχετικές θέσεις του ήλιου, της γης και της σελήνης. Όταν τα τρία ουράνια σώματα ευθυγραμμίζονται, ο συνδυασμός των ελκτικών δυνάμεων προκαλεί τις παλίρροιες συζυγιών (spring tides) όπου παρατηρούνται οι ψηλότερες στάθμες πλημμυρίδας και οι χαμηλότερες στάθμες άμπωτης ενώ, όταν σχηματίζουν ορθή γωνία μεταξύ τους, προκύπτουν οι παλίρροιες τετραγωνισμών (neap tides) όπου παρατηρούνται οι χαμηλότερες στάθμες πλημμυρίδας και οι υψηλότερες στάθμες άμπωτης.



Σχήμα 4.2 Παγκόσμιος χάρτης στον οποίο απεικονίζονται οι περιοχές που επηρεάζονται από ημερήσιες (diurnal), ημι-ημερήσιες (semi-diurnal) και μεικτού τύπου (mixed) παλίρροιες. (τροποποιημένο από Briggs et al., 1997)



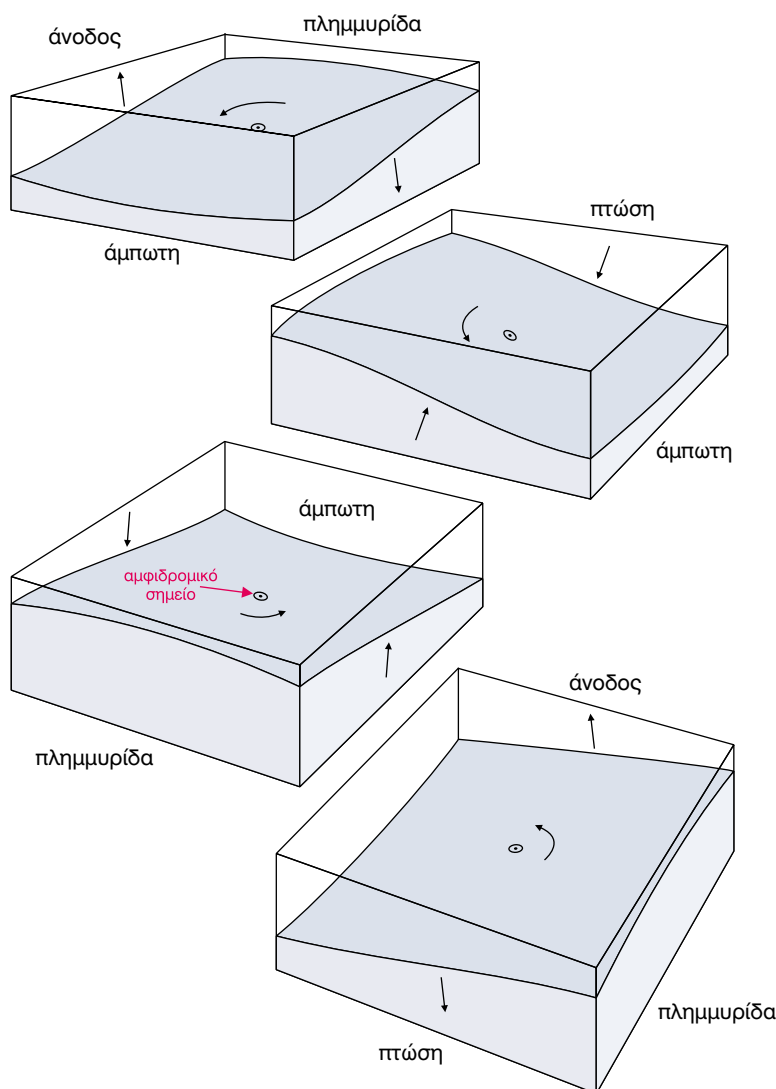
Σχήμα 4.3 Παραδείγματα ημι-ημερήσιας (semi-diurnal), ημερήσιας (diurnal) και μεικτού τύπου (mixed) παλίρροιας από διάφορες περιοχές της γης.

χουν όμως και ακτές που εξαιτίας τοπικών παραγόντων συμβαίνει μόνο μια πλημμυρίδα και μια άμπωτη κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου. Αυτές είναι οι ημερήσιες παλίρροιες (diurnal tides). Για παράδειγμα το Do Son και Hon Dau στο Βιετνάμ και η New Orleans στις Η.Π.Α. αποτελούν παραδείγματα περιοχών που επηρεάζονται από ημερήσιες παλίρροιες (σχήμα 4.3). Κατά μήκος μερικών ακτών οι δύο παλίρροιες αλληλοεπηρεάζονται και κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, εκτός από μια ακραία υψηλή και μια ακραία χαμηλή στάθμη κατά την πλημμυρίδα και την άμπωτη αντίστοιχα, παρατηρούνται και μικρότερης έντασης δευτερεύουσες πλημμυρίδες και άμπωτες. Αυτός ο τύπος παλίρροιας ονομάζεται μεικτός (mixed tide) και χαρακτηρίζει τις ακτές των δυτικών Η.Π.Α. όπως το San Francisco και το Los Angeles καθώς και το Vancouver στον Καναδά και το Labuan στη Μαλαισία (σχήματα 4.2, 4.3).

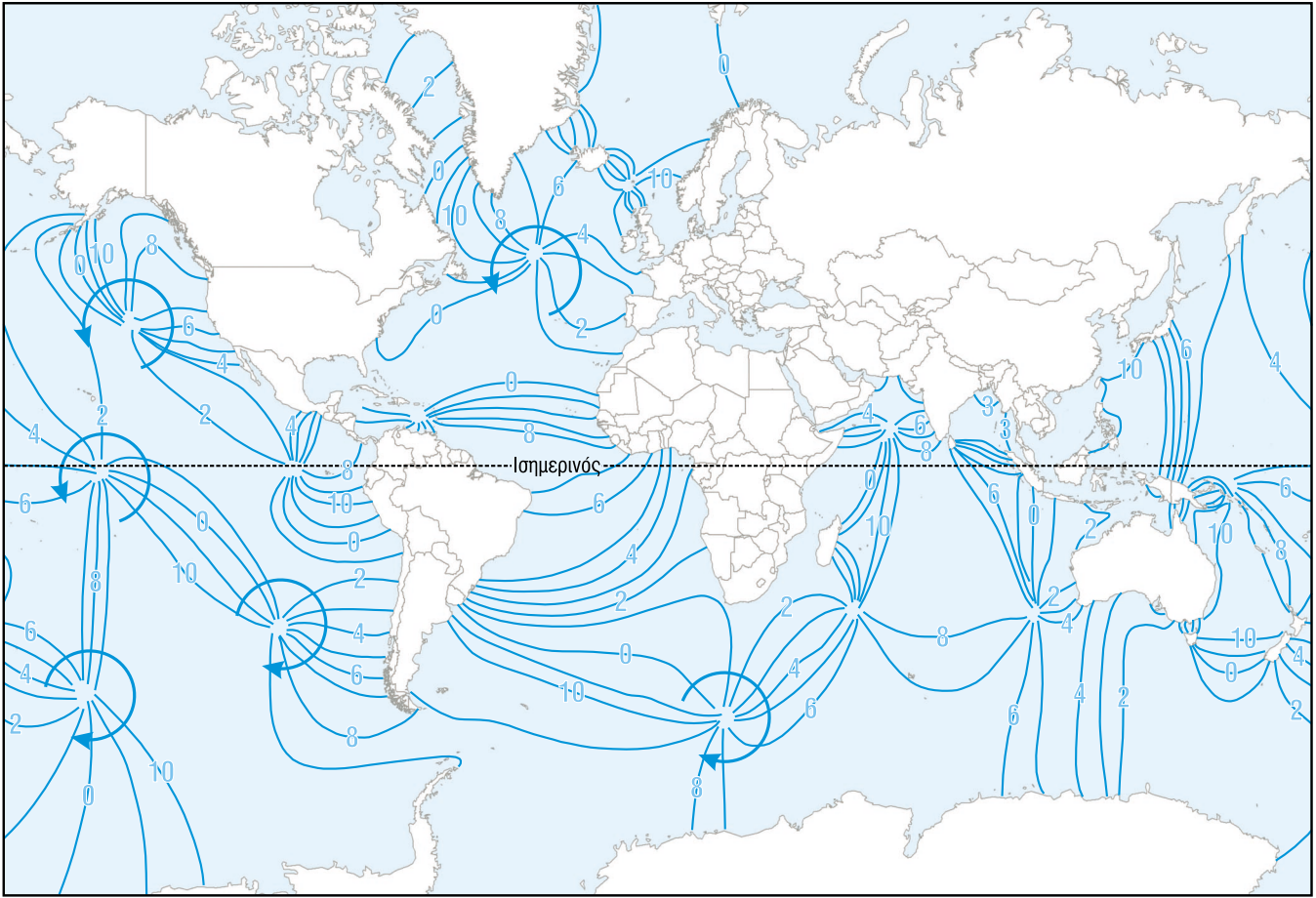
Γίνεται φανερό ότι η κανονικότητα και η ακρίβεια των τροχίων των ουρανίων σωμάτων μπορεί να οδηγήσει στην πρόβλεψη των διακυμάνσεων της στάθμης λόγω του φαινομένου των παλιρροιών για διάφορες χρονικές κλίμακες από ένα εικοσιτετράωρο μέχρι και μια δεκαετία.

4.3 Αμφιδρομικό σύστημα (amphidromic system)

Κάτω από την ανυψωμένη επιφάνεια της θάλασσας (bulge), που προκαλείται από την έλξη της σελήνης και του ήλιου, η γη περιστρέφεται γεγονός που κάνει την ανυψωμένη επιφάνεια να φαίνεται ότι ταξιδεύει ανεμπόδιστα (σαν κύμα) γύρω από τη γη. Αν στη γη δεν υπήρχαν καθόλου χερσαίες περιοχές, ο πλανήτης δηλαδή καλυπτόταν μόνο από νερό, θα συνέβαινε όντως κάτι τέτοιο. Στην πραγματικότητα όμως οι ηπειρωτικές περιοχές μπαίνουν μπροστά στην πορεία της ανυψωμένης θαλάσσιας επιφάνειας (tidal bulge) και, όπως συμβαίνει με όλα τα κύματα που προσεγγίζουν την ακτή, έτσι και τα κύματα παλίρροιας υφίστανται ανάκλαση. Με τον τρόπο αυτό η ανυψωμένη θαλάσσια επιφάνεια (tidal bulge) έλκεται από τη σελήνη και τον ήλιο προς τα δυτικά ταξιδεύοντας διαμέσου των ωκεανών και αφού συναντήσει τις ανατολικές ακτές των ηπείρων ανακλάται και ταξιδεύει πίσω, προς τα ανατολικά, διαμέσου των ωκεανών σαν ανακλώμενο κύμα έως ότου συναντήσει και πάλι τη



Σχήμα 4.4 Ο τρόπος διάδοσης ενός υποθετικού κύματος παλίρροιας γύρω από ένα αμφιδρομικό σημείο (amphidromic point) σε μια θάλασσα λεκάνη σχήματος τετραγώνου. Η δύναμη Coriolis προκαλεί την περιστροφή του κύματος παλίρροιας.



Σχήμα 4.5 Τα κύρια αμφιδρομικά συστήματα (amphidromic systems) των ωκεανών. Οι γραμμές που ξεκινούν από τα αμφιδρομικά σημεία αντιστοιχούν σε ισο-παλirroιακές γραμμές (co-tidal lines). Οι αριθμοί αντιστοιχούν σε ώρες μετά την έναρξη του παλirroιακού κύκλου. (τροποποιημένο από Pinet, 2000)

σελήνη και τον ήλιο. Αυτό όμως το απλό σενάριο (προσέγγισης και απομάκρυνσης του κύματος παλίρροιας στην ακτή) δε συμβαίνει στην πραγματικότητα με τόσο απλό τρόπο εξαιτίας της επίδρασης των δυνάμεων Coriolis (Coriolis effect). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, λόγω της περιστροφής της γης προκαλείται η εκτροπή όλων των αντικειμένων που κινούνται (μεταξύ αυτών και των ανέμων και των κινούμενων υδάτινων μαζών) προς τα δεξιά της κίνησής τους - προς τη φορά δηλαδή των δεικτών του ρολογιού - στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά της κίνησής τους - δηλαδή αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού - στο νότιο ημισφαίριο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κύμα παλίρροιας ταξιδεύει με έναν κυκλικό τρόπο που είναι γνωστός σαν αμφιδρομική κίνηση (amphidromic motion) και κάθε ωκεάνια λεκάνη έχει ένα αμφιδρομικό σύστημα (amphidromic system) που περιγράφει τον τρόπο διάδοσης της παλίρροιας (σχήμα 4.4). Το κεντρικό σημείο ενός αμφιδρομικού συστήματος ονομάζεται αμφιδρομικό σημείο (amphidromic point). Η θέση των αμφιδρομικών αυτών σημείων σε μια ωκεάνια λεκάνη εξαρτάται από τη γεωμετρία της, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται άμεσα από τη μορφολογία των ακτών και τη βαθυμετρία.

Στο σχήμα 4.5 φαίνονται τα αμφιδρομικά συστήματα και τα αντίστοιχα αμφιδρομικά σημεία των ωκεανών του πλανήτη. Οι ακτινωτές γραμμές που ξεκινούν από τα αμφιδρομικά σημεία ονομάζονται ισο-παλirroιακές γραμμές (co-tidal lines) και δείχνουν τη θέση του κύματος της παλίρροιας σε ώρες μετά από την έναρξη του παλirroιακού κύκλου. Η πλημμυρίδα ταξιδεύει γύρω από το αμφιδρομικό σημείο έτσι ώστε σε κάθε δεδομένη στιγμή η άμψη να επηρεάζει την περιοχή που βρίσκεται στην αντίθετη πλευρά του συστήματος (σχήμα 4.4). Αυτό σημαίνει ότι η στάθμη της θάλασσας στο αμφιδρομικό σημείο δεν αλλάζει αλλά παραμένει ανεπηρέαστη από το κύμα της παλίρροιας. Όσο περισσότερο απομακρυνόμαστε από το αμφιδρομικό σημείο κατά μήκος μιας ισο-παλirroιακής γραμμής, τόσο πιο έντονη θα είναι η διαφορά των σταθμών παλίρροιας από τη μέση στάθμη θάλασσας, με όλο και περισσότερο υψηλές πλημμυρίδες και χαμηλές άμψεις.

4.4 Παλίρροια και επίπεδα – στάθμες αναφοράς

Οι κύκλοι παλίρροιας, όπως αναφέρθηκε, μπορούν να προβλεφθούν. Οι προβλέψεις αυτές μπορούν να χρησι-

μποποιηθούν για τη σύνταξη πινάκων παλίρροιας που αφορούν συγκεκριμένες περιοχές. Στους πίνακες αυτούς περιέχονται οι χρονικές στιγμές που θα συμβούν οι πλημμυρίδες και άμπωτες καθώς και το ποσό της ανύψωσης ή πτώσης της στάθμης της θάλασσας που συνδέεται με αυτές. Τα στοιχεία αυτά των προβλέψεων πρέπει να συμπληρώνονται από μετρήσεις παλίρροιας που πραγματοποιούνται από ειδικά όργανα, τους παλιρροιογράφους (tide gauges). Οι παλιρροιογράφοι επιτρέπουν τον προσδιορισμό των σταθμών παλίρροιας, μερικές από τις οποίες χρησιμοποιούνται σαν επίπεδα αναφοράς για την κατασκευή χαρτών. Τα σημαντικότερα από αυτά τα επίπεδα είναι:

- **Στάθμη πλημμυρίδας και άμπωτης (high and low water (HW and LW)).** Είναι η μέγιστη και η ελάχιστη στάθμη που σημειώνονται κατά τη διάρκεια κάθε ενός κύκλου παλίρροιας.
- **Μέση στάθμη πλημμυρίδας και άμπωτης συζυγιών (Mean high and low water springs (MHWS and MLWS)).** Είναι η μέση τιμή των υψηλών και χαμηλών επιπέδων της θαλάσσιας επιφάνειας αντίστοιχα, που συμβαίνουν στις παλίρροιες συζυγιών, κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου.
- **Μέση στάθμη πλημμυρίδας και άμπωτης τετραγωνισμών (Mean high and low water neaps (MHW and MLWN)).** Είναι η μέση τιμή των υψηλών και χαμηλών επιπέδων της θαλάσσιας επιφάνειας αντίστοιχα, που συμβαίνουν κατά τις παλίρροιες τετραγωνισμών, για μια χρονική περίοδο.
- **Μέση στάθμη πλημμυρίδας και άμπωτης (Mean high and low water (MHW and MLW)).** Είναι ο μέσος όρος όλων των υψηλών και χαμηλών σταθμών θάλασσας αντίστοιχα για μια χρονική περίοδο.
- **Μέση υψηλή και μέση χαμηλή στάθμη πλημμυρίδας (Mean higher and lower high water (MHHW and MLHW)).** Είναι ο μέσος όρος του υψηλότερου και χαμηλότερου επιπέδου θάλασσας αντίστοιχα που συμβαίνουν σε κάθε ζευγάρι πλημμυρίδων σε μια ημέρα παλίρροιας (που διαρκεί περίπου 24 ώρες και 50 λεπτά) για μια χρονική περίοδο.
- **Μέση υψηλή και μέση χαμηλή στάθμη άμπωτης (Mean higher and lower low water (MHLW and MLLW)).** Είναι ο μέσος όρος των υψηλότερων και χαμηλότερων επιπέδων θάλασσας αντίστοιχα που παρατηρούνται σε κάθε ζευγάρι άμπωτης, σε μια ημέρα παλίρροιας, για μια χρονική περίοδο.
- **Μέση στάθμη θάλασσας (Mean sea level (MSL)).** Είναι ο μέσος όρος των σταθμών - επιπέδων του νερού που παρατηρήθηκαν ανά ώρα για μια χρονική περίοδο τουλάχιστον ενός έτους. Συνήθως προτιμάται μια περίοδος 19 ετών, ώστε να καλύπτει τον διάστημα 18,6 ετών κύκλο παλίρροιας.
- **Μέση στάθμη παλίρροιας (Mean tide level (MTL)).** Είναι ο μέσος όρος όλων των υψηλών και χαμηλών επιπέδων θάλασσας που καταγράφηκαν ανά ημέρα

για μια χρονική περίοδο. Το επίπεδο αυτό συνήθως διαφέρει ελάχιστα από τη μέση στάθμη θάλασσας.

- **Υψηλότερη και χαμηλότερη αστρονομική στάθμη παλίρροιας (Highest and lowest astronomical tide (HAT and LAT)).** Είναι η υψηλότερη και χαμηλότερη στάθμη νερού αντίστοιχα που προβλέπεται να συμβεί κάτω από τη συνδυασμένη δράση των αστρονομικών αιτιών.

Για τη σχεδίαση των χαρτών ξηράς σαν επίπεδα αναφοράς χρησιμοποιούνται συχνότερα η μέση στάθμη θάλασσας (mean sea level) και η μέση στάθμη παλίρροιας (mean tide level) ανάλογα βέβαια από τη λεπτομέρεια των μετρήσεων των παλιρροιογράφων που είναι διαθέσιμες σε κάθε περίπτωση.

4.5 Η επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στη στάθμη της θάλασσας

Αρκετά συχνά οι στάθμες παλίρροιας που παρατηρούνται στην πραγματικότητα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από τις προβλεπόμενες. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, συνήθως αποδίδεται στην επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών. Η επιφάνεια του ωκεανού ουσιαστικά δρα σαν ένα βαρόμετρο. Για κάθε millibar αλλαγής της ατμοσφαιρικής πίεσης παρατηρείται μια άνοδος ή πτώση της στάθμης της θάλασσας κατά 1 cm. Η αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης προκαλεί την πτώση της θαλάσσιας στάθμης, ενώ αντίστροφα η μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης οδηγεί σε ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης. Για παράδειγμα μια αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης κατά 50 mb πάνω από το μέσο όρο θα ταπεινώνει το επίπεδο της θαλάσσιας επιφάνειας κατά 50 cm. Όταν συνυπάρχουν χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση και προβλεπόμενες υψηλές παλίρροιες, η στάθμη κατά την πλημμυρίδα θα είναι υψηλότερη από την αναμενόμενη. Με τέτοιες συνθήκες αρκετά συχνά οι χαμηλές παράκτιες περιοχές πλημμυρίζουν. Αυτό μπορεί να συμβεί σε μεγάλη κλίμακα όταν η χαμηλή ατμοσφαιρική πίεση συνδυάζεται με την εμφάνιση καταιγίδας, με πολύ ισχυρούς έως σφοδρούς ανέμους που πνέουν προς την ακτή (φωτο 4.2α, 4.2β).

Ο συνδυασμός των συνθηκών αυτών είναι δυνατόν να προκαλέσει σημαντικές καταστροφές στην παράκτια ζώνη. Σε περιοχές που οι ισχυροί αυτοί άνεμοι, που πνέουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων, μεταφέρουν και συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες νερού σε ημι-κλειστές θαλάσσιες λεκάνες, τη χρονική στιγμή που η θαλάσσια στάθμη είναι ήδη ανυψωμένη λόγω της πλημμυρίδας, το επίπεδο της επιφάνειας του νερού μπορεί να φτάσει αρκετά μέτρα υψηλότερα από το προβλεπόμενο, λόγω της παλίρροιας, ύψος (storm surge).

Η γεωμορφολογική σημασία της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης λόγω καταιγίδας (storm surge) είναι μεγάλη διότι κάποιες σχετικά χαμηλές παράκτιες γεωμορφές, όπως είναι για παράδειγμα οι παράκτιες αμμόδεις



(α)



(β)

Φωτο 4.2 (α) Αιγιαλός στον μυχό όρμου περιορισμένου μεταξύ ακρωτηρίων (pocket beach), McKenzies Beach, Sydney, New South Wales, Australia. Ο όρμος αυτός είναι επιρρεπής σε κύματα καταιγίδας. (β) Ο παραπάνω αιγιαλός τρεις ημέρες μετά τη λήψη της φωτογραφίας 4.2α κατά τη διάρκεια κυμάτων καταιγίδας. Η σύγκριση των φωτο 4.2α και 4.2β δείχνει την επίδραση των μετεωρολογικών συνθηκών στη στάθμη της θάλασσας. Η δράση των κυμάτων καταιγίδας έχει απομακρύνει προς την ανοικτή θάλασσα όλο το ίζημα που υπήρχε στον αιγιαλό. (φωτογραφίες: Rob Brander)

θίνες, είναι πιθανό να κατακλυσθούν και να υπερκαλυφθούν από το θαλάσσιο νερό ή ακόμη και να διαβρωθούν ολοκληρωτικά. Επιπλέον, οι συνθήκες αυτές μετατοπίζουν τη δράση των κυμάτων σε υψηλότερα επίπεδα της παράκτιας ζώνης, σε σχέση με την περιοχή που δρουν τα κύματα κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, επηρεάζοντας τη μορφολογία των ακτών.

Στη Μετεωρολογία κυκλώνας ονομάζεται ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων με μια κλειστή περιστροφική (κυκλωνική) κυκλοφορία γύρω από ένα ήρεμο κέντρο χαμηλής βαρομετρικής πίεσης, γνωστό ως μάτι του κυκλώνα. Οι κυκλώνες συνήθως προκαλούν άνοδο της θάλασσας επιφάνειας κατά μήκος των ακτών τροπικών περιοχών. Σε άλλες περιοχές είναι σχετικά σπάνιο φαινόμενο. Εντούτοις η Βόρεια Θάλασσα εξαιτίας της διαμόρφωσής της απειλείται συχνά από τέτοια φαινόμενα. Ένα παρόμοιο γεγονός συνέβη στην περιοχή αυτή το 1953 και έπληξε τις ακτές της ανατολικής Αγγλίας και της Ολλανδίας στοιχίζοντας τη ζωή σε χιλιάδες ανθρώπους (Haslett, 2000). Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ίδρυση μιας υπηρεσίας προειδοποίησης

καταιγίδων για την ανατολική Αγγλία και στην κατασκευή του Φράγματος του Τάμεση (Thames Barrage) για την προστασία του Λονδίνου από παρόμοιες καταστροφές στο μέλλον.

4.6 Εύρος παλίρροιας (tidal range)

Η διαφορά του ύψους μεταξύ των επίπεδων της επιφάνειας της θάλασσας που παρατηρούνται στην πλημμυρίδα και την άμπωτη κατά τη διάρκεια ενός κύκλου παλίρροιας ονομάζεται εύρος παλίρροιας ή παλιρροϊκό εύρος (tidal range). Το εύρος παλίρροιας αυξάνει όσο αυξάνεται η απόσταση από το αμφιδρομικό σημείο. Μια ακτογραμμή που βρίσκεται κοντά στο αμφιδρομικό σημείο εμφανίζει μικρό εύρος παλίρροιας ενώ μια ακτή στην περιφέρεια του αμφιδρομικού συστήματος εμφανίζει ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος παλίρροιας. Οι μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται στα εύρη παλίρροιας που σημειώνονται στις ακτές του κόσμου οφείλονται σε διάφορους παράγοντες οι κυριότεροι από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι:

■ **Βαθυμετρία.** Το κύμα παλίρροιας μπορεί να θεωρηθεί παντού σαν ένα κύμα ρηχών νερών, εξαιτίας του τεράστιου μήκους κύματος που εμφανίζει. Συνεπώς τα κύματα παλίρροιας μπορούν να υποστούν όλες τις διεργασίες τροποποίησης των χαρακτηριστικών των κυμάτων όπως διάθλαση και σύγκλιση και να συσσωρευθούν σε συγκεκριμένα τμήματα της ακτογραμμής, όπου η παλιρροιακή ενέργεια, το ύψος και το εύρος της παλίρροιας αυξάνονται.

■ **Το πλάτος της υφαλοκρηπίδας (continental shelf).** Όταν ένα κύμα παλίρροιας συναντά τα πολύ ρηγά νερά, στην υφαλοκρηπίδα, η ταχύτητα διάδοσής του μειώνεται ενώ το ύψος του αυξάνεται. Η μείωση της ταχύτητας της κορυφής ενός κύματος παλίρροιας, που προσεγγίζει την ακτή, επιτρέπει στο κύμα που ακολουθεί να το φθάσει αυξάνοντας έτσι ακόμη περισσότερο το ύψος του κύματος. Συνεπώς, όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος της υφαλοκρηπίδας, τόσο περισσότερος χρόνος δίνεται ώστε η μεγάλη κορυφή του κύματος παλίρροιας να συγκεντρωθεί σε ένα κύμα στενότερο (με μικρότερο μήκος κύματος) αλλά υψηλότερο, αυξάνοντας έτσι το εύρος της παλίρροιας στην ακτή.

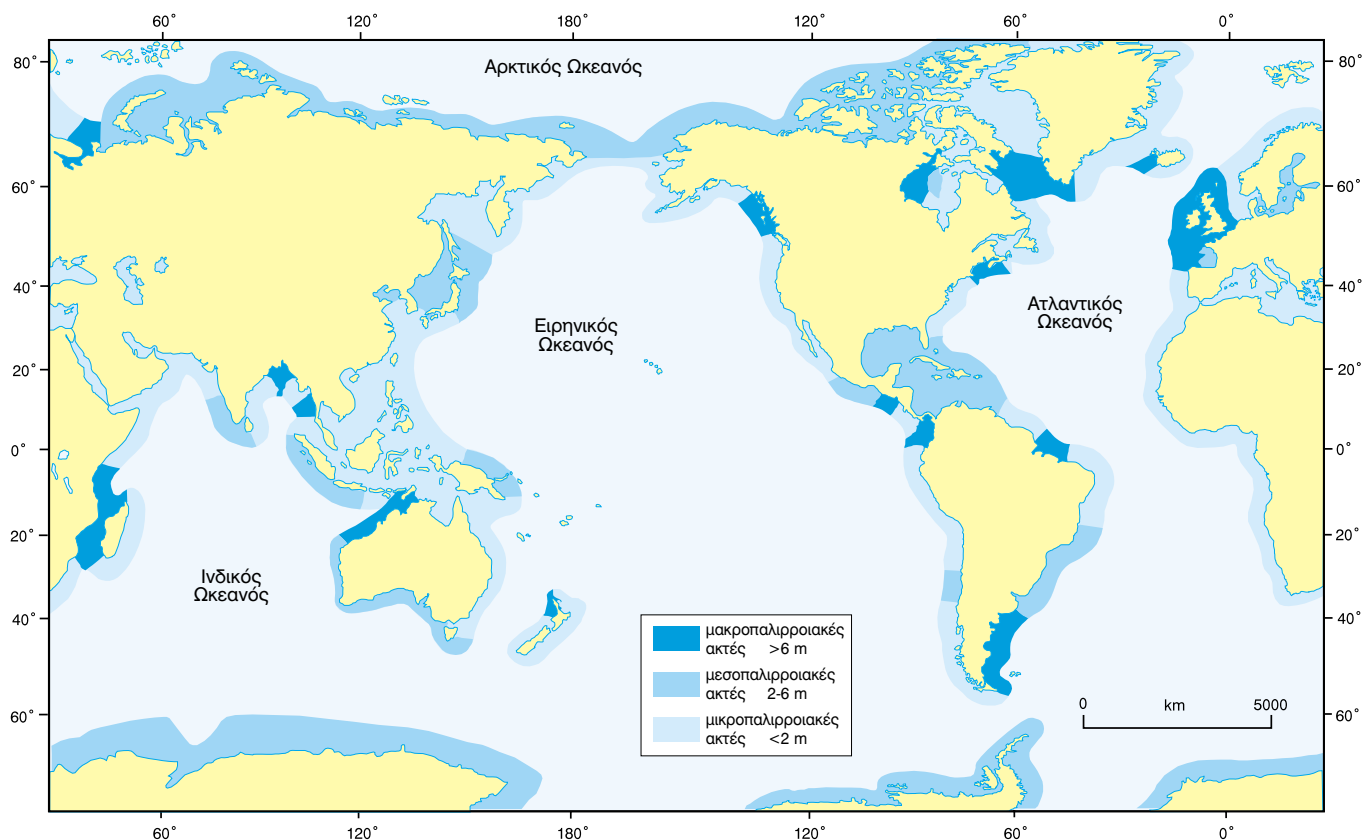
■ **Η διαμόρφωση των ακτών.** Τα κύματα παλίρροιας που εισέρχονται σε κλειστές, κατά κάποιον τρόπο περιορισμένες, ακτές όπως είναι οι όρμους, οι κόλποι και τα εκβολικά συστήματα ποταμών, συμπιέζονται

καθώς προσεγγίζουν την ακτογραμμή, αυξάνοντας το ύψος τους και συνεπώς το εύρος της παλίρροιας. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται συχνότερα σε εκβολικά συστήματα που έχουν σχήμα χωνιού (funnel-shaped estuaries), όπου το πλάτος της κοίτης στην εκβολή του ποταμού μειώνεται σημαντικά προς το μέρος της ξηράς. Κάτι τέτοιο συμβαίνει στο Severn Estuary στη νοτιοδυτική Britain όπου το εύρος παλίρροιας υπερβαίνει τα 14 m. Αντίθετα, οι ακτές των ανοιχτών ωκεανών, που συχνά σχετίζονται με υφαλοκρηπίδες μικρού πλάτους, τείνουν να ανακλούν το κύμα παλίρροιας με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από πολύ μικρά παλιρροϊκά εύρη.

4.6.1 Διάκριση των ακτών ανάλογα με το εύρος παλίρροιας

Οι ακτές μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το εύρος παλίρροιας που παρουσιάζουν (Davies, 1964) στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες (σχήμα 4.6):

■ **Μικροπαλιρροιακές ακτές (microtidal coasts).** Είναι οι ακτές που έχουν εύρος παλίρροιας μικρότερο από 2 m. Οι ακτές αυτές είναι χαρακτηριστικές των ανοιχτών ωκεανών, όπως για παράδειγμα η ανατολική ακτή της Αυστραλίας και η πλειονότητα των ακτών του Ατλαντικού ωκεανού της Αφρικής.



Σχήμα 4.6 Γεωγραφική κατανομή των μικρο-, μέσο- και μάκρο-παλιρροιακών ακτών στον κόσμο. (τροποποιημένο από Briggs et al., 1997)

- **Μεσοπαλιρροιακές ακτές (mesotidal coasts).** Οι ακτές αυτές εμφανίζουν εύρος παλίρροιας μεταξύ 2 και 4 m σύμφωνα με τον Davies (1964). Μερικοί ερευνητές θεωρούν σαν μεσοπαλιρροιακές τις ακτές που έχουν εύρος παλίρροιας μεταξύ 2 και 6 m (Briggs et al., 1997). Η πλειονότητα των ερευνητών (Pethic, 1984; Carter, 1988; Summerfield, 1991; Viles & Spencer, 1995; French, 1997) υιοθετεί τον ορισμό και τα όρια που έχει θέσει ο Davies. Παραδείγματα μεσοπαλιρροιακών ακτών είναι το μεγαλύτερο μήκος των ακτών της Μαλαισίας και της Ινδονησίας και οι ανατολικές ακτές της Αφρικής.
- **Μακροπαλιρροιακές ακτές (macrotidal coasts).** Είναι οι ακτές που εμφανίζουν εύρη παλίρροιας μεγαλύτερα των 4 m κατά τον Davies (1964) καθώς και πολλούς άλλους συγγραφείς ενώ σύμφωνα με τους Briggs et al. (1997) μακροπαλιρροιακές είναι οι ακτές που έχουν εύρος παλίρροιας μεγαλύτερο από 6 m. Το εύρος αυτό θεωρείται ότι αποτελεί δείκτη υπερπαλιρροιακών συνθηκών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι μακροπαλιρροιακές ακτές εμφανίζονται εκεί που η υφαλοκρηπίδα έχει μεγάλο πλάτος επιτρέποντας στο κύμα της παλίρροιας, που ταξιδεύει σε νερά όλο και μικρότερου βάθους, να αυξάνει σε ύψος καθώς και εκεί που η διαμόρφωση των ακτών ενισχύει το ύψος της παλίρροιας. Σαν παραδείγματα τέτοιων ακτών μπορούν να αναφερθούν το μεγαλύτερο μήκος των ακτών της βορειοδυτικής Ευρώπης (π.χ. Celtic Sea, Βόρεια Θάλασσα) και τμήματα των βορειοανατολικών ακτών της Βόρειας Αμερικής.

Οι μακροπαλιρροιακές ακτές θεωρείται ότι κυριαρχούνται από τη δράση της διεργασίας της παλίρροιας. Στις ακτές αυτές η διάβρωση, η μεταφορά και η απόθεση ιζημάτων είναι διεργασίες που πυροδοτούνται και ελέγχονται από τις παλίρροιες. Για τις μεσοπαλιρροιακές ακτές θεωρείται ότι στην τελική τους διαμόρφωση η δράση των παλιρροιών και του κυματισμού είναι ίδιας σημασίας. Οι μικροπαλιρροιακές ακτές όμως κυριαρχούνται σχεδόν αποκλειστικά από τον κυματισμό. Το εύρος παλίρροιας στις ελληνικές ακτές, όπως και στις περισσότερες ακτές της Μεσογείου, είναι πολύ μικρό και κυμαίνεται γύρω στα 15-20 cm. Οπότε για τη διαμόρφωση των ελληνικών ακτών σημαντικότερος είναι ο ρόλος του κυματισμού παρά της παλίρροιας με εξαίρεση τις πολύ χαμηλές παράκτιες περιοχές και κυρίως τον άμεσο χώρο των ποτάμιων εκβολών.

4.6.2 Σχέση εύρους παλίρροιας – παράκτιων διεργασιών και παράκτιων γεωμορφών

Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ του εύρους παλίρροιας και των παράκτιων γεωμορφών που συναντώνται κατά μήκος μιας ακτογραμμής και γι' αυτό η εκτίμηση του

εύρους παλίρροιας είναι απαραίτητη για την κατανόηση της γεωμορφολογίας ενός παράκτιου περιβάλλοντος. Για παράδειγμα τα εκβολικά συστήματα (estuaries) με τα πεδία παλίρροιας (tidal flats) από άμμο ή ιλύ ή πηλό, τα αλμυρά έλη (saltmarshes), τα έλη με μαγκρόβια βλάστηση (mangrove swamps) είναι χαρακτηριστικές γεωμορφές ακτών με μεγάλο εύρος παλίρροιας ενώ αντίθετα γεωμορφές όπως οι γλωσσοειδείς βραχίονες (spits) και τα φραγματικά νησιά (barrier islands) αναπτύσσονται περισσότερο κατά μήκος μικροπαλιρροιακών ακτών.

Το εύρος παλίρροιας είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την παράκτια γεωμορφολογία διότι επηρεάζει τη δράση των φυσικών διεργασιών. Η ιδιαίτερη σημασία του εύρους της παλίρροιας οφείλεται στους εξής λόγους:

- Το εύρος της παλίρροιας μαζί με την κλίση της ακτής καθορίζουν την οριζόντια έκταση της ενδοπαλιρροιακής ζώνης (intertidal zone), της περιοχής δηλαδή που εκτείνεται μεταξύ της υψηλής (πλημμυρίδα) και της χαμηλής (άμπωτη) στάθμης του νερού κατά τη διάρκεια της παλίρροιας. Μεγάλης κλίσης μικροπαλιρροιακές ακτές έχουν μικρότερες ενδοπαλιρροιακές ζώνες ενώ μικρής κλίσης μακροπαλιρροιακές ακτές έχουν εξαιρετικά εκτεταμένες ενδοπαλιρροιακές περιοχές. Η βιοποικιλότητα στις ενδοπαλιρροιακές ζώνες είναι μεγαλύτερη και περισσότερο πολύπλοκη στις μακροπαλιρροιακές ακτές. Συνήθως τα ανώτερα τμήματα της ενδοπαλιρροιακής ζώνης καταλαμβάνονται από αλμυρά έλη ενώ χαμηλότερα αναπτύσσονται πεδία παλίρροιας χωρίς βλάστηση.
- Το εύρος της παλίρροιας καθορίζει την έκταση της κάθετης απόστασης στην οποία λειτουργούν οι παράκτιες διεργασίες και κυρίως ο κυματισμός. Σε μικροπαλιρροιακές ακτές η θραύση του κύματος συγκεντρώνεται κατά μήκος μιας πολύ στενής κάθετης ζώνης σε όλη τη διάρκεια του παλιρροιακού κύκλου. Οι καλά καθορισμένες γεωμορφές διάβρωσης, όπως είναι οι εγκοπές που σχηματίζονται από τη δράση του κυματισμού (wave cut notches) στη βάση των παράκτιων κρημνών, αναπτύσσονται σε τέτοιες ακτές. Σε μακροπαλιρροιακές όμως ακτές η κυματική ενέργεια διανέμεται σε μια έκταση αρκετών μέτρων σε όλη τη διάρκεια του παλιρροιακού κύκλου οπότε, παρότι η κυματική ενέργεια επηρεάζει μια εκτεταμένη περιοχή, η διαβρωτική ικανότητα των κυμάτων περιορίζεται.
- Η άνοδος και πτώση της στάθμης κατά τη διάρκεια των παλιρροιών προκαλεί την περιοδική ύγρανση και ξήρανση της επιφάνειας της ενδοπαλιρροιακής ζώνης. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος παλίρροιας, τόσο μεγαλύτερη επιφάνεια εκτίθεται και αποκαλύπτεται ή βυθίζεται και καλύπτεται από το νερό της θάλασσας στα διαφορετικά στάδια της παλίρροιας. Αυτό είναι σημαντικό για μια σειρά από διεργασίες όπως η αποσάθρωση λόγω της δράσης του αλατιού

(salt weathering). Κατά τη διεργασία αυτή το θαλάσσιο νερό εισέρχεται σε σκληρά κρυσταλλικά πετρώματα ή σε γεωλογικούς σχηματισμούς, που αποτελούνται από πολλές στρώσεις, κατά την πλημμυρίδα και εξατμίζεται όταν τα πετρώματα εκτίθενται στην επιφάνεια κατά την άμπωτη. Αμέσως μετά την έκθεση των πετρωμάτων στις ατμοσφαιρικές συνθήκες ακολουθεί η εξάτμιση του νερού και η ανάπτυξη των κρυστάλλων αλατιού. Οι κρύσταλλοι του αλατιού αναπτύσσονται εντός ενός λεπτού στα κενά των πετρωμάτων ασκώντας πιέσεις που αποδυναμώνουν

το πέτρωμα και τελικά οδηγούν στην αποσύνθεσή του. Η διεργασία αυτή είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη κατά μήκος των ακτών σε τροπικές περιοχές όπου εμφανίζονται διάφορα κρυσταλλικά κυρίως πετρώματα όπως είναι οι γρανίτες.

- Επιπλέον σε ακτές με σχετικά μεγάλο εύρος παλίρροιας αναπτύσσονται ευκολότερα οι αμμώδεις θίνες. Το μεγάλο εύρος παλίρροιας παρέχει μια μεγάλη έκταση με άμμο αιγιαλού που μπορεί να στεγνώσει κατά την άμπωτη και να μεταφερθεί στη συνέχεια προς την ξηρά με τις αιολικές διεργασίες.