

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ**

**ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ**

**ΦΥΣΙΚΗ – ΧΗΜΙΚΗ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ**

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΔΕΣΛΗ ΑΓΓΕΛΟΥ**

**Α.Γ.Μ:**

**Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:**

**Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:**

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
<b>1</b>	ΤΣΟΥΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ	ΠΛΟΙΑΡΧΟΣ		
<b>2</b>	ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ ΚΩΝ/ΝΤΙΑ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΦΥΣΙΚΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΟΣ		
<b>3</b>				
<b>ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ</b>				

**Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Κεφάλαιο Πρώτο: Εισαγωγή</b>	Σελ 3
1.1 Ορισμός	Σελ 3
1.2 Ιστορική Ανασκόπηση	Σελ 3
1.3 Η Σύγχρονη Ωκεανογραφία	Σελ 9
1.4 Σκοπός και Προγράμματα της Ωκεανογραφίας	Σελ 11
1.5 Η Ωκεανογραφία στην Ελλάδα	Σελ 12
<b>Κεφάλαιο Δεύτερο: Φυσική Ωκεανογραφία</b>	Σελ 15
2.1 Θερμοδυναμικές παράμετροι στο θαλασσινό νερό	Σελ 16
2.2 Διατήρηση του Αλατιού στο Θαλασσινό νερό	Σελ 16
2.3 Διατήρηση της θερμότητας στο θαλασσινό νερό	Σελ 17
2.4 Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού	Σελ 20
2.5 Τύποι μαζών νερού, χρήση διαγραμμάτων T/S & Θ/S	Σελ 22
2.6 Κυματισμοί	Σελ 29
2.7 Όργανα Μέτρησης που χρησιμοποιούνται στην Φυσική Ωκεανογραφία	Σελ 31
<b>Κεφάλαιο Τρίτο: Χημική Ωκεανογραφία</b>	Σελ 44
3.1 Συστατικά του Θαλασσινού Νερού	Σελ 45
3.2 Τρόποι Προσδιορισμού των κυριότερων συστατικών του θαλασσινού νερού από την Χημική Ωκεανογραφία	Σελ 51
3.3 Θρεπτικά Στοιχεία και οι κύκλοι τους στο θαλασσινό νερό.	Σελ 55
<b>Κεφάλαιο Τέταρτο: Γεωλογική Ωκεανογραφία</b>	Σελ 62
4.1 Λιθόσφαιρα	Σελ 62
4.2 Γεωτεκτονικός Κύκλος	Σελ 65
4.3 Ωκεάνιες λεκάνες	Σελ 66
4.4 Ορυκτά	Σελ 68
4.5 Πετρώματα	Σελ 71
4.6 Μαγνητισμός και πετρώματα	Σελ 72
4.7 Όργανα που χρησιμοποιούνται στην Γεωλογική Ωκεανογραφία	Σελ 74
<b>Κεφάλαιο Πέμπτο: Βιολογική Ωκεανογραφία</b>	Σελ 77
5.1 Πλαγκτόν	Σελ 80
5.2 Βενθικοί Οργανισμοί	Σελ 81
5.3 Αλληλεπίδραση περιβάλλοντος και οργανισμών	Σελ 82
5.4 Όργανα δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται στην Βιολογική Ωκεανογραφία	Σελ 83
<b>Συμπεράσματα – Συζήτηση</b>	Σελ 85
<b>Βιβλιογραφία</b>	Σελ 88

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Ορισμός

Η επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη των θαλασσών λέγεται ωκεανογραφία. Αυτή ερευνά τις υδρογραφικές και βιολογικές συνθήκες των ωκεανών και μελετά τη φυσική και χημική σύσταση αυτών. Για τη μελέτη των προβλημάτων της ζωής εντός των ωκεανών λειτουργούν ειδικά ιδρύματα (υδροβιολογικοί σταθμοί – ωκεανογραφικά ινστιτούτα) που έχουν για σκοπό τη μελέτη των ωκεανών από φυσικής και βιολογικής πλευράς (Ξένος, 2000).

## 1.2 Ιστορική Ανασκόπηση

Αν προσπαθήσει κανείς να ανατρέξει στις ρίζες των παρατηρήσεων και γνώσεων γύρω από τη «γέννηση» της Ωκεανογραφίας είναι πολύ αμφίβολο αν θα καταλήξει σε συγκεκριμένες ημερομηνίες ή και εποχή. Η Ωκεανογραφία μέχρι πρόσφατα δεν αποτελούσε παρά τμήμα των γενικών φυσικών επιστημών περί της γης που ήταν ένα σύνολο γνώσεων Αστρονομίας, Μαθηματικών, Γεωγραφίας, Φυσικής, Βοτανικής, Γεωλογίας και Χημείας.

Για μια ακόμα φορά θα πρέπει να χαρακτηριστούν ως πρωτοπόροι και της επιστήμης αυτής, οι αρχαίοι Έλληνες ποντοπόροι που - αντίθετα από τους ανταγωνιστές τους Φοίνικες – ταξίδευαν όχι μόνο «κατ' εμπορίαν αλλά και θεωρίαν». Είχαν, επίσης, σημειώσει πολλά φαινόμενα για πολλά από τα οποία είχαν προτείνει λογικές ερμηνείες.

Ο κόσμος του Εκαταίου του Μιλήσιου κατά το δίτομο έργο του «Περίοδος γης» (500 π.χ.) καθώς και του Ηρόδοτου (450 π.χ.) περιελάμβαναν ήδη όλη τη Μεσόγειο, τη Νότιο Ευρώπη, τη Βόρειο Αφρική και τμήμα της Κεντρικής Αφρικής, την Ερυθρά Θάλασσα και τμήμα της Ασίας μέχρι την Ινδία.

Τον τέταρτο αιώνα π. Χ. ο Πυθέας πλέοντας στις Βρετανικές νήσους χρησιμοποιεί γεωγραφικό πλάτος, ενώ ερμηνεύει τις παλίρροιες με την επίδραση της σελήνης.

Την ίδια εποχή ο ίδιος ο Μέγας Αλέξανδρος προσδεμένος μέσα σε ένα τεράστιο κώδωνα βυθίζεται στη θάλασσα για να παρατηρήσει με τα μάτια του τη

θαλάσσια ζωή, όπως μαθαίνουμε από μια περιγραφή στην οποία στηρίχτηκε σειρά από μεσαιωνικές μικρογραφίες (Σκουλλός, 1997).

Ο Αλεξανδρινός Ερατοσθένης (276 – 196 π.Χ.) είχε υπολογίσει την περίμετρο της γης σε περίπου 45.000 χιλιόμετρα, δηλαδή με λάθος μικρότερο του 10%. Υπολόγισε τη γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων του ήλιου στην Αλεξάνδρεια, όταν ο ήλιος ήταν απόλυτα κατακόρυφος στην Ευήνη (Ασσουάν). Βρήκε ότι η γωνία αυτή αντιστοιχούσε στο 1/50 του κύκλου, δηλαδή  $7.2^{\circ}$ . Προσδιορίζοντας την απόσταση μεταξύ των δύο πόλεων σε 900 χιλιόμετρα, υπολόγισε απλά την περίμετρο της γης. Δύο αιώνες αργότερα ο Στράβων (63 π.Χ. – 24 μ. Χ.) κατέγραψε τις παλίρροιες της Μεσογείου και έκανε με άγνωστη μέθοδο προσδιορισμό μεγάλων βαθών μέχρι 2000 μέτρα.

Τη γενική γεωγραφική και ωκεανογραφική γνώση των αρχαίων μαζί με πολλές δικές του απόψεις, αστρονομικές και γεωγραφικές, συνόψισε το 150 μ.Χ. ο Πτολεμαίος συντάσσοντας και χάρτη βάσει επιστημονικής μεθόδου γεωγραφικού πλάτους. Ταυτόχρονα μέσα στο φιλελεύθερο αυτό κλίμα αναφαίνονται και σαφείς υδρολογικές παρατηρήσεις, υποθέσεις και προσπάθειες ερμηνείας της χημικής σύστασης του νερού.

Η γνώση από τους προϊστορικούς ακόμη χρόνους ότι το αλάτι προέρχεται από παρατεταμένη παραμονή του θαλάσσιου νερού σε αβαθείς χώρους ήταν πάντοτε το έναυσμα κάθε παραπέρα επεξεργασίας.

Κατά τον Αριστοτέλη, πολλοί παλαιότεροι του συγγραφείς, θεωρούσαν ότι η αλμυρότητα του θαλάσσιου νερού οφείλονταν σε «διήθηση» του νερού μέσα από τις «γαιές και τέφρες» από τις οποίες παρελάμβανε τη γεύση αυτή. Σημειωτέον ότι ο Αριστοτέλης και πάλι, είχε σημειώσει τη δυνατότητα άλλων γαιών να συγκρατούν τα άλατα δίνοντας έτσι τις πρώτες αρχές της ιοντοεναλλακτικής αποσκλήρυνσης και αφαλάτωσης.

Η παρατήρηση αυτή της «διήθησης» έχει μια πειραματική βάση, επεκτείνεται όμως και αποδίδει γενικά την αλμυρότητα σε διαλυτά στοιχεία του εδάφους αόριστα. Άλλοι συγγραφείς (όπως πιθανότατα ο Εμπεδοκλής και ο Δημόκριτος) θεωρούσαν κατά κάποιο αφηρημένο τρόπο ότι η θάλασσα είναι μια «αύρα» της γης που η παρατεταμένη εξάτμισή της έχει ως αποτέλεσμα την εξαφάνισή της (του νερού) και την εμφάνιση των στερεών κρυστάλλων, των συστατικών δηλαδή της γης που είναι αλμυρά. Ο Πλίνιος πάλι αποδίδει στην ενέργεια του ήλιου την αλμυρότητα αλλά την παρουσιάζει ως το αποτέλεσμα της εμφάνισης «συμπληρωματικής» γεύσης που

προκύπτει από την απομάκρυνση των «πτητικών γλυκών συστατικών». Με τον τρόπο αυτό ερμήνευε την παρατήρηση ότι η αλατότητα ελαττώνεται όσο αυξάνει το βάθος, όσο δηλαδή δυσκολότερα δρα ο ήλιος πάνω στο νερό (Σκουλλός, 1997).

Τέλος, ο Σενέκας σύγχρονος του Χριστού, ανακεφαλαίωσε όλη τη μέχρι τότε σχετική γνώση και τις εμπειρικές παρατηρήσεις στις εξής προτάσεις: δέχεται την προέλευση του κόσμου από το χάος και ότι τα αναμειγμένα εκεί συστατικά χωρίστηκαν με τον καιρό και έδωσαν τις στεριές και τις θάλασσες του κόσμου, κάτι δηλαδή ανάλογο με αυτό που παρουσιάζεται στη Γένεση, στην Παλαιά Διαθήκη. Μετά χωρίζει τα νερά σε ωκεανούς που υπάρχουν από την αρχή του κόσμου, υπόγεια νερά (φλέβες) που κυκλοφορούν υπόγεια και αναβλύζουν ως πηγές, επιφανειακά νερά, στάσιμα ή κινούμενα και ατμοσφαιρικό νερό.

Δέχεται ότι η αλμυρότητα είναι σταθερή και δεν επηρεάζεται από το πλήθος των εισερχομένων ποσοτήτων του νερού και ερμηνεύει το φαινόμενο λογικά με την εξάτμιση εισάγοντας έτσι έμμεσα κύκλους δυναμικής ισορροπίας. Είχε παρατηρήσει ακόμη την διαλυτική δράση του νερού πάνω στα πετρώματα, σπάνια ορυκτά και κοινούς βράχους, είχε καταγράψει φυσικές διεργασίες διάβρωσης και μεταφοράς, είχε διαπιστώσει την ιδιαίτερη διαλυτική δράση των θερμών πηγών και την ανακαταβύθιση πολλών διαλυμένων αλάτων σε ψυχρό περιβάλλον.

Τους χρόνους του Μεσαίωνα παρατηρείται παρακμή και αδιαφορία για τις Ωκεανογραφικές και Γεωγραφικές γνώσεις στο Νοτιοευρωπαϊκό χώρο. Ο Κοσμάς ο Ινδικοπλεύστης τον 6<sup>ο</sup> αιώνα μ. Χ. δίνει ένα χάρτη της Μεσογείου και της Αφρικής – Ασίας τελείως διαγραμματικό και υποστηρίζει την «τετράγωνον γη» αντί της κυκλικής, διαστάσεων 10.000 x 20.000 χλμ.

Η νέα λαμπρή εποχή αρχίζει από τις αρχές του δέκατου πέμπτου αιώνα με την ίδρυση ναυτικής σχολής από τον πρίγκιπα Ερρίκο το Θαλασσοπόρο στην Πορτογαλία, ο οποίος προσκάλεσε εκεί ειδικούς από την Ιταλία κυρίως, αλλά και ολόκληρο τον τότε γνωστό κόσμο για να διδάξουν. Αυτό όμως ήταν ένα επακόλουθο ενός πολιτικού γεγονότος, όπως παρατηρεί ο P. Weyl, με ιδιαίτερη σημασία για τους Έλληνες, της Άλωσης της Κωνσταντινούπολης. Σημειώνει: «Το 1453 ο Σουλτάνος Μωάμεθ ο II κατέλαβε την πρωτεύουσα της ανατολικής Χριστιανοσύνης, την Κωνσταντινούπολη. Ως αποτέλεσμα τα λιμάνια της Μεσογείου αποκλείστηκαν από τα πλούτη της Ανατολής. Ταυτόχρονα λόγιοι Έλληνες εκδιωχθέντες από την Κωνσταντινούπολη έφεραν την γεωγραφική γνώση των αρχαίων στην Ιταλία και η

εισαγωγή της χρήσης του χαρτιού επέτρεψε την ευρεία διάδοση των εργασιών αυτών».(Σκουλλός, 1997)

Στην πραγματικότητα η έξοδος των βυζαντινών λογίων προς την Φλωρεντία και την Ιταλία γενικότερα και άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, είχε αρχίσει πολύ νωρίτερα λόγω των εσωτερικών ερίδων πολιτικοθρησκευτικού χαρακτήρα, αλλά και λόγω καθαρά οικονομικών αιτιών. Αυτή η έξοδος είχε συντελέσει ποικιλοτρόπως στην Ευρωπαϊκή αναγέννηση και την επανεκτίμηση της αρχαίας ελληνικής σοφίας και γνώσης.

Η περίοδος των 30 ετών από το 1492 (ανακάλυψη της Αμερικής από τον Κολόμβο) μέχρι το 1522 (ολοκλήρωση του περίπλου της γης από το Μαγγελάνο), γνωστή ως «περίοδος των μεγάλων εξερευνήσεων» έδωσε πρωτοφανή ώθηση στην Ωκεανογραφία από πρακτική πλευρά.

Ήδη η μέτρηση βυθών του ωκεανού από το Μαγγελάνο στάθηκε αδύνατη γιατί η μέθοδος του - να βυθίζει ένα βάρος με σχοινί μέχρι το βυθό - στάθηκε ανίκανη να μετρήσει τα μεγάλα ωκεάνια βάθη.

Στο τέλος του 16<sup>ου</sup> αιώνα οι Ολλανδοί εισήγαγαν μέθοδο μέτρησης της ταχύτητας των πλοίων και εμμέσως ρευμάτων με την εισαγωγή των «κόμβων». Η φυσική και χημική όμως γνώση του θαλάσσιου νερού είναι ακόμη πολύ φτωχή και διεσπαρμένη.

Η πρώτη πειραματικά τεκμηριωμένη και συγκροτημένη ενασχόληση με τη θαλάσσια χημεία εμφανίζεται με την εργασία του Robert Boyle το 1760 «Observations and Experiments on the Saltness of the Sea». Οι εργασίες των Mersilli (1711, 1725), Lavosier (1743 – 1794), Bergman (1735 – 1784), Bouillon – Lagrange και Vogel (1813) ασχολήθηκαν κυρίως με αναλυτικής φύσης θέματα πάνω στο θαλάσσιο νερό. Το βιβλίου του L.F. Marsilli «Histoire Physique de la Mer», μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο διδακτικό εγχειρίδιο Ωκεανογραφίας. Παράλληλα με τους εμπειρικούς ναυτικούς χάρτες (πορτολάνους και λιμενοδείκτες) που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα για προσέγγιση σε παράκτιες περιοχές, πολλοί νέοι χάρτες εκδίδονται. Στα ταξίδια του James Cook (1728 – 1770) εξάλλου για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκαν όργανα επιστημονικά για προσδιορισμό ακριβούς στίγματος κ. λ. π. και τέθηκαν οι βάσεις της σύγχρονης ναυσιπλοΐας. Το 1777 ο Βενιαμίν Φραγκλίνος δημοσιεύει χάρτη του ρεύματος του Κόλπου βάσει δικών του παρατηρήσεων (Σκουλλός, 1997)

Οι εργασίες του 19<sup>ου</sup> και 20<sup>ου</sup> αιώνα υπήρξαν τόσο σε ποσό όσο και σε περιεχόμενο πολύ σοβαρές και προώθησαν την επιστήμη στο στάδιο της σημερινής της ανάπτυξης, ως ιδιαίτερου κλάδου της Χημικής Ωκεανογραφίας. Ο Marcet το 1819 παρουσίασε για πρώτη φορά τις αναλύσεις του στη Royal Society του Λονδίνου σε δείγματα από πολλούς ωκεανούς και θάλασσες του κόσμου (Αρκτική, Ανταρκτική, Ατλαντικό, Μεσόγειο, Μαύρη, Βαλτική, Κινεζική κ. λ. π.) καταλήγοντας στη διαπίστωση ότι: «όλα τα δείγματα θαλάσσιου νερού σε όλα τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη περιέχουν τα ίδια συστατικά, στις ίδιες περίπου σταθερές αναλογίες και διαφέρουν μόνο στο ολικό ποσό του περιεχομένου άλατος».

Μερικά χρόνια αργότερα, το 1855 ο Maury στο βιβλίο του «Φυσική Γεωγραφία της Θάλασσας», καθορίζει ότι τα συστατικά του θαλάσσιου νερού είναι σταθερά παντού και διαφέρουν στα ποσοστά τους από σημείο σε σημείο όσο και τα συστατικά της ατμόσφαιρας. Το βιβλίο περιέχει και πολλά άλλα σημαντικά αποτελέσματα της πολυτάραχης σταδιοδρομίας του (1806 – 1873).

Η έντονη διχογνωμία που αναπτύχθηκε στους επιστημονικούς κύκλους βοήθησε στην απόφαση να πραγματοποιηθεί η ιστορική αποστολή του πλοίου Challenger με εξουσιοδότηση και χρηματοδότηση της Βρετανικής κυβέρνησης. Στόχοι του προτύπου αυτού και του σημαντικότερου για την Ωκεανογραφία ταξιδιού ήταν:

- A. Ο προσδιορισμός των φυσικών συνθηκών στα μεγάλα βάθη.
- B. Ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης του θαλάσσιου νερού σε όλα τα βάθη.
- Γ. Η επιβεβαίωση της φύσης των θαλάσσιων αποθέσεων και η διαπίστωση της προέλευσής τους.
- Δ. Η εξέταση της κατανομής των διαφόρων οργανισμών στα διάφορα βάθη και στον πυθμένα.

Το ταξίδι του Challenger διήρκησε από το Δεκέμβριο του 1872 μέχρι το Μάιο του 1876 και το πλοίο διέσχισε τον Ατλαντικό, Ειρηνικό και τους νότιους Ωκεανούς, ταξίδι 68.890 ναυτικών μιλίων. Τα τελικά αποτελέσματα που εκδόθηκαν μεταξύ 1880 και 1895 υπό την επίβλεψη του John Murray κάλυψαν 50 μεγάλους τόμους, 29.500 σελίδων με πάνω από 3.000 εικόνες για τα οποία εργάστηκαν 76 ερευνητές – συγγραφείς και πολλοί άλλοι ειδικοί (Σκουλλός, 1997).

Σήμερα οι ωκεανογραφικές μελέτες γίνονται συστηματικά και προγραμματισμένα από ειδικούς φορείς, ερευνητικά κέντρα και ιδρύματα και

συνήθως με τη συνεργασία πολλών χωρών, η δε ανταλλαγή των επιστημονικών σκέψεων και των τεχνολογικών επιτευγμάτων είναι ευρύτατη. Γίνεται κατανοητό, ότι η επιτυχία των ερευνών στην ωκεανογραφία, όπως και σε κάθε άλλη επιστήμη, εξαρτάται κυρίως από το κατάλληλα εξειδικευμένο επιστημονικό και τεχνικό δυναμικό, την τεχνολογική εξέλιξη και το ύψος των επενδύμενων χρημάτων.

Η διαφοροποίηση και η εξέλιξη της επιστήμης της ωκεανογραφίας μπορεί να γίνει ακόμα πιο κατανοητή αν χωρίσει κανείς σε εποχές την πορεία της ωκεάνιας εξερεύνησης. Αναλυτικότερα, τα στάδια που διακρίνονται είναι τα εξής:

1. Εποχή της Επιφανειακής Ωκεανογραφίας: παλαιοί καιροί έως 1873.

Χαρακτηρίζεται από συστηματική συλλογή των παρατηρήσεων από θαλασσινούς σχετικά με αέριδες, ρεύματα, κυματισμούς, θερμοκρασίες και άλλα φαινόμενα που μπορούν να παρατηρηθούν από το κατάστρωμα των Ιστιοφόρων. Π.χ. οι χάρτες τους Halley's με τους αέριδες του εμπορίου, Ο χάρτης του Gulf Stream του Franklin's, και η Θαλάσσια Φυσική Γεωγραφία του Matthew Fontaine Maury's.

2. Εποχή εξερεύνησης της βαθιάς θάλασσας: 1873–1914.

Χαρακτηρίζεται από πληθώρα ωκεανογραφικών αποστολών για την εξερεύνηση επιφανειακών και υποθαλάσσιων περιοχών κοντά στις αποικίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εξερεύνηση του Challenger.

3. Εποχή Συστηματικών και Εθνικών Ερευνών: 1925–1940.

Χαρακτηρίζεται από λεπτομερείς έρευνες στις περιοχές με αποικίες. Παράδειγμα οι έρευνες του Meteor στον Ατλαντικό και του Discovery.

4. Εποχή των Νέων Μεθόδων: 1947–1956.

Χαρακτηρίζεται από μεγάλες έρευνες με τη χρήση νέων επιστημονικών οργάνων όπως οι Σεισμικές Έρευνες στον Ατλαντικό από το Vema που οδήγησαν στο φυσιογραφικό διάγραμμα του πυθμένα της θάλασσας(Heezen).

5. Εποχή Διεθνών Συνεργασιών: 1957–1970.

Χαρακτηρίζεται από πολυεθνικές εξερευνησεις των ωκεανών όπως για παράδειγμα το Atlantic Polar Front Program, the Norpac cruises, και οι αποστολές του International Geophysical Year (Ιούλιος 1957 – Δεκέμβριος\_1958)

6. Εποχή των Μεγάλων Πειραμάτων: 1970–1978

Χαρακτηρίζεται από εξερευνησεις των ωκεάνιων διεργασιών με συνδυασμούς πλοίων, με παραδείγματα τα πειράματα: Mode, Polymode, Norpax, και Jasin ή η Διεθνής Δεκαετία Ωκεάνιας Εξερεύνησης.

7. Εποχή των Δορυφόρων: 1978–1995.



Χαρακτηρίζεται από παγκόσμιες εξερευνήσεις των ωκεάνιων διεργασιών από το διάστημα. Παραδείγματα είναι : Seasat, NOAA 6–10, Nimbus–7, Geosat, Topex/Poseidon, and Ers-1 & Ers-2.

#### 8. Εποχή της Παγκόσμιας Σύνθεσης: 1995– Σήμερα

Παγκόσμιος καθορισμός των Ωκεάνιων διεργασιών με αριθμητικά μοντέλα, με τη χρήση δεδομένων συλλεγμένα από πλοία και δορυφόρους. Π.χ.: το World Ocean Circulation Experiment (WOCE) , το Topex/Poseidon, το SeaWiFS και το Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) (Μεγαλοβασίλης, 2007).

### **1.3 Η Σύγχρονη Ωκεανογραφία**

Οι συλλογές των ποικίλων ωκεανογραφικών στοιχείων και πληροφοριών (γεωλογικών, φυσικών, χημικών, βιολογικών) από το νερό, το βυθό και κάτω από τον πυθμένα πραγματοποιούνται σήμερα από τον παρατηρητή ή με ιδιαίτερους τηλεχειρισμούς. Η σύγχρονη ωκεανογραφική τεχνολογία παρέχει στους ειδικούς επιστήμονες και τεχνικούς στα διάφορα κέντρα ερευνών και στις βιομηχανίες, συσκευές ακουστικών μετρήσεων, μαγνητομετρήσεων, αυτόματων καταγραφικών οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας, της αλατότητας, της πίεσης, του βάθους κ.ά.

Επίσης χρησιμοποιούνται συσκευές μέτρησης των κυμάτων, των ρευμάτων και των παλιρροιών καθώς επίσης φωτογραφικές μηχανές και video. Τέλος, υπάρχουν πλούσια σύγχρονα υλικά καταδύσεων, βαθυσκάφη, υποβρύχια οχήματα, πλοία με κατευθυνόμενες αρπαγές, ρομπότ και διαφόρων κατηγορίες πλατφόρμες και υποθαλάσσιοι άκατοι.

Τελευταία, το ωκεανογραφικό σκάφος «Αιγαίον» του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε (Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών) που αποτελεί μεγάλης σημασίας επιστημονικό εργαλείο για την υλοποίηση των προσπαθειών που καταβάλλονται από τους ειδικούς φορείς της ελληνικής Ωκεανογραφίας, συμβάλλει στη λεπτομερέστερη έρευνα του θαλάσσιου ελληνικού χώρου από γεωλογική, γεωφυσική, ιζηματολογική, χημική, βιολογική και γενικά ωκεανογραφική άποψη.

Φαίνεται λοιπόν από τα παραπάνω, ότι η ωκεανογραφία είναι μια πολύ πλατιά επιστήμη που περιλαμβάνει όλες τις γνώσεις και τα φαινόμενα που σχετίζονται άμεσα με το θαλάσσιο και ωκεάνιο περιβάλλον.

Είναι επομένως αναγκαίο να στεγάζονται κάτω από τη λέξη ωκεανογραφία, όλα όσα ασχολούνται με την ερμηνεία των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα μέσα στο νερό των ωκεανών, στην επιφάνεια του πυθμένα και στα βαθύτερα γεωλογικά στρώματα, που τελικά μελετώνται και σπουδάζονται από τη φυσική, τη χημεία, τη γεωλογία, τη βιολογία και πολλές άλλες επιστήμες.

Θεωρείται λοιπόν απαραίτητο να χωριστεί η Ωκεανογραφία σε ορισμένο αριθμό ειδικοτήτων, που με απλά λόγια μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, μέσα στις οποίες αναπτύσσονται πολλές άλλες σημαντικές και απαραίτητες υποδιαιρέσεις, όπως :

1. **Φυσική ωκεανογραφία:** Μελετά την κατανομή των φυσικών ιδιοτήτων του νερού της θάλασσας όπως είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, η πυκνότητα, τα ρεύματα κ.ά.
2. **Χημική ωκεανογραφία:** Μελετά τη σύσταση των στοιχείων και των διαλυμένων ενώσεων, αιωρούμενων ή κolloειδούς μορφής που βρίσκονται στο θαλασσίνο νερό, τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες, καθώς και την αλληλεπίδραση του θαλασσινού νερού με την ατμόσφαιρα και τους πυθμένες. Ακόμη ασχολείται με τις εφαρμογές και την οικονομική αξιοποίηση των διαφόρων συστατικών της θάλασσας.
3. **Βιολογική ωκεανογραφία:** Μελετά τη μορφολογία, φυσιολογία, βιοχημεία, καθώς επίσης την εξέλιξη και κατανομή των φυτικών και ζωικών οργανισμών στις θάλασσες.
4. **Γεωλογική ωκεανογραφία:** Μελετά τη γεωλογία του πυθμένα και τις γεωφυσικές και γεωχημικές ιδιότητες καθώς και τη στρωμάτωση των ιζημάτων (Ξένος, 2000).

Οι θεωρητικές και πρακτικές γνώσεις που παρέχονται από τους τέσσερις παραπάνω κλάδους υλοποιούνται στην **Εφαρμοσμένη Ωκεανογραφία** που μπορεί να θεωρηθεί ως πέμπτος κλάδος. Τα αντικείμενα της έρευνας της είναι: η αλιεία, η διευθέτηση των ακτών (προστασία ακτών, κατασκευή λιμένων), η μόλυνση του θαλάσσιου νερού, η φθορά και η προφύλαξη των διάφορων υλικών, η εκμετάλλευση της θαλάσσιας ενέργειας (παλίρροιες, θερμική ενέργεια) και τέλος η εκμετάλλευση του πλούτου του θαλάσσιου νερού και του βυθού, όπως είναι τα διάφορα άλατα, τα υποθαλάσσια πετρέλαια, ο ορυκτός γενικά πλούτος και άλλα.

Λόγω της αλόγιστης ανθρωπογενούς παρέμβασης στο φυσικό περιβάλλον και τις φυσικές διεργασίες, ειδικά στη θάλασσα και τους ωκεανούς, η Ωκεανογραφία αποτελεί πλέον μια από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιστήμες. Μελέτες που

αφορούν όλο το φάσμα του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορούν να αποδώσουν σημαντικά αποτελέσματα στην προστασία της φύσης και κυρίως να επαναπροσδιορίσουν την ανθρώπινη παρέμβαση σε αυτή (Γιαννακίδης, 2004)

## 1.4 Σκοπός και Προγράμματα της Ωκεανογραφίας

Ο βασικός στόχος της ωκεανογραφίας είναι να αποκτήσει μια καθαρή και συστηματική περιγραφή των ωκεανών. Οι λόγοι που μας οδηγούν στη διερεύνηση των γνώσεών μας σχετικά με τους ωκεανούς είναι η απόκτηση πηγών τροφής, χημικών ουσιών και ενέργειας. Ταυτόχρονα οι ωκεανοί ρυθμίζουν το κλίμα της γης, ενώ αποτελούν επίσης ένα μέρος όπου καταρρίπτονται βιομηχανικά και ραδιενεργά απόβλητα. Έτσι, είναι αναγκαίο να κατανοηθούν καλύτερα οι διαδικασίες αυτές. Ο στόχος του φυσικού ωκεανογράφου είναι να αποκτήσει μια συστηματική και ποσοτική περιγραφή των νερών του ωκεανού και των κινήσεών τους. Τα ρεύματα του ωκεανού κυκλοφορούν συνεχώς με μικρές μεταβολές εξαιτίας των παλιρροιών και των κυμάτων που παράγονται από τους ανέμους και από τους σεισμούς. Η φυσική μελέτη των ωκεανών έχει προσεγγιστεί από :

1. **Την περιγραφική προσέγγιση:** έγιναν οι παρατηρήσεις ειδικών χαρακτηριστικών και μείωσαν σε ένα μοναδικό χαρακτηρισμό τα γενικά χαρακτηριστικά.
2. **Τη δυναμική προσέγγιση:** οι γνωστοί νόμοι της φυσικής εφαρμόζονται στους ωκεανούς. Μια προσπάθεια έγινε για να λυθούν οι μαθηματικές εξισώσεις για την κίνηση ενός σώματος στο οποίο ενεργούν δυνάμεις.

Το πεδίο της φυσικής ωκεανογραφίας, στο μοντέρνο περιεχόμενό του, ξεκίνησε με τη συλλογή των φυσικών δεδομένων από τα ρεύματα της επιφάνειας και των ανέμων, το οποίο έγινε από το Mattheu Fontaine το 1855. Το πρόγραμμα «H.M.S. Πρόκληση» (από το 1872 μέχρι το 1876) ήταν το πρώτο που συγκέντρωσε ωκεανογραφικά δεδομένα από όλο τον κόσμο. Η εκστρατεία «Meteor» (από το 1925 έως το 1927), απέφερε τις πρώτες λεπτομέρειες της φυσικής των νερών του Ατλαντικού Ωκεανού. Στα μετέπειτα χρόνια ήταν τα εξής προγράμματα:

1. Το γεωφυσικό έτος του Ωκεανού (GYO) από το 1957 έως το 1958.

2. Τη διεθνή εκστρατεία του Ινδικού Ωκεανού (INDEX) από το 1962 έως το 1965.
3. Το παγκόσμιο πρόγραμμα ατμοσφαιρικής έρευνας (GARP).
4. Το παγκόσμιο πρόγραμμα ατμοσφαιρικής έρευνας Ατλαντικών τροπικών πειραμάτων (GATE) το 1974.
5. Η δυναμική των στροβίλων του μέσου ωκεανού (MODE) το 1973.
6. Η μελέτη των γεωχημικών τμημάτων (GEOSECS) από το 1970 έως το 1980.

Οι αρχικές θεωρητικές μελέτες των παλιρροιών της επιφάνειας έγιναν από τους Newton & Laplace και αυτές των κυμάτων έγιναν από τους Gerstner & Stokes. Οι Σκανδιναβοί μετεωρολόγοι Bjerknes, Ekman & Helland – Hansen ανέπτυξαν τη δυναμική ωκεανογραφία. Πρόσφατες μελέτες έχουν εξετάσει τις παράκτιες διαδικασίες, τα δυτικά όρια των ρευμάτων όπως το Gulfstream (το Ρεύμα του Κόλπου), μικρής κλίμακας διακυμάνσεις όπως στρόβιλοι ή κυκλώνες, την κίνηση του πυθμένα των νερών και τη χρήση των ανιχνευτών για τη μελέτη μεγάλης κλίμακας πολύπλοκων διαδικασιών. Τα επόμενα δέκα χρόνια αφορούν το Παγκόσμιο Πείραμα Κλίμακας του Ωκεανού (WOCE). Για την εξερεύνηση του βυθού της Μεσογείου υπάρχουν Ευρωπαϊκά προγράμματα (EUROMAR και MAST) τα οποία φιλοδοξούν να μελετήσουν το άγνωστο και συχνά επικίνδυνο πυθμένα. Τα προγράμματα αυτά είναι τα εξής: το Roman και Amadeus (Ξένος, 2000).

## **1.5 Η Ωκεανογραφία στην Ελλάδα**

Οι πρώτες ωκεανογραφικές έρευνες στην Ελλάδα χρονολογούνται στο τέλος της δεκαετίας του 1930 και αφορούσαν, κυρίως, σε έρευνες στο παράκτιο περιβάλλον. Το Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας (ΙΩ) ιδρύθηκε το 1985 και αποτέλεσε το μεγαλύτερο από τα ινστιτούτα του τότε Εθνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΚΘΕ) – σημερινού Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ).

Στη δεκαετία του 1990, το Ινστιτούτο αναπτύχθηκε με συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς. Η ανάπτυξη συνεχίζεται μέχρι σήμερα, ως αποτέλεσμα της συμμετοχής του σε ευρωπαϊκά ανταγωνιστικά προγράμματα και προγράμματα εθνικής χρηματοδότησης, και περιλαμβάνει, αφενός επέκταση των ερευνητικών δραστηριοτήτων και αφετέρου αύξηση του ερευνητικού/επιστημονικού και τεχνικού

προσωπικού. Σήμερα, το ΙΩ, αποτελεί έναν από τους κυριότερους και πλέον αξιόπιστους φορείς θαλάσσιας έρευνας του Ευρωπαϊκού χώρου, ενώ κατέχει ηγετικό ρόλο στην Ανατολική Μεσόγειο.

Το Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας έχει ως βασικό στόχο τη συστηματική και πολυθεματική διερεύνηση, κατανόηση και παρακολούθηση των φυσικών, χημικών, βιολογικών και γεωλογικών διεργασιών, που λαμβάνουν χώρα και διαμορφώνουν το θαλάσσιο περιβάλλον και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων, την αλληλεπίδραση ωκεανού – ατμόσφαιρας και ωκεανού – στερεού φλοιού και τη δυναμική του στερεού φλοιού. Το ΙΩ είναι το μοναδικό στην Ελλάδα που πραγματοποιεί πολυθεματική, φυσική, χημική, βιολογική και γεωλογική θαλάσσια και παράκτια έρευνα. Στις ερευνητικές δραστηριότητες συγκαταλέγονται εργασίες και πειράματα πεδίου, καθώς και εργαστηριακά πειράματα και αναλύσεις, που αποσκοπούν στη μελέτη των χαρακτηριστικών και των διεργασιών στο θαλάσσιο περιβάλλον, στον ωκεάνιο πυθμένα, στο υπόστρωμα του πυθμένα και τον στερεό φλοιό, στην ατμόσφαιρα και την παράκτια χέρσο.

Οι βασικές ερευνητικές κατευθύνσεις του ΙΩ αφορούν στα ακόλουθα θεματικά αντικείμενα:

- Δομή και λειτουργία των οικοσυστημάτων ανοιχτών θαλασσών
- Δομή και λειτουργία των παράκτιων οικοσυστημάτων
- Αλληλεπιδράσεις στις διεπιφάνειες ατμόσφαιρας-θάλασσας και ιζήματος - θαλασσινού νερού
- Αλληλεπίδραση χέρσου – ωκεανού – ατμόσφαιρας στην παράκτια ζώνη
- Μεγάλης κλίμακας μεταβολές της θερμόαλης κυκλοφορίας και σχετικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα
- Επιπτώσεις των φυσικών και ανθρωπογενών διαταραχών στην παράκτια ζώνη (ευτροφισμός, ρύπανση)
- Ολοκληρωμένη διαχείριση της παράκτιας ζώνης
- Εξέλιξη ή/και εφαρμογή μεθόδων και συστημάτων παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραμέτρων, σε σχεδόν πραγματικό χρόνο
- Αριθμητικές προγνώσεις υδροδυναμικών και μετεωρολογικών συνθηκών.
- Στοχαστική μοντελοποίηση και πρόγνωση επιφανειακών κυματισμών στην ανοιχτή θάλασσα και την παράκτια ζώνη, καθώς και μελέτη κυματικού κλίματος.

- Γεωδυναμική του στερεού φλοιού: ενεργό τεκτονική, ιζηματογενείς διεργασίες, γεωμορφολογία πυθμένα
- Θαλάσσιοι γεωκίνδυνοι: χαρτογράφηση / καταγραφή, εκτίμηση επικινδυνότητας, αντιμετώπιση.
- Εκτός των παραπάνω, το Ινστιτούτο συμμετέχει σε διάφορα προγράμματα εξέλιξης θαλάσσιας τεχνολογίας, καθώς, επίσης, και σε εκπαιδευτικές δραστηριότητες (Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας, 2008)

## 2. Φυσική Ωκεανογραφία

Ο κλάδος της Φυσικής Ωκεανογραφίας είναι ουσιαστικά ο κλάδος της Φυσικής, ο οποίος μελετά συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού, με αποτέλεσμα να επιτρέπει την ευκολότερη κατανόηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Αναλύοντας σε βάθος τα πεδία μελέτης της Φ. Ωκεανογραφίας, μπορεί να ειπωθεί πως ο εν λόγω κλάδος ασχολείται με την μελέτη της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού, περιγράφοντας κυρίως τις διακυμάνσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας, αλλά και τις κατακόρυφες διακυμάνσεις της στην στήλη του νερού, την αλατότητα του θαλασσινού νερού σε χρονική και χωρική κλίμακα, την υποθαλάσσια πίεση, την πυκνότητα του θαλασσινού νερού και τις μεταβολές της, την μετάδοση του ήχου στην θάλασσα, τις οπτικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν το θαλασσινό νερό, το χρώμα του καθώς και την κίνησή του λόγω των κυμάτων, των παλιρροιών και των ρευμάτων.

Η εξέταση της φυσικής του θαλάσσιου περιβάλλοντος απαιτεί, εκτός από την καλή γνώση των βασικών αρχών της Νευτώνειας μηχανικής, τη χρήση της Θερμοδυναμικής της Μηχανικής Συνεχών Μέσων, καθώς και της Ρευστομηχανικής. Και αυτό γιατί ενώ η απλή Μηχανική είναι σε θέση να εξηγήσει τη δυναμική ενός ή μικρού αριθμού στερεών σωμάτων, δεν επαρκεί όταν πρόκειται για την περιγραφή των ρευστών.

Η αιτία της ανεπάρκειας της απλής Νευτώνειας Μηχανικής να περιγράψει την κίνηση των ρευστών δεν είναι βέβαια ότι αυτή δεν ισχύει, απλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην κλίμακα που λαμβάνουν χώρα τα εν λόγω φαινόμενα. Όταν θεωρηθεί κάτι σαν ρευστό, σημαίνει ότι δεν παρατηρούνται τα μόριά του να κινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο, αλλά παρατηρείται μια μάζα να κινείται, η οποία είναι πιθανόν παραμορφωμένη. Η μάζα που παρατηρείται αποτελείται από έναν τεράστιο αριθμό μορίων, που κινούνται συγκρουόμενα το ένα με το άλλο. Η περιγραφή του συστήματος με απλή Νευτώνεια μηχανική θα απαιτούσε την γνώση της θέσης και της κινητικής κατάστασης ενός τεράστιου αριθμού σωματιδίων, και την επίλυση ενός ακόμα μεγαλύτερου αριθμού εξισώσεων. Αυτό ίσως θεωρητικά είναι δυνατό, αλλά είναι πρακτικά αδύνατο στις χωροχρονικές κλίμακες που επιθυμούν οι ωκεανογράφοι, δηλαδή στη μακροκλίμακα. Επομένως, ο τεράστιος αριθμός μορίων

(ή ιόντων, ή ιοντικών ριζών) που περιέχονται σε ένα ρευστό, στις συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος, επιτρέπει την άκρως ικανοποιητική περιγραφή του συστήματος μόνο με τη χρήση της Θερμοδυναμικής και της Μηχανικής Συνεχών Μέσων.

## 2.1 Θερμοδυναμικές παράμετροι στο θαλασσινό νερό.

Μπορεί οι νόμοι της κλασσικής μηχανικής να ισχύουν και στο θαλάσσιο περιβάλλον, ωστόσο είναι εκφρασμένοι με διαφορετικό τρόπο ώστε να μπορούν να περιγράψουν ένα συνεχές μέσο που αποτελείται από πληθώρα σωματιδίων, κάνοντας δηλαδή χρήση της θερμοδυναμικής και της μηχανικής συνεχών μέσων. Επομένως, στο θαλάσσιο περιβάλλον ισχύουν η αρχή διατήρησης της μάζας (του θαλασσόνερου αλλά και του αλατιού), της θερμότητας (κινητικής και θερμικής) και της στροφορμής (λαμβάνετε υπόψη λόγω της περιστροφής της Γης). Η μαθηματική έκφραση των νόμων αυτών έχει τη γενική μορφή

$$DC / Dt = F \quad (1)$$

όπου  $C$  είναι η συγκέντρωση (ή, φορτίο ανά μονάδα μάζας) της ποσότητας του υγρού που μελετάται, και  $F$  είναι το συνολικό άθροισμα πηγών ή καταβοθρών της εν λόγω ποσότητας. Στην παραπάνω εξίσωση, το σύμβολο  $D / Dt$  υποδηλώνει την μεταβολή της ποσότητας  $C$  σε συγκεκριμένη ποσότητα του ρευστού, ανεξάρτητα της κίνησης της ποσότητας αυτής. Η συνάρτηση αυτή λέγεται ολική ή υλική παράγωγος, και υποδηλώνει τη μεταβολή με το χρόνο των ιδιοτήτων συγκεκριμένου «πακέτου», ποσότητας του ρευστού (Ζερβάκης, 2006).

## 2.2 Διατήρηση του Αλατιού στο Θαλασσινό νερό

Έστω μια δεδομένη ποσότητα νερού στη θάλασσα. Αν η αλατότητα του νερού είναι  $S$ , και το νερό έχει πυκνότητα  $\rho$  και όγκο  $V$ , τότε το συνολικό αλάτι που περιέχει αυτή η ποσότητα νερού είναι  $\rho * V * S$ . Επειδή όμως δεν υπάρχει τρόπος γένεσης ή κατανάλωσης του διαλυμένου αλατιού στη θάλασσα, το συνολικό αλάτι



της ποσότητας αυτής θα είναι σταθερό. Άρα, η αρχική εξίσωση (1) θα μπορεί να γραφτεί για την αλατότητα ως εξής:

$$\frac{D(\rho V S)}{Dt} = 0$$

Αν παραγωγιστεί η εν λόγω συνάρτηση προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} \rho V \frac{DS}{Dt} &= -S \frac{D(\rho V)}{Dt} \Rightarrow \\ \frac{DS}{Dt} &= -\frac{S}{\rho V} \frac{D(\rho V)}{Dt} \end{aligned}$$

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι, η αλατότητα μιας συγκεκριμένης ποσότητας θαλασσόνερου μεταβάλλεται μόνο όταν μεταβάλλεται η συνολική μάζα της ποσότητας αυτής του θαλασσόνερου. Η αρχή της διατήρησης της μάζας του θαλασσόνερου όμως λέει ότι η συνολική μάζα του θαλασσόνερου δεν μπορεί να μεταβάλλεται παρά μόνο όταν αυτό αλλάζει φάση, όταν δηλαδή είτε μετατρέπεται σε πάγο είτε εξατμίζεται. Με άλλα λόγια, μακριά από το επιφανειακό στρώμα της θάλασσας (το οποίο μπορεί να υπόκειται σε αλλαγές της φάσης του νερού), ο δεξιός όρος της παραπάνω εξίσωσης είναι μηδενικός, και άρα στα υποεπιφανειακά νερά η αλατότητα διατηρείται (Ζερβάκης, 2006).

$$\frac{DS}{Dt} = 0$$

### 2.3 Διατήρηση της θερμότητας στο θαλασσινό νερό

Η αρχή της διατήρησης της θερμότητας στη θάλασσα προκύπτει από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής, και αναφέρει ότι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας  $\Delta E$  ενός συστήματος σωματιδίων ισούται με τη θερμότητα  $Q$  που προστίθεται στο σύστημα συν το έργο  $W$  που ασκείται πάνω σε αυτό. Εφ' όσον στα επιφανειακά νερά μπορεί να θεωρηθεί σταθερός ο όγκος  $V$  μιας ποσότητας νερού, το

έργο ( $W = -pdV$ , όπου  $p$  η πίεση) μπορεί να θεωρηθεί μηδενικό. Τότε, η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας (ή του θερμικού φορτίου) δεδομένης ποσότητας νερού ισούται με τη θερμότητα που της παρέχεται. Η μεταβολή του θερμικού φορτίου ανά στοιχειώδη όγκο του ρευστού δίνεται από τη σχέση  $\Delta E = \rho^* c_p^* \Delta T$ , (όπου  $c_p$  η θερμοχωρητικότητα του ρευστού), οπότε ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής που περιγράφεται από την εξίσωση  $DE/ Dt = Q$ , απλοποιημένος για επιφανειακά νερά μπορεί να ξαναγραφτεί ως

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = Q \quad (2)$$

όπου με  $Q$  συμβολίζεται το άθροισμα όλων των μηχανισμών μετάδοσης θερμότητας στο θαλασσινό νερό, δηλαδή:

- Η θέρμανση από τον ήλιο μέσω της μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας
- Η ψύξη από τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία μαύρου σώματος.
- Ανταλλαγή θερμότητας από επαφή με την ατμόσφαιρα
- Ανταλλαγή θερμότητας από εξάτμιση
- Πηγές και καταβόθρες θερμότητας λόγω αλλαγής φάσης του θαλασσινού νερού (εξάτμιση, πήξη, τήξη, κλπ).

Με βάση τον παραπάνω κατάλογο διεργασιών ανταλλαγής θερμότητας στο θαλάσσιο περιβάλλον, φαίνεται ότι όλες είναι διεργασίες που συμβαίνουν στο επιφανειακό στρώμα της θάλασσας, αυτό που βρίσκεται σε άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα. Όπως και στη διατήρηση αλατιού, τα υποεπιφανειακά στρώματα που δεν έρχονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα ούτε θερμαίνονται από την ηλιακή ακτινοβολία, ούτε ψύχονται και μπορεί να θεωρηθεί ότι  $Q = 0$ , οπότε η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί ως:

$$\frac{DT}{Dt} = 0$$

δηλαδή, σε υποεπιφανειακά νερά, η θερμοκρασία του θαλασσόνερου είναι επίσης διατηρητικό μέγεθος.

Η παραπάνω σχέση ισχύει σε περιπτώσεις όπου το νερό δεν εκτελεί κατακόρυφες κινήσεις μεγαλύτερες από 500 μέτρα. Ο λόγος είναι ότι για να προκύψει η παραπάνω σχέση, έγινε η παραδοχή ότι δεν ασκείται έργο πάνω στην ποσότητα του νερού που λήφθηκε ως δείγμα. Αυτό όμως δεν είναι πάντα σωστό.

Συγκεκριμένα, όταν μια δεδομένη ποσότητα νερού βυθίζεται, τότε υποβάλλεται σε ένα μεγάλο εύρος πιέσεων, και υπό την επίδραση των πιέσεων αυτών συστέλλεται, άρα αλλάζει ο όγκος της. Εφ' όσον όμως ο όγκος αλλάζει, συντελείται έργο πάνω στο σύστημα, και κατά συνέπεια, η εσωτερική θερμική ενέργεια του συστήματος αυξάνει. Το πρακτικό αποτέλεσμα είναι ότι όταν μια ποσότητα νερού υποβάλλεται σε αύξηση της πίεσης της τάξης των 500 dbar και άνω, χωρίς να ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον της (δηλαδή αδιαβατικά), η τελική της θερμοκρασία είναι λίγο μεγαλύτερη από την αρχική, λόγω του έργου που έχει συντελεστεί πάνω της, το οποίο έχει προκαλέσει τη συστολή της μάζας αυτής. Το πόσο θερμαίνεται η μάζα αυτή βυθιζόμενη, δίνεται από τον τύπο:

$$c_p dT = \frac{\alpha T}{\rho} dp$$

(όπου  $c_p$  η ειδική θερμότητα του θαλασσόνερου σε σταθερή πίεση και  $\alpha$  ο συντελεστής θερμικής διαστολής του θαλασσόνερου). Ολοκληρώνοντας την συγκεκριμένη εξίσωση από μια πίεση  $p$ , όπου η in-situ θερμοκρασία ήταν  $T$ , σε μια πίεση αναφοράς  $p_{ref}$  (συνήθως την επιφανειακή), εξάγεται η θερμοκρασία που θα αποκτήσει η ποσότητα του νερού αν μεταβεί αδιαβατικά στην θέση της πίεσης αναφοράς, δηλαδή η λεγόμενη δυναμική θερμοκρασία  $\theta$ :

$$\int_T^\theta \frac{dT}{T} = \int_p^{p_r} \frac{\alpha}{c_p \rho} dp \Rightarrow \theta(p_r) = T(p) e^{\int_p^{p_r} \frac{\alpha}{c_p \rho} dp}$$

Αποδεικνύεται ότι για να ληφθεί υπόψη η θέρμανση λόγω μεταβολής της πίεσης, η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας (ή του θερμικού φορτίου) αντιστοιχεί σε άθροισμα της μεταβολής θερμικού φορτίου λόγω μεταβολής θερμοκρασίας και σε μεταβολή που προκαλείται λόγω της μεταβολής όγκου που οφείλεται στη μεταβολή πίεσης:

$$dE = \rho c_p dT - \alpha T dp$$

Επομένως η εξίσωση (2) όταν μεταβάλλεται η πίεση μπορεί να γραφεί ως

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} - \alpha T dp = Q$$

Δεδομένου όμως ότι στα βαθιά νερά, ο όρος Q μηδενίζεται, η παραπάνω εξίσωση όταν βρισκόμαστε μακριά από την επιφάνεια, μπορεί να προσεγγιστεί από τον εξής τύπο (Ζερβάκης, 2006):

$$\frac{D\theta}{Dt} = 0$$

## 2.4 Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού

Η πυκνότητα του θαλασσόνερου, που αποτελεί και το βασικό λόγο κίνησης των θαλάσσιων μαζών, μπορεί πλήρως να καθοριστεί από τις τρεις βασικές θερμοδυναμικές παραμέτρους: θερμοκρασία, αλατότητα και πίεση. Η χρήση λοιπόν ενός μηχανήματος CTD επιτρέπει τον υπολογισμό όχι μόνο της αλατότητας, αλλά μέσω αυτής, και της πυκνότητας του θαλασσόνερου, βάσει της καταστατικής εξίσωσης:

$$\rho_{S,T,p} = \rho(S,T,p)$$

Η καταστατική εξίσωση του θαλασσόνερου, και άλλες σχέσεις που προκύπτουν από αυτήν, δίνονται αναλυτικά στην σχετική αναφορά της UNESCO (1984). Η πυκνότητα του θαλασσόνερου στο πεδίο κυμαίνεται από 1010 έως περίπου 1050 kg m<sup>-3</sup>. Η πυκνότητα φυσικά μειώνεται με τη θερμοκρασία και αυξάνεται με την αλατότητα. Η αύξηση της πίεσης επιφέρει τη συστολή του θαλασσόνερου, με αποτέλεσμα τη σχεδόν γραμμική αύξηση της πυκνότητας με την πίεση. Λόγω των μικρών διαφορών της διακύμανσης της πυκνότητας (40 kg m<sup>-3</sup>) σε σχέση με τις τιμές πυκνότητας (~1025 kg m<sup>-3</sup>), στην ωκεανογραφία επελέγη να εισαχθεί η παράμετρος σ ως μέτρο της πυκνότητας του θαλασσόνερου, που ορίζεται ως εξής:

$$\sigma_{S,T,p} = \rho_{S,T,p} - 1000$$

Η συμπίεση που προκαλείται από την υψηλή πίεση, επηρεάζει την πυκνότητα του θαλασσόνερου με δύο τρόπους, έναν άμεσο και έναν έμμεσο:

Ο άμεσος τρόπος συνίσταται στην συστολή του όγκου που καταλαμβάνει η μάζα του νερού. Ο όγκος που εκτοπίζει ένα κιλό θαλασσόνερου λέγεται ειδικός όγκος του θαλασσόνερου και συχνά συμβολίζεται με το γράμμα  $\alpha$ , ορίζεται δε σαν το αντίστροφο της πυκνότητας

$$\alpha_{S,T,p} = \frac{1}{\rho_{S,T,p}}$$

Ο ειδικός όγκος του θαλασσόνερου είναι μεγαλύτερος σε χαμηλές πιέσεις και μικρότερος σε υψηλές πιέσεις, λόγω της μικρής μεν, όχι αμελητέας δε, συμπιεστότητας του θαλασσόνερου. Όταν οι μεταβολές της πίεσης είναι μικρές (συνήθως μικρότερες των 500dbar), η σύγκριση των πυκνοτήτων διαφόρων ποσοτήτων νερού γίνονται, θεωρώντας ότι οι μετρήσεις θερμοκρασίας και αλατότητας έγιναν στην ίδια πίεση. Όταν γίνεται αναφορά σε νερά των ανώτερων 500μέτρων του ωκεανού, τότε συνήθως ανάγονται οι μετρήσεις στην επιφάνεια, και χρησιμοποιείται η παράμετρος  $\sigma_t$  :

$$\sigma_t = \rho_{S,T,0} - 1000$$

Όταν όμως το εύρος πιέσεων στις οποίες εκτυλίσσεται το εξεταζόμενο φαινόμενο ξεπερνά τα 500dbar, τότε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο έμμεσος τρόπος, κατά τον οποίο επηρεάζεται η πυκνότητα από την πίεση.

Ο έμμεσος τρόπος που η μεταβολή της πίεσης επηρεάζει την πυκνότητα του θαλασσόνερου, είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας λόγω της συμπίεσης. Η εφαρμογή υψηλής πίεσης δεν συμπιέζει μόνο, συστέλλοντας τον ειδικό όγκο του νερού, αλλά και το θερμαίνει, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του. Σαν αποτέλεσμα της θέρμανσης αυτής, η υψηλότερη θερμοκρασία προκαλεί μια μικρή μείωση της πυκνότητας του νερού, σε σύγκριση με την αύξηση που θα είχε καθαρά λόγω της άμεσης συμπίεσης. Το αποτέλεσμα είναι, αν εφαρμοστεί ο υπολογισμός της πυκνότητας  $\sigma_t$  σε εύρη βαθών μεγαλύτερα των 500μέτρων, και αν οι θερμοκρασία

και αλατότητα παραμένουν ομογενείς (όπως συμβαίνει συχνά στον βαθύτερο ωκεανό), η πυκνότητα να φαίνεται ότι μειώνεται με την αύξηση του βάθους.

Ο λόγος είναι ότι προσεκτική εξέταση θα δείξει ότι η in-situ θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος λόγω πίεσης, και το αποτέλεσμα θα είναι ότι η θαλάσσια στήλη θα εμφανίζεται ασταθής, αφού ελαφρύτερα νερά θα βρίσκονται κάτω από βαρύτερα. Για να λυθεί το πρόβλημα αυτό, απαιτείται η χρήση της δυναμικής θερμοκρασίας στον υπολογισμό της πυκνότητας, όταν εξετάζουμε μεγάλα εύρη βαθών. Έχει εισαχθεί λοιπόν η παράμετρος της δυναμικής πυκνότητας  $\sigma_\theta$ , οριζόμενη από:

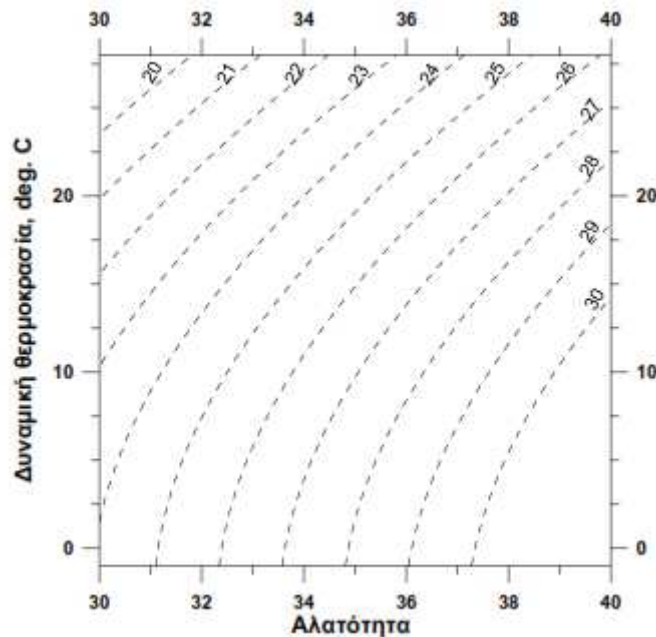
$$\sigma_\theta = \rho_{s,\theta,0} - 1000$$

Η δυναμική πυκνότητα είναι η πυκνότητα που θα αποκτήσει δεδομένη ποσότητα νερού αν μεταβεί αδιαβατικά στην επιφάνεια της θάλασσας (Ζερβάκης, 2006).

## 2.5 Τύποι μαζών νερού, χρήση διαγραμμάτων T/S

Ποιοι είναι όμως οι λόγοι που οδηγούν στην μελέτη της Πίεσης, της Θερμοκρασίας και της Αλατότητας του θαλασσινού νερού από τον κλάδο της Ωκεανογραφίας?

Μια μεγάλη ποσότητα ομογενούς νερού, με σταθερή θερμοκρασία και αλατότητα που χαρακτηρίζουν την προέλευση του νερού αυτού, ορίζεται ως τύπος νερού. Επειδή η θερμοκρασία και η αλατότητα μπορούν να καθορίσουν την ταυτότητα ενός τύπου νερού, χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα T/S, όπου στο δισδιάστατο χώρο αλατότητας και θερμοκρασίας μπορούν να απεικονιστούν η θερμοκρασία και η αλατότητα που περιγράφουν έναν τύπο νερού. Πάνω σε ένα διάγραμμα T/S προβάλλονται και οι ισόπυκνες καμπύλες που χαρακτηρίζουν το εύρος αλατότητας και θερμοκρασίας που εξετάζονται (Διαγρ. 1).



**Διάγραμμα 1.** Βασικό διάγραμμα T/S. Οι διακεκομμένες γραμμές αποτυπώνουν τις ισόπυκνες (Πηγή: Ζερβάκης, 2006, Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων)

Βέβαια, τα διαγράμματα T/S έχουν 2 διαστάσεις, ενώ η πλήρης θερμοδυναμική περιγραφή του θαλασσινού νερού λαμβάνει χώρα σε τρισδιάστατο χώρο (δηλαδή, απαιτεί τρεις παραμέτρους, συνήθως θερμοκρασία, αλατότητα και πίεση). Έτσι, για να περιγραφούν όλες οι μετρήσεις ανεξαρτήτως του βάθους στο οποίο αντιστοιχούν, στα διαγράμματα T/S προβάλλονται όλες οι μετρήσεις είτε στην επιφάνεια του νερού, είτε σε μια άλλη πίεση χαρακτηριστική των βαθών που εξετάζονται. Έτσι, αν εξετάζονται τα ανώτερα 500 μέτρα του ωκεανού, σε ένα τυπικό διάγραμμα T/S προβάλλεται η in-situ θερμοκρασία  $T$  και οι ισόπυκνες καμπύλες  $\sigma_t$ . Αντίθετα, αν εξετάζονται μεγαλύτερα εύρη βαθών, συνιστάται η χρήση δυναμικής θερμοκρασίας  $\theta$ . Σε αυτή την περίπτωση, οι ισοκαμπύλες πυκνότητας αντιστοιχούν σε δυναμική πυκνότητα  $\sigma_\theta$ .

Για να γίνει πιο κατανοητή η χρήση των διαγραμμάτων από τους επιστήμονες για τον διαχωρισμό μαζών θαλασσινού νερού που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές τιμές στις 3 παραμέτρους από τις οποίες περιγράφονται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το εξής παράδειγμα.

Έστω μία μάζα  $\alpha$  τύπου νερού A έρχεται σε επαφή και αναμειγνύεται πλήρως με μια μάζα  $\beta$  τύπου νερού B. Έστω ότι ο τύπος νερού A χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία  $T_A$  και αλατότητα  $S_A$ , και ο τύπος νερού B χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία  $T_B$  και αλατότητα  $S_B$ . Αφού οι τύποι θα αναμειχθούν πλήρως, η

μάζα  $\gamma$  του θαλασσόνερου που θα προκύψει θα ισούται με το άθροισμα των δύο μαζών  $\alpha + \beta = \gamma$ . Επίσης, το θερμικό φορτίο της προκύπτουσας μάζας θα ισούται με το άθροισμα των θερμικών φορτίων των δύο μαζών

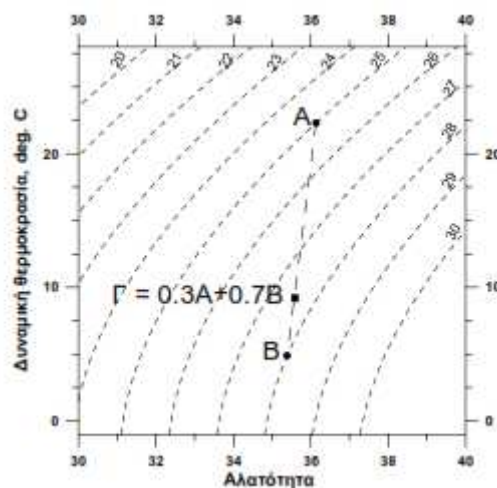
$$\alpha c_p T_A + \beta c_p T_B = \gamma c_p T_\Gamma$$

Τέλος, το συνολικό αλάτι που θα περιέχεται στην προκύπτουσα ποσότητα  $\gamma$  θα ισούται με το άθροισμα του αλατιού που περιέχεται στις δύο ποσότητες  $\alpha$  και  $\beta$  που αναμείχθηκαν:

$$\alpha S_A + \beta S_B = \gamma S_\Gamma$$

Οι τρεις παραπάνω εξισώσεις ορίζουν ένα γραμμικό σύστημα εξισώσεων που επιλύμενο, δίνει ότι οι τιμές αλατότητας  $S_\Gamma$  και θερμοκρασίας  $T_\Gamma$  της ποσότητας  $\gamma$  που θα προκύψει από την ανάμειξη θα ορίζουν ένα σημείο στο διάγραμμα T/S που βρίσκεται πάνω στο ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τους τύπους νερών A και B (Διαγρ. 2)

$$\frac{T_A - T_B}{S_A - S_B} = \frac{T_\Gamma - T_B}{S_\Gamma - S_B}$$

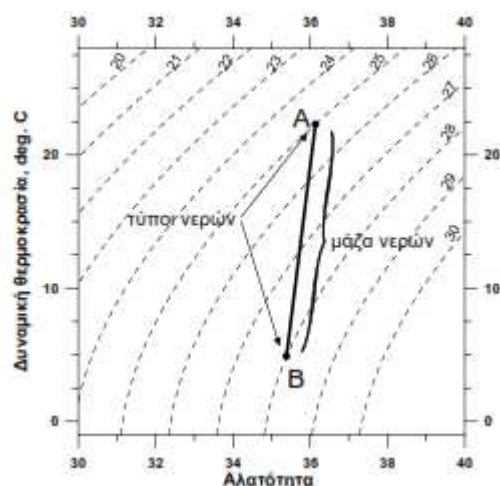


**Διάγραμμα 2.** Ανάμειξη αναλογιών 0,3 του τύπου νερού A και 0,7 του τύπου νερού B σε διάγραμμα T/S (Πηγή: Ζερβάκης, 2006, Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων)



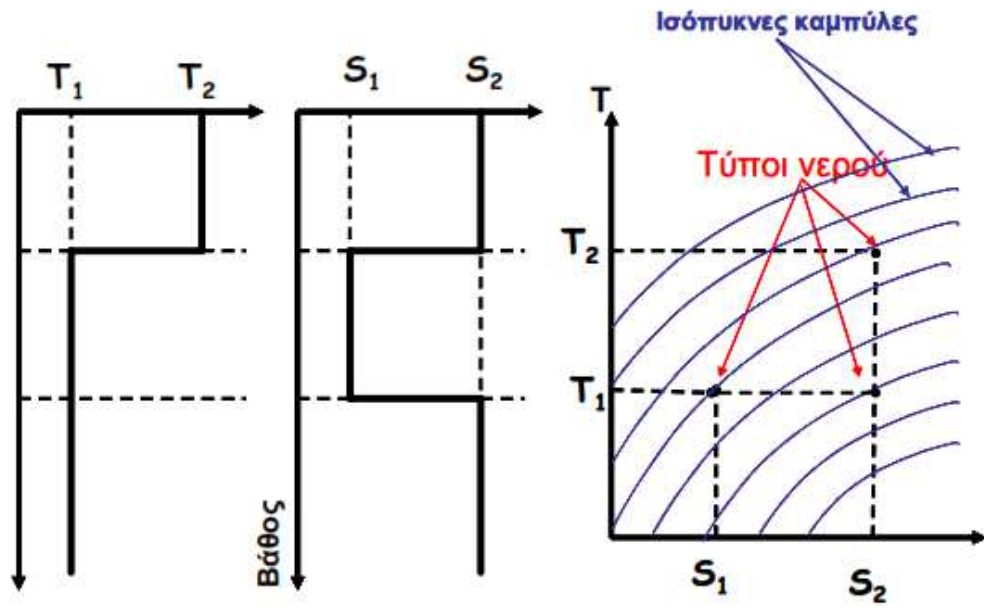
Ο λόγος των μηκών των ευθύγραμμων τμημάτων ΓΑ/ΓΒ ισούται με το αντίστροφο των αναλογιών των μαζών στις οποίες αναμείχθηκαν οι δύο τύποι, δηλαδή  $\Gamma\text{A}/\Gamma\text{B} = 0.7/0.3$ .

Στη φύση όμως, αν υπάρχει ένα στρώμα νερού του τύπου Α και ένα στρώμα του τύπου Β και υπάρχει ανάμειξη στη διεπιφάνεια, τότε η ανάμειξη δεν γίνεται πλήρης, αλλά υπάρχουν βάθη πιο πλούσια σε νερά τύπου Α και άλλα πλουσιότερα σε νερά τύπου Β. Στη φύση λοιπόν, η ανάμειξη δύο τύπων νερού δεν καταλήγει σε έναν νέο τύπο νερού, αλλά σε νερό του οποίου οι ιδιότητες κατανέμονται πάνω στο ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τους πρωταρχικούς τύπους σε ένα διάγραμμα T/S. Το ευθύγραμμο αυτό τμήμα ορίζει τη μάζα νερού που προκύπτει από την ανάμειξη των δύο τύπων (Διαγρ. 3)



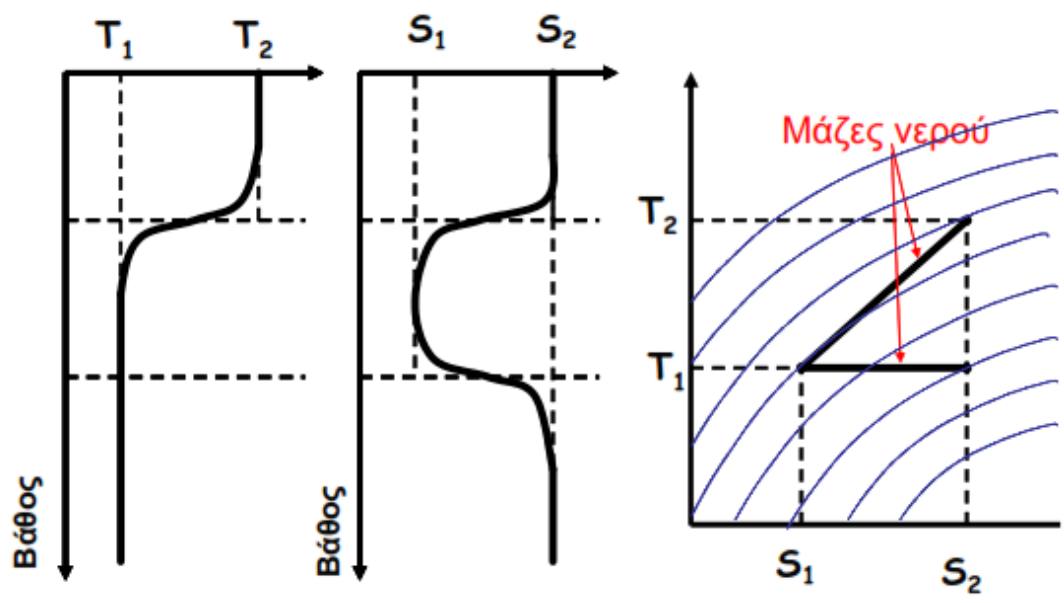
**Διάγραμμα 3.** Ανάμειξη δύο τύπων νερών και δημιουργία μάζας νερού σε διάγραμμα T/S (Πηγή: Ζερβάκης, 2006, Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων)

Αντίστοιχα, αν αναμειγνύονται τρεις τύποι θαλασσινού νερού, που χαρακτηρίζονται από τις τιμές της θερμοκρασίας και αλατότητάς τους. Έστω ότι το επιφανειακό στρώμα χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία  $T_2$  και αλατότητα  $S_2$ , το ενδιάμεσο από  $T_1$  και  $S_1$  και το βαθύτερο στρώμα από  $T_1$  και  $S_2$  αντίστοιχα (Διάγρ. 4). Τα τρία αυτά στρώματα αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τρεις τύπους νερού, που παριστάνονται στο διάγραμμα T/S από τρία σημεία



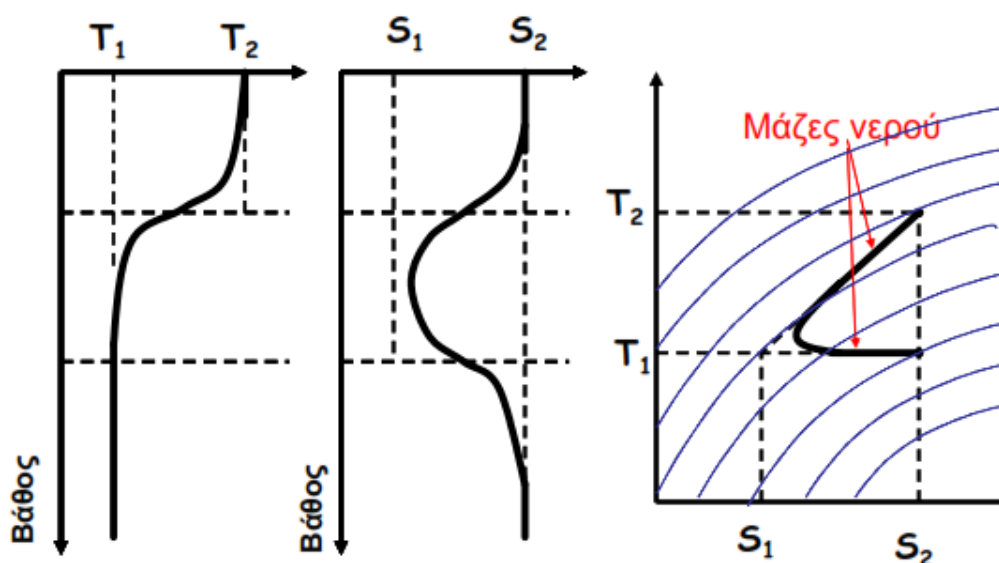
**Διάγραμμα 4.** Κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας (πρώτο) και αλατότητας (δεύτερο) τριών υπερκείμενων τύπων νερού και αντίστοιχο διάγραμμα T/S (Πηγή: Ζερβάκης, 2006, Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων)

Έστω ότι οι διεπιφάνειες που χωρίζουν τους τύπους των νερών διαβρώνονται μέσω κάποιας ανάμειξης, που προκαλεί διάχυση της θερμοκρασίας και της αλατότητας μεταξύ τους. Έστω επίσης ότι (τουλάχιστον στα αρχικά στάδια ανάμειξης), ο ενδιάμεσος τύπος δεν διαβρώνεται πλήρως. Τότε, οι κατακόρυφες κατανομές και το αντίστοιχο διάγραμμα T/S παίρνουν την εξής μορφή (Διάγρ. 5)



**Διάγραμμα 5.** Κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας (πρώτο) και αλατότητας (δεύτερο) τριών υπερκείμενων τύπων νερού και αντίστοιχο διάγραμμα T/S, μετά την ανάμειξη (Πηγή: Ζερβάκης, 2006, Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων)

Αν εξακολουθήσει η ανάμειξη, και ο ενδιάμεσος τύπος νερού είναι πεπερασμένος (ή δεν επανατροφοδοτείται), ο τύπος αυτός θα διαβρωθεί, με αποτέλεσμα οι κατακόρυφες κατανομές και το διάγραμμα T/S να πάρουν τη μορφή του διαγράμματος που ακολουθεί.

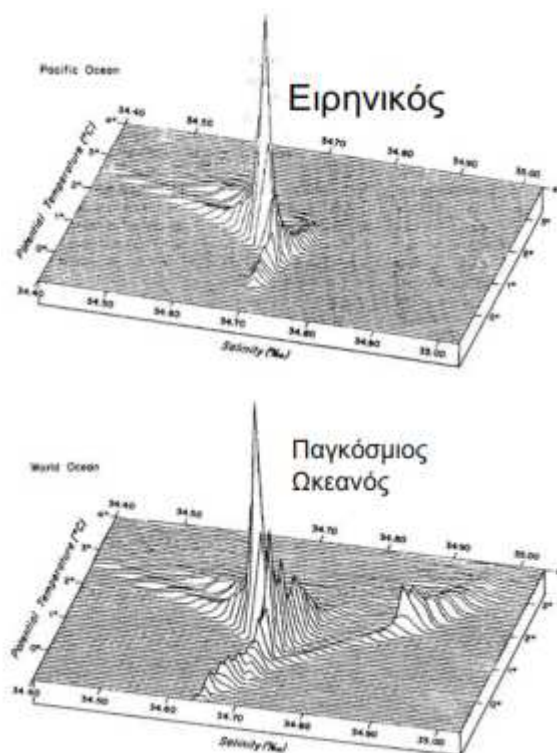


**Διάγραμμα 6.** Κατακόρυφη κατανομή θερμοκρασίας (πρώτο) και αλατότητας (δεύτερο) τριών υπερκείμενων τύπων νερού και αντίστοιχο διάγραμμα T/S, εφόσον η ανάμειξη συνεχίζεται (Πηγή: Ζερβάκης, 2006, Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων)

Κλείνοντας μπορεί να ειπωθεί πως όταν οι υδρογραφικές παρατηρήσεις αλατότητας και θερμοκρασίας αποτυπώνονται σε ένα διάγραμμα T/S, είναι εφικτό από τη μορφή της καμπύλης που δημιουργείται, να αναγνωριστούν τύποι και μάζες νερών, καθώς και ο βαθμός ανάμειξής τους. Επιπλέον, το διάγραμμα T/S αποτελεί και έναν πρωτογενή τρόπο ελέγχου της ποιότητας των δεδομένων, αφού οι καμπύλες που προκύπτουν από τις μετρήσεις CTD ανά σταθμό θα πρέπει να ακολουθούν πορεία έτσι ώστε η πυκνότητα του νερού να αυξάνεται κατά τη μετάβαση από ρηγά σε βαθιά νερά.

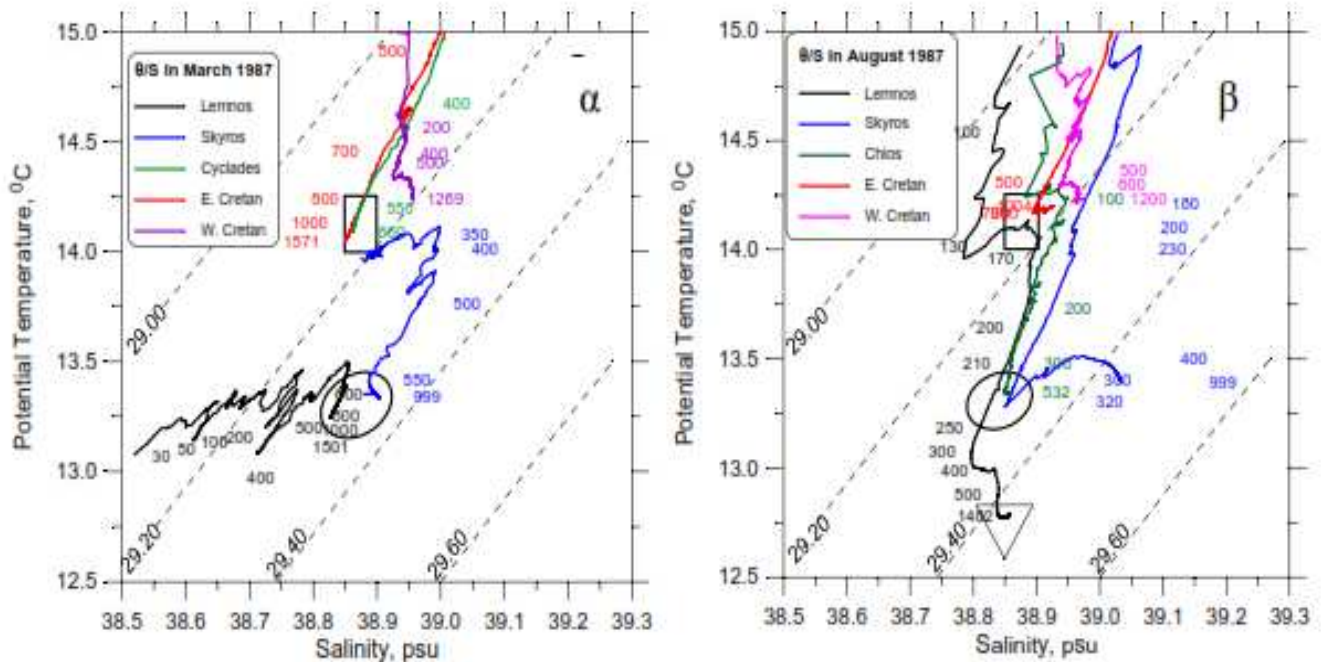
Κάποια βασικά μειονεκτήματα των διαγραμμάτων T/S είναι ότι δεν παρέχουν πληροφορία περί της ποσότητας του νερού που περιέχει ο κάθε τύπος ή μάζα νερού, και δεν δίνουν την πληροφορία του βάθους. Όσον αφορά το πρώτο, είναι προφανές ότι ένας τύπος νερού, που μπορεί να αντιστοιχεί σε ένα πλήρως ομογενές στρώμα πάχους 2000μέτρων, απεικονίζεται σε ένα διάγραμμα T/S με τον ίδιο τρόπο που απεικονίζεται μια μέτρηση που αντιστοιχεί σε ένα μέτρο νερού. Έτσι, είναι προφανές ότι αν μέσω του διαγράμματος T/S επιχειρείται να δοθεί όχι μόνο μια αναγνώριση των παρόντων τύπων ή μαζών νερού, αλλά και μια στατιστική κατανομή των ποσοτήτων νερού που αυτές αντιπροσωπεύουν, τότε θα πρέπει να αναζητηθεί μια βελτίωση του εργαλείου αυτού.

Μια τέτοια λύση που έχει προταθεί είναι το ογκομετρικό διάγραμμα T/S. Αυτό, στην ουσία πρόκειται για ένα δισδιάστατο ιστόγραμμα της πληθώρας των υδρογραφικών παρατηρήσεων, πάνω σε ένα επίπεδο T/S. Στην ουσία, καταγράφονται οι τιμές που βρίσκονται εντός μιας περιοχής  $T_0 \pm \delta T$  και  $S_0 \pm \delta S$ , και αντιστοιχούνται στο σημείο  $T_0, S_0$  (Διαγρ 7-8) (Well et al., 2003)



**Διαγράμματα 7-8.** Διάγραμμα T/S από τον βαθύ Ειρηνικό και Ογκομετρικό διάγραμμα T/S του Παγκόσμιου Ωκεανού (Πηγή: Ζερβάκης, 2006, Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων)

Αναφορικά με το γεγονός ότι το διάγραμμα T/S δεν παρέχει πληροφορία βάθους, σε περιπτώσεις που αυτή η πληροφορία κρίνεται απαραίτητη για την ανάλυση που γίνεται, η πληροφορία του βάθους μπορεί να εισαχθεί στο διάγραμμα T/S (Διαγρ. 9) (Ζερβάκης, 2006)



**Διάγραμμα 9:** Διάγραμμα T/S από το Αιγαίο τον Μάρτιο του 1987 και τον Αύγουστο του ίδιου έτους (Πηγή: Ζερβάκης, 2006, Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων)

## 2.6 Κυματισμοί

Η πρώτη παρατήρηση που θα μπορούσε να κάνει κανείς, παρατηρώντας τη θάλασσα, είναι ότι άλλοτε είναι ήρεμη και άλλοτε δημιουργεί κάποιους σχηματισμούς που ονομάζονται κύματα. Ως κυματισμός, ονομάζονται οι μη μόνιμες διαταραχές της ελεύθερης επιφάνειας του νερού (τις ταλαντώσεις όπως αλλιώς λέγονται) που μπορεί να είναι περιοδικές στο χώρο και στο χρόνο

Η επιφάνεια λοιπόν της θάλασσας, φαίνεται να βρίσκεται συνεχώς σε κίνηση με διαρκείς αναταράξεις. Η πιο προφανής αιτία είναι τα ανεμογενή κύματα που διαδίδονται από άκρο σε άκρο σε μια ωκεάνια λεκάνη, ώσπου να εκτονωθεί η ενέργειά τους με τη θραύση τους σε κάποια παράκτια τοποθεσία. Τα ελαστικά κύματα, με την ευρεία έννοια της φυσικής, είναι μεταφορά ενέργειας (και περιορισμένα ύλης), με περιοδική κίνηση των μορίων της ύλης. Ωστόσο, στην

περίπτωση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, η Φυσική Ωκεανογραφία καλείται να λάβει υπόψη της και άλλες παραμέτρους, όπως είναι ο άνεμος, οι μεταβολές τις ατμοσφαιρικής πίεσης, η αλληλεπίδραση μεταξύ δυνάμεων που προκύπτουν από την περιστροφή της γης (δύναμη Coriolis) με άλλες δυνάμεις, που μεταφέρουν ενέργεια προξενώντας περιοδικές κινήσεις των μορίων του νερού.

Επομένως τα κύματα είναι περιοδικές μηχανικές ταλαντώσεις των μορίων του νερού, στην επιφάνεια ή στο βάθος, οποιασδήποτε περιόδου, με τις οποίες γίνεται μεταφορά ενέργειας. Το φάσμα τους περιλαμβάνει περιόδους μικρότερες από 1 sec, όπως ρυτιδώσεις που προξενεί ο ασθενής άνεμος στην ήρεμη επιφάνεια της θάλασσας, ως 3-4 μήνες σε μερικά πλανητικά κύματα, που τα αποτελέσματά τους γίνονται αντιληπτά, κυρίως ως μεταβολές στη ροή και στη διεύθυνση των θαλασσιών ρευμάτων.

Τα κύματα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: τα κύματα που διαδίδονται μέσα στη μάζα της ύλης και χωρίζονται σε επιμήκη και εγκάρσια και στα κύματα που διαδίδονται στο όριο δύο μέσων με διαφορετική πυκνότητα, τα οποία ονομάζονται τροχιακά.

Τα επιμήκη χαρακτηρίζονται από την ταλάντωση των μορίων της ύλης κατά μήκος της διεύθυνσής τους, ενώ τα εγκάρσια από ταλαντώσεις κάθετες στη διεύθυνση διάδοσης του κυματισμού, τα οποία παράλληλα δεν διαδίδονται στη θάλασσα, γιατί προϋποθέτουν μεγάλη συνεκτικότητα μεταξύ των μορίων της ύλης.

Αντίστοιχα, τα τροχιακά κύματα χαρακτηρίζονται από κυκλική ή ελλειψοειδής κίνηση στο όριο των μέσων στο οποίο διαδίδονται(π.χ. όριο θερμοκλινούς, επιφάνεια της θάλασσας)

Τέλος, τα επιφανειακά κύματα, ανάλογα με την περίοδό τους έχουν και διαφορετική ενέργεια.

Κάθε κύμα έχει τέσσερα κύρια χαρακτηριστικά, το ύψος  $H$  που είναι η κατακόρυφη απόσταση από βαθύτερο σημείο της κοιλίας, το μήκος κύματος  $L$ , που είναι η οριζόντια απόσταση από κορυφή σε κορυφή, η περίοδος  $T$ , που είναι ο χρόνος μίας πλήρους ταλαντώσεως και τέλος η ταχύτητα, η οποία διαχωρίζεται στην ταχύτητα φάσης και στην ταχύτητα ομάδας. Η σχέση που δίνει την ταχύτητα σε σχέση με το μήκος κύματος και της περιόδου, είναι  $C = L / T$ .

Όταν ένα κύμα αρχίσει να «νιώθει» το βυθό αλλάζουν τα κύρια χαρακτηριστικά του. Αυτό οφείλεται και σε ένα μεγάλο βαθμό στη συμβολή των

κυμάτων, στην οποία οφείλεται η ανομοιογένεια που υπάρχει στις μορφές των κυμάτων.

Τέλος, τα κύματα έχουν πολλές γενεσιουργούς αιτίες. Για παράδειγμα τα επιφανειακά κύματα έχουν κυρίως ως γενεσιουργό αιτία τον άνεμο, τα κύματα TSUNAMIS έχουν ως γενεσιουργό αιτία υποθαλάσσιες σεισμικές και ηφαιστειακές διαταραχές (Αναγνώστου & Χρόνης, 2002).

## **2.7 Όργανα Μέτρησης που χρησιμοποιούνται στην Φυσική Ωκεανογραφία**

Η γνώση της κατανομής της θερμοκρασίας και της αλατότητας προέρχονται από μετρήσεις που διεξάγονται από ωκεανογραφικά σκάφη σε «υδρογραφικούς σταθμούς». Σε θέσεις δηλαδή που το πλοίο σταματά, καθορίζει τις συντεταγμένες του και διεξάγει δειγματοληψία και μετρήσεις. Οι μετρήσεις γίνονται από την επιφάνεια ως κάποιο βάθος, με συσκευές που κατεβάζονται από το πλοίο. Πρόσφατα οι μετρήσεις θερμοκρασίας γίνονται σε συστηματική βάση από δορυφόρους, αλλά και από αυτοματοποιημένα ρομποτικά συστήματα που είναι αγκυροβολημένα σε επιλεγμένες θέσεις. Τα συστήματα αυτά, σε τακτά χρονικά διαστήματα, μετρούν το προφίλ της κατανομής πολλών φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού και εκπέμπουν, μέσω δορυφόρων, τις μετρήσεις τους. Οι μετρήσεις αυτές, χρησιμεύουν μαζί με τις μετρήσεις των πλοίων και των δορυφόρων, στην καθημερινή παραγωγή χαρτών κατανομής των φυσικοχημικών παραμέτρων στο νερό των ωκεανών (Αλμπανάκης, 1999).

### Μετρήσεις θερμοκρασίας

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας μέσα στη θάλασσα γίνονται με εξειδικευμένα θερμόμετρα που έχουν σχεδιαστεί για το σκοπό αυτό και διακρίνονται σε υδραργυρικά και ηλεκτρονικά.

Τα υδραργυρικά θερμόμετρα είναι αποκλειστικά σχεδιασμένα για ωκεανογραφικές μετρήσεις. Έχουν τη δυνατότητα να ανεβοκατεβαίνει η υδραργυρική στήλη και να ακινητοποιείται κατά βούληση στο βάθος δειγματοληψίας. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχήμα της στήλης και του υδραργυρικού δοχείου.

Συνήθως είναι προσαρμοσμένα σε φιάλες δειγματοληψίας με κατάλληλες διατάξεις, ώστε όταν φτάσουν στο βάθος μέτρησης, ενεργοποιείται από το χειριστή ένας μηχανισμός που κλείνει τα στόμια της φιάλης και αντιστρέφει ολόκληρο το θερμόμετρο.

Η υδραργυρική στήλη τότε αποκόπτεται από το δοχείο υδραργύρου, εξαιτίας του ειδικού σχήματος του θερμομέτρου και «παγώνει» τη μέτρηση. Όταν ανεβάσουμε το θερμόμετρο στην επιφάνεια διαβάζουμε την ένδειξη, η οποία όμως αντιστοιχεί στο βάθος της δειγματοληψίας. Τα θερμόμετρα αυτά ονομάζονται αντιστρεφόμενα θερμόμετρα και υπάρχουν σε δύο τύπους: έναν προστατευόμενο από την υδροστατική πίεση του νερού και ένα απροστάτευτο, τα οποία τοποθετούνται στις φιάλες δειγματοληψίας κατά ζεύγη. Το απροστάτευτο θερμόμετρο, μετρά το συνδυασμένο αποτέλεσμα θερμοκρασίας – πίεσης και το προστατευμένο μόνο τη θερμοκρασία. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού του βάθους δειγματοληψίας, από κατάλληλους πίνακες του κατασκευαστή των θερμομέτρων. Συνήθως, υπάρχει και ένα μικρότερο βοηθητικό θερμόμετρο για τον καθορισμό της θερμοκρασίας της συσκευής την ώρα της ανάγνωσης της μέτρησης, ώστε να γίνουν επιπλέον διορθώσεις. Η ακρίβεια τους, μετά τις διορθώσεις μπορεί να φτάσει  $\pm 0.02^\circ \text{C}$ .

Όταν το βάθος της δειγματοληψίας, έχει υπολογιστεί από ζευγάρι προστατευόμενου και απροστάτευτου θερμομέτρου, τότε ονομάζεται θερμομετρικό βάθος (Αλμπανάκης, 1999).

Τα ηλεκτρονικά θερμόμετρα μπορεί να είναι είτε πλατίνας (platinum resistance), που συνήθως αναφέρονται σαν Pt100, είτε θερμίστορ. Στα θερμόμετρα Pt100 έχουμε το πλεονέκτημα ότι μπορούμε να αντικαταστήσουμε το αισθητήριο χωρίς επαναβαθμονόμηση του οργάνου (κάθε αισθητήριο Pt100 είναι κομμένο με λέιζερ και έχει αντίσταση  $100\Omega$  στους  $25^\circ \text{C}$ ). Η ακρίβεια τους δεν ξεπερνά τους  $0.05^\circ \text{C}$ . Αντίθετα, η χρήση του θερμίστορ επιτρέπει ακριβείς μετρήσεις, της τάξης του  $0.001^\circ \text{C}$ , που είναι απαραίτητες σε μελέτες των βαθιών ωκεάνιων νερών με πολύ μικρές μεταβολές. Τα θερμόμετρα με θερμίστορ χρειάζονται προσεκτική βαθμονόμηση στο εργαστήριο σε τακτικά χρονικά διαστήματα π.χ. μια φορά το χρόνο, ώστε να διατηρούν τη μεγάλη τους ακρίβεια.

Οι ωκεανογραφικές μετρήσεις στον ανοικτό ωκεανό είναι ιδιαίτερα πολυέξοδες γιατί πρέπει να συνυπολογιστεί και το κόστος του ωκεανογραφικού ταξιδιού. Ένας παράγοντας που ανεβάζει σημαντικά το κόστος των ωκεανογραφικών μετρήσεων, είναι ο χρόνος που απαιτείται για να σταματήσει ένα ωκεανογραφικό



σκάφος και να ποντιστούν τα όργανα στη θάλασσα. Αυτό περιορίζει σημαντικά τον αριθμό των στάσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν ανά 24ωρο. Έτσι, επινοήθηκαν συσκευές που μπορούν να καταγράφουν προφίλ της θερμοκρασίας εν πλω. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων συσκευών.

Η μία κατηγορία είναι οι βαθυθερμογράφοι. Είναι συσκευές με σχήμα ατρακτοειδές που καταλήγει σε πτερύγια και διαθέτουν μηχανικά αισθητήρια της πίεσης και της θερμοκρασίας με έμβολα. Η συσκευή αναρτάται από συρματόσχοινο και ποντίζεται στη θάλασσα εν πλω, μέχρι το επιθυμητό βάθος. Η θερμοκρασία καταγράφεται καθώς μια ακίδα ξύνει μηχανικά ένα ίχνος σε πλακίδιο στο οποίο είναι χαραγμένοι και αριθμημένοι οι άξονες βάθους και θερμοκρασίας.

Η άλλη κατηγορία συσκευών καταγραφής θερμοκρασίας – βάθους είναι γνωστή σαν XBT (expendable Bath Thermograph). Είναι ηλεκτρονικές συσκευές μιας χρήσεως που διαθέτουν τυλιγμένο εκατοντάδες μέτρα από πολύ λεπτό σύρμα μαζί με αισθητήριο της θερμοκρασίας. Η συσκευή αφήνεται να πέσει από το σκάφος, έχοντας συνδεδεμένη τη μια άκρη του λεπτού σύρματος σε μόνιμη καταγραφική μονάδα επάνω στο σκάφος. Κατά τη διάρκεια της ελεύθερης πτώσης μέσα στο νερό, εν πλω, καταγράφονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας με το βάθος, γιατί η ταχύτητα πτώσης θεωρείται σταθερή (Αλμπανάκης, 1999).

Τα τελευταία χρόνια έχουν καθιερωθεί δορυφορικά συστήματα πολύ μεγάλης ακρίβειας για την μέτρηση της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας. Η αρχή τους βασίζεται στη μέτρηση της ακτινοβολούμενης υπέρυθρης ενέργειας που εκπέμπει κάθε σώμα με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν ( $-273^{\circ}\text{C}$ ).

Σήμερα βρίσκεται σε συστηματική λειτουργία το σύστημα AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), εγκατεστημένο σε μετεωρολογικούς δορυφόρους πολικής τροχιάς. Μετρά την εκπεμπόμενη θερμοκρασία της θάλασσας σε τρεις φασματικές ζώνες  $3.7\ \mu\text{m}$ ,  $10.5\ \mu\text{m}$  και  $12\ \mu\text{m}$ . Τα σφάλματα είναι μικρότερα από  $\pm 0.6^{\circ}\text{K}$ , η ακρίβεια είναι  $\pm 0.1^{\circ}\text{K}$  και η διακριτική ικανότητα  $1 - 4\ \text{Km}$ .

Τα σφάλματα που παραμένουν οφείλονται σε ορισμένα είδη νεφών που δεν ανιχνεύονται, στους υδρατμούς, στα αεροζόλ και στο θόρυβο του οργάνου. Η υπηρεσία NOAA των Η.Π.Α. εκδίδει κάθε μέρα παγκόσμιους χάρτες της κατανομής της θερμοκρασίας στο διαδίκτυο (Internet). Οι χάρτες παράγονται με τη μέθοδο που αναπτύχθηκε από τον Reynolds (1988, 1994) και ονομάζεται optimal interpolation method. Με τη μέθοδο αυτή, μετρήσεις από πλοία, από αυτόματες

συσκευές στο νερό και από το δορυφόρο επεξεργάζονται και καλύπτει ο ένας τρόπος μέτρησης τις ελλείψεις του άλλου (Νίττης & Χρόνης, 2002).

### Μέτρηση της αγωγιμότητας

Η μέτρηση της αγωγιμότητας γίνεται με ηλεκτρονικά όργανα τα οποία διοχετεύουν ηλεκτρικό ρεύμα με ηλεκτρόδια μέσα στο νερό. Για να μην εμφανιστεί πόλωση στα ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι ηλεκτροδίων, που να εξασφαλίζουν σταθερότητα και ακρίβεια στις μετρήσεις. Για μεγαλύτερη όμως ακρίβεια και σταθερότητα έχουν σχεδιαστεί επαγωγικά αγωγιμόμετρα. Οι συσκευές αυτές διαθέτουν δύο πηνία σύρματος τα οποία συνδέονται με μια διάταξη που επιτρέπει στο θαλασσινό νερό να διέλθει από μέσα. Όταν στο ένα πηνίο διοχετευτεί εναλλασσόμενο ρεύμα τότε στο άλλο πηνίο αναπτύσσεται ρεύμα από επαγωγή μέσω του θαλασσινού νερού. Το ρεύμα αυτό μετράται και είναι ανάλογο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού. Η καλύτερη ακρίβεια των συσκευών αυτών στον υπολογισμό της αλατότητας είναι  $\pm 0.005$  psu (Αλμπανάκης, 1999).

### Μετρήσεις της πίεσης (βάθους)

Σε όλες τις αυτοματοποιημένες συσκευές μέτρησης θερμοκρασίας και αγωγιμότητας, ο καθορισμός του βάθους είναι απαραίτητο στοιχείο, όχι μόνο για τον υπολογισμό της θέσης μέτρησης, αλλά και για να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις στον υπολογισμό της ανηγμένης θερμοκρασίας και της ανηγμένης πυκνότητας. Ο καθορισμός του βάθους γίνεται με τη μέτρηση της πίεσης (σε dbar) με τους παρακάτω τρόπους:

- με τα strain gauges (αισθητήρια τάσης) με ακρίβεια  $\pm 1\%$
- με τη μέτρηση της συχνότητας δόνησης, σύρματος κλεισμένου σε σωλήνα, που το ένα άκρο του εφάπτεται σε διάφραγμα ώστε να μπορεί να παραμορφωθεί από την πίεση. Η ακρίβειά του είναι  $\pm 0.1\%$
- με κρυστάλλους χαλαζία, που μεταβάλλουν τη συχνότητα ταλάντωσης τους ανάλογα με την παραμόρφωση από την πίεση. Η ακρίβεια τους είναι  $\pm 0.001\%$  (Αλμπανάκης, 1999).

## Μετρήσεις των παλιρροιών

Η μέτρηση των παλιρροιών στην ουσία ανάγεται σε καταγραφή μεταβολών της στάθμης του νερού με το χρόνο. Οι παλιρροιογράφοι είναι συσκευές ανάλογες με τους σταθμιγράφους που χρησιμοποιούνται στην υδρογεωλογία για τη μέτρηση της στάθμης των ποταμών.

Οι συνήθεις μηχανικοί σταθμιγράφοι ή παλιρροιογράφοι είναι συσκευές που αποτελούνται από ένα σωλήνα διαμέτρου 10 έως 20 cm ο οποίος είναι βυθισμένος κατά το ήμισυ μέσα στο νερό και βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με μια μικρή δίοδο με τη θάλασσα. Η στάθμη μέσα στο σωλήνα είναι ίση με την στάθμη της θάλασσας, απαλλαγμένη όμως από τις αναταράξεις των ανεμογενών κυμάτων. Μέσα στο σωλήνα βρίσκεται ένας πλωτήρας με συρματόσχοινο και αντίβαρο, το οποίο μεταφέρει την κίνηση μηχανικά στο καταγραφικό. Εκεί η στάθμη καταγράφεται σαν ένα ίχνος από γραφίδα επάνω σε μια λωρίδα χαρτιού, το οποίο ξετυλίγεται από ένα κύλινδρο και τυλίγεται σε ένα άλλο με σταθερή ταχύτητα. Η κίνηση αυτή στην ουσία υλοποιεί τον άξονα του χρόνου.

Σήμερα υπάρχουν και ψηφιακοί παλιρροιογράφοι οι οποίοι βασίζονται σε δύο κύριες αρχές:

- Στη μέτρηση της στάθμης μέσα σε σωλήνα με υπέρηχους και στην καταγραφή των μετρήσεων σε μνήμες. Η μέθοδος αυτή στην ουσία αντικαθιστά το μηχανικό μέρος της κλασικής μεθόδου.
- Στον υπολογισμό της στάθμης με μετρήσεις της πίεσης μέσα στο νερό με ηλεκτρονικό πιεσόμετρο. Η μέθοδος αυτή έχει τη δυνατότητα να υπάρξει σε δύο τύπους: ο ένας τύπος μετρά την πίεση στιγμιαία, οπότε πρέπει το πιεσόμετρο να τοποθετηθεί μέσα σε σωλήνα, όπως στη κλασική διάταξη, για να εξαιρεθεί η επίδραση των κυματισμών. Ο άλλος τύπος έχει ενσωματωμένο ηλεκτρονικό μικροεπεξεργαστή ο οποίος λαμβάνει πολλές μετρήσεις σε διάστημα μερικών λεπτών, βρίσκει το μέσο όρο και τον αποθηκεύει στη μνήμη σαν μια αντιπροσωπευτική μέτρηση. Στην ουσία η ψηφιακή επεξεργασία αντικαθιστά την μηχανική απόσβεση των κυματισμών στο σωλήνα. Οι τελευταίου τύπου παλιρροιογράφοι έχουν πολύ μικρό κόστος

εγκατάστασης γιατί αποφεύγονται οι μηχανικές κατασκευές πάκτωσης των σωλήνων.

Στην Ελλάδα επίσημος φορέας καταγραφής των παλιρροιών είναι η Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, η οποία διαθέτει πλήρες δίκτυο μηχανικών κυρίως παλιρροιογράφων εγκατεστημένων στα μεγάλα λιμάνια της χώρας. Οποιοδήποτε σύστημα παλιρροιογράφου και να χρησιμοποιηθεί πρέπει να γίνει προσεκτικά η πάκτωσή του και να «συνδεθεί» με το τοπογραφικό δίκτυο της περιοχής. Αυτό εξασφαλίζει σταθερότητα σε βάθος χρόνου, καθώς επίσης συσχέτιση των μετρήσεων με το απόλυτο υψόμετρο των τοπογραφικών χαρτών της περιοχής (Αλμπανάκης, 1999).

### Μέθοδοι άμεσης μέτρησης της ροής

Παλαιότερα μια πολύ διαδεδομένη έμμεση μέθοδος για την εκτίμηση και τη μέτρηση ρευμάτων, ήταν η απόκλιση της τροχιάς του πλοίου από την επιθυμητή. Κατά αυτόν τον τρόπο το παραπροϊόν των οργάνων ναυσιπλοΐας έδινε χρήσιμα στοιχεία, κάθε φορά που γινόταν η σύγκριση και η διόρθωση παράλληλα της επιθυμητής πορείας με την αντίστοιχη πραγματική.

Υπάρχουν δύο άμεσοι τρόποι για την περιγραφή της ροής ενός υγρού:

- Η μέθοδος του Euler
- Η μέθοδος του Lagrange

Στη μέθοδο Euler το διανυσματικό μέγεθος της ταχύτητας δίνεται για κάθε σημείο της ροής του υγρού, καθώς αυτό διαγράφει κάποια τροχιά.

Χρήση ρευματογράφων: συγκεκριμένου είδους όργανα ρίχνονται στη θάλασσα ή στο εκάστοτε προς εξέταση υδάτινο περιβάλλον. Διατηρούνται στερεωμένα στη θέση τους και μετρούν την ένταση και τη διεύθυνση των ρευμάτων. Όλα τα όργανα (ρευματογράφοι) ανεξαρτήτως κατασκευαστή, φέρουν μηχανισμό για μέτρηση ταχύτητας και αισθητήρα διεύθυνσης και σε ιδανικές περιπτώσεις και πίεσης, για να καταγράφεται η απόκλιση από το επιθυμητό βάθος πόντισης του οργάνου. Ο μηχανισμός για την ταχύτητα είναι κατά τέτοιο τρόπο κατασκευασμένος, ώστε να έχει ελάχιστη αδράνεια. Στην πυξίδα τους, που δείχνει τη διεύθυνση, πρέπει

να έχει γίνει πολύ καλή ρύθμιση για την επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας (calibration). Οι περισσότερες συσκευές σήμερα κάνουν εσωτερική καταγραφή και τα δεδομένα λαμβάνονται κατά την ανύψωση του οργάνου, συνηθέστερα από κάποιο σκάφος. Εναλλακτικά, μπορεί να παρέχεται σύστημα μετάδοσης των δεδομένων κυρίως δορυφορικά (Νίττης & Χρόνης, 2002).

Αναφέρονται οι εξής διαφορετικοί τύποι ρευματογράφων:

#### 1) Μηχανικοί ρευματογράφοι

Είναι πολύ πρακτικοί στη χρήση τους, όμως ένα μειονέκτημα των ρευματογράφων αυτών που μετρούν την ταχύτητα μέσω προπελοειδούς έλικας – ρότορα είναι η αύξηση της ταχύτητας του ρότορα κατά την κατακόρυφη κίνηση του οργάνου. Κάποιοι κατασκευαστές με ειδικό μηχανισμό καταφέρνουν να εξαλείψουν το φαινόμενο αυτό. Επίσης, τα όργανα αυτής της τεχνολογίας είναι αρκετά επιρρεπή σε φαινόμενα «fouling effect ή fouling»

#### 2) Ακουστικοί ρευματογράφοι

Ρευματογράφοι διαφορετικής τεχνολογίας ξεπερνούν τα μειονεκτήματα των αντίστοιχων μηχανικών. Από τους πιο διαδεδομένους είναι οι ακουστικοί ρευματογράφοι. Βασίζονται στη μέτρηση του χρόνου ανάκλασης υψηλής συχνότητας ηχητικών παλμών, καθώς αυτοί ανακλώνται από σωματίδια του νερού, φυτοπλαγκτόν, ζωοπλαγκτόν κ. λ. π. Είναι τα λεγόμενα «Doppler sonar profilers», τα οποία είναι παραπλήσια των ηχητικών συσκευών για τη μέτρηση ανέμων. Πιθανό «fouling effect» έχει επίδραση μόνο στο εύρος καταγραφής και όχι στην ακρίβεια. Οι πιο γνωστές συσκευές είναι τα ADCPs (acoustic Doppler current profilers) και τα ACMs (acoustic current meters). Τα ADCPs μπορούν να καταγράψουν πολλά ρεύματα ταυτόχρονα μέχρι ένα συγκεκριμένο εύρος βάθους.

#### 3) Ανεμόμετρα Hotwire

Ένα άλλο όργανο που βασίζεται στην καταγραφή ρευμάτων, είναι το ανεμόμετρο hotwire, το οποίο χρησιμοποιείται πρωτίστως για ανεμολογικές καταγραφές. Η λειτουργία του βασίζεται στη μέτρηση της ψύξης ενός ηλεκτρικά θερμαινόμενου σύρματος, του οποίου το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφράζεται στη συνέχεια σε ταχύτητα ροής του υγρού. Παρέχει μεγάλη ευαισθησία στη μέτρηση, αλλά είναι πολύ επιρρεπές σε «fouling effect».

#### 4) Ηλεκτρομαγνητικοί ρευματογράφοι

Στην ηλεκτρομαγνητική μέθοδο, το θαλασσινό νερό είναι το αγώγιμο μέσο το οποίο προκαλεί μια ηλεκτρομαγνητική δύναμη, καθώς περνά μέσα από τεχνητό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Απαιτεί υψηλή ενίσχυση της τάσης αλλά είναι επίσης επιρρεπές σε προβλήματα «fouling effect» (Νίττης & Χρόνης, 2002).

#### Συστήματα ανάρτησης ρευματογράφων (Moorings)

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές και διαφορετικές μεταξύ τους τεχνολογίες όσον αφορά την ανάρτηση ρευματογραφικών οργάνων στη στήλη του νερού. Το πιο απλό και διαδεδομένο είναι ένα καλώδιο (αλυσίδα ή σχοινί) συνδεδεμένο με το όργανο στο επιθυμητό βάθος, με άγκυρα στο βυθό και πλωτήρες στην επιφάνεια. Η άγκυρα και οι πλωτήρες είναι οι κατάλληλοι για να εξασφαλίζουν την επιθυμητή τάση για τη στερέωση του συστήματος, όσο είναι δυνατόν, κατακόρυφα.

Πάντα υπάρχουν προβλήματα σχετικά με κίνηση του συστήματος σε δυνατά ρεύματα και έντονο κυματισμό αλλά παραμένει μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους για καταγραφές που αφορούν μεγάλα χρονικά διαστήματα. Υπάρχουν αρκετά εξελιγμένα συστήματα που απελευθερώνουν την άγκυρα με το αντίστοιχο αντίβαρο, όταν το σύστημα βρίσκεται ποντισμένο κάτω από την επιφάνεια για εύκολη συλλογή του καταγραφέα. Αυτό επιτυγχάνεται με χρονομετρητή ή με πομποδέκτη που δίνει εντολή για τη στιγμή της απελευθέρωσης.

Στη μέθοδο Lagrange η τροχιά που ακολουθεί ένα υγρό σωματίδιο, καταγράφεται και δίνεται συναρτήσεως του χρόνου. Και οι δύο μέθοδοι (Euler και Lagrange) χρησιμοποιούνται ευρέως και είναι δυνατό να συνδέσει κανείς τη μια με την άλλη κάνοντας χρήση κάποιων παραδοχών. Η Lagrange πρακτική εφαρμόζεται με διάφορα είδη πλωτήρων, τα οποία παρασύρονται από τα θαλάσσια ρεύματα επιφανειακά ή σε κάποιο επιθυμητό βάθος. Έτσι, η ταχύτητα μετακίνησης της μάζας υπολογίζεται με τη διαίρεση της απόστασης που διανύθηκε μεταξύ δύο σημείων, προς τον αντίστοιχο χρόνο που μεσολάβησε για τη μετατόπιση αυτή. Είναι φανερό ότι η ακρίβεια μέτρησης των ρευμάτων με τη μέθοδο αυτή εξαρτάται από την ακρίβεια προσδιορισμού του στίγματος του σημαντήρα και από τη συχνότητα των μετρήσεων. Πολλές φορές, οι πλωτήρες εφοδιάζονται με αισθητήρες και μέσα αποθήκευσης, επεξεργασίας και μετάδοσης δεδομένων. Πολλά βέβαια από τα

χαρακτηριστικά αυτά δεν ήταν εφικτά στην πρώτη εφαρμογή, αλλά επήλθαν ως προσθήκες μακράς εξέλιξης. Τα τρία κυριότερα πράγματα τα οποία οφείλει να εξετάσει κάποιος υπέρμαχος της μεθόδου, είναι το μέγεθος του αντίβαρου και του πλωτήρα και το σύστημα καταγραφής της πληροφορίας. Σημερινό παράδειγμα σύγχρονης καταγραφής με την προαναφερθείσα μέθοδο είναι το πρόγραμμα Argo, που χρησιμοποιεί συστήματα προηγμένης τεχνολογίας. ([www.pord.ucsd.edu/~Italley/sio210/pickard\\_emery/chapter\\_6.pdf](http://www.pord.ucsd.edu/~Italley/sio210/pickard_emery/chapter_6.pdf))

### Τα αυτογραφικά όργανα CTD

Τα αυτογραφικά όργανα CTD, όνομα προερχόμενο από τα αρχικά των λέξεων Conductivity – Temperature – Depth, μετρούν ακριβώς τις φυσικές παραμέτρους αυτές, δηλαδή την αγωγιμότητα, τη θερμοκρασία και το βάθος στο θαλάσσιο περιβάλλον και τις αποθηκεύουν στην εσωτερική τους μνήμη. Μπορούν να εκτελέσουν μετρήσεις είτε ποντισμένα (moored mode) σε σταθερά αγκυροβόλια είτε ως καταγραφείς του προφίλ των φυσικών παραμέτρων (profiler mode) σε σταθμούς στο θαλάσσιο περιβάλλον.

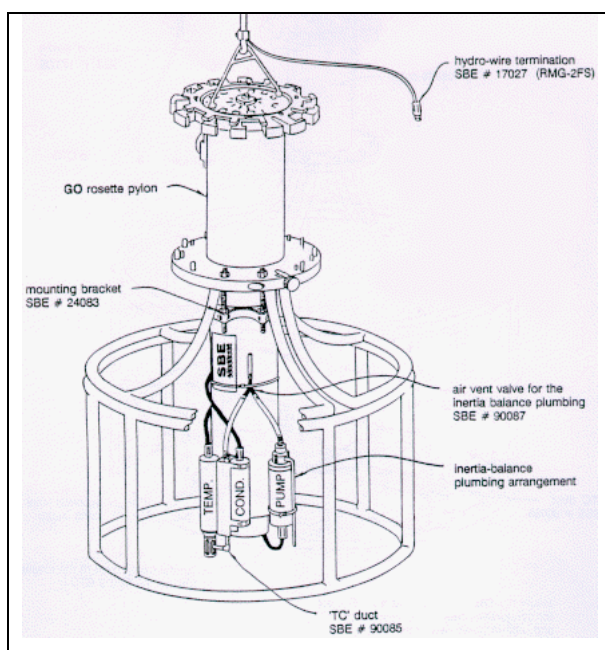
Μια ενδεικτική διάταξη ενός ποντισμένου CTD αποτελείται από τον πλωτήρα, ο οποίος είναι το μέσο που προσδίδει την απαραίτητη άνωση στη διάταξη, και το έρμα, που προσδίδει την απαραίτητη αγκύρωση στον πυθμένα. Στην περίπτωση αυτή το όργανο καταγράφει συνεχώς στο χρόνο τις τιμές των φυσικών παραμέτρων στο βάθος στο οποίο βρίσκεται. Σημειώνεται ότι συνήθως τέτοιες διατάξεις περιλαμβάνουν και άλλα όργανα εκτός των CTD (όπως π.χ. ρευματογράφους)

Η χρήση των CTD ως καταγραφέων προφίλ (της κατακόρυφης κατανομής) της στήλης του νερού συνήθως πραγματοποιείται με τη βοήθεια ερευνητικών σκαφών. Αρχικά προσδένεται το όργανο (χρησιμοποιώντας σχοινί ή συρματοσχοινο) και στη συνέχεια βυθίζεται αργά προς τον πυθμένα καταγράφοντας την κατανομή των φυσικών παραμέτρων της στήλης (downcast). Αφού το όργανο φτάσει κοντά στον πυθμένα ανελκύεται και πάλι αργά προς την επιφάνεια (upcast) καταγράφοντας έτσι για άλλη μια φορά το προφίλ της στήλης (Νίττης & Χρόνης, 2002).

## Η διάταξη και οι αισθητήρες του CTD

Ένα τυπικό CTD έχει τρεις αισθητήρες που μετρούν τις τρεις βασικές παραμέτρους που δίνουν και το όνομα του οργάνου. Οι τρεις αυτοί αισθητήρες βρίσκονται κοντά στη βάση του οργάνου και προστατεύονται από ειδικό κάλυμμα (Εικ. 1) και ειδικότερα είναι οι:

- Αισθητήρας Αγωγιμότητας (Conductivity cell) : το όργανο μετράει την αγωγιμότητα του νερού και μετατρέπει την τιμή της σε αλατότητα.
- Αισθητήρας Θερμοκρασίας (Temperature sensor)
- Αισθητήρας Πίεσης (Pressure sensor) : το όργανο μετράει την πίεση στη θέση του οργάνου και μετατρέπει την τιμή της σε βάθος θαλασσινού νερού.



**Εικόνα 1.** Δομή ενός CTD

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην άντληση νερού από τη βάση του οργάνου, έτσι ώστε οι αισθητήρες του να έρθουν σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Το αντλούμενο νερό στη συνέχεια απορρίπτεται μέσω της οπής εκροής. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και αγωγιμότητας συνδέονται μέσω σωλήνα (σωλήνας TC ή TC duct) έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι μετρήσεις τους αναφέρονται στην ίδια μάζα νερού. Στην περίπτωση που το όργανο αντλήσει αέρα (π.χ. εάν η αντλία λειτουργεί για κάποιο χρονικό διάστημα εκτός νερού, στον αέρα) αυτός εκτονώνεται μέσω κατάλληλης βαλβίδας διαρροής.

Οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε εσωτερική μνήμη (τύπου flash) η οποία βρίσκεται ασφαλισμένη υδατοστεγώς στο προστατευτικό κάλυμμα, που αποτελεί και



τον κορμό του οργάνου πάνω στον οποίο αναρτώνται οι αισθητήρες. Στο εσωτερικό του καλύμματος, επίσης, βρίσκονται και οι μπαταρίες που παρέχουν αυτονομία στο όργανο. Το άνω μέρος του καλύμματος ανοίγει ώστε να υπάρχει πρόσβαση στο εσωτερικό για αλλαγή μπαταριών και μνήμης, ενώ στο άκρο του υπάρχει οπή από την οποία γίνεται η ανάρτηση του οργάνου κατά τις μετρήσεις. Συνήθως, τα όργανα προστατεύονται με ειδικό μεταλλικό πλαίσιο και αναρτώνται από το άκρο του.

Εκτός από τους 3 τυπικούς αισθητήρες ένα CTD μπορεί να έχει και επιπλέον αισθητήρες, όπως :

- Διαλυμένου οξυγόνου (dissolved oxygen)
- Μετρητή Ph
- Σκέδασης φωτός (backscattering)
- Χλωροφύλλης (fluorometer)
- Αλτίμετρο (altimeter): προσδιορίζει την απόσταση του οργάνου από τον πυθμένα
- Φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR)

Τα όργανα CTD μπορούν να μετρήσουν έως και 4 τάσεις (voltages), από τις οποίες οι 2 είναι κατειλημμένες από τους τρεις βασικούς αισθητήρες (θερμοκρασία – αγωγιμότητα – πίεση). Επομένως, μόνο 2 τάσεις είναι ελεύθερες για επιπλέον αισθητήρες και ένα CTD μπορεί να έχει κατά μέγιστο 3 επιπλέον αισθητήρες (Νίττης & Χρόνης, 2002).

#### Χρήση των CTD σε πόντιση (moored mode)

Για αυτή τη χρήση, ο ρυθμός δειγματοληψίας του CTD πρέπει να αλλαχθεί (για προφανείς λόγους χωρητικότητας μνήμης και τάσης μπαταριών) και θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ μίας (1) καταγραφής ανά 10 δευτερόλεπτα έως και 4 ώρες (1 scan per 10 seconds – 1 scan per 4 hours). Ο ρυθμός μπορεί να ρυθμιστεί ανά βήματα του 1 sec. Η αποδοτική ρύθμιση του ρυθμού δειγματοληψίας εξαρτάται από το χρόνο παραμονής του οργάνου σε πόντιση χωρίς τη δυνατότητα εργασιών συντήρησης (αλλαγή μπαταριών, καθαρισμός μνήμης) και βέβαια από τις ιδιαιτερότητες της θέσης πόντισης. Π.χ. σε μια θαλάσσια περιοχή στην οποία δεν αναμένονται σημαντικές εναλλαγές των φυσικών παραμέτρων (ανοιχτή θάλασσα) ο ρυθμός θα μπορούσε να

είναι μικρότερος (να προσεγγίζει δηλαδή το ανώτατο όριο 1 scan per 4 hours) , ενώ για παράκτιες ή εκβολικές περιοχές ή θέσεις εκβολής υποθαλάσσιων αγωγών διάθεσης λυμάτων, θα ήταν σκόπιμη η επιλογή συχνότερης δειγματοληψίας για την καταγραφή μικρής διάρκειας επεισοδίων (δηλαδή ο ρυθμός κοντά στο κατώτερο όριο 1 scan per 10 seconds)

Στη χρήση αυτή των CTD δεν χρησιμοποιείται ο μαγνητικός διακόπτης, αλλά η έναρξη και η παύση του οργάνου γίνονται μέσω εντολών από τον τερματικό σταθμό (μέσω H/Y και κατάλληλου λογισμικού)

Η αντοχή των CTD σε πίεση μεταβάλλεται από μοντέλο σε μοντέλο. Για το SBE 19plus π.χ. το μέγιστο βάθος τοποθέτησης τους φτάνει τα 7000 μέτρα (Νίττης & Χρόνης, 2002).

### Ο δίσκος του Secchi

Στην Φυσική Ωκεανογραφία έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές φορές οι οπτικές ιδιότητες για τον εντοπισμό και το χαρακτηρισμό μιας θαλάσσιας μάζας καθώς και τον καθορισμό της διαφάνειας ή της διεισδυτικότητας της φωτεινής ακτινοβολίας. Η απλούστερη και πολύ εύχρηστη οπτική μέθοδος είναι η παρατήρηση με το δίσκο του Secchi.

Πρόκειται για δίσκο άσπρου χρώματος, διαμέτρου 30 cm, ο οποίος βυθίζεται μέσα στη θάλασσα και σημειώνεται κάθε φορά το βάθος (Hs), πέραν του οποίου δεν είναι πλέον ορατός. Το βάθος αυτό (Hs) μειώνεται ακολουθώντας τη μείωση της σταθερής διασκόρπισης K.

Τα προηγούμενα συνδέονται με την απλή σχέση:

$$K = 1,7 / Hs$$

Είναι φανερό ότι με το δίσκο του Secchi μπορούμε να ελέγξουμε τη θολότητα του θαλάσσιου νερού και να συμπεράνουμε για τους τρόπους και τα αίτια γένεσης αυτού του φαινομένου που ασφαλώς έχει να κάνει με την ιζηματογένεση σε παράκτιες και βαθύτερες περιοχές.

Σε πολύ καθαρά νερά μπορούμε να διακρίνουμε το δίσκο του Secchi σε βάθη πλέον των 50 m, ενώ στις παράκτιες περιοχές ο δίσκος φαίνεται από 1 – 10 m περίπου.

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, εξαιτίας της ανάπτυξης της ηλεκτρονικής και της χρήσης των φωτοπολλαπλασιαστών έχουμε την αλματώδη

εξέλιξη οργάνων ακριβείας, όπως τα φασματόμετρα και τα φθοριόμετρα με τα οποία είναι σήμερα δυνατή η αποκάλυψη και η διαπίστωση μέσα σε ένα δείγμα θαλάσσιου νερού, ιχνών διαφόρων χρωστικών, όπως της Ροδαμίνης Β σε πολύ μικρή συγκέντρωση.

Είναι σαφές ότι με την ανίχνευση των διαφόρων χρωστικών μπορούμε με απόλυτη ακρίβεια να διαπιστώσουμε το μέγεθος της διαφάνειας ή της διεισδυτικότητας της φωτεινής ακτινοβολίας του θαλάσσιου νερού και να προσδιορίσουμε το μέγεθος της μικρής και μεγάλης συγκέντρωσης των διαφόρων ιχνοστοιχείων (Λεοντάρης, 1995).

### 3. Χημική Ωκεανογραφία

Η Χημική Ωκεανογραφία είναι ο αντίστοιχος κλάδος της Χημείας που συμβάλλει στην κατανόηση της θάλασσας. Έχει ως αντικείμενό της τον προσδιορισμό, τη μελέτη των ιδιοτήτων της φύσεως και των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ στοιχείων- ενώσεων - συστημάτων τα οποία βρίσκονται στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Από τον παραπάνω ορισμό προκύπτει πως η Χημική Ωκεανογραφία έχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής, ενώ συχνά για την εφαρμογή της απαιτείται η ταυτόχρονη γνώση δεδομένων από τους υπόλοιπους κλάδους της Ωκεανογραφίας. Ο λόγος είναι ότι τόσο ο πυθμένας, η βιοποικιλότητα, όσο και τα φυσικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού μπορεί να επιδρούν στην χημική σύνθεσή του, καθώς και στις χημικές διεργασίες που συντελούνται μέσα σ' αυτό.

Εισάγοντας την έννοια των χημικών ουσιών που περιλαμβάνονται στο θαλασσινό νερό ο κλάδος της Χημικής Ωκεανογραφίας τις κατηγοριοποιεί ως εξής:

- Των κανονικώς και φυσιολογικώς περιεχόμενων σε κάθε χαρακτηριστικό δείγμα νερού ουσιών, σε διάφορα ίσως ποσοστά, οι οποίες αποτελούν το πρωταρχικό αντικείμενο της θαλάσσιας χημείας. Αυτές μπορεί να είναι διαλυμένες ή σωματιδιακές σε μορφή αιωρήματος.
- Των οποιονδήποτε και οπωσδήποτε περιεχόμενων ουσιών, οι οποίες υπό κανονικές συνθήκες δεν περιέχονται ή περιέχονται μεν αλλά σε σαφώς διαφορετικές συγκεντρώσεις ή μορφές. Οι ουσίες αυτές είναι αποτέλεσμα κάποιας δραστηριότητας του ανθρώπου και συνήθως αποκαλούνται ρύποι.

Μια ακόμα χρήσιμη διαίρεση των διαλυτών συστατικών του θαλασσινού νερού είναι η κατάταξή τους σε ηλεκτρολύτες και μη ηλεκτρολύτες, ουσίες δηλαδή που δίστανται σε ιόντα ή ρίζες και ουσίες που, στο διάλυμα, το μικρότερο αυτόνομο σωματίδιο τους είναι μόριο ή σύμπλεγμα αφόρτιστο.

Τέλος, τα χημικά συστατικά που αποτελούν τους ωκεανούς συνήθως ταξινομούνται και ως εξής:

- Σε διαλυμένες ουσίες, που μπορεί να είναι ανόργανα άλατα ή οργανικές ενώσεις και διαλυμένα αέρια που πρέπει για να χαρακτηρίζονται έτσι, να είναι συστατικά ενός ομοιογενούς συστήματος με το νερό.

- Σε αιωρούμενες ή διασκορπισμένες ουσίες που μπορεί πάλι να είναι ανόργανες ή οργανικές ενώσεις, αέρια σε μορφή λεπτότατων φυσαλίδων, γενικά δηλαδή συστατικά που ανήκουν σε μια δεύτερη φάση και δίνουν ένα ετερογενές στην πραγματικότητα σύστημα με το νερό.
- Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα αιωρούμενα ανόργανα ή οργανικά σώματα που έχουν σχετικά μεγαλύτερες διαστάσεις και μεταφέρονται μέσα στο νερό μέσα από τυρβώδη ρεύματα και αλληλεπιδρούν με το θαλασσίνο νερό ιδιαίτερα με την κίνησή τους, επηρεάζοντας κυρίως τις φυσικές του ιδιότητες.

### 3.1 Συστατικά του Θαλασσινού Νερού

Το νερό της θάλασσας περιέχει διάφορα άλατα, ιχνοστοιχεία και διαλυμένα αέρια. Η σύσταση της θάλασσας μπορεί να μεταβάλλεται βραχυπρόθεσμα λόγω βιολογικών και χημικών διεργασιών όπως είναι η θερμοκρασία, η καθίζηση ιζημάτων, αλλά και λόγω εισροής αποβλήτων και τοξικών ουσιών. Στο θαλασσίνο νερό το μεγαλύτερο μέρος των στοιχείων είναι διαλυμένο με τη μορφή αλάτων, ενώ ένα μικρό μέρος βρίσκεται με τη μορφή διαλυμένων αερίων.

Σύμφωνα με την Χημική Ωκεανογραφία, το κυριότερο χαρακτηριστικό στοιχείο του θαλασσινού νερού είναι το χλώριο που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό με τη μορφή του ανιόντος Cl<sup>-</sup> σε ποσότητα 19g/kg. Άλλα στοιχεία είναι: το νάτριο που βρίσκεται σαν κατιόν Na<sup>+</sup> σε ποσότητα 11g/kg, το μαγνήσιο σαν κατιόν Mg<sup>+2</sup> 1,3g/kg, το θειικό ιόν SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> 0,9g/kg, το βρώμιο ως ανιόν Br<sup>-</sup> 0,064g/kg και το βόριο ως ανιόν BO<sub>3</sub><sup>-3</sup> 0,031g/kg.

Η αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού είναι η θεμελιώδης ιδιότητα και το μέτρο της ισορροπίας για τη μετακίνηση των μαζών. Έτσι υπάρχει μετακίνηση μαζών νερού με διαφορετική αλατότητα και το φαινόμενο της διάχυσης γίνεται πιο έντονο λόγω της αλατότητας. Ο όρος αλατότητα αναφέρεται γιατί το NaCl θεωρείται ως το κυριότερο συστατικό του νερού από όλα τα άλατα που υπάρχουν.

Από τα συστατικά αυτά μόνο για το Mg, Br και NaCl προς το παρόν είναι οικονομικά συμφέρουσα η ανάκτησή τους. Μακροπρόθεσμα θα είναι δυνατή η ανάκτηση και άλλων στοιχείων όπως είναι το S, K, J, F, Sr και B. Το συνολικό δυναμικό του ορυκτού πλούτου της θάλασσας που μπορεί να ανακτηθεί είναι δύσκολο να προβλεφθεί.

Στη θάλασσα μπαίνουν διάφορα συστατικά και λαμβάνουν χώρα πολύπλοκες διεργασίες, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Μεταφορά από την ατμόσφαιρα.
2. Προέλευση από οργανισμούς (ψάρια – πλαγκτόν – φύκη).
3. Προέλευση από τη διάβρωση της γης και ιδιαίτερα των ακτών από τη δράση των κυμάτων, παλιρροιών και ρευμάτων.
4. Εισροή από τους ποταμούς και τα νερά της γης. Με αυτόν τον τρόπο σημαντικές ποσότητες διαλυμένων συστατικών μεταφέρονται στις θάλασσες.
5. Μεταφορά από ηφαίστεια και εκρήξεις, μέσα από την ατμόσφαιρα ή και υποβρυχίως.

Αυτές είναι οι κυριότερες, όμως μπορεί να λάβουν χώρα και άλλες που γίνονται σε μικρότερη έκταση όπως είναι η διάλυση και η καταβύθιση. Έχει παρατηρηθεί ότι οι συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων παραμένουν μικρές αλλά σταθερές.

Η σημερινή σύσταση των θαλασσών προέρχεται από την αποκατάσταση μιας δυναμικής ισορροπίας μεταξύ των ευδιάλυτων ουσιών, που προστίθενται στη θάλασσα από την ατμόσφαιρα και την ξηρά και των ουσιών που απομακρύνονται λόγω των αποθέσεων στα ιζήματα και την απελευθέρωσή τους στην ατμόσφαιρα.

Στις θάλασσες που δεν εκβάλλουν μεγάλα ποτάμια και η εξάτμιση λόγω των ανέμων και της θερμοκρασίας είναι έντονη, η ποσότητα των αλάτων είναι μεγάλη, όπως συμβαίνει στη Μεσόγειο. Στη Βαλτική θάλασσα που εκβάλλουν πολλά ποτάμια και η εξάτμιση είναι μικρή λόγω του ψύχους, η ποσότητα των αλάτων είναι μικρότερη. (Ξένος, 2000)

### Τα σπουδαιότερα Στοιχεία

Τα στοιχεία αυτά λέγονται σπουδαιότερα γιατί είναι αυτά που καθορίζουν όλες τις φυσικές και φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού της θάλασσας. Από τα κατιόντα ανάλογα με την περιεκτικότητα είναι τα  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  και  $\text{Sr}^{+2}$  και από τα ανιόντα είναι τα  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{S}^{-2}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$ .

## Θρεπτικά Άλατα

Τα θρεπτικά άλατα αποτελούνται από τις ρίζες  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  και  $\text{SiO}_3^-$ , δηλαδή ρίζες των στοιχείων N, P και Si. Επειδή οι αναλογίες είναι πολύ μικρές για τον προσδιορισμό τους απαιτούνται μικροαναλύσεις.

Η περιεκτικότητα αυτών των αλάτων δεν επηρεάζει την πυκνότητα που θα έχει το θαλασσινό νερό. Είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της χλωρίδας και της πανίδας. Η μεγάλη περιεκτικότητα ευνοεί την ανάπτυξη ειδών που έχουν ανάγκη να αναπτυχθούν και προκαλούν τη μεγάλη ανάπτυξη του πλαγκτόν.

Τα θρεπτικά υλικά αυτά εισέρχονται στη δομή των πρωτεϊνών, επειδή η περιεκτικότητα αυτή είναι μικρή δεν υπάρχει δυναμική ισορροπία.

Η περιεκτικότητα των αλάτων μεταβάλλεται τόσο στην επιφάνεια όσο και από το βάθος.

Η περιεκτικότητα αυτών των αλάτων είναι συνδεδεμένη από οικονομικής και πρακτικής πλευράς με την παραγωγικότητα των θαλασσών. Πολλές φορές υπάρχει μια μεταβολή της περιεκτικότητας στα άλατα από την προσφορά αλάτων από τους ποταμούς, τα ηφαίστεια ή και από τα ρεύματα. (Ξένος, 2000)

## Στοιχεία Ολιγοδυναμικά

Στην κατηγορία αυτή υπάρχουν πολλά στοιχεία, όπως ο χαλκός, το βανάδιο, ο σίδηρος, ο άργυρος, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, το κοβάλτιο, το νικέλιο. Τα στοιχεία αυτά βρίσκονται σε πολύ μικρό ποσοστό π.χ. ο Cu απαντά σε αναλογία  $10^{-9}$ g ανά λίτρο νερού, ενώ ο Ag σε  $6 \cdot 10^{-9}$ g ανά λίτρο νερού.

Τα στρείδια συγκεντρώνουν στους ιστούς το ρουβίδιο, τα κοράλλια μόλυβδο και άργυρο, οι αστακοί και διάφορα κοχύλια το κοβάλτιο, το νικέλιο, τα μαλάκια, το χαλκό που είναι απαραίτητο στοιχείο για την παρασκευή της αιμοκυανίνης των μαλακίων που αντιστοιχεί στην αιμοσφαιρίνη των ζώων.

Διάφορα φύκη όπως είναι το είδος λαμινάρια εμπλουτίζονται με χρυσό και ράδιο, άλλα φύκη με ιώδιο. (Ξένος, 2000)

## Στοιχεία Ραδιενεργά

Τα στοιχεία αυτά είναι σε μικρή αναλογία και καθορίζουν τη ραδιενεργό ιδιότητα του νερού. Οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν στοιχεία ραδιενεργά έχουν πάθει διαταραχή στο μεταβολισμό τους, έτσι ορισμένα είδη έχουν εξαφανιστεί και άλλα έχουν υπέστη υποπλασία.

Τα στοιχεία αυτά είναι ισότοπα των συνήθη στοιχείων, δηλαδή έχουν πάρει ένα νετρόνιο και προέρχονται από τις πυρηνικές εκρήξεις ή τα απόβλητα των πυρηνικών εργοστασίων. Τα στοιχεία αυτά εκπέμπουν σωματίδια β, που ελέγχεται η παραγωγή τους με απαρίθμητη Geiger. Με τα ραδιοϊσότοπα αυτά, όταν χρησιμοποιηθούν από τον άνθρωπο, ελέγχεται η ανάμιξη υγρών μαζών, η κίνηση των ρευμάτων κ.ά. (Ξένος, 2000)

## Διαλυμένα Αέρια

Από τα αέρια που υπάρχουν διαλυμένα στο θαλασσινό νερό μεγάλη σημασία έχει το  $O_2$ . Στις ωκεανογραφικές μελέτες εκτός από τα άλατα που προσδιορίζονται, προσδιορίζεται και το διαλυμένο  $O_2$ . Η ποσότητα αυτή εκφράζεται σε ml ανά lt νερού. Το ποσό του διαλυμένου  $O_2$  ελαττώνεται αυξανόμενης της θερμοκρασίας, έτσι τα νερά των πόλων είναι πλούσια σε  $O_2$ , ενώ στον Ισημερινό είναι φτωχά. Τα νερά για την ίδια θερμοκρασία όταν δεν έχουν πολλά άλατα είναι οξυγονούχα. Έτσι στους πόλους, όπως και στις εκβολές των ποταμών υπάρχει περισσότερο  $O_2$ .

Η ποσότητα των διαλυμένων αερίων επηρεάζεται από τους ανέμους, τη θερμοκρασία και την αλατότητα. Έτσι στην επιφάνεια των θαλασσών από τη διαταραχή των κυμάτων έχουμε ανάμιξη των αερίων. Αέρια επίσης προέρχονται από το βυθό, όπως από τις σχισμές των ηφαιστείων του βυθού ή από τη φωτοσύνθεση ορισμένων φυκών.

Η διαλυτότητα ενός αερίου καθορίζεται από το νόμο του Henry που δηλώνει ότι «η ποσότητα  $x$  του αερίου που απορροφάται από ένα υγρό είναι ανάλογη της πίεσης του αερίου για σταθερή θερμοκρασία». Η διαλυτότητα εκφράζεται με ορισμένους τρόπους, οι οποίοι είναι:

1. Γραμμομοριακό κλάσμα ( $x=n/n+N$ ) όπου  $n$  τα mole του αερίου και  $N$  τα mole του υγρού, χωρίς σημαντικό σφάλμα ισχύει  $x=n/N$  και επειδή η



πίεση είναι ανάλογη με τα mole έπεται ότι το γραμμομοριακό κλάσμα είναι ανάλογο της πίεσης.

2. Συντελεστής διαλυτότητας (S). Εκφράζει τον όγκο του εν διαλύσει αερίου προς τον όγκο του διαλύτη.
3. Συντελεστής απορρόφησης του Bunsen. Αντιπροσωπεύει το λόγο του εν διαλύσει αερίου προς τον όγκο του διαλύτη σε ΚΣ ( $\theta=0^{\circ}\text{C}$  &  $P=1\text{ At}$ ). Η σχέση συντελεστή διαλυτότητας και απορρόφησης είναι  $\alpha=S \cdot 273/T$  και ο όγκος του αερίου που διαλύεται σε κάποιο όγκο υγρού είναι:  $V_{\text{αερίου}} = S \cdot V_{\text{υγρού}}$ . Ο όγκος του αερίου είναι ανάλογος της πίεσης και δίνεται από τη σχέση  $V_{\text{αερίου}} = \alpha \cdot V_{\text{υγρού}} \cdot P$ .
4. Όγκοι του αερίου επί τοις εκατό. Εκφράζει τον αριθμό των όγκων του αερίου σε ΚΣ που διαλύονται σε 100 όγκους υγρού σε κάποια πίεση P και θερμοκρασία T,  $\% = 100 \cdot \alpha \cdot P$ . (Ξένος, 2000)

Οι πρώτες χημικές αναλύσεις στο θαλασσινό νερό έγιναν από το Bergman το 1779. Από τότε πολλές εργασίες έχουν προσδιορίσει ένα ή περισσότερα στοιχεία σε διάφορα νερά των ωκεανών. Ο Marcet το 1819 ήταν ο πρώτος που διατύπωσε την αρχή για τη σύσταση των αλάτων της θάλασσας και δήλωσε ότι είναι σχεδόν σταθερή τοπικά και χρονικά. Ο Marcet ανέλυσε δείγματα του νερού από την Αρκτική, τον Ατλαντικό, τη Μεσόγειο, τη Βαλτική, την Κίνα και τη Μαύρη Θάλασσα. Τα συμπεράσματά του είναι ακριβή και δήλωσε ότι «όλα τα είδη του νερού περιέχουν τα ίδια συστατικά σε όλο τον κόσμο και αντιστοιχούν σχεδόν στην ίδια αναλογία το ένα με το άλλο και διαφέρουν μεταξύ τους μόνο ως προς το ολικό ποσό της περιεκτικότητας της αλατότητας (αλμυρότητας)». Αυτή η εισήγηση ονομάστηκε από το Danakester πρώτος νόμος της χημικής ωκεανογραφίας. Άλλες νεότερες εργασίες έγιναν και έκαναν αναλύσεις του θαλασσινού νερού όμως οι πρώτες εκτεταμένες έρευνες των κυριότερων ανόργανων συστατικών του θαλασσινού νερού έγιναν από το Forchhammer το 1865. Αυτός προσδιόρισε τα ιόντα  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  και  $\text{K}^+$  κατευθείαν και τα ιόντα  $\text{Na}^+$  από τη διαφορά που προέκυψε από την αφαίρεση του αθροίσματος όλων των παραπάνω από το σύνολο

Αυτά τα σπουδαιότερα διαλυμένα συστατικά αντιστοιχούν σε πάνω από το 99,6% των διαλυτών ιονικών ειδών του θαλασσινού νερού. Τα αποτελέσματα αυτά επικρίθηκαν γιατί χρησιμοποίησε μόνο επιφανειακά δείγματα και ότι οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποίησε ήταν ανακριβείς. Το 1884 ο Dittmar ανέλυσε 70

δείγματα θαλασσινού νερού μαζεμένα από διάφορα βάθη από τους κυριότερους ωκεανούς κατά τη διάρκεια του περίπλου του HMS Challenger (από το 1873 μέχρι το 1876). Τα δικά του αποτελέσματα δεν ήταν τόσο εκτεταμένα όσο θα ήθελε και τα δείγματα ήταν αποθηκευμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα ,περίπου δύο χρόνια. Είχε όμως υιοθετήσει τις αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιούμε ακόμη και σήμερα.

Επίσης, έλεγξε αυτές τις αναλυτικές τεχνικές σε συνθετικά δείγματα εξετάζοντας την αξιοπιστία αυτών των μετρήσεων. Τα δικά του αποτελέσματα συμφώνησαν επακριβώς με την εργασία του Forchhammer. Αυτός βρήκε μικρή διαφορά μόνο στα ιόντα  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $SO_4^{-4}$ ,  $Ca^{+2}$  και  $Na^+$ . Οι τιμές του  $Ca^{+2}$  για βαθιά νερά βρέθηκε να είναι μεγαλύτερες κατά 0,3% από τα επιφανειακά νερά, μάλιστα αυτά τα αποτελέσματα των βαθέων υδάτων ήταν πέντε φορές μεγαλύτερα από το αναλυτικό σφάλμα. Τα αποτελέσματα του Dittmar επαναυπολογίστηκαν το 1940 από τους Lyman και Fleming χρησιμοποιώντας τα σύγχρονα ατομικά βάρη.

Από την εργασία του Dittmar, πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει και ακόμη μελετούν τη σύσταση των φυσικών νερών. Το 1965 ο Culkin έφτιαξε μια πλήρη ανασκόπηση όλων των μετρήσεων των κυριότερων συστατικών του θαλασσινού νερού από την εργασία που έκανε ο Dittmar. Περίπου τον ίδιο χρόνο παρουσιάστηκε μια εκτεταμένη μελέτη των κυριότερων συστατικών από τους Cox, Culkin και Riley πάνω στην αλατότητα του θαλασσινού νερού. Αφού η σχετική σύσταση των νερών των ωκεανών είναι σχεδόν σταθερή είναι δυνατόν να χαρακτηριστεί η σύσταση με τη μέτρηση ενός μόνο συστατικού, εκείνο που είναι εύκολο να μετρηθεί και να διατηρήσει αυτή τη συμπεριφορά. (Cox et. al., 1965)

Ένα τέτοιο διατηρημένο συστατικό είναι εκείνο που δεν αντιδρά και αλλάζει από θέση σε θέση και οφείλεται στην πρόσθεση ή την αφαίρεση του νερού. Το συστατικό που επιλέχθηκε για να χαρακτηρίσει ένα δείγμα του θαλασσινού νερού ή άλλου φυσικού νερού είναι η χλωριότητα (Chlorinity Cl%).

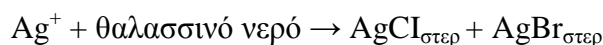
Η χλωριότητα ήταν προσδιορισμένη πρωταρχικά ως το ισοδύναμο χλώριο προς τη συγκέντρωση της ολικής αλογονούχου ένωσης σε ένα μέρος ανά χίλια κατά βάρος (g Cl/kg θαλασσινού νερού) μετρούμενη με ογκομέτρηση από  $AgNO_3$ . Εφόσον συμβαίνουν αλλαγές στα ατομικά βάρη του Ag και Cl, η χλωριότητα επανακαθορίστηκε το 1937 από τους Jacobsen και Knudsen ως εξής: «χλωριότητα είναι η μάζα σε g του καθαρού Ag η αναγκαία να καταβυθίσει τα αλογόνα σε 328,5233 g θαλασσινού νερού».

Αυτός ο ορισμός δίνει τη τιμή του  $CI(\%) = 0,3285233 \text{ Ag} (\%)$ , όπου ο  $\text{Ag} (\%)$  είναι σε g του  $\text{Ag}$  ανά κιλό θαλασσινού νερού. Το 1969 το ατομικό βάρος αποδίδεται  $Atw (CI\%)/Atw(\text{Ag})=35,453/107,868$ . Έτσι η καθαρή χλωριότητα ή η ισοδύναμη χλωριότητα είναι ίση με  $0,328670/0,3284233=1,00045$  φορές το  $CI(\%)$ . (Ξένος, 2000)

### 3.2 Τρόποι Προσδιορισμού των κυριότερων συστατικών του θαλασσινού νερού από την Χημική Ωκεανογραφία

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των κυριότερων συστατικών των φυσικών νερών δόθηκαν με λεπτομέρεια από τον Culkin το 1965.

**A) Χλωριότητα.** Η χλωριότητα του θαλασσινού νερού προσδιορίζεται με την προσθήκη  $\text{AgNO}_3$  και τη καταβύθιση ως  $\text{AgCl}$ .



Το χρωμικό κάλιο προστίθεται σαν ένας δείκτης. Μετά από την απομάκρυνση των αλογόνων ο  $\text{Ag}$  καταβυθίζεται ως χρωμικός άργυρος.



Ένας αριθμός ερευνητών έχει χρησιμοποιήσει άλλους δείκτες και οι σύγχρονοι ερευνητές χρησιμοποιούν για το τελικό σημείο αυτόματες ηλεκτρονικές μεθόδους χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια  $\text{Ag}$ ,  $\text{AgCl}$ . Αφού η θερμότητα καταβύθισης του  $\text{AgCl}$  είναι μεγάλη και εξωθερμική μπορεί να προσδιοριστεί το τελικό σημείο χρησιμοποιώντας την ογκομετρική θερμιδομετρία. Ο  $\text{AgNO}_3$  προστίθεται χρησιμοποιώντας μια προχοΐδα συνεχούς ροής και ο χρόνος για το τελικό σημείο που επέρχεται καταγράφεται. Για να προσδιοριστεί το τελικό σημείο δεν χρησιμοποιήθηκε δείγμα αλλά σταθερό θαλασσινό νερό με γνωστή χλωριότητα που χρησιμοποιήθηκε για να ρυθμιστεί το διάλυμα του  $\text{AgNO}_3$ . Προσεγγιστικές τιμές του  $CI (\%)$  προσδιορίστηκαν με την αγωγιμότητα και με μετρήσεις της πυκνότητας. Οι μετρήσεις των Cox, Culkin και Riley το 1965 απέδωσαν την παρακάτω εξίσωση για τα διάφορα νερά των ωκεανών,

$$CI (\%)=0,050+15,6636 R_{15} + 7,08943 R_{15}^2 - 5,9110 R_{15}^3 + 3,31363 R_{15}^4 - 0,73240 R_{15}^4$$

όπου το  $R_{15}$  είναι ο λόγος της αγωγιμότητας στους  $15^{\circ}\text{C}$  του δείγματος σε σχέση με το σταθερό (standard) θαλασσινό νερό. Περισσότερες αξιόπιστες τιμές για τη χλωριότητα των θαλασσινών νερών επιτυγχάνονται από την πυκνότητα ή την αναλογία αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού συναρτήσει της υπολογισμένης αλατότητας χρησιμοποιώντας τις νέες πραγματικές κλίμακες αλατότητας και τη νέα διεθνή καταστατική εξίσωση του θαλασσινού νερού.

**Β) Θειικά.** Η περισσότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος για να προσδιοριστούν τα  $\text{SO}_4^{2-}$  ιόντα στο θαλασσινό νερό είναι η προσθήκη του  $\text{BaCl}_2$ , η καταβύθισή τους ως  $\text{BaSO}_4$  και η ζύγιση του προκύπτοντος ιζήματος. Με αυτή τη τεχνική καταβυθίζονται και άλλα ιόντα όπως το  $\text{Ca}^{+2}$  και έτσι προκύπτουν σφάλματα. Όμως οι μετρήσεις με στάνταρ θαλασσινό νερό γνωστής συγκέντρωσης μπορεί να αποδώσει πολύ ακριβείς μετρήσεις. Το τελικό σημείο της ογκομέτρησης του θαλασσινού νερού με  $\text{BaCl}_2$  προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας θερμοδομετρία ή ηλεκτρομετρία ή αγωγιμότητα.

**Γ) Βρωμιούχα.** Το ιόν  $\text{Br}^-$  προσδιορίζεται μετά την συγκαταβύθιση με το  $\text{Cl}^-$  στο ίζημα, με υπολογισμό της ελάττωσης του βάρους αφού απελευθερωθεί το  $\text{Br}_2$ . Αυτό απαιτεί μεγάλες ποσότητες δειγμάτων για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του  $\text{Br}^-$  η οποία είναι χαμηλή. Το  $\text{Br}_2$  ελευθερώνεται με την πρόσθεση χρωμικού οξέος ή  $\text{KMnO}_4$ . Το απελευθερωμένο  $\text{Br}_2$  υπολογίζεται χρωματογραφικά ή με ογκομέτρηση.

**Δ) Φθοριούχα.** Το ιόν  $\text{F}^-$  αναλύεται στα φυσικά νερά χρησιμοποιώντας χρωματογραφική μέθοδο ή χρησιμοποιώντας ένα ειδικό ηλεκτρόδιο ιόντος (Kremling, 1976)

**Ε) Όξινο ανθρακικό και ανθρακικό ιόν ( $\text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ ).** Η συγκέντρωση των ιόντων  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{CO}_3^{2-}$  προσδιορίζεται μετρώντας τουλάχιστον δύο παραμέτρους του ανθρακικού συστήματος: το pH, την ολική αλκαλικότητα ( $A_T$ ), το ολικό  $\text{CO}_2$  ή την μερική πίεση του  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{CO}_2}$ ). Στις εργασίες ρουτίνας το pH και η  $A_T$  χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν το ανθρακικό σύστημα.

**ΣΤ) Βορικό οξύ και Βορικά ιόντα ( $\text{H}_3\text{BO}_3 - \text{BO}_3^{3-}$ ).** Το βόριο υπάρχει κυρίως σαν βορικό οξύ στο θαλασσινό νερό. Σε  $\text{pH}=8$  το βορικό ιόν είναι το 25% του συνολικού βορίου. Το ολικό βόριο προσδιορίζεται ως βορικό οξύ σχηματίζοντας ένα σύμπλοκο

με τημανιτόλη και τη γλυκόζη. Έπειτα αυτό μετατρέπεται σε ένα ισχυρό οξύ και ογκομετρείται με μια βάση. Η πρώτη ανάγκη είναι να καταστραφούν οι οργανικές ενώσεις του βορίου με οξείδωση από  $\text{KMnO}_4$ . Χρωματογραφικές τεχνικές που χρησιμοποιούν ένα έγχρωμο δείκτη όπως είναι το σύμπλοκο βορικού οξέος – κουρκουμίνης είναι πολύ γρήγορες.

**Ζ) Μαγνήσιο.** Η κλασική μέθοδος για τον υπολογισμό του ιόντος  $\text{Mg}^{+2}$  είναι ο σταθμικός προσδιορισμός με την προσθήκη του φωσφορικού αμμωνίου μετά την απομάκρυνση του  $\text{Ca}^{+2}$ . Το  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  μετατρέπεται σε πυροσφωρικό μαγνήσιο το οποίο ζυγίζεται. Τα τελευταία χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί οι ογκομετρικές μέθοδοι. Το EDTA χρησιμοποιήθηκε για να ογκομετρήσει τα ιόντα  $\text{Mg}^{++}$  μετά την απομάκρυνση του  $\text{Ca}^{++}$ . Τα ολικά ισοδύναμα των δισθενών ιόντων προσδιορίζονται με τη χρήση μιας ιονταλλακτικής ρητίνης ή με ογκομέτρηση του  $\text{Mg}^{++}$  με EDTA. Το Mg προσδιορίζεται από τη διαφορά.

**Η) Ασβέστιο.** Η κλασική σταθμική μέθοδος για τον προσδιορισμό του ιόντος  $\text{Ca}^{++}$  είναι η ιζηματοποίηση σαν οξαλικό ασβέστιο. Αυτή είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται στο διαχωρισμό του  $\text{Ca}^{++}$  και  $\text{Mg}^{++}$ . Το οξαλικό Ca ζυγίζεται ή πυρώνεται και ζυγίζεται ως  $\text{CaCO}_3$  ή  $\text{CaO}$ . Όπως και σε άλλες τεχνικές της καταβύθισης υπάρχουν προβλήματα με τη συγκαταβύθιση και απαιτούνται διάφορα βήματα προκειμένου να αποκτηθεί ένα καθαρό ίζημα. Περισσότερο σύγχρονες μετρήσεις του  $\text{Ca}^{+2}$  έχουν γίνει χρησιμοποιώντας ογκομετρικές μεθόδους όπως το EGTA – Αιθυλένο – γλυκοζο – δις (2αμινοαιθυλο) N,N,N,N τετραοξικό οξύ. Το τελικό σημείο προσδιορίζεται ηλεκτρομετρικά ή χρωματογραφικά χρησιμοποιώντας χρωματομεταλλικούς δείκτες.

**Θ) Κάλιο.** Προηγούμενες μετρήσεις του ιόντος  $\text{K}^+$  έγιναν μετά από απομάκρυνση των δισθενών ιόντων. Τα ολικά κατιόντα προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της ιοντο – ανταλλαγής (ογκομετρώντας την απελευθέρωση του πρωτονίου με βάση). Τα δισθενή ιόντα απομακρύνονται και προσδιορίζονται με ογκομέτρηση από EDTA. Το κάλιο προσδιορίζεται με την καταβύθιση  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$  από χλωριούχο λευκόχρυσο, το οποίο είναι λίγο διαλυτό στην αιθανόλη 80% (το άλας του Na είναι πολύ διαλυτό). Αφού το τετραφαινυλο – βορικό K δεν είναι πολύ διαλυτό, ζυγίζεται μετά την καταβύθιση με την προσθήκη τετραφαινυλο – βορικού νατρίου.

**Γ) Νάτριο.** Αφού η συγκέντρωση του νατρίου είναι πολύ μεγάλη δεν είναι ακριβής ο προσδιορισμός του ιόντος  $\text{Na}^+$  με απευθείας μεθόδους. Ο κλασικός άμεσος προσδιορισμός γίνεται με καταβύθιση από τον οξικό ουρανύλιο ψευδάργυρο, το οποίο είναι ελάχιστα διαλυτό. Η περισσότερο αξιόπιστη μέθοδος είναι να προσδιοριστεί το ιόν  $\text{Na}^+$  με τη διαφορά βάρους. Αυτό μπορεί να γίνει σε ατομικά δείγματα προσδιορίζοντας τα ολικά κατιόντα τα οποία είναι ίσα με τα ολικά ισοδύναμα ανιόντα και αφαιρώντας τις ισοδύναμες συγκεντρώσεις των  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  και  $\text{Sr}^{+2}$ . Αφού το θαλασσινό νερό θα έχει ισοδύναμη συγκέντρωση κατιόντων και ανιόντων, η μέθοδος που προτιμάται είναι να προσδιοριστεί το ιόν  $\text{Na}^+$  μετά από αφαίρεση από τα κυριότερα στοιχεία που προσδιορίστηκαν. (Ξένος, 2000)

**Η) Διαλυμένο Οξυγόνο στο θαλασσινό νερό.** Το διαλυμένο οξυγόνο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στους ωκεανούς και κυρίως στις βιολογικές δραστηριότητες, όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή των περισσότερων ζώντων οργανισμών. Η παραγωγή και η ανάπτυξη των φυτών με τη φωτοσύνθεση στις θάλασσες είναι τεράστιας σημασίας όχι μόνο γιατί συμβάλλει στη διατήρησης της θαλάσσιας τροφικής αλυσίδας, αλλά επειδή παράγει ισοδύναμες ποσότητες οξυγόνου που μπορούν να μεταφερθούν στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της ζωής στις ηπείρους.

Η συνεισφορά του οξυγόνου στις θάλασσες σε αντίθεση με εκείνη στην ατμόσφαιρα δεν είναι σταθερή για το λόγο ότι επηρεάζεται τόσο από την εναλλαγή με τον αέρα που βρίσκεται πάνω στις θάλασσες όσο και από τη μίξη με τα βαθιά νερά που είναι πυκνότερα, ψυχρότερα και κατά κανόνα φτωχά σε οξυγόνο. Επίσης, επηρεάζεται από τις βιολογικές και βιοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα τόσο στο θαλασσινό νερό όσο και στα ιζήματα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το οξυγόνο είναι πολύπλοκοι εφόσον κάθε διεργασία συνδέεται με τις άλλες δημιουργώντας έτσι μια εύθραυστη ισορροπία που μπορεί να ανατραπεί.

Σε αυτό και στο ότι υπάρχουν εύκολοι τρόποι μέτρησης οφείλεται το ότι το οξυγόνο είναι το περισσότερο μελετημένο αέριο στο θαλασσινό νερό. Για τους ωκεανολόγους παρουσιάζει ενδιαφέρον γιατί μελετούν τις οριζόντιες πορείες και για τους βιολόγους γιατί μελετούν τη φωτοσύνθεση και την οξειδωση των φυτικών υλών.

Στη μεταβολή της κατανομής του διαλυμένου οξυγόνου συντελούν επίσης και οι πολυάριθμες ανθρωπογενείς δραστηριότητες στις θάλασσες, όπως είναι οι αλλαγές στη δομή των παράκτιων περιοχών στην ποσότητα και στην ποιότητα των νερών που

καταλήγουν με τους ποταμούς στις θάλασσες, καθώς και η εισαγωγή ξένων και συχνά επικίνδυνων ενώσεων από τους ποταμούς και την ατμόσφαιρα, ή απευθείας από τη ξηρά ή τα πλοία.

Γενικά τα επιφανειακά νερά περιέχουν περισσότερο οξυγόνο από ότι τα βαθιά, λόγω της εναλλαγής με τον αέρα. Στην επιφάνεια της θάλασσας υπάρχει μια στιβάδα που αναμιγνύεται καλά με τον αέρα και επεκτείνεται μέχρι τη θερμοκλίνη όπου η συγκέντρωση του οξυγόνου είναι αρκετά ομοιόμορφη και μεγάλη. Αν η υδάτινη στήλη είναι σχετικά σταθερή, τότε παρατηρείται κάτω από την επιφάνεια μια μέγιστη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ανάμεσα στα πρώτα 100 μέτρα σαν αποτέλεσμα της παραγωγής οξυγόνου από τη φωτοσύνθεση των αλγών. Η συγκέντρωση του οξυγόνου ελαττώνεται δραστικά κάτω από τη ζώνη, όπου γίνεται η φωτοσύνθεση, επειδή λαμβάνει χώρα η οξειδωση της οργανικής ύλης. Αν τα νερά των θαλασσών δεν αναδεύονται καλά, θα περίμενε κανείς η συγκέντρωση του οξυγόνου να ελαττώνεται συνεχώς και τα βαθιά νερά να είναι ανοξικά και αζωικά, όπως συμβαίνει σε συγκεκριμένα λιμνάζοντα νερά. Όμως τέτοιες καταστάσεις είναι η εξαίρεση και όχι ο κανόνας, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη και κυκλοφορία μεγάλων ποσοτήτων νερού πλούσιου σε οξυγόνο, στις περισσότερες θάλασσες. Έτσι η συγκέντρωση του οξυγόνου δεν συνεχίζει να ελαττώνεται με το αυξανόμενο βάθος, αλλά συνήθως μετά από μια ελάχιστη τιμή αρχίζει να αυξάνει.

Γενικά η συγκέντρωση του οξυγόνου στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται από 0-8,5mg/l. (Ξένος, 2000)

### **3.3 Θρεπτικά Στοιχεία και οι κύκλοι τους στο θαλασσινό νερό.**

Ο κλάδος της Χημικής Ωκεανογραφία είναι σημαντικό κομμάτι της ωκεάνιας έρευνας, καθώς ασχολείται με 4 πολύ σημαντικούς κύκλους που λαμβάνουν χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι κύκλοι αυτοί είναι του Άνθρακα, του Φωσφόρου, του Αζώτου, του Πυριτίου. Η σημαντικότητα των 4 αυτών κύκλων, είναι ότι εκφράζουν σε επίπεδο χημείας τη μετατροπή των εν λόγω στοιχείων σε διάφορες χημικές μορφές που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη σύσταση του θαλασσινού νερού, της ατμόσφαιρας που βρίσκεται πάνω από αυτό, του ιζήματος και επομένως τη γεωλογία του βυθού, αλλά και τη φωτοσύνθεση και τον κύκλο της θαλάσσιας ζωής. Επομένως

μπορεί να ειπωθεί πως οι 4 κλάδοι της ωκεανογραφίας φαίνεται πως σχετίζονται και αλληλεπικαλύπτονται (Σκούλος, 1997).

### Ανθρακικός Κύκλος

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που καθορίζουν τις χημικές και βιολογικές διαδικασίες στη θάλασσα είναι η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα. Η εξαιρετική του σημασία με την ευρύτητα και πολυπλοκότητα του κύκλου του που περιλαμβάνει όξινα και απλά ανθρακικά άλατα, επηρεάζει το pH, τη φωτοσύνθεση, τις διάφορες αποθέσεις αλάτων και πολλά άλλα.

Στην περίπτωση της χημικής ωκεανογραφίας εντοπίζονται 3 ζώνες ιδιαίτερης επίδρασης

1. η ζώνη αλληλεπίδρασης ωκεανού και ατμόσφαιρας
2. η ζώνη των ισορροπιών στο διάλυμα του θαλασσινού νερού
3. Η ζώνη των ιζημάτων και αποθέσεων που είναι η περιοχή αλληλεπίδρασης ωκεανού και βυθού

Αναλυτικότερα, μπορεί να ειπωθεί πως η Χημική Ωκεανογραφία έχει ως κύριο μέλημα την μελέτη του CO<sub>2</sub> ως το προς το ποιες διεργασίες ακολουθούνται ώστε το μόριο της εν λόγω ένωσης να διαλύεται. Πιο συγκεκριμένα μελετάται η διάλυσή του στο θαλασσινό νερό δίνοντας ανθρακικό οξύ. Η νέα ένωση διαλύεται σε δύο στάδια δίνοντας ιόντα υδρογόνου και HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> & CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>. Δεδομένου όμως πως όλες οι παραπάνω διεργασίες γίνονται στο θαλασσινό νερό, οι αμφίδρομες χημικές αντιδράσεις επηρεάζονται από την αλατότητα που έχει το θαλασσινό νερό, το pH του, ακόμα και τη θερμοκρασία που έχει .

Ο κύκλος του Άνθρακα ολοκληρώνεται στη διεπιφάνεια ωκεανού και βυθού όπου ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν παράγονται ή διαλύονται δυσδιάλυτα ανθρακικά άλατα CaCO<sub>3</sub>. Ο ρόλος της χημικής ωκεανογραφίας είναι αφενός να περιγράψει τις διαδικασίες που τελούνται και αφετέρου να εκφράσει το αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων. Αναλυτικότερα, με βάση το pH του θαλασσινού νερού, το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων και την περιεκτικότητα του Mg, θα σχηματίζονται η θα διαλύονται τα εξής άλατα (Σκούλος, 1997):

- Καλσίτης



- Αραγωνίτης
- Δολομίτης
- $MgCaCO_3$

#### Προσδιορισμός της ποσότητας του Άνθρακα στο θαλασσινό νερό

Ο συνολικός οργανικός άνθρακας προσδιορίζεται σε όλες τις φάσεις του θαλασσινού συστήματος σαν διαλυτικός οργανικός άνθρακας (DOC – Dissolved Organic Carbon) και σαν σωματιδιακός οργανικός άνθρακας (POC – Particulate Organic Carbon). Το άθροισμα αυτών των μορφών αποτελεί τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC – Total Organic Carbon). Ο σωματιδιακός οργανικός άνθρακας περιλαμβάνει εκείνα τα είδη τα οποία θα κρατηθούν από ένα γυάλινο ιστώδες φίλτρο 0,45μm και είναι είτε σε κολλοειδή μορφή είτε αιωρούμενα. (Ξένος, 2000)

#### Διαλυμένη Οργανική Ύλη (DOM – Dissolved Organic Matter)

Η διαλυμένη θαλασσινή οργανική ύλη είναι ένα τόσο ακραίο πολύπλοκο και αραιωμένο μίγμα από συστατικά που μόνο ένα ποσοστό 10-20% μπορεί να χαρακτηριστεί πλήρως. Πολλά από αυτά τα οργανικά συστατικά που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό έχουν προσδιοριστεί με αέρια χρωματογραφία (φασματοφωτόμετρα μάζας) GS (MS) ή με σωλήνα αέριας χρωματογραφίας. Πάνω στο χρωματογράφημα αρκετή από τη διαλυμένη οργανική ύλη βρίσκεται σαν ένα μη αναλυόμενο σύμπλοκο μίγμα. Η χρωματογραφία λεπτής στιβάδας (TLC) όταν συζευχθεί με την ανίχνευση της φλόγας ιονισμού (FID) μπορεί να διαχωρίσει τη διαλυμένη οργανική ύλη από το θαλασσινό νερό σε ορισμένες τάξεις ενώσεων όπως είναι τα λιπίδια, οι αλκοόλες, οι κετόνες και τα κλάσματα πτητικών οξέων.

Η διαλυμένη οργανική ύλη στο θαλασσινό νερό αποτελείται κατά ένα μεγάλο μέρος από αμιζουσες ουσίες και περισσότερο πτητικές ενώσεις από τις κυριότερες βιομηχανικά σπουδαίες κατηγορίες ενώσεων, όπως είναι οι υδατάνθρακες, τα στεροειδή, οι αλκοόλες, τα αμινοξέα, οι υδρογονάνθρακες και τα λιπαρά οξέα.

Στο θαλασσινό περιβάλλον ένα ποσοστό του οργανικού άνθρακα που φτάνει στο 95% ανακυκλώνεται από τους θαλάσσιους οργανισμούς στην επιφάνεια της στήλης του νερού. Το μικρό ποσοστό που φτάνει στο ίζημα ανακυκλώνεται κυρίως από τους βενθικούς οργανισμούς οι οποίοι ζουν στο ίζημα. Το ποσοστό αυτό

σύμφωνα με τους Tissot και Welte αποτελεί το 0,01% της θαλάσσιας καθαρής πρωτογενούς παραγωγής. Στη Β. Αδριατική θάλασσα μετρήθηκαν συγκεντρώσεις του διαλυτού ανόργανου άνθρακα μεγαλύτερες από αυτές που αναφέρονται από τον Brunet (1984) για την Α. Μεσόγειο και τη Δ. Μεσόγειο από τον Porot (1983), 2,55m.mol/kg τον Ιούλιο του 1993, 2,58m.mol/kg τον Ιούνιο του 1994 και 2,60m.mol/kg το Νοέμβριο του 1994. Η μέση παραγωγή του διαλυτού ανόργανου άνθρακα ( $\Delta\text{TCO}_2$ ) για την περίοδο ενός έτους εκτιμάται σε 0,09m.mol/χρόνο.kg , ενώ η κατανάλωση του οξυγόνου είναι 1,5ml/lit χρόνο. (Ξένος, 2000)

### Σωματιδιακή Οργανική Ύλη (Particulate Organic Matter)

Ο σωματιδιακός οργανικός άνθρακας αποτελεί το 1-10% του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) στις θάλασσες. Η σωματιδιακή οργανική ύλη έχει εκτιμηθεί από τις μετρήσεις του σωματιδιακού οργανικού άνθρακα σε αναλύσεις από τα φίλτρα 0,45 $\mu\text{m}$  τα οποία συγκρατούν τη σωματιδιακή οργανική ύλη. Έτσι ο σωματιδιακός οργανικός άνθρακας αποτελεί το 50% κ.β. της σωματιδιακής ύλης. Η σωματιδιακή οργανική ύλη αποτελείται από ένα μίγμα ζωντανού και νεκρού φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν, από βακτήρια και προϊόντα αποικοδόμησης από απεκκρίσεις και από τα μικροσκοπικά συσσωρεύματα που ονομάζονται «θαλασσινό χιόνι».

Η κατανομή και η φύση της οργανικής σωματιδιακής ύλης έχει βρεθεί να είναι αρκετά μεταβλητή στα γεωγραφικά πλάτη, κατακόρυφα, ημερήσια και εποχιακά και επηρεάζεται από τη συμπλοκοποίηση. Στην ευφωτική ζώνη η κυριότερη αναλογία της σωματιδιακής οργανικής ύλης οφείλεται στο φυτοπλαγκτόν, στη χημική σύσταση η οποία μεταβάλλεται με τα είδη καθώς και στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι το θαλασσινό άλγος *phalodactylum* εκδηλώνει ένα αυξημένο ρυθμό πρωτεϊνοσύνθεσης κάτω από την επίδραση της ελαττωμένης θερμοκρασίας κατά τη σύνθεση των υδατανθράκων. Είναι γνωστό ότι τα μεταβολικά προϊόντα του φυτοπλαγκτόν ,είτε είναι μικρά είτε είναι μεγάλα, ποικίλλουν με τη μεταβολή της θερμοκρασίας, την ένταση του φωτός και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών υλικών. Πολύ λίγα είναι γνωστά για το χημικό περιεχόμενο και τη βιογεωχημεία της σωματιδιακής οργανικής ύλης σε σχέση με τη διαλυτή οργανική ύλη. Οι αναλύσεις δείχνουν ότι στην ευφωτική ζώνη το 90% της σωματιδιακής οργανικής ύλης οφείλεται στη ζώσα ύλη,

ενώ σε βάθη γύρω στα 2400m μόνο το 1% της σωματιδιακής ύλης οφείλεται στους ζώντες οργανισμούς.

Τα τελευταία χρόνια πολλές έρευνες έχουν γίνει για την κατακόρυφη ροή της σωματιδιακής οργανικής ύλης από τα επιφανειακά νερά των θαλασσών προς τον πυθμένα. Οι χημικές και βιοχημικές αλλαγές που γίνονται καθώς τα μόρια βυθίζονται μέσα στην υδάτινη στήλη επηρεάζουν σημαντικά τη σύσταση των ιζημάτων και το πάνω από τα ιζήματα νερό. Έτσι οι φυσικές και βιογεωχημικές πορείες επηρεάζουν τη βιολογική παραγωγικότητα στην υδάτινη στήλη καθώς αυτή τροποποιείται μέχρι να φθάσει στον πυθμένα της θάλασσας. Ο πυθμένας με τη σειρά του χρησιμεύει σαν κύρια πηγή τροφής για τους βενθικούς οργανισμούς και σαν πηγή από πρόδρομες ουσίες των θαλάσσιων στερεών καυσίμων υλών.

Πειράματα παγίδευσης ιζημάτων έγιναν σε διάφορα βάθη και απέδωσαν πολύτιμες πληροφορίες στο χημικό περιεχόμενο και στις ροές της θαλασσινής σωματιδιακής ύλης. Ο Gagosian και οι συνεργάτες του βύθισαν κώνους από PVC με στόμιο 1,5m<sup>2</sup> και τοποθέτησαν αζίδιο του νατρίου σαν επιβραδυντή της βακτηριακής αποσύνθεσης. Οι μελέτες έδειξαν ότι η ροή προς τον πυθμένα της σωματιδιακής ύλης συνοδεύεται από μόρια που καταβυθίζονται γρήγορα και έχουν διάμετρο πάνω από 62μm. Τα οργανικά συστατικά από αυτά τα μόρια έχουν βρεθεί να αποτελούνται από κοπρώδη σφαιρίδια ζωοπλαγκτόν, απομεινάρια ζωοπλαγκτόν, φυτοπλαγκτόν και ατμίζουσες ουσίες. Το χημικό περιεχόμενο αυτών των μορίων έχει βρεθεί να επηρεάζεται από ένα πολύ πολύπλοκο σύνολο αντιδράσεων, οι οποίες οδηγούν στην απομάκρυνση μερικών ευκίνητων οργανικών ενώσεων με το βάθος ενώ άλλες ουσίες ευκίνητες, συνήθως ακόρεστες οργανικές, βρέθηκαν σε βάθη 5068 m κατά τους Wakehan και Skidway. Την τροφική δραστηριότητα από το μέσο και το βαθύ πελαγικό πλαγκτό σε αυτά τα γρήγορα βυθιζόμενα μόρια, επικαλέστηκε ο Wakehan και οι άλλοι για να εξηγήσουν την εκλεκτική μετακίνηση μερικών ευκίνητων οργανικών ενώσεων από τη βυθιζόμενη σωματιδιακή ύλη. Αυτός ο εκλεκτικός συνδυασμός προκαλεί την καταβύθιση της σωματιδιακής ύλης σαν κοπρώδη μαζί με προϊόντα έκκρισης.

Αρκετή έρευνα έχει γίνει στη βιογεωχημεία, η οποία σχετίζεται με τα βυθιζόμενα θαλασσινά μόρια τα οποία έχουν συγκεντρωθεί πάνω στα λιπίδια (λίπη – λάδια – λίπη διαλυτών ενώσεων). Μελετάται η χρησιμοποίησή τους στην αναπαραγωγή, στη μεταβολική πορεία και στη δομή των μεμβρανών. Τα λιπίδια αυτά αποτελούν ένα μικρό κλάσμα αποθήκευσης ενέργειας.

Μια τελευταία μελέτη από τους Kennicutt και Jeffery έδειξε ότι η χημική σύσταση των θαλασσιών σωματιδιακών λιπιδίων ήταν πολύ περισσότερο πολύπλοκη από αυτή που βρέθηκε στα διαλυμένα θαλασσινά λιπίδια. Παρότι τα κυριότερα συστατικά των διαλυμένων και σωματιδιακών λιπιδίων ήταν παρόμοια (δηλαδή κανονικά αλκάνια, εστέρες λιπαρών οξέων, φυτόλες) τα σωματιδιακά λιπίδια περιλαμβάνουν μια συνεισφορά από μη διαλυμένες ουσίες όπως είναι οι ολεφίνες, οι αλκυλιωμένες βενζίνες, οι κινόνες και άλλα συστατικά που δεν βρέθηκαν στα διαλυμένα κλάσματα. (Ξένος, 2000)

### Ο κύκλος του Αζώτου

Η Χημική Ωκεανογραφία προσπαθεί να ερμηνεύσει και τον κύκλο του Αζώτου στο θαλάσσιο περιβάλλον, μελετώντας τις δυναμικές ισορροπίες ανάμεσα στις μορφές ανόργανων ή οργανικών ενώσεων του Αζώτου. Τα τρία κύρια στοιχεία που λαμβάνει υπόψη της είναι:

1. Ο ρόλος των βακτηρίων στη μετατροπή των οργανικών αζωτούχων ενώσεων σε ανόργανες και κυρίως νιτρικά
2. Ο ρόλος του φυτοπλαγκτού, που συνθέτει πρωτεΐνες από ανόργανα συστατικά όπως είναι το  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , και αμμωνία από μοριακό Άζωτο.
3. Η διαπίστωση ότι ο κύκλος του αζώτου δεν είναι κλειστός, καθώς δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί η ποσότητα αζωτούχων ενώσεων που καταλήγουν στην θάλασσα από ανθρώπινες δραστηριότητες, η ποσότητα που δεσμεύεται παγκοσμίως από κυανοπράσινα φύκη, καθώς και η ποσότητα που καταβυθίζεται με την μορφή αποθέσεων στον βυθό.

Ουσιαστικά η Χημική Ωκεανογραφία καλείται να περιγράψει επαρκώς τις χημικές αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχει το Άζωτο ή οι αζωτούχες ενώσεις και λαμβάνουν χώρα στον πυθμένα, στην στήλη του νερού και στην ατμόσφαιρα πάνω από αυτήν. Οι εν λόγω αντιδράσεις αφορούν την πρόσληψη του μοριακού αζώτου από την κυανοβακτήρια, την οικοδόμηση ή αφομοίωση του αζώτου, των νιτρικών, των νιτροδών και της αμμωνίας από το φυτοπλαγκτόν κατά την διάρκεια της φωτοσύνθεσης, καθώς και την διαδικασία της νιτροποίησης και απονιτροποίησης που λαμβάνουν χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Στις τελευταίες δύο αντιδράσεις γίνεται

ουσιαστικά ανάλυση του πως ανάγεται το άζωτο σε νιτρικά και τα νιτρικά σε νιτρώδη, καθώς και η αντίστροφη διεργασία (Σκούλος, 1997).

### Ο Φωσφορικός Κύκλος

Ιδιαίτερη σημασία από την Χημική Ωκεανογραφία δίνεται και στην ερμηνεία και επεξήγηση του Φωσφορικού κύκλου, καθώς έχει αποδειχθεί, ότι ο φώσφορος μαζί με το άζωτο αποτελούν τα σημαντικότερα στοιχεία μετά τον άνθρακα για την φωτοσύνθεση. Επομένως στόχος είναι να γνωρίζουν οι ωκεανογράφοι την ποσότητα των διαλυτών και των σωματιδιακών ενώσεων του φωσφόρου που βρίσκονται στον θαλασσινό νερό καθώς και στα ιζήματα του βυθού. Οι βασικές μορφές που ελέγχονται είναι τα διάφορα ανόργανα φωσφορικά και τα ορθοφωσφορικά άλατα, τα φωσφορικά ιόντα, τα μονόξινα φωσφορικά, τα δισόξινα φωσφορικά καθώς και η συγκέντρωση του ορυκτού απατίτη  $Ca_5(PO_4)_3(OH,F)$ .

Και σ' αυτόν τον κύκλο ιδιαίτερο ρόλο διαδραματίζουν οι οργανισμοί (βακτήρια, φυτοπλαγκτόν) καθώς και το γεγονός πως και αυτός ο κύκλος δεν θα πρέπει να θεωρείται κλειστός, όπως συμβαίνει με τον κύκλο του αζώτου (Σκούλος, 1997).

### Ο κύκλος του Πυριτίου

Ο συγκεκριμένος κύκλος είναι αυτός που φέρνει σε ποιο άμεση επαφή τους διαφορετικούς κλάδους της Ωκεανογραφίας. Ο λόγος είναι ότι το πυρίτιο ως στοιχείο είναι αυτό που συμμετέχει σε μια σειρά βιολογικών και γεωλογικών επιδράσεων με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή του στο θαλασσινό νερό να κυμαίνεται από το μηδέν έως 4000μg/lit. Η συγκέντρωσή του δεν επηρεάζεται μόνο από την πρόσληψή του ή την απελευθέρωσή του από τον σκελετό συγκεκριμένων οργανισμών (διάτομα), αλλά και από τη διάλυση ή δημιουργία πυριτικών πετρωμάτων. Ωστόσο, λόγω της κίνησης των υδάτινων μαζών που περιγράφονται από την Φυσική Ωκεανογραφία, οι συγκεντρώσεις του δεν παραμένουν σταθερές ούτε ως προς το βάθος, αλλά ούτε ως προς το γεωγραφικό μήκος και πλάτος (Σκούλος, 1997).

## 4. Γεωλογική Ωκεανογραφία

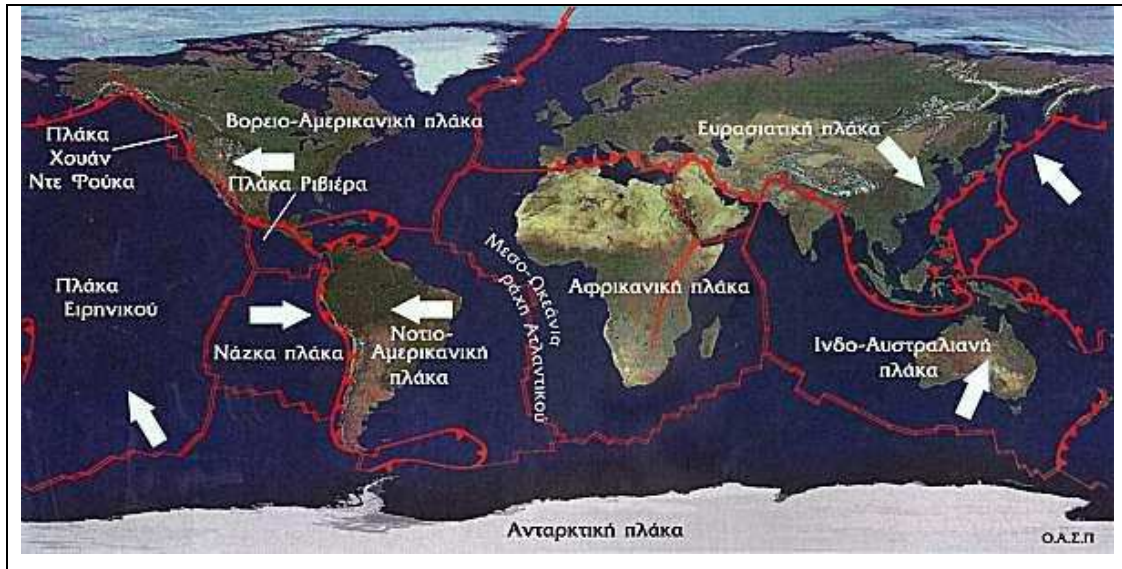
Ο εν λόγω κλάδος της Ωκεανογραφίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς είναι αυτός που ασχολείται με τη δημιουργία των πετρωμάτων και την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι ως αντικείμενο έχει ουσιαστικά την περιγραφή του γήινου ανάγλυφου που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, των δυνάμεων που ασκούνται στο εν λόγω περιβάλλον, καθώς και την περιγραφή των φαινομένων που μπορούν να προκύψουν από τις εν λόγω δυνάμεις, όπως είναι οι υποθαλάσσιοι σεισμοί, τα σεισμικά κύματα (τσουνάμι), η δημιουργία νησιών ή /και υποθαλάσσιων οροσειρών.

Συγκεκριμενοποιώντας όλα τα παραπάνω μπορεί να ειπωθεί πως η Γεωλογική Ωκεανογραφία ασχολείται με το γεωτεκτονικό κύκλο, τη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών, το ορογενετικό τόξο, τον ωκεάνιο φλοιό και τους σχηματισμούς του (ηπειρωτικό περιθώριο και ωκεάνιες λεκάνες) και τα θαλάσσια ιζήματα.

### 4.1 Λιθόσφαιρα

Ως Λιθόσφαιρα χαρακτηρίζεται το εξωτερικό δύσκαμπτο περίβλημα της Γης, με μεγάλη διατμητική αντοχή. Η λιθόσφαιρα αποτελείται από μικρό αριθμό μεγάλων τμημάτων, καθένα από τα οποία συμπεριφέρεται ως άκαμπτη πλάκα και περιλαμβάνει το φλοιό και μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα. Ο λόγος που η Γεωλογική Ωκεανογραφία ασχολείται με τις λιθοσφαιρικές πλάκες είναι ότι αποτελούνται εξ ολοκλήρου από ωκεάνιο φλοιό ή από ωκεάνιο και ηπειρωτικό μαζί.

Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά απαρτίζεται από έξι (6) κύριες πλάκες, οι οποίες είναι η Αφρικανική, η Ευρασιατική, η Ινδική, η Ανταρκτική, η Αμερικανική και η Ειρηνική (Εικ. 2) και πολλές άλλες μικρότερες. Κάποιες από αυτές τις πλάκες κινούνται γρήγορα αλλά η μέση ταχύτητά τους κυμαίνεται περίπου 3 cm το χρόνο.



**Εικόνα 2:** Καταγραφή των κυριότερων 6 λιθοσφαιρικών πλακών

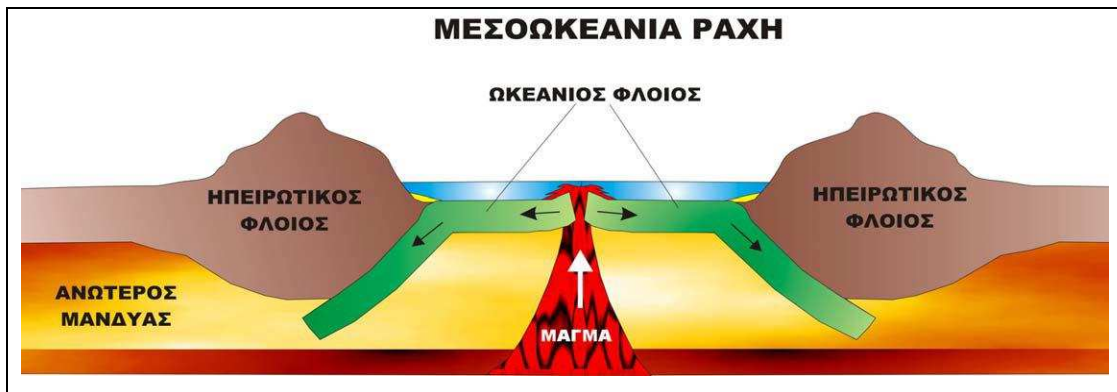
Πηγή: [www.lithosferikesplaces.gr](http://www.lithosferikesplaces.gr)

Οι πλάκες έχουν τρία είδη ορίων:

- Τις μεσοωκεάνιες ράχες όπου σχηματίζεται ο νέος φλοιός.
- Τις ζώνες υποβύθισης όπου ο φλοιός εξαφανίζεται στις περιοχές των ωκεάνιων τάφρων.
- Τα ρήγματα μετασχηματισμού που ούτε καταστρέφεται, ούτε σχηματίζεται νέος ωκεάνιος φλοιός.

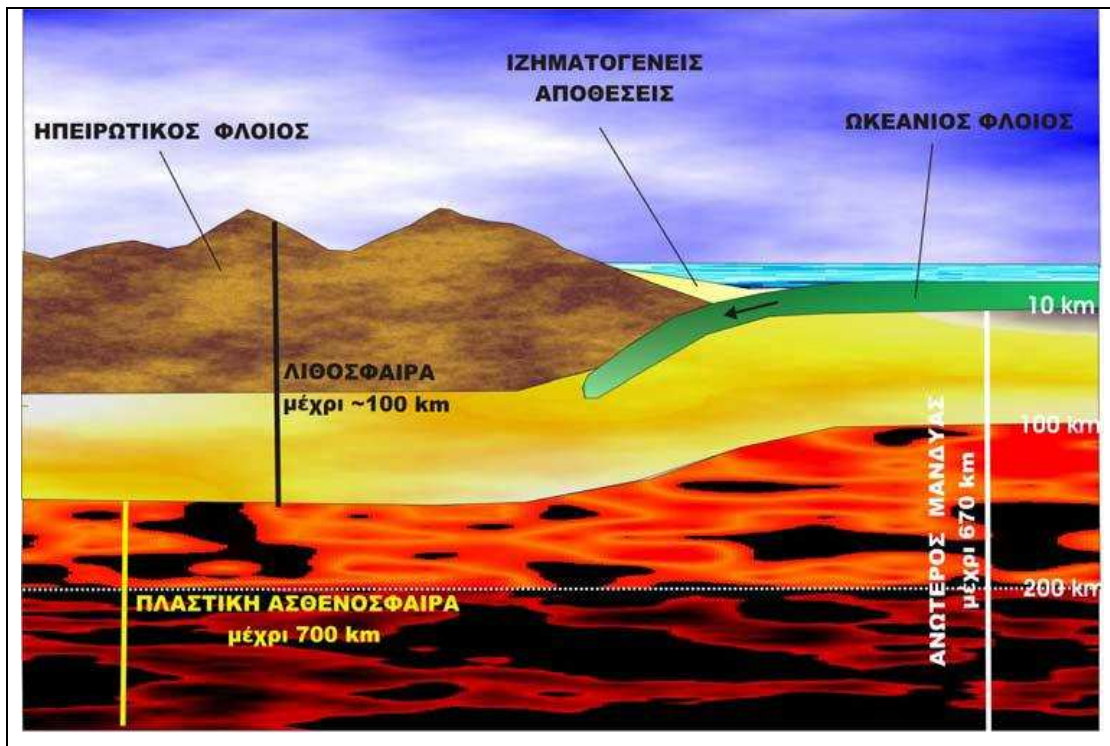
Σημαντικό στοιχείο μελέτης της Γεωλογικής Ωκεανογραφίας αποτελεί και ο τρόπος με τον οποίο κινούνται οι λιθοσφαιρικές πλάκες, καθώς εντοπίζονται 3 διαφορετικοί τρόποι κίνησης.

Α) Αποκλινονόριο: οι πλάκες απομακρύνονται η μία από την άλλη και στο κενό που δημιουργείται μεταξύ τους σχηματίζεται νέος ωκεάνιος φλοιός . Εκεί σχηματίζονται υποθαλάσσιες οροσειρές γνωστές ως μεσο-ωκεάνιες ράχες. Στα όρια αυτά παρατηρείται έκχυση λάβας κατά μήκος ενός άξονα διεύρυνσης και μια σεισμική δραστηριότητα με σεισμούς μικρού μεγέθους (Εικ. 3).



Εικόνα 3: Απεικόνιση του Αποκλινορρίου

Β) Συγκλινορόριο: Στην περίπτωση της σύγκλισης των πλακών η πυκνότερη από τις δύο βυθίζεται κάτω από την άλλη, μέχρις ότου λιώσει η πρώτη μέσα στο θερμομανδυακό υλικό κι έτσι καταστρέφεται λιθοσφαιρικό υλικό. Η δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού στις μεσοωκεάνιες ράχες αντισταθμίζεται λοιπόν με την καταστροφή αντίστοιχης ποσότητας στις περιοχές σύγκλισης πλακών, οπότε η συνολική επιφάνεια της Γης παραμένει "σταθερή". Αυτή η περιοχή ονομάζεται ζώνη υποβύθισης και δημιουργεί μεσοωκεάνιες τάφρους. Όπου τα ελαφρότερα μέρη της καταβυθιζόμενης πλάκας λιώνουν, αυτά ανέρχονται στην επιφάνεια και δημιουργούν ηφαίστεια. Τα χαρακτηριστικά εδώ είναι η έντονη σεισμικότητα και η έντονη ηφαιστειακή δράση (Εικ. 4).



Εικόνα 4: Απεικόνιση του Συγκλινορρίου



Πηγή:[http://www.metal.ntua.gr/uploads/3112/3c\\_DOMH\\_TOY\\_ESOTERIKOU\\_TH\\_S\\_GHS.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/3112/3c_DOMH_TOY_ESOTERIKOU_TH_S_GHS.pdf)

Γ) Εφαπτόμενα όρια (ρήγματα μετασχηματισμού): Σ' αυτήν την περίπτωση οι δυο πλάκες κινούνται παράλληλα αλλά σε αντίθετη κατεύθυνση. Μέρος της λιθόσφαιρας ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται. Εδώ παρατηρούνται μεγάλου μεγέθους ισχυροί σεισμοί (Δεληήμπασης, 2003)

## 4.2 Γεωτεκτονικός Κύκλος

Λαμβάνοντας υπόψη την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών μπορεί να εξηγηθεί ο τρόπος που δημιουργήθηκαν οι διάφορες οροσειρές της Γης. Η σύγκρουση μεταξύ των λιθοσφαιρικών πλακών έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ορογενετικών λωρίδων με τη μορφή αλυσίδων ορέων στα όρια των ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών. Στην διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας μπορεί να δημιουργηθεί ένας ωκεάνιος χώρος ο οποίος να λειτουργήσει για μερικά εκατομμύρια χρόνια και στη συνέχεια να καταστραφεί, να βυθιστεί κάτω από μια ηπειρωτική πλάκα. Από τη δημιουργία του ωκεανού μέχρι το κλείσιμό του, μεσολαβούν γεωτεκτονικά φαινόμενα τα οποία επηρεάζουν τόσο τον ωκεάνιο χώρο, όσο και τους ηπειρωτικούς χώρους. Έτσι συμπληρώνεται ένας πλήρης γεωτεκτονικός κύκλος.

Έτσι λοιπόν κάποια πανάρχαια διάρρηξη σε μια ηπειρωτική περιοχή μπορεί να δημιουργήσει έναν ωκεανό, με την απομάκρυνση των δυο ηπειρωτικών τμημάτων εκατέρωθεν της διάρρηξης. Η διάρρηξη μπορεί να εξελιχθεί σε μεσοωκεάνια ράχη όπως είναι το άνοιγμα του Ατλαντικού ωκεανού. Στην μεσοωκεάνια ράχη δημιουργείται ένας νέος ωκεάνιος φλοιός. Η εξέλιξη μιας διάρρηξης είναι η μεσοωκεάνια ράχη. Από την μεσοωκεάνια ράχη προς τις ηπείρους απαντώνται όλο και πιο παλιά πετρώματα του ωκεάνιου φλοιού και τα αντίστοιχα ωκεάνια ιζήματα. Μετά την ηπειρωτική διάρρηξη, οι δυο ηπειρωτικές περιοχές απομακρύνονται και ενδιάμεσά τους δημιουργείται ωκεανός. Οι περιοχές που μεσολαβούν είναι η εξής :

- 1) Η μεσοωκεάνια ράχη, όπου λαμβάνει χώρα βασική ηφαιστειότητα
- 2) Οι βαθιές περιοχές του ωκεανού εκατέρωθεν τις μεσοωκεάνιας ράχης με ιζηματογένεση βαθιάς θάλασσας.

- 3) Οι ηπειρωτικές κατωφείριες που αποτελούν προεκτάσεις των ηπείρων προς τον ωκεανό και έχουν απότομες κλίσεις ώστε να αποθέτονται ιζήματα τύπου φλύσχη.
- 4) Η ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα που καλύπτεται από ρηγή θάλασσα. Εκεί αποθέτονται ιζήματα ανθρακικά.
- 5) Η υφαλοκρηπίδα μαζί με την ηπειρωτική κατωφείρια αποτελούν το ηπειρωτικό περιθώριο της ηπείρου.

Κατά την ανάπτυξη-εξέλιξη του ωκεανού η δράση των εφελκυστικών τάσεων στις απομακρυνόμενες ηπειρωτικές πλάκες έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρότερων ταφρογενών λεκανών πάνω στις ηπείρους, λεκάνες που χαρακτηρίζονται ως ενδοηπειρωτικές ή όταν αυτές βρίσκονται στα περιθώρια της ηπείρου, ενδοπεριθωριακές λεκάνες. Η απομάκρυνση των ηπείρων κάποτε σταματά και ξεκινάει η αντίστροφη κίνηση των ηπειρωτικών πλακών όπου η μια προσεγγίζει την άλλη και περιορίζεται ο ωκεάνιος χώρος. Τότε ο ωκεάνιος χώρος μπορεί να βυθιστεί κάτω και από τις δυο ηπειρωτικές πλάκες αλλά συνήθως βυθίζεται κάτω από τη μία. Η πλάκα κάτω από την οποία βυθίζεται ονομάζεται ενεργό ηπειρωτικό περιθώριο, ενώ η άλλη παθητικό ηπειρωτικό περιθώριο το οποίο γεωτεκτονικά είναι μη ενεργό (Δελήμπασης, 2003)

### **4.3 Ωκεάνιες λεκάνες**

Η Γεωλογική Ωκεανογραφία επικεντρώνεται σε συγκεκριμένες μορφολογικές ενότητες που εντοπίζονται στον ωκεάνιο βυθό και έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Πιο συγκεκριμένα, στο ηπειρωτικό τμήμα διακρίνεται η ηπειρωτική τράπεζα και στο ωκεάνιο τμήμα η ωκεάνια τράπεζα. Η κλίση του ηπειρωτικού τμήματος είναι ομαλή και σταθερή μέχρι το βάθος των 200 m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Το τμήμα που περιλαμβάνεται μεταξύ της ακτής και του βάθους των 200 m λέγεται ηπειρωτική κρηπίδα και αποτελεί προέκταση της ξηράς που καλύπτεται από λεπτού πάχους σύγχρονα ιζήματα. Η ηπειρωτική κρηπίδα περιβάλλει όλες τις ηπείρους και έχει παρόμοια μορφολογία, αλλά διαφορετικό πλάτος. Το μέσο πλάτος είναι 70-80 km και σε μερικές περιπτώσεις φθάνει σε πολλές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Από το βάθος των 200m η κλίση της καμπύλης αλλάζει και αυξάνεται σε 1°-6° και ονομάζεται ηπειρωτική κατωφείρια, η οποία φθάνει μέχρι το βάθος των 5.000m. Από το βάθος

αυτό η κλίση της καμπύλης σχεδόν μηδενίζεται και το τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται ως αβυσσικό πεδίο. Οι πρόποδες της ηπειρωτικής κατωφέρειας έχουν πολύ μικρή κλίση (1%-1,5%) και πολλές φορές ονομάζονται ηπειρωτικά χείλη. Τα ηπειρωτικά χείλη έχουν μορφή ριπιδίου και σχηματίζονται πάνω σε ηπειρωτικό ή ωκεάνιο φλοιό.

Επίσης πρέπει να ειπωθεί πως οι ωκεανοί δεν έχουν ένα ομοιόμορφο βάθος, αλλά στα κεντρικά τμήματά τους παρατηρείται μια προοδευτική ανύψωση, η ωκεάνια ράχη, στην οποία το βάθος από 5.000 m που έφθανε στα βαθύτερα σημεία, μειώνεται σε 2.500 m. Κατά μήκος της ωκεάνιας ράχης, παρατηρείται συχνά μια κεντρική κοιλάδα (rift) πλάτους περίπου 30 km. Οι ωκεάνιες ράχες κόβονται από εγκάρσια ρήγματα γνωστά ως ρήγματα μετασχηματισμού. Τα ρήγματα αυτά είναι σεισμικά ενεργά και οι ωκεάνιες ράχες χαρακτηρίζονται ως ενεργές.

Στους ωκεάνιους πυθμένες διακρίνονται επίσης, στενές επιμήκεις αύλακες, που το βάθος τους είναι πολύ μεγάλο και σε ακραίες περιπτώσεις, όπως στον Ειρηνικό ωκεανό, στις Μαριάνες νήσους, φθάνει σε βάθος 11km, και λέγονται ωκεάνιες αύλακες. Τέλος θα πρέπει να ειπωθεί πως η δημιουργία των γεωμορφών που αναφέραμε είναι προϊόν γεωδυναμικών ανακατατάξεων.

Αντίστοιχα, τα ηπειρωτικά περιθώρια είναι τα ηπειρωτικά τμήματα που περιβάλλουν τους ωκεανούς και θεωρούνται ζώνες μετάβασης από τις ηπείρους στους ωκεανούς. Τα ηπειρωτικά περιθώρια που περιβάλλουν τον Ατλαντικό, τον Ινδικό και τον Ανταρκτικό ωκεανό παρουσιάζουν σχετική σεισμική ηρεμία, με πολύ λίγους σεισμούς και οι γειτονικές ήπειροι και οι ωκεάνιες λεκάνες δεν παρουσιάζουν ουσιαστική παραμόρφωση. Τα περιθώρια αυτά χαρακτηρίζονται ως παθητικά περιθώρια. Αντίθετα τα περιθώρια που περιβάλλουν τον Ειρηνικό ωκεανό, παρουσιάζουν έντονη σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα και χαρακτηρίζονται από υψηλές οροσειρές και βαθιές υποθαλάσσιες αύλακες και λέγονται ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια. Ζώνες με σεισμική δραστηριότητα, που συνοδεύεται από ηφαίστεια και ωκεάνιες αύλακες και βρίσκονται μακριά από τις ηπείρους, λέγονται ωκεάνια τόξα. Οι ζώνες αυτές αποτελούν ενεργά περιθώρια και δείχνουν ότι δεν είναι απαραίτητη η παρουσία μιας γειτονικής ηπείρου για τον σχηματισμό ενός ενεργού περιθωρίου.

Τα περιθώρια εκατέρωθεν των ρηγμάτων μετασχηματισμού, που δημιουργούνται στις μεσοωκεάνιες ράχες λέγονται συντηρητικά περιθώρια. Η δημιουργία των ρηγμάτων μετασχηματισμού φανερώνει οριζόντιες μετατοπίσεις,

κατά μήκος των οποίων η επιφανειακή εμφάνιση του φλοιού δεν αλλάζει, δηλαδή ούτε δημιουργείται νέος φλοιός αλλά ούτε καταστρέφεται.

Κλείνοντας, θα πρέπει να ειπωθεί πως οι ωκεάνιες λεκάνες δεν έχουν ενιαία μορφολογία, αλλά καθορίζεται από τη θέση και τη φύση των πετρωμάτων που τις αποτελούν. Οι ωκεάνιοι πυθμένες που περιβάλλουν τα ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια παρουσιάζουν έντονο ανάγλυφο, ενώ αυτοί που γειτονεύουν με παθητικά ηπειρωτικά περιθώρια αποτελούν ομαλές αβυσσικές πεδιάδες, που καλύπτονται από ιζήματα μεγάλου πάχους, με μερικά υποθαλάσσια βουνά και αυλάκια. Από γεωλογικής πλευράς οι ενεργές ράχες και οι βαθιές ωκεάνιες λεκάνες αποτελούν την ωκεάνια περιοχή, ενώ η κρηπίδα ανήκει στην ήπειρο και τα ηπειρωτικά περιθώρια θεωρούνται ως ζώνη μετάβασης από τις ηπείρους στους ωκεανούς. Όσον αφορά δε στα ηπειρωτικά περιθώρια, στα παθητικά δεν υπάρχει καμιά τεκτονική δραστηριότητα, ενώ στα ενεργά είναι η έδρα των γεωδυναμικών φαινομένων (Αλεξούλη – Λειβαδίτη, 2008)

#### **4.4 Ορυκτά**

Η Γεωλογική Ωκεανογραφία είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση και καταγραφή των ορυκτών, καθώς είναι ο θεμέλιος λίθος της αναγνώρισης των πετρωμάτων που απαρτίζουν τον ωκεάνιο βυθό και επομένως καθιστούν ευκολότερη την μελέτη τους ως προς την προέλευσή τους και την κίνηση του βυθού. Ως ορυκτό ορίζεται ένα στερεό ανόργανο σώμα που έχει ορισμένο χημικό τύπο και καθορισμένη τρισδιάστατη κρυσταλλική δομή, με ορισμένες ανυσματικές ιδιότητες.

Τα ορυκτά συνίστανται από ένα ή περισσότερα από τα 94 χημικά στοιχεία που απαντώνται ελεύθερα στο στερεό φλοιό. Απ' αυτά τα κυριότερα είναι τα ακόλουθα 12: O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, H, Mn, και P που συγκροτούν το 99,23% της μάζας του. Τα στοιχεία αυτά δημιουργούν ενώσεις και δίνουν τα ορυκτά. Τα γνωστά σήμερα ορυκτά ξεπερνούν τις 6.500 και κάθε χρόνο αναγνωρίζεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός ορυκτών. Από αυτά τα 250 περίπου αποτελούν τα κύρια συστατικά των πετρωμάτων και χαρακτηρίζονται ως πετρογενετικά. Ανάλογα με το δομικό συγκρότημα που τα χαρακτηρίζει κατατάσσονται σε ομάδες. Οι κυριότερες είναι: πυριτικά, οξείδια, σουλφίδια και ανθρακικά (Αλεξούλη – Λειβαδίτη, 2008)

## **Πυριτικά ορυκτά**

Τα πυριτικά ορυκτά είναι η πιο μεγάλη ομάδα ορυκτών και αποτελούν το 90% της μάζας του φλοιού. Δημιουργούνται από τη ένωση των στοιχείων οξυγόνου και πυριτίου που παράγουν το πυριτικό τετράεδρο  $(\text{SiO}_4)_4^-$ , που είναι το θεμελιώδες δομικό συστατικό των πυριτικών ορυκτών. Τα πυριτικά ορυκτά διακρίνονται σε τέσσερις υποομάδες στις οποίες ανήκουν οι άστριοι, ο ολιβίνης, οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι χλωρίτες, οι μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά.

## **Αργιλικά ορυκτά**

Τα αργιλικά ορυκτά είναι πολύ λεπτοκοκκώδη έως στιφρά (με μέγεθος 0,01-0,001mm). Έχουν παρόμοια κρυσταλλική δομή με τους μαρμαρυγίες. Αργιλικά ορυκτά είναι ο μοντμοριλονίτης, ο ιλίτης, ο σμεκτίτης, ο καολινίτης κλπ. Είναι λευκά αλλά ανάλογα με τις προσμίξεις παρουσιάζουν διάφορα χρώματα. Τα αργιλικά ορυκτά μπορούν να διακριθούν μεταξύ τους μόνο ακτινοσκοπικά, ενώ η διάκριση από άλλα ορυκτά γίνεται εύκολα με τη χρήση ορισμένων χαρακτηριστικών τους ιδιοτήτων. Έχουν φυλλώδη κρυσταλλική δομή που οφείλεται στη στρωματοειδή πλεγματική δομή. Αποτελούν κύρια συστατικά των αργίλων και των πηλών, στα οποία προσδίδουν και τις ιδιότητες που παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη μηχανική συμπεριφορά τους.

## **Θειικά Ορυκτά**

i) Γύψος ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Είναι ινώδης και λεπτοκοκκώδης. Σε συμπαγείς λεπτοκοκκώδεις μάζες ονομάζεται αλάβαστρο, που σε λεπτά φύλλα έχει μεγάλη διαφάνεια και το χρησιμοποιούσαν ως τζάμι. Είναι άχρωμη αλλά οι προσμίξεις της προσδίδουν διάφορα χρώματα. Συναντάται σε ιζηματογενή κοιτάσματα στην Ήπειρο, στη Ζάκυνθο, στην Κρήτη και αλλού. Χρησιμοποιείται στην οικοδομική ως δομικός λίθος (γυψοσανίδες), στη γλυπτική, στη βιομηχανία τσιμέντου, λιπασμάτων, στην παραγωγή θειικού οξέος, κλπ.

ii) Ανυδρίτης ( $\text{CaSO}_4$ ). Συναντάται σε ιζηματογενή κοιτάσματα μαζί με τη γύψο, τους δολομίτες και το ορυκτό άλας. Απορροφά νερό και μετατρέπεται σε γύψο με

σύγχρονη αύξηση του όγκου. Χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τσιμέντου και ως διακοσμητικός λίθος.

### **Ανθρακικά Ορυκτά**

Στην ομάδα αυτή ανήκουν ο ασβεστίτης, ο αραγωνίτης, ο δολομίτης και ο μαγνησίτης.

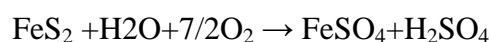
Ασβεστίτης - Αραγωνίτης ( $\text{CaCO}_3$ ): Είναι λευκά ή άχρωμα και ανάλογα με τις προσμίξεις παίρνουν διάφορα χρώματα. Τον ασβεστίτη συνήθως τον συναντάμε σε μικροκρυσταλλική ή κοκκώδη μορφή, αλλά σε κατάλληλες συνθήκες αναπτύσσει πολύ ωραίους κρυστάλλους με ρομβοεδρική μορφή, που είναι στο τριγωνικό σύστημα κρυστάλλωσης. Σε υψηλότερη θερμοκρασία σχηματίζει στηλοειδείς και βελονοειδείς κρυστάλλους του ρομβικού συστήματος κρυστάλλωσης και αποτελεί τον αραγωνίτη, ο οποίος είναι σε ασταθή μορφή και μεταπίπτει σε ασβεστίτη.

Δολομίτης ( $\text{MgCa}(\text{CaCO}_3)_2$ ): Είναι όμοιος με τον ασβεστίτη και σχηματίζεται σε ιζηματογενή περιβάλλοντα. Ο δολομίτης είναι το κύριο ορυκτολογικό συστατικό του ομώνυμου πετρώματος. Διαλύεται στα οξέα αλλά δυσκολότερα από τον ασβεστίτη. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή πυρίμαχων υλικών και στην οικοδομική. Θεωρείται μεταλλευτικό ορυκτό κατά τη νομοθεσία και όχι λατομικό.

Μαγνησίτης ( $\text{MgCO}_3$ ): Όπως ο ασβεστίτης κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα και είναι λευκός. Σχηματίζεται από υδροθερμικά διαλύματα και συναντάται στα μεταμορφωσιγενή πετρώματα.

### **Θειούχα ορυκτά του σιδήρου**

Σιδηροπυρίτης-Μαρκασίτης ( $\text{FeS}_2$ ) - Μαγνητοπυρίτης ( $\text{FeS}$ ): Είναι μεταλλικά ορυκτά με βρονζοκίτρινο χρώμα. Ο σιδηροπυρίτης και ο μαρκασίτης είναι πολύμορφα, ο πρώτος κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα και ο δεύτερος στο ρομβικό. Περιέχονται σε ασήμαντες ποσότητες στα πετρώματα αλλά είναι βλαβερά. Σε επαφή με τον υγρό αέρα διασπώνται



Ο  $\text{FeSO}_4$  σχηματίζει πάλι θειικό οξύ και λειμονίτη. Το θειικό οξύ είναι βλαβερό στο σκυρόδεμα και μετατρέπει τα ορυκτά σε άλλες ενώσεις πχ. τον ασβεστίτη σε γύψο. Ο λειμονίτης δημιουργεί καστανές κηλίδες σε δομικούς λίθους, όπως σε μάρμαρα επενδύσεων (Αλεξούλη – Λειβαδίτη, 2008)

#### 4.5 Πετρώματα

Ως πέτρωμα ορίζεται ένα φυσικό συσσωμάτωμα ενός ή πολλών διαφορετικών ορυκτών ή άμορφων υλικών, όπως είναι το ηφαιστειακό γυαλί. Τα πετρώματα που αποτελούνται από ένα ορυκτό καλούνται μονόμικτα, ενώ αν αποτελούνται από περισσότερα ορυκτά πολύμικτα. Τα πετρώματα μπορεί να δημιουργηθούν με κρυστάλλωση των ορυκτών τους από το μάγμα ή από διαλύματα, με συνεκτικοποίηση και διαγένεση κόκκων διαφόρων ορυκτών ή από μεταμόρφωση προϋπαρχόντων πετρωμάτων σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων.

Τα πετρώματα ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τα εκρηξιγενή ή μαγματικά πετρώματα που σχηματίζονται με στερεοποίηση του μάγματος, υλικού που προέρχεται από τον μανδύα κατά την ψύξη του στο εσωτερικό του φλοιού ή στην επιφάνεια της Γης
- Τα ιζηματογενή πετρώματα που σχηματίζονται στην επιφάνεια της γης με συνεκτικοποίηση χαλαρών συστατικών ή κρυστάλλωση διαλυμάτων που προέρχονται από καταστροφή προϋπαρχόντων πετρωμάτων
- Τα μεταμορφωσιγενή ή κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα που σχηματίζονται από αλλαγές στην ορυκτολογική ή χημική σύσταση στον ιστό και στην υφή προϋπαρχόντων πετρωμάτων όταν βρεθούν κάτω από συνθήκες υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών.

Κλείνοντας θα πρέπει να ειπωθεί πως ο στερεός φλοιός της Γης αποτελείται κατά το 95% από εκρηξιγενή πετρώματα ενώ τα ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή συμμετέχουν μόνο στο 5%. Η δε επιφάνεια της γης αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από ιζηματογενή πετρώματα (Αλεξούλη – Λειβαδίτη, 2008).

## 4.6 Μαγνητισμός και πετρώματα.

Η Γεωλογική Ωκεανογραφία έχει ως πεδίο μελέτης της και τον προσδιορισμό της ηλικίας των πετρωμάτων. Για να γίνει ο προσδιορισμός της ηλικίας, μια πολύ σημαντική ιδιότητα των πετρωμάτων που μελετάται, είναι ο μαγνητισμός. Με τη μελέτη των μαγνητικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων προκύπτουν πολύ σημαντικά στοιχεία τόσο για την ένταση όσο και για τη φορά του γήινου μαγνητικού πεδίου και αυτό αποτελεί και τη βάση του παλαιομαγνητισμού.

Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα μη σιδηρούχα ορυκτά, δεν είναι μαγνητικά στις θερμοκρασίες επιφάνειας. Κάθε μαγνητικό ορυκτό, έχει μια θερμοκρασία Κιουρί, κάτω από την οποία, παραμένει μαγνητικό, αλλά επάνω από αυτή, χάνει τις μαγνητικές του ιδιότητες. Η θερμοκρασία Κιουρί, ποικίλλει από ορυκτό σε ορυκτό, αλλά είναι πάντα κατώτερη, από τη θερμοκρασία τήξης του ορυκτού. Για τα περισσότερα ορυκτά η θερμοκρασία αυτή είναι περίπου 500° C. Το καυτό μάγμα, επομένως δεν είναι μαγνητικό, αλλά καθώς ψύχεται και στερεοποιείται, τα σιδηρομαγνησιούχα πυριτικά άλατα και άλλα σιδηρούχα ορυκτά που κρυσταλλώνονται από αυτό, αποκτούν μαγνήτιση και τείνουν να παραταχθούν κατά την ίδια διεύθυνση, όπως οι μαγνητικές βελόνες των πυξίδων, παράλληλα στις δυναμικές γραμμές του γήινου μαγνητικού πεδίου, με φορά από βορά προς νότο και δείχνουν το μαγνητικό βόρειο πόλο. Τα ορυκτά διατηρούν τον εσωτερικό μαγνητικό προσανατολισμό τους, εκτός αν ξαναθερμανθούν

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '50, έγιναν οι πρώτες μεγάλης κλίμακας έρευνες, για τις μαγνητικές ιδιότητες του ωκεάνιου πυθμένα, ο οποίος αποτελείται κατά ένα μεγάλο μέρος από το βασάλτη, ένα ηφαιστειακό πέτρωμα πλούσιο σε σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά. Οι έρευνες έδωσαν ένα εντελώς απροσδόκητο αποτέλεσμα. Ο πυθμένας του ωκεανού βρέθηκε ότι αποτελείται από εναλλασσόμενες "λουρίδες" ή ζώνες με πετρώματα κανονικά και ανάστροφα μαγνητισμένα, που ήταν διαταγμένα συμμετρικά ως προς τις ωκεάνιες ράχες

Αυτό φάνηκε τόσο απίστευτο ώστε υπέθεσαν ή ότι τα όργανα ήταν ελαττωματικά, ή οι μετρήσεις λάθος. Εντούτοις, και άλλες μελέτες έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα. Για αρκετά χρόνια οι γεωλόγοι προσπάθησαν να βρουν μια πειστική εξήγηση, για αυτές τις πολύ περίεργες παρατηρήσεις. Το 1963 προτάθηκε



από την ομάδα F. J. Vine και D:C. Matthews, και ανεξάρτητα, από τον L. W. Morley η ακόλουθη εξήγηση.

Οι μαγνητικές λουρίδες θα μπορούσαν να εξηγηθούν ως αποτέλεσμα της διεύρυνσης του ωκεάνιου πυθμένα, εξ αιτίας της απομάκρυνσης των λιθοσφαιρικών πλακών, εκατέρωθεν της ωκεάνιας ράχης. Εάν η ωκεάνια λιθόσφαιρα έσπαζε και οι πλάκες αποχωρίζονταν, στο σημείο αυτό της λιθόσφαιρας θα άρχιζε να ανοίγει μια ρωγμή. Μια τέτοια ρωγμή, βάθους περίπου 50 χιλιομέτρων, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης στο υποκείμενο τμήμα με συνέπεια εκτεταμένη τήξη του μάγματος στην ασθενόσφαιρα. Το μάγμα ανεβαίνει, ψύχεται και στερεοποιείται, και δίνει το νέο βασαλτικό πέτρωμα, που μαγνητίζεται κατά την επικρατούσα διεύθυνση του γήινου μαγνητικού πεδίου. Εάν οι πλάκες συνεχίσουν να απομακρύνονται, τότε και το νέο πέτρωμα θα χωριστεί και θα δημιουργηθεί μια νέα λουρίδα βασάλτη. Εάν, κατά τη διάρκεια της διεύρυνσης του θαλάσσιου πυθμένα, η πολικότητα του γήινου μαγνητικού πεδίου αντιστραφεί, τα πετρώματα που θα δημιουργηθούν μετά από την αντιστροφή, είναι αντίθετα μαγνητισμένα από εκείνα που διαμορφώθηκαν πριν απ' αυτήν. Ο ωκεάνιος πυθμένας είναι μια συνεχής ακολουθία βασαλών, που διαμορφώνεται στη διάρκεια δεκάδων ή εκατοντάδων εκατομμυρίων ετών. Στο διάστημα αυτό εν τω μεταξύ, έχουν υπάρξει δωδεκάδες αναστροφές πολικότητας και οι βασάλτες των ωκεάνιων πυθμένων έχουν λειτουργήσει, ως όργανο καταγραφής μαγνητικών ταινιών κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου και αποτελούν ένα αρχείο με τις αναστροφές πολικότητας στις εναλλασσόμενες ζώνες από κανονικά και αντίστροφα μαγνητισμένα πετρώματα.

Οι ηλικίες των βασαλών των ωκεάνιων πυθμένων αποτελούν άλλο ένα στοιχείο για την υποστήριξη αυτής της θεωρίας, δηλ. της διάνοιξης του ωκεάνιου πυθμένα. Ο χρόνος, στον οποίο ένα εκρηξιγενές πέτρωμα, όπως ο βασάλτης, στερεοποιήθηκε, μπορεί να καθοριστεί με ειδικές μεθόδους. Προσδιορίστηκε η ηλικία πολλών δειγμάτων βασάλτη από τους ωκεάνιους πυθμένες και σε όλες τις περιπτώσεις προέκυψε ότι τα νεότερα πετρώματα του πυθμένα των ωκεανών βρίσκονται κοντά στις ωκεάνιες ράχες και όσο μακρύτερα βρίσκεται κάποιος από αυτές τόσο πιο πιθανό είναι να συναντά σταδιακά σε κάθε πλευρά παλιότερα πετρώματα, και προκύπτει ένα συμμετρικό σχήμα αντίστοιχο προς αυτό με τις μαγνητικές λουρίδες, δεξιά και αριστερά των μεσοωκεάνιων ράχων (Αλεξούλη – Λειβαδίτη, 2008)

#### 4.7 Όργανα που χρησιμοποιούνται στην Γεωλογική Ωκεανογραφία

##### Ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης

Η αρχή λειτουργίας των ηχοβολιστών πλευρικής σάρωσης (side scan sonar) είναι παρόμοια με την αρχή λειτουργίας των βυθομέτρων. Ο ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης, όπως και το βυθόμετρο, αποτελείται από ένα πομπό και ένα δέκτη, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι μέσα σε μια ημιπλωτή συσκευή σχήματος τορπίλης (fish) που ρυμουλκείται από το σκάφος και η οποία συνδέεται με τον καταγραφέα με ένα ηλεκτρικό καλώδιο. Ο πομπός εκπέμπει ηχητικά κύματα εκατέρωθεν του επιμήκους άξονα της τορπίλης, έτσι ώστε να σχηματίζεται μια ευρεία κωνική δέσμη ήχου. Η τομή της κωνικής δέσμης με τον πυθμένα είναι η ζώνη σάρωσης της συσκευής. Κάθε ανακλώμενο κύμα από τη ζώνη αυτή προσλαμβάνεται από το δέκτη και καταγράφεται έτσι ώστε να δίνει μια εικόνα του πυθμένα ή μια ηχογραφία (sonograph) του πυθμένα.

Οι έρευνες με τους ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης έχουν σαν σκοπό: α) την αποτύπωση του ανάγλυφου του πυθμένα (ύφαλοι, κατολισθήσεις, αμμόδεις θίνες (sand waves), χαλικοαμμόδεις ραβδώσεις (sand ribbons), β) την κατανομή των σύγχρονων ιζημάτων, γ) τον εντοπισμό ναυάγιων, αγκύρων δ) τον έλεγχο υποθαλάσσιων αγωγών, καλωδίων και άλλων θαλάσσιων εγκαταστάσεων (Φερεντίνος, 1985).

##### Αρχή λειτουργίας

Η κωνική δέσμη, την οποία εκπέμπουν οι ηχοβολιστές πλευρικής σάρωσης σε κάθετη τομή αποτελείται από δύο κύριους λοβούς, καθένας από τους οποίους έχει ένα εύρος βολής μεταξύ 20° και 25° και δύο δευτερεύοντες λοβούς που πλησιάζουν προς την κατακόρυφο. Το εύρος της ηχητικής δέσμης είναι από 1° έως 2° ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η τομή μιας τέτοιας δέσμης ηχητικών κυμάτων σχηματίζει με τον οριζόντιο πυθμένα της θάλασσας δύο ορθογώνια παραλληλόγραμμα (ένα από κάθε πλευρά). Η περιοχή, η καλυμμένη από το παραλληλόγραμμα, ανακλά τον προσπίπτοντα ηχητικό παλμό. Ο κάθε ανακλώμενος παλμός προσλαμβάνεται και καταγράφεται πάνω σε ηλεκτρο-ευαίσθητο χαρτί με τη σειρά άφιξής του σε ένα σημείο, που αναλογεί στο χρόνο που έκανε ο παλμός να διανύσει την απόσταση πομπός – πυθμένας – δέκτης. Η απόσταση καταγραφής των τμημάτων μεταξύ των

γραμμών αυτών στο χαρτί εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής της ηλεκτρικής λεπίδας καταγραφής. Καθώς το πλοίο προχωρά, διαδοχικά παραλληλόγραμμα σαρώνονται από την ηχητική δέσμη και τελικά στο καταγραφικό χαρτί στοιχειοθετείται μια ηχογραφική εικόνα του ανάγλυφου του πυθμένα (Φερεντίνος, 1985).

### Σχηματισμός της ηχογραφικής εικόνας

Η ηχογραφία αποτελείται από δύο λωρίδες. Κάθε μια λωρίδα αντιπροσωπεύει τη ζώνη σάρωσης εκατέρωθεν του επιμήκους άξονα της πορείας του πλοίου. Το εύρος σάρωσης κάθε λωρίδας κυμαίνεται από 100 έως 500 μ και ρυθμίζεται ανάλογα με την απαιτούμενη κλίμακα της έρευνας. Οι λωρίδες είναι διαιρεμένες σε ίσα χρονοδιαστήματα. Κατά τον επιμήκη άξονα της ηχογραφίας και από τις ανακλάσεις που προέρχονται από κάθε ένα από τους δευτερεύοντες λοβούς χαράσσεται σε κάθε λωρίδα το προφίλ του πυθμένα. Επίσης, χαράσσεται η θέση της τορπίλης σε σχέση με τον πυθμένα και με την επιφάνεια της θάλασσας.

Ο σχηματισμός της ηχογραφικής εικόνας βασίζεται στη διαφορετική ένταση των κυμάτων που προσλαμβάνονται από το δέκτη μετά την ανάκλασή τους στον πυθμένα. Η ένταση των προσλαμβανόμενων κυμάτων εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηχητικών ακτινών και την ακουστική αγωγιμότητα των ιζημάτων, που καλύπτουν τον πυθμένα. Τα προσλαμβανόμενα ηχητικά κύματα μετατρέπονται σε ηλεκτρικά, καθώς η ηλεκτρική λεπίδα περιστρέφεται γύρω από το ήλεκτρο – ευαίσθητο χαρτί που το στιγματίζει. Ο τόνος κάθε στίγματος εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος (Φερεντίνος, 1985).

### Χαρακτηριστικά των συσκευών πλευρικής σάρωσης

Η ηχογραφία αποτελεί μια δισδιάστατη απεικόνιση του πυθμένα για αυτό η διακριτική ικανότητα των συσκευών πλευρικής σάρωσης δίνεται ως προς τον επιμήκη άξονα (πορεία του πλοίου) και ως προς τον εγκάρσιο άξονα.

Η διακριτική ικανότητα –X- ως προς τον επιμήκη άξονα εξαρτάται από τη γωνία –θ- της δέσμης ως προς το οριζόντιο επίπεδο, την ταχύτητα του ήχου –υ-, την χρονοαπόσταση (πλάγια απόσταση) του αντικειμένου από τον πομπό – t – και δίνεται από τον τύπο:

$$X = v t \varepsilon \varphi^{\theta/2}$$

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι όσο μακρύτερα είναι το αντικείμενο από τον επιμήκη άξονα της ζώνης σάρωσης, τόσο μικρότερη είναι η διακριτική ικανότητα του ηχοβολιστού πλευρικής σάρωσης.

Η διακριτική ικανότητα  $-\psi-$  ως προς τον εγκάρσιο άξονα εξαρτάται από τη διάρκεια του παλμού  $-I-$ , την ταχύτητα του ήχου  $-v-$ , τη χρονοαπόσταση του αντικειμένου από τον πομπό  $-t-$  και την απόσταση του πομπού από τον πυθμένα  $-h-$  και δίνεται από τον τύπο:

$$\Psi = 1 v t / 2(v^2 t^2 - 4h^2)^{1/2}$$

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι για ένα δοσμένο ύψος του πομπού πάνω από τον πυθμένα, η διακριτική ικανότητα βελτιώνεται όσο μακρύτερα είναι το αντικείμενο από τον επιμήκη άξονα της ζώνης σάρωσης. Η διακριτική ικανότητα εξαρτάται επίσης από την ποιότητα του καταγραφέα και την ήλεκτρο - ευαισθησία του χαρτιού (Φερεντίνος, 1985).

## 5. Βιολογική Ωκεανογραφία

Ο κλάδος της Βιολογικής Ωκεανογραφίας είναι ο τομέας που επικεντρώνεται στη μελέτη του θαλάσσιου περιβάλλοντος, θεωρώντάς το ως ένα σύστημα που περιλαμβάνει βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες. Ως αβιοτικοί παράγοντες μπορούν να θεωρηθούν οι ιδιότητες (φυσικές και χημικές) του θαλασσινού νερού, οι οποίες έχουν σημαντικές βιολογικές επιπτώσεις. Αντίστοιχα ως βιοτικοί παράγοντες θα πρέπει να λογίζονται όλοι οι θαλάσσιοι οργανισμοί, οι οποίοι ουσιαστικά αποτελούν το τροφικό πλέγμα των ωκεανών, αλλά και όλες οι διεργασίες στις οποίες συμμετέχουν. Πιο συγκεκριμένα ως στόχοι μελέτης της Βιολογικής Ωκεανογραφίας θα πρέπει να λογίζονται όλοι οι οργανισμοί (βακτήρια, φυτά, σπόγγοι, ιχθύες, θηλαστικά και ερπετά) ανεξαρτήτου μεγέθους (από τα βακτήρια και τους φυτοπλαγκτονικούς οργανισμούς έως τις φάλαινες) που δημιουργούν κοινωνίες είτε στην στήλη του νερού, είτε σε διάφορα βάθη των ωκεάνιου φλοιού. Επίσης, μελετάται η παραγωγή βιομάζας, η φωτοσύνθεση, οι θαλάσσιοι βιοχώροι, γνωστοί και ως ενδιαιτήματα καθώς και η σύνθεση της εκάστοτε θαλάσσιας βιολογικής κοινότητας.

Το ενδιαφέρον που παρουσιάζεται για τον αριθμό και τη διασπορά των θαλάσσιων οργανισμών, έγκειται στο γεγονός ότι η διασπορά των οργανισμών που ζουν στους ωκεανούς είναι εξαιρετικά ανομοιογενής, δεδομένου ότι τόσο η ποικιλία των ειδών όσο και ο αριθμός των ατόμων ενός και του αυτού είδους που ζουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή επηρεάζονται από τη θερμοκρασία. Αποτέλεσμα αυτού, είναι να υπάρχει μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της ποικιλίας των ειδών ή/και του αριθμού των ατόμων ενός και του αυτού είδους και του γεωγραφικού πλάτους ή/και του βάθους. Έτσι, για παράδειγμα, είναι γνωστά σήμερα περίπου 180.000 είδη ζώων που ζουν στο βυθό των ωκεανών από τα οποία μόνο 1.200 απαντούν πέρα των 3.000 m βάθους, 160 πέρα των 6.000 m και 50 πέρα των 9.000 m.

Επίσης, ο αριθμός πλαγκτικών οργανισμών που περιέχεται σε  $1 \text{ m}^3$  νερού σε βάθος 500 – 600 m είναι ίσος με το 1/3 αυτού που μετράται στα 0 – 50 m, ενώ στα 6.000 m φθάνει το 1/50 και στα 10.000 m το 1/500. Με την ίδια λογική η μέση ποσότητα ζωντανής οργανικής ύλης που φτάνει μερικές εκατοντάδες γραμμάρια ανά  $\text{m}^3$  στο επίπεδο της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας, περιορίζεται σε μερικά mg σε 10.000 m βάθος

Ένα ακόμα πεδίο μελέτης της Βιολογικής Ωκεανογραφίας είναι η σύσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Πιο συγκεκριμένα, στο θαλάσσιο οικοσύστημα, όπως και στο χερσαίο, η τροφική αλυσίδα αποτελείται από παραγωγούς και από καταναλωτές. Παραγωγοί είναι όλοι οι υδρόβιοι φυτικοί οργανισμοί που έχουν χλωροφύλλη και είναι ικανοί, χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα ανόργανα ιόντα, να συνθέτουν οργανικές ουσίες, δηλαδή πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λίπη. Ο ρυθμός με τον οποίο συντίθενται οι οργανικές αυτές ουσίες είναι γνωστός σαν πρωτογενής παραγωγικότητα και μετράται με το βάρος του οργανικού άνθρακα που παράγεται από τους παραγωγούς ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας ή ανά μονάδα όγκου ύδατος. Το μεγαλύτερο μέρος της πρωτογενούς παραγωγής οφείλεται στους φυτοπλακτικούς οργανισμούς, η βιομάζα των οποίων εκφράζεται ως βάρος άνθρακα ανά μονάδα όγκου ή ανά μονάδα επιφάνειας ύδατος. Πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός της πρωτογενούς παραγωγικότητας χρησιμοποιούνται και οι όροι της ολικής πρωτογενούς παραγωγικότητας και της πραγματικής πρωτογενούς παραγωγικότητας. Η ολική πρωτογενής παραγωγικότητα αναφέρεται στο ποσό του άνθρακα που παράγεται από τη φωτοσύνθεση. Η πραγματική πρωτογενής παραγωγικότητα προκύπτει όταν από την ολική αφαιρεθεί το ποσό του άνθρακα που καταναλώθηκε κατά την αναπνοή των φυτοπλακτικών οργανισμών, δηλαδή αναφέρεται στον ρυθμό παραγωγής οργανικής (φυτικής) ύλης.

Αντίστοιχα, καταναλωτές είναι όλοι οι ζώντες οργανισμοί οι οποίοι τρέφονται με οργανική ύλη φυτικής ή ζωικής προέλευσης. Όπως και στο χερσαίο οικοσύστημα, διακρίνονται τρεις βαθμίδες καταναλωτών, οι πρωτογενείς που τρέφονται από φυτοπλακτόν, οι δευτερογενείς που τρέφονται από τους πρωτογενείς καταναλωτές, και οι τριτογενείς που τρέφονται από τους δευτερογενείς καταναλωτές αντίστοιχα. Στην πρώτη βαθμίδα ανήκουν κυρίως οι ζωοπλακτικοί οργανισμοί, στη δεύτερη ζωοπλακτοφάγα ψάρια και στην τρίτη τα σαρκοφάγα ψάρια.

Ωστόσο, ο κλασικότερος τρόπος διαίρεσης των θαλάσσιων οργανισμών είναι αυτός που βασίζεται στο ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο ζουν και κινούνται. Με βάση αυτή τη λογική, διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες οργανισμών: οι βενθικοί και οι πελαγικοί

Βενθικοί είναι όλοι οι οργανισμοί που ζουν ή/και κινούνται πολύ πλησίον του βυθού. Για τους οργανισμούς που ζουν και κινούνται πολύ πλησίον του βυθού χρησιμοποιείται και ο όρος νηκτοβένθος, ενώ έχουν καθιερωθεί οι όροι φυτοβένθος

και ζωοβένθος για το χαρακτηρισμό του συνόλου των φυτικών και ζωικών βενθικών οργανισμών αντίστοιχα.

Πελαγικοί είναι όλοι οι οργανισμοί που ζουν και κινούνται μέσα στη στήλη του νερού από την επιφάνεια μέχρι τον πυθμένα των ωκεανών και των θαλασσών. Βέβαια ο χαρακτηρισμός αυτός είναι πολύ γενικός δεδομένου ότι συμπεριλαμβάνονται στην ίδια κατηγορία μικροσκοπικοί μονοκύτταροι οργανισμοί και πολυκύτταροι, μεγάλων διαστάσεων. Γι' αυτό οι πελαγικοί οργανισμοί διακρίνονται περαιτέρω με κριτήριο την αυτονομία κινήσεώς τους σε σχέση με τις κινήσεις του νερού, σε δύο μεγάλες υποκατηγορίες: το πλαγκτόν και το νηκτόν.

Πλαγκτικοί είναι όλοι οι οργανισμοί οι οποίοι μεταφέρονται παθητικά με την κίνηση των θαλάσσιων μαζών. Η ίδια κίνησή τους συνίσταται σε κατακόρυφες μεταναστεύσεις οι οποίες συνδέονται με τη διαδοχή φωτός – σκότους κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Για τους φυτικούς πλαγκτικούς οργανισμούς έχει καθιερωθεί ο όρος φυτοπλαγκτόν, ενώ για τους ζωικούς χρησιμοποιείται ο όρος ζωοπλαγκτόν.

Ο όρος νηκτόν χρησιμοποιείται για τους θαλάσσιους ζωικούς οργανισμούς που έχουν την ικανότητα να κολυμπούν και να κινούνται με ευχέρεια ανεξάρτητα από τον τρόπο κίνησης των υδάτων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν διάφορα είδη κεφαλοπόδων, μερικά δεκάποδα, τα περισσότερα ψάρια και όλα τα κητώδη. Ωστόσο, στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως μερικοί ωκεανολόγοι διακρίνουν, στο πελαγικό επίπεδο, δύο άλλες, μικρότερες, κατηγορίες οργανισμών: το νευστόν και το πλευστόν.

Ο όρος νευστόν χρησιμοποιείται για όλους τους οργανισμούς που ζουν στην επιφανειακή μεμβράνη των θαλάσσιων μαζών. Μερικοί από τους οργανισμούς αυτούς επιπλέουν ή κινούνται στην επιφάνεια του νερού (π.χ. ημίπτερα του γένους *Halobates*) εκμεταλλευόμενοι την επιφανειακή τάση και είναι γνωστοί σαν επινευστόν, ενώ άλλοι (π.χ. μερικά μονοκύτταρα φύκη, καρκινοειδή, σκουλήκια, κλπ) ζουν μέσα στο πρώτο cm νερού, αμέσως κάτω από τους προηγούμενους και είναι γνωστοί σαν υπονευστόν.

Ο όρος πλευστόν χρησιμοποιείται για όλους τους οργανισμούς των οποίων ένα τμήμα του σώματος βρίσκεται μέσα και ένα άλλο έξω από το νερό (π.χ. ορισμένα κοιλεντερωτά κνιδόζωα). Κατά τη μετακίνησή τους οι οργανισμοί αυτοί βοηθούνται τόσο από τις αργές κινήσεις του τμήματος του σώματός τους που είναι

βυθισμένο στο νερό όσο και από την ώθηση που δίδει ο άνεμος στο τμήμα που είναι έξω από το νερό (Λυκάκη, 1992).

## 5.1 Πλαγκτόν

Μπορεί οι μικρού μεγέθους πλαγκτονικοί οργανισμοί να μην εντυπωσιάζουν με τις διαστάσεις τους, ωστόσο αποτελούν τον σημαντικότερο κρίκο της αλυσίδας που περιλαμβάνει όλους τους θαλάσσιους ζωντανούς οργανισμούς, για αυτό εξάλλου αποτελούν και αντικείμενο μελέτης της Βιολογικής Ωκεανογραφίας. Σύμφωνα με τους θαλάσσιους βιολόγους, οι κατηγορίες μεγέθους που έχουν συγκρατηθεί διεθνώς είναι οι ακόλουθες πέντε.

α) Το μακροπλαγκτόν που συμπεριλαμβάνει όλους του μικρο-οργανισμούς των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 5 mm μέχρι 5 cm Στην κατηγορία αυτή ανήκουν κυρίως διάφορα νυμφικά και μετανυμφικά στάδια ψαριών και καρκινοειδών.

β) Το μεσοπλαγκτόν στο οποίο κατατάσσονται όλοι οι μικρο-οργανισμοί των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται από 1 μέχρι 5mm. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται μερικά κωπήποδα και τα προνυμφικά στάδια ορισμένων ψαριών και καρκινοειδών.

γ) Το μικροπλαγκτόν (μέγεθος: 50 μm μέχρι 1 mm ή 50 μm μέχρι 0,5 mm) στο οποίο υπάγονται μόνο ορισμένα διάτομα από τους φυτοπλαγκτικούς οργανισμούς, το μεγαλύτερο μέρος των κωπεπόδων και πολλά από τα νεαρά στάδια των μεροπλαγκτικών οργανισμών.

δ) Το νανοπλαγκτόν (μέγεθος: 5 μέχρι 50 μm) στο οποίο υπάγεται η πλειοψηφία των γυμνών μαστιγωτών, τα μικρά διάτομα και δινομαστιγωτά, τα βλεφαριδωτά, οι μικρότερες από τις νύμφες των ασπόνδυλων, κλπ

ε) Το ουλτραπλαγκτόν (μέγεθος: < 5 μm) το οποίο δεν συγκρατείται από τα πλαγκτικά δίχτυα και συμπεριλαμβάνει τα βακτήρια και τα μικρότερα από τα είδη των μαστιγωτών.

Ωστόσο, μερικοί ωκεανολόγοι προσθέτουν στις παραπάνω κατηγορίες το μεγαλοπλαγκτόν στο οποίο συμπεριλαμβάνονται όλοι οι οργανισμοί των οποίων το μέγεθος ξεπερνάει τα 5 cm. (Λυκάκη, 1992).



## 5.2 Βενθικοί Οργανισμοί

Εκτός όμως από τους οργανισμούς που ζουν και δραστηριοποιούνται στην στήλη του νερού, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός οργανισμών που ζουν στον θαλάσσιο βυθό και αλληλεπιδρούν με αυτόν και τους οποίους οι Θαλάσσιοι Βιολόγοι τους διαχωρίζουν ανάλογα με το είδος του βυθού στο οποίο ζουν. Αναλυτικότερα, βενθικοί είναι όλοι οι οργανισμοί που έχουν στενή εξάρτηση από το βυθό (ζουν και κινούνται επί, εντός ή πλησίον βυθού). Διακρίνονται σε φυτοβένθος και σε ζωοβένθος. Το δε ζωοβένθος διακρίνεται σε μικροβένθος, μειοβένθος και μακροβένθος.

Παρατηρείται μια μεγάλη ποικιλία οργανισμών (ψάρια, καρκινοειδή, μαλάκια, σπόγγοι, κοράλια, κλπ) που ζουν στο βενθικό οικοσύστημα, όμως οι επί μέρους βιοκοινωνίες καθορίζονται από τη φύση του υποστρώματος, το οποίο μπορεί να είναι «σκληρό» ή «μαλακό».

Από σκληρό υπόστρωμα χαρακτηρίζονται οι βραχώδεις βυθοί οι οποίοι κατοικούνται από μια μεγάλη ποικιλία οργανισμών που είναι ως επί το πλείστον εδραίοι (σπόγγοι, ανεμώνες, μακροφύκη) ή ημιεδραίοι (θυσσανόποδα, ελασματοβράγχια). Βυθοί με μαλακό υπόστρωμα (λάσπη, άμμο) παρουσιάζουν μικρότερη ποικιλία οργανισμών. Οι βυθοί κοντά στην ξηρά (παράκτιες περιοχές) είναι πλούσιοι σε νεκρή οργανική ύλη και σε φερτά υλικά που προέρχονται από την ξηρά. Αντίθετα, τα ωκεάνια ιζήματα έχουν τελείως διαφορετική σύσταση. Σε γενικές γραμμές διακρίνουμε 3 κατηγορίες ιζημάτων:

- α) Τα ασβεστολιθικά λασπώδη που σχηματίζονται από κελύφη τρηματοφόρων, πτεροπόδων, κλπ. και απαντούν στις θερμές και αβαθείς περιοχές των ωκεανών.
- β) Τα πυριτικά λασπώδη που σχηματίζονται από σκελετούς διατόμων και ακτινοζώων και απαντούν σε βάθη μεγαλύτερα από 5000 μ., όπου το ανθρακικό ασβέστιο διαλύεται υπό την επίδραση των υψηλών υδροστατικών πιέσεων.
- γ) Τα ερυθρά αργιλώδη στα οποία δε διακρίνονται υπολείμματα ζωικών οργανισμών και απαντούν σε βάθη μεγαλύτερα από 5000 μ. Ο βυθός κατοικείται από οργανισμούς σε όλα του τα βάθη όμως τόσο η ποικιλία των ειδών όσο και η βιομάζα μειώνονται με το βάθος κι αυτό γιατί η ποικιλία και η ποσότητα της τροφής είναι περιορισμένη στα μεγάλα βάθη.

Συνήθως η οργανική ύλη που παράγεται στην εύρωτη ζώνη ανακυκλώνεται από την τροφική αλυσίδα της πελαγικής ζώνης ή αποσυντίθεται πριν φτάσει στους βυθούς των ωκεανών. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ύλη που φτάνει στα μεγάλα βάθη να αποτελείται ως επί το πλείστον από άπεπτα συστατικά. Αντίθετα στις αβαθείς περιοχές (ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα) φτάνει αρκετή οργανική ύλη στο βυθό με αποτέλεσμα η παραγωγικότητα του βυθού να είναι υψηλή και να επικρατούν πολλά ηθμοφάγα και ιλυοφάγα ζώα (Fridrich, 1969).

### **5.3 Αλληλεπίδραση περιβάλλοντος και οργανισμών**

Στόχος της Βιολογικής Ωκεανογραφίας δεν είναι μόνο να περιγράψει και να ταξινομήσει τους θαλάσσιους οργανισμούς, αλλά να καταφέρει να επεξηγήσει επαρκώς τόσο την επίδραση που έχει το θαλάσσιο περιβάλλον σ' αυτούς, όσο και το αντίστροφο. Πιο συγκεκριμένα τόσο οι οργανισμοί που ζουν στο βυθό, όσο και αυτοί της θαλάσσιας στήλης επηρεάζονται σημαντικά από τον κυματισμό, τη θερμοκρασία του νερού, την αλατότητά του, την ένταση των ρευμάτων, ακόμα και από την χημική του σύσταση όταν γίνεται αναφορά στα θρεπτικά συστατικά και στις βλαβερές ουσίες, την διαύγεια του νερού, ακόμα και από την κοκκομετρία του βυθού στον οποίο ζουν.

Το πιο σημαντικό όμως είναι να περιγραφούν οι προσαρμογές στις οποίες προχωρούν οι θαλάσσιοι οργανισμοί και ουσιαστικά πρόκειται για τα χαρακτηριστικά τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι αβαθείς περιοχές όπου τα ιζήματα δεν σταθεροποιούνται λόγω της έλλειψης φυτών και διαταράσσονται συνεχώς από τις κινήσεις του νερού και έτσι δεν είναι δυνατή η διαβίωση εδραίων οργανισμών. Η ύπαρξη οργανισμών σε αυτά τα υποστρώματα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα ανόρυξης στοών και τις προσαρμογές τους όσον αφορά την ικανοποίηση βασικών φυσιολογικών αναγκών όπως είναι η πρόσληψη τροφής, η αναπνοή, η μετακίνηση, η αναπαραγωγή και άλλες λειτουργίες.

Βέβαια σε όλα τα παραπάνω μπορεί να προστεθεί μια τεράστια λίστα χαρακτηριστικών, όπως είναι η μορφολογία των πτερυγίων και του σώματος των ιχθύων, που επηρεάζεται από το σημείο στο οποίο ζουν και τις ανάγκες τους για εύρεση τροφής, αναπαραγωγής κ.ά., τους μηχανισμούς κίνησης των πλαγκτονικών οργανισμών στη θαλάσσια στήλη, δεδομένου ότι επηρεάζονται σημαντικά από την

ένταση των ρευμάτων, ακόμα και από τη συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών, που μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα όπου είναι γνωστά ως εξάρσεις φυτοπλαγκτού και πολλά άλλα (Southwood & Henderson, 2000)

## **5.4 Όργανα δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται στην Βιολογική Ωκεανογραφία**

Για τη συλλογή ζωντανών οργανισμών από τους ωκεανούς χρησιμοποιείται μια μεγάλη γκάμα οργάνων δειγματοληψίας, δεδομένου ότι η χρήση τους εξαρτάται από το είδος του οργανισμού, το ενδιαίτημα στο οποίο γίνεται η δειγματοληψία, αλλά και από τις οικονομικές δυνατότητες που έχουν οι ερευνητές.

Αναλυτικότερα, για τη μελέτη των βενθικών οργανισμών συλλέγονται δείγματα οργανισμών και υποστρώματος με όργανα προσαρμοσμένα στον τύπο του υποστρώματος και διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες

α) τους δειγματολήπτες μαλακών υποστρωμάτων όπως είναι αυτός του VAN VEEN που αποτελείται από 2 σιαγόνες που βυθίζονται μέσα στο μαλακό υπόστρωμα και αποσπών ένα δείγμα αυτού που αντιστοιχεί σε επιφάνεια ίση με  $0,1 \text{ m}^2$ . Το δείγμα που λαμβάνεται κοσκινίζεται σε κόσκινα με πόρους διαφορετικού μεγέθους και οι οργανισμοί που συγκρατούνται από τα διάφορα κόσκινα προσδιορίζονται.

β) τις δράγες που αποτελούνται από ένα σκληρό σκελετό στον οποίο προσαρμόζεται ένας δικτυωτός σχηματισμός μέσα στον οποίο συλλέγονται οι οργανισμοί που αποκολλώνται από το βυθό (επιπανίδα) κατά το σύρσιμό του στην επιφάνεια του υποστρώματος.

γ) στην περίπτωση που απαιτείται συλλογή οργανισμών που ζουν πάνω ή κοντά στο βυθό, αλλά δεν είναι εδραίοι, τότε πολλές φορές γίνεται χρήση ειδικών διχτυών, τα οποία σέρνονται από τράτες. Τα εν λόγω δίχτυα έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις, και άνοιγμα ματιού, ενώ πρέπει να σέρνονται πάνω στο βυθό από το σκάφος με συγκεκριμένη ταχύτητα.

Επίσης μελέτη των βενθικών βιοκοινωνιών αρχίζει να γίνεται με τη χρήση κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης με καταδύσεις και με υποβρύχια φωτογράφιση ή κινηματογράφιση, όπου χρησιμοποιούνται ειδικά πλαίσια, γνωστών διαστάσεων, σε

μικρές περιοχές, ώστε να είναι ευκολότερη η αναγωγή των αποτελεσμάτων για μεγαλύτερες εκτάσεις.

Αντίστοιχα, στην περίπτωση που η δειγματοληψία λαμβάνει χώρα στην στήλη του νερού, συνήθως χρησιμοποιούνται πάλι ειδικά δίχτυα, τα χαρακτηριστικά των οποίων όμως και σ' αυτή την περίπτωση εξαρτώνται από το είδος των οργανισμών. Πιο συγκεκριμένα τα δίχτυα που χρησιμοποιούνται για την συλλογή δειγμάτων πλαγκτού, που μπορεί να περιλαμβάνει ακόμα και αυγά οργανισμών, είναι κωνικά, με πολύ μικρό άνοιγμα ματιού, ενώ διαθέτουν και ειδικό φίλτρο που ξεχωρίζει ουσιαστικά τους οργανισμούς με βάση το μέγεθός τους.

Αντίθετα, η συλλογή ιχθύων από την στήλη του νερού απαιτεί μεγαλύτερα δίχτυα ή ορισμένες φορές και τη δημιουργία θαλάσσιων κατασκευών (νταλάνια) μέσα στα οποία εγκλωβίζονται τα ψάρια. Η χρήση τους βέβαια εξαρτάται από το είδος των ψαριών (αφρόψαρα, πελαγικά, βενθικά). Για το λόγο αυτό πολλές φορές γίνεται χρήση διαφορετικών σκαφών, γρι-γρι ή τράτα ή ανεμότρατα και άλλες φορές σέρνονται δίχτυα από την στεριά, όπως είναι για παράδειγμα το ειδικό πειραματικό πεζόβολο (Southwood & Henderson, 2000)

## 6. Συμπεράσματα – Συζήτηση

Δεδομένου ότι η Γη καλύπτεται στο μεγαλύτερο μέρος της από νερό και μάλιστα κατά κύριο λόγο από θαλασσινό νερό, η μελέτη του εν λόγω οικοσυστήματος θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη. Επομένως, μπορεί να ειπωθεί ότι η Ωκεανογραφία ως επιστήμη είναι ιδιαίτερα απαραίτητη, αν συμπεριληφθεί και το γεγονός πως ο άνθρωπος ζει κοντά στο θαλάσσιο περιβάλλον, δραστηριοποιείται κοντά και μέσα σ' αυτό, αλλά τρέφεται και από αυτό.

Αν εστιάσει κανείς στους τέσσερις επιμέρους κλάδους της Ωκεανογραφίας, μπορεί να αντιληφθεί πως πρόκειται για τους σημαντικότερους κλάδους των θετικών επιστημών, μέσα από τους οποίους μπορεί να περιγραφεί ένας μεγάλος αριθμός φαινομένων, οργανισμών και διεργασιών που ζουν και λαμβάνουν χώρα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Αν απομονωθεί και μελετηθεί ο κάθε κλάδος ξεχωριστά, μπορεί να ειπωθεί πως λαμβάνονται δεδομένα τα οποία μοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με αυτά που λαμβάνονται από τους αντίστοιχους κλάδους που δραστηριοποιούνται στην μελέτη του χερσαίου περιβάλλοντος. Οι διαδικασίες που περιγράφει κάθε κλάδος της Ωκεανογραφίας φαίνεται να είναι σχετικά εύκολο να προσδιοριστούν και να περιγραφούν τόσο ποιοτικά, όσο και ποσοτικά. Μάλιστα αν και το θαλάσσιο περιβάλλον παρουσιάζει μεγάλη έκταση και ποικιλία συνθηκών οι χημικοί, φυσικοί και μαθηματικοί τύποι που έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο φαίνεται πως έχουν καλή εφαρμογή στα πεδία μελέτης του κάθε κλάδου ξεχωριστά.

Ωστόσο θα πρέπει να ειπωθεί στο σημείο αυτό, πως η απομόνωση των εκάστοτε τομέων του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορεί να διευκολύνει την κατανόηση των βασικών διεργασιών που συντελούνται σ' αυτό, ωστόσο εμποδίζει την κατανόηση της πραγματικής λειτουργίας ενός συστήματος που είναι ιδιαίτερα περίπλοκο. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να ειπωθεί πως σε όλους τους κλάδους της Ωκεανογραφίας, κατά την συλλογή δεδομένων και μελέτης ενός φαινομένου ή οργανισμού, απαιτείται η ταυτόχρονη εφαρμογή και όλων των υπόλοιπων κλάδων. Μόνο με την συλλογή φυσικών, χημικών, βιολογικών και γεωλογικών δεδομένων, μπορούν να περιγράψουν επαρκώς οι Ωκεανογράφοι το φαινόμενο ή τον οργανισμό που μελετούν.

Ο λόγος που απαιτείται η συλλογή δεδομένων από όλους τους κλάδους της Ωκεανογραφίας είναι ότι η έκταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι ιδιαίτερα

μεγάλη τόσο σε έκταση όσο και σε βάθος, ενώ και ο παράγοντας χρόνος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατάσταση στην οποία βρίσκεται το θαλάσσιο περιβάλλον. Επομένως, μπορεί να ειπωθεί πως το θαλάσσιο περιβάλλον χαρακτηρίζεται από μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα, όσο αναφορά τα φυσικά, χημικά, γεωλογικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του. Παρουσιάζει συνεχώς διαφοροποιήσεις στις καταστάσεις ισορροπίας του, οι οποίες μπορούν να εντοπιστούν τόσο άμεσα (έκρηξη του πληθυσμού του φυτοπλαγκτού, ένας σεισμός κ.ά.) όσο και σε βάθος χρόνου καθώς κάποιες διεργασίες γίνονται με ιδιαίτερα αργούς ρυθμούς που μπορεί να μην γίνονται αντιληπτοί από τον άνθρωπο (κίνηση λιθοσφαιρικών πλακών, δημιουργία υποθαλάσσιων οροσειρών κ.ά.).

Η μεταβλητότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος επηρεάζεται και από το γεγονός ότι υπάρχει έντονη αλληλεπίδραση μεταξύ των ζωντανών θαλάσσιων οργανισμών, του νερού από το οποίο περιβάλλονται, αλλά και των γεωλογικών δομών που σχηματίζονται. Έτσι παραδείγματος χάρη, αν κάποιος ωκεανογράφος επιθυμεί να μελετήσει ένα συγκεκριμένο είδος ψαριού, δεν θα πρέπει να περιοριστεί μόνο στη μελέτη των βιολογικών δραστηριοτήτων του (τροφή, αναπαραγωγή κ.ά.) ή μόνο στη μελέτη της βιοκοινωνίας στην οποία αυτό ζει. Είναι υποχρεωμένος να συλλέξει δεδομένα που θα αφορούν τη χημική σύσταση του νερού, όπως είναι το pH, η αλατότητα και οι διακυμάνσεις της, ώστε να γνωρίζει πώς αυτές οι μεταβλητές επηρεάζουν τη βιολογία του. Επιπλέον, θα πρέπει να συλλέξει δεδομένα που αφορούν τη θερμοκρασία, την ένταση του νερού, τη διαύγεια του, ώστε να μπορεί να εντοπίσει εάν κάποια μεταβολή στις εν λόγω παραμέτρους μπορεί να εξηγήσει κάποια ασυνήθιστη συμπεριφορά του οργανισμού ή κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του. Στην περίπτωση μάλιστα που ο υπό μελέτη οργανισμός χαρακτηρίζεται ως βενθικός, ο ερευνητής θα πρέπει να συλλέξει και γεωλογικά δεδομένα που θα τον βοηθήσουν να ερμηνεύσει το ενδιαίτημα του οργανισμού και την αλληλεπίδρασή του με αυτό.

Λαμβάνοντας υπόψη το παραπάνω παράδειγμα γίνεται κατανοητό πως η πολυπλοκότητα του θαλασσινού περιβάλλοντος είναι ιδιαίτερα μεγάλη και πως για την καλύτερη κατανόηση του απαιτούνται πολλά δεδομένα από διαφορετικούς κλάδους της ωκεανογραφίας. Για το λόγο αυτό κατά την συλλογή των εν λόγω δεδομένων χρησιμοποιούνται πολλά και διαφορετικά όργανα που μπορεί να συγκεντρώνουν είτε συγκεκριμένες πληροφορίες, είτε διαθέτουν αισθητήρες που μπορούν να καταγράφουν ταυτόχρονα πολλά στοιχεία σχετικά με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού.

Κλείνοντας μπορεί να ειπωθεί πως αν και οι κλάδοι της Ωκεανογραφίας φαίνεται να είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένοι και να επικεντρώνονται σε διαφορετικά χαρακτηριστικά, ουσιαστικά η ταυτόχρονη εφαρμογή τους είναι αναγκαία ώστε οι ωκεανογράφοι να έχουν την δυνατότητα να περιγράψουν πληρέστερα, σωστότερα και σε μεγαλύτερη χρονική και χωρική κλίμακα το αντικείμενο μελέτης τους.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνόγλωσση

- **Αλεξούλη – Λειβαδίτη Α.,** (2008), Γενική Γεωλογία, Στοιχεία Δυναμικής & Τεκτονικής Γεωλογίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Αθήνα
- **Αλμπανάκης Κ.,** (1999), Μαθήματα Ωκεανογραφίας, Εκδόσεις University Studio Press
- **Γιαννακίδης Α.,** (2004), Σχεδίαση και μοντελοποίηση μιας βενθικής ακάτου για τη μελέτη του φαινομένου της επαναιώρησης και μεταφοράς ιζημάτων στον πυθμένα της θάλασσας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών
- **Δελήμπασης Ν.,** (2003), Εισαγωγή στην τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών
- **Ζερβάκης,** (2006), Υδροδυναμική παράκτιων συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη
- **Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας του Ελληνικού Κέντρου Θαλασσιών Ερευνών** (2008), Τεχνικά Χρονικά, Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 2008, Αθήνα
- **Λεοντάρης Σ.,** (1995) Εισαγωγή στην ωκεανογραφία, Εκδόσεις Συμμετρία
- **Λυκάκης Ι.,** (1992), Υδροβιολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Πάτρα
- **Μεγαλοβασίλης Π.,** (2007) Οι άγνωστοι ωκεανοί. Ξεκλειδώνοντας τα μυστικά τους από το διάστημα με τη χρήση δορυφόρων
- **Νίττης Α. Κ., Χρόνης Θ. Γ.,** (2002) «Εισαγωγικές σημειώσεις στην Επιχειρησιακή Ωκεανογραφία», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας
- **Ξένος Δ.,** (2000) Χημική Ωκεανογραφία, Μακεδονικές Εκδόσεις
- **Σκούλλος Μ.,** (1997) Χημική Ωκεανογραφία, Εκδόσεις Συμμετρία
- **Φερεντίνος Γ.,** (1985), Τεχνική Ωκεανογραφία



### Ξενόγλωσση

- **Chronis T. & Anagnostou E.,** (2002) Zeus: the Longrange lightning detection network, First TRMM International Science Conference, Honolulu, Hawaii, July 22–26
- **Friedrich H.,** (1969), “Marine Biology”, Sidwick – Jackson, London
- **Southwood T. & Henderson P.,** (2000), “Ecological Methods”, Blackwell Science, 3<sup>rd</sup> Edition

### Διαδίκτυο

- [www.pord.ucsd.edu/~Italley/sio210/pickard\\_emery/chapter\\_6.pdf](http://www.pord.ucsd.edu/~Italley/sio210/pickard_emery/chapter_6.pdf)
- [www.lithosferikesplaces.gr](http://www.lithosferikesplaces.gr)
- [http://www.metal.ntua.gr/uploads/3112/3c\\_DOMH\\_TOY\\_ESOTERIKOU\\_T\\_HS\\_GHS.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/3112/3c_DOMH_TOY_ESOTERIKOU_T_HS_GHS.pdf)