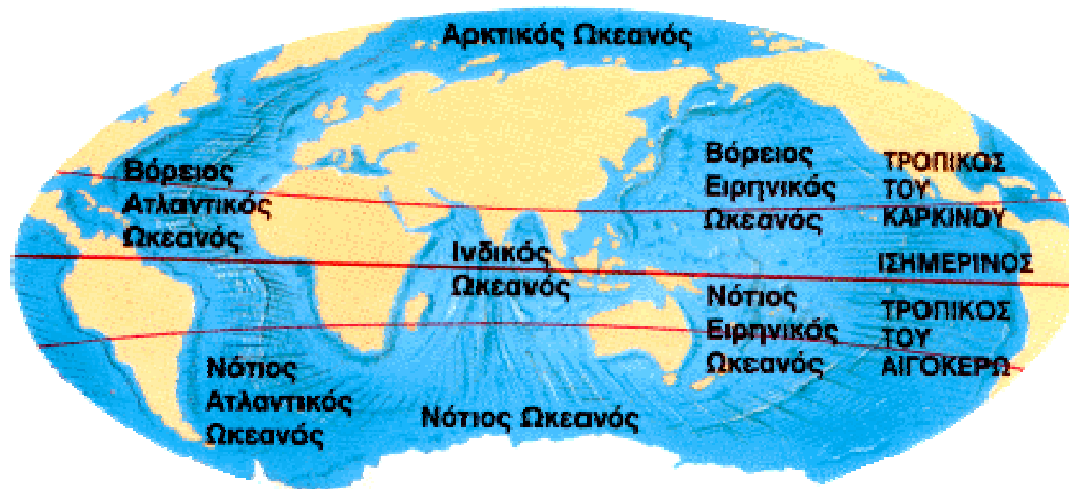


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2009

Περιεχόμενα	Σελίδες
Πρόλογος	4
Περίληψη	5
Κεφάλαιο 1: Θαλάσσιο Περιβάλλον	6
1.1 Εισαγωγή.....	6
1.2 Συστατικά του θαλασσινού νερού.....	9
1.3 Θαλάσσια ρεύματα.....	12
1.4 Θαλάσσια ιζήματα.....	14
Κεφάλαιο 2: Φαινόμενα ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Ρύπανση θαλασσών.....	19
2.3 Ρύπανση από Πετρελαιοειδή.....	21
2.4 Ρύπανση από Βιομηχανικά - Τοξικά Απόβλητα.....	24
2.5 Ρύπανση από Αστικά Λύματα	25
2.6 Ρύπανση από γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες.....	26
2.7 Ρύπανση από μέταλλα	28
2.8 Θερμική ρύπανση.....	31
2.9 Ρύπανση από ραδιενέργεια	33
2.10 Μόλυνση θαλασσών.....	34
2.11 Διείσδυση ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	35
2.12 Διεργασίες μεταφοράς ρύπων.....	38
2.13 Επιπτώσεις της ρύπανσης στις θαλάσσιες βιοκοινωνίες	39
2.14 Κριτήρια επιλογής περιοχών εναπόθεσης αποβλήτων στους ωκεανούς.....	46
2.15 Ανθρωπογενείς μεταβολές στη δομή του θαλάσσιου οικοσυστήματος.....	46
Κεφάλαιο 3 : Τεχνολογία ελέγχου θαλάσσιας ρύπανσης	49
3.1 Εισαγωγή.....	49
3.2 Μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης διεργασιών	50
3.3 Μοντέλα διασποράς ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	55

3.3.1 Ασυνεχής διοχέτευση ρύπων.....	57
3.3.2 Συνεχής διοχέτευση ρύπων.....	60
3.4 Έλεγχος της θαλάσσιας ρύπανσης με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης	65
3.4.1 Δορυφορικοί ανιχνευτές.....	66
3.4.2 Ανιχνευτές αεροσκαφών.....	66
3.5 Προσδιορισμός ρύπων με ειδικούς ανιχνευτές	68
3.6 Σύστημα ανίχνευσης ρύπων δεύτερης γενιάς.....	70
3.6.1 Ο ανιχνευτής φθορισμού Laser (Laser fluorosensor, LFS)	71
Κεφάλαιο 4: Μέθοδοι ποσοτικοποίησης θαλάσσιας ρύπανσης	82
4.1 Εισαγωγή.....	82
4.2 Έλεγχος χερσαίων πηγών ρύπανσης.....	83
4.3 Πηγές προέλευσης μετάλλων στα θαλάσσια ιζήματα.....	84
4.4 Γεωχημικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων ιζημάτων.....	96
4.5 Μέθοδοι ποσοτικοποίησης της ρύπανσης των θαλάσσιων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα.....	99
4.5.1 Συγκεντρώσεις υποβάθρου.....	100
4.5.2 Μέθοδοι προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στις επιμέρους χημικές φάσεις των ιζημάτων.....	102
4.5.3 Εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης από μέταλλα των θαλάσσιων ιζημάτων.....	105
4.6 Ρύπανση των θαλασσών από πετρέλαιο.....	107
4.6.1 Πηγές ρύπανσης των θαλασσών από υδρογονάνθρακες πετρελαίου.....	107
4.6.2 Μέτρα αντιμετώπισης των πετρελαιοκηλίδων.....	111
4.6.3 Καθαρισμός των ακτών από πετρέλαιο	115
Συμπεράσματα.....	118
Βιβλιογραφία.....	120

Πρόλογος

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Διονύσιο Παναγιωτάρα για την πολύτιμη βοήθειά του στην δημιουργία και την τελική διαμόρφωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς επίσης και τους καθηγητές μου Δρ. Κωνσταντίνο Πίκιο και Δρ. Ιωάννη Καλογήρου για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μια μελέτη όσον αφορά την μεθοδολογία η οποία εφαρμόζεται για τον έλεγχο της ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στους τρόπους και τα τεχνολογικά μέσα που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αυτής της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των συστατικών του θαλασσινού νερού, της προέλευσης των θαλάσσιων ιζημάτων καθώς και τις κυκλοφορίας των υδάτινων μαζών, περιγράφοντας τα θαλάσσια ρεύματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην θαλάσσια ρύπανση και στους παράγοντες που συμβάλλουν στη διεύθυνση των ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης διεργασιών και μοντέλων διασποράς ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης αναλύεται ο προσδιορισμός ρύπων με ειδικούς ανιχνευτές, δορυφορικούς ανιχνευτές, ανιχνευτές αεροσκαφών καθώς και ανιχνευτή φθορισμού Laser, ενώ περιγράφεται και η μέθοδος της τηλεπισκόπησης για τον προσδιορισμό της θαλάσσιας ρύπανσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται οι μέθοδοι ποσοτικοποίησης της θαλάσσιας ρύπανσης, ο έλεγχος χερσαίων πηγών ρύπανσης, οι πηγές προέλευσης μετάλλων στα θαλάσσια ιζήματα, τα γεωχημικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων ιζημάτων, οι μέθοδοι ποσοτικοποίησης της ρύπανσης των θαλάσσιων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα, οι μέθοδοι προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στις επιμέρους χημικές φάσεις των ιζημάτων, καθώς και η ρύπανση των θαλασσών από πετρέλαιο, τα μέτρα αντιμετώπισης των πετρελαιοκηλίδων και ο καθαρισμός των ακτών από πετρέλαιο.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης.

Κεφάλαιο 1

Θαλάσσιο Περιβάλλον

1.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό τα 3/4 της επιφάνειας της γης καλύπτονται με νερό. Το σύνολο όλων των υδάτινων αποθεμάτων που υπάρχουν στη γη χαρακτηρίζεται ως υδρόσφαιρα.

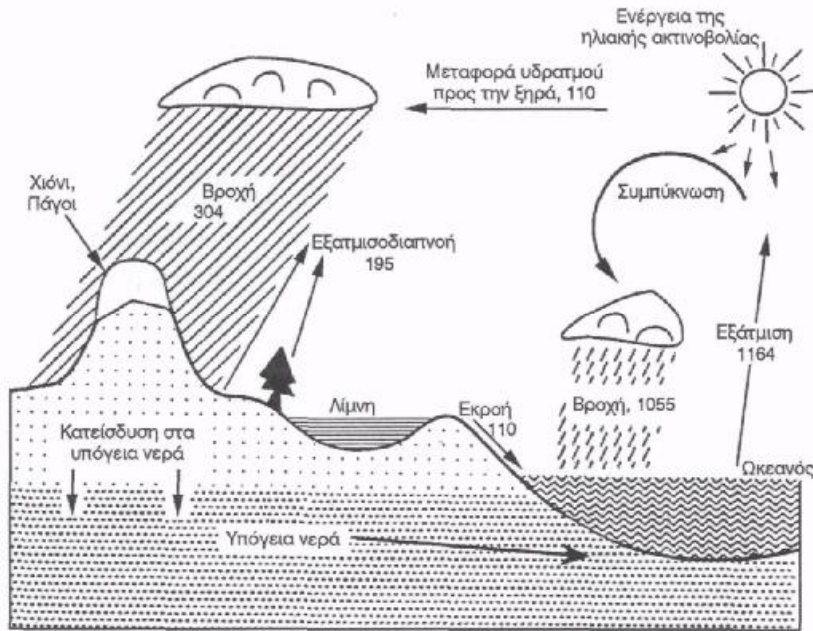
Οι ποσότητες του νερού στην υδρόσφαιρα (συνολική ποσότητα= $1,4 \times 10^{18} \text{m}^3$) κατατάσσονται σε τρεις χώρους ανάλογα με το μέγεθος τους.

1. Θάλασσες
2. Νερό των ηπείρων
3. Νερό της ατμόσφαιρας

Το μεγαλύτερο μέρος του νερού της υδρόσφαιρας (περίπου 97,3%) κατανέμεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες. Το υπόλοιπο 2,7% κατανέμεται στις ηπείρους, όπου το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται στους παγετώνες των οροσειρών και στην Ανταρκτική. Η ποσότητα του νερού που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα ισούται με το ένα εκατοστό του χιλιοστού της συνολικής ποσότητας της υδρόσφαιρας. Η επίδραση του όμως στις κλιματολογικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών είναι αποφασιστικής σημασίας. Στον Πίνακα 1.1 δίνεται η κατανομή του νερού στην υδρόσφαιρα.

Οι θάλασσες, οι ήπειροι και η ατμόσφαιρα, όπου αποθηκεύονται μεγάλες ποσότητες νερού, δεν αποτελούν ξεχωριστούς χώρους, αλλά βρίσκονται σε μια συνεχή αλληλεπίδραση. Η σχέση αυτή παρίσταται με τον κύκλο του νερού στη φύση (Σχ. 1.1).

Η επιφάνεια που καλύπτεται από τους ωκεανούς είναι άνισα κατανεμημένη στα δύο ημισφαίρια. Έτσι το βόρειο καλύπτεται από 60,7% θάλασσα, ενώ το νότιο από 80,9%. Ο Ειρηνικός ωκεανός είναι μεγαλύτερος τόσο σε έκταση όσο και σε όγκο και ακολουθεί ο Ατλαντικός και κατόπιν ο Ινδικός.



Σχήμα 1.1. Ο κύκλος του νερού στη φύση, ποσότητες του νερού σε τρισεκατομμύρια λίτρα ανά ημέρα(Φυτιάνος, Κ.,1996).

Πίνακας 1.1. Κατανομή του νερού στην υδρόσφαιρα (Φυτιάνος, Κ.,1996).

ΥΔΡΟΣΦΑΙΡΑ (συνολικά)	136,0	10^7 km^3	
Ωκεανοί	132,0	10^7 km^3	97,3%
Παγετώνες – Πάγοι	2,93	10^7 km^3	
Υπόγεια νερά	0,84	10^7 km^3	2,7%
Λίμνες – Ποταμοί	0,023	10^7 km^3	
Ατμόσφαιρα	0,013	10^7 km^3	
ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗ			
Ωκεανοί	0,035	10^7 km^3	
Έδαφος	0,007	10^7 km^3	
ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
Ωκεανοί	0,032	10^7 km^3	
Έδαφος	0,010	10^7 km^3	

Οι ιδιότητες του θαλασσινού νερού είναι παρόμοιες μ' εκείνες του νερού. Οι υψηλές λανθάνουσες θερμότητες τήξης και εξάτμισης, η μεγάλη θερμοχωρητικότητα και τα υψηλά σημεία ζέσης και πήξης που προσδίδουν στο νερό χαρακτηριστικές ιδιότητες συναντώνται και στο θαλασσινό νερό. Στον Πίνακα 1.2 δίνονται οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του νερού και η σημασία τους για το περιβάλλον.

Πίνακας 1.2. Μερικές χαρακτηριστικές ιδιότητες του νερού (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Ιδιότητα	Σύγκριση με άλλες ενώσεις	Σημασία για το φυσικό και βιολογικό περιβάλλον
Θερμοχωρητικότητα	Μεγαλύτερη από όλα τα στερεά και υγρά (πλην της NH ₃)	Εμποδίζει μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασίας.
Λανθάνουσα θερμότητα πήξης	Μεγαλύτερη όλων (πλην της NH ₃)	Θερμοστατικό αποτέλεσμα στο σημείο πήξης λόγω απορρόφησης ή απελευθέρωσης λανθάνουσας θερμότητας.
Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης	Μεγαλύτερη από όλες τις ενώσεις	Δρα ρυθμιστικά στη μεταφορά θερμότητας και νερού στην ατμόσφαιρα.
Θερμική διαστολή	Η θερμοκρασία της μέγιστης πυκνότητας ελαττώνεται με την αύξηση της αλατότητας. (Για το καθαρό νερό είναι στους 4° C)	Τα γλυκά νερά και το αραιό θαλασσινό νερό αποκτούν τη μέγιστη πυκνότητα τους σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από το σημείο πήξης. Η ιδιότητα αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανομή της θερμοκρασίας και τη στρωματοποίηση των υδάτινων μαζών στις λίμνες.
Ιδιότητα	Σύγκριση με άλλες ενώσεις	Σημασία για το φυσικό και βιολογικό Περιβάλλον
Επιφανειακή τάση	Μεγαλύτερη όλων των υγρών	Ιδιότητα σημαντική για τη φυσιολογία του κυττάρου. Ελέγχει ορισμένα επιφανειακά φαινόμενα και το σχηματισμό σταγόνων.
Διαλυτική ικανότητα	Γενικά διαλύει τις περισσότερες ουσίες και με μεγαλύτερες ποσότητες από όλα τα άλλα υγρά	Αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση διαφόρων φυσικών και βιολογικών φαινομένων.
Διηλεκτρική σταθερά	Το καθαρό νερό έχει την υψηλότερη διηλεκτρική σταθερά από όλα τα υγρά	Ιδιότητα υψίστης σημασίας για τη συμπεριφορά των εν διαλύσει ανόργανων ουσιών, επειδή έχει σαν αποτέλεσμα τη διάστασή τους σε μεγάλο βαθμό.
Ηλεκτρολυτική διάσταση	Πολύ μικρή	Είναι μια ουδέτερη ένωση που περιέχει τόσο H ⁺ όσο και OH ⁻ .
Διαύγεια	Σχετικά μεγάλη	

1.2 Συστατικά του θαλασσινού νερού

Το θαλασσινό νερό περιέχει διάφορα άλατα, ιχνοστοιχεία και αέρια. Η σύσταση της θάλασσας μπορεί να μεταβάλλεται βραχυπρόθεσμα λόγω βιολογικών διεργασιών (π.χ. επίδραση της θερμοκρασίας), αλλά κυρίως λόγω της εισροής αποβλήτων και τοξικών ουσιών.

Στον Πίνακα 1.3 δίνεται η συγκέντρωση των στοιχείων σε mg/l που περιέχονται στο θαλασσινό νερό και οι ενώσεις με τις οποίες κυρίως εμφανίζονται. Το μεγαλύτερο μέρος των στοιχείων είναι διαλυμένο στο θαλασσινό νερό με τη μορφή αλάτων, ενώ ένα μικρό μέρος βρίσκεται με τη μορφή διαλυμένων αερίων. Τα πιο σημαντικά διαλυμένα αέρια είναι το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό στοιχείο του θαλασσινού νερού είναι το χλώριο που βρίσκεται διαλυμένο σ' αυτό, με τη μορφή του ανιόντος Cl^- (19 g/kg). Άλλα στοιχεία είναι το νάτριο, σαν Na^+ (11 g/kg), το μαγνήσιο, σαν Mg^{++} (1,3 g/kg) και το θείο με τη μορφή θειικών SC_4^- (0,9 g/kg).

Τα στοιχεία ασβέστιο Ca, κάλιο K, τα όξινα ανθρακικά ιόντα HCO_3^- και τα βρωμιούχα Br^- βρίσκονται σε συγκεντρώσεις > 0,001%, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία βρίσκονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και πολλά από αυτά κάτω από το όριο ανίχνευσης.

Η αλατότητα του θαλασσινού νερού κυμαίνεται μεταξύ 32-37,5‰. Όταν η αλατότητα βρεθεί μικρότερη από 32‰, σημαίνει ότι έχει αναμιχθεί με γλυκά νερά.

Η οριζόντια κατανομή της αλατότητας παρουσιάζει ελάχιστα στους πόλους και μέγιστα στις τροπικές ζώνες. Αυτό σχετίζεται με την εξάτμιση και τις βροχοπτώσεις. Στην Ερυθρά θάλασσα, όπου έχουμε μεγάλο ποσοστό εξάτμισης και μικρό ποσοστό βροχοπτώσεων η αλατότητα φθάνει μέχρι και 43‰.

Πίνακας 1.3. Συγκέντρωση στοιχείων (mg/l) που περιέχονται στο θαλασσινό νερό (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Στοιχείο	Συγκέντρωση mg/l	Κυριότερες ενώσεις με τις οποίες εμφανίζονται	Χρόνος παραμονής σε έτη
C	28	HCO ₃ ⁻ , H ₂ CO ₃ , CO ₃ ²⁻ οργανικές ενώσεις	—
N	0.5	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , N ₂ (g), οργανικές ενώσεις	—
O	857,000	H ₂ O, O ₂ (g), SO ₄ ²⁻ και άλλα ανιόντα	—
F	1.3	F ⁻	—
Ne	0.0001	Ne(g)	—
Na	10,500	Na ⁺	2.6x10 ⁸
Mg	1350	Mg ²⁺ , MgSO ₄	4.5x10 ⁷
Al	0.01	—	1.0x10 ²
Si	3	Si(OH) ₄ , Si(OH) ₃ O ⁻	8.0x10 ³
P	0.07	HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , PO ₄ ³⁻ H ₃ PO ₄	—
S	885	SO ₄ ²⁻	—
Cl	19,000	Cl ⁻	—
K	380	K ⁺	1.1x10 ⁷
Ca	400	Ca ²⁺ , CaSO ₄	8.0x10 ⁶
V	0.002	VO ₂ (OH) ₃ ²⁻	1.0x10 ⁴
Cr	0.00005	—	3.5x10 ²
Mn	0.002	Mn ²⁺ , MnSO ₄	1.4x10 ³
Fe	0.01	Fe(OH) ₃ (s)	1.4x10 ²
Co	0.0005	Co ²⁺ , CoSO ₄	1.8x10 ⁴
Ni	0.02	Ni ²⁺ , NiSO ₄	1.8x10 ⁴
Cu	0.003	Cu ²⁺ , CuSO ₄	5.0x10 ⁴
Zn	0.01	Zn ²⁺ , ZnSO ₄	1.8x10 ⁵
As	0.003	HASO ₄ ²⁻ , H ₂ AsO ₄ ⁻ , H ₃ AsO ₄ , H ₃ AsO ₃	—
Br	65	Br ⁻	—
Rb	0.12	Rb ⁺	2.7x10 ⁵
Sr	8	Sr ²⁺ , SrSO ₄	1.9x10 ⁷
Ag	0.00004	AgCl ₂ ⁻ , AgCl ₃ ²⁻	2.1x10 ⁶
Cd	0.00011	Cd ²⁺ , CdCl ⁺	5.0x10 ⁵
Sn	0.0008	—	10x10 ⁵
Ba	0.03	Ba ²⁺ , BaSO ₄	8.4x10 ⁴
Au	0.000004	AuCl ₄ ⁻	5.6x10 ⁵
Hg	0.00003	HgCl ₃ ⁻ , HgCl ₄ ²⁻	4.2x10 ⁴
Pb	0.00003	Pb ²⁺ , PbSO ₄	10x10 ³

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, τα περισσότερα στοιχεία βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις και για το λόγο αυτό, παρά τα τεράστια αποθέματα, η ανάκτηση τους δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Σαν αλατότητα ορίζεται η συνολική ποσότητα των στερεών ουσιών σε g, που περιέχονται σε 1 Kg θαλασσινού νερού, όταν όλα τα ανθρακικά έχουν μετατραπεί σε οξείδια, τα βρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα και έχει οξειδωθεί όλη η οργανική ύλη.

Σαν χλωριότητα (chlorinity) ορίζεται το συνολικό ποσό χλωρίου, βρώμιου και ιωδίου σε g, που περιέχονται σε 1 Kg θαλασσινού νερού, υποθέτοντας ότι το βρώμιο και ιώδιο έχουν αντικατασταθεί από χλώριο.

Και οι δύο παράμετροι εκφράζονται σε g/kg ή επί τοις χιλίοις (‰) και συνδέονται με τον εμπειρικό τύπο:

$$S\text{‰} = 0,03 + 1,803 \times \text{Cl}\text{‰}$$

$$S\text{‰} = 1,80655 \times \text{Cl}\text{‰}$$

όπου S = Αλατότητα και

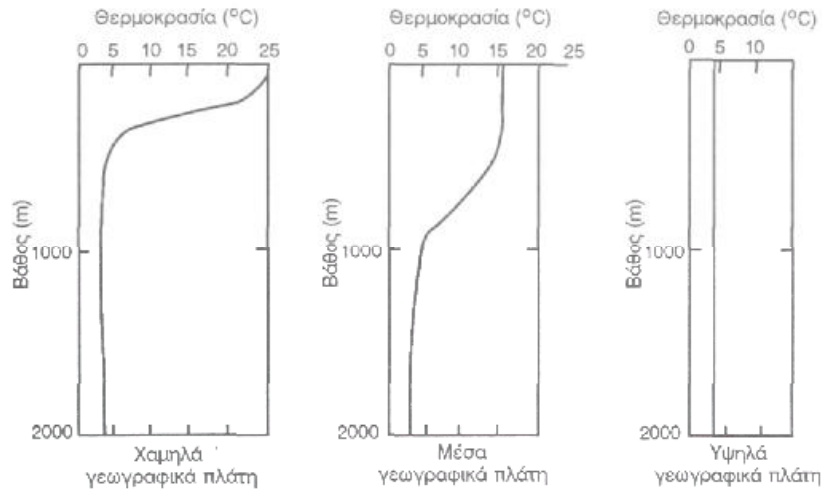
Cl = Χλωριότητα

Σήμερα η αλατότητα δεν υπολογίζεται μέσω της χλωριότητας, αλλά υπάρχουν σύγχρονα όργανα (σαλινόμετρα) με τα οποία μετριέται απευθείας.

Η συγκέντρωση του οξυγόνου στο θαλασσινό νερό κυμαίνεται από 0 μέχρι 9 mg/l. Οι υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται στην επιφάνεια του νερού. Στα μεγάλα βάθη η συγκέντρωση του οξυγόνου ελαττώνεται σημαντικά και πλησιάζει το μηδέν, λόγω κυρίως της εντατικής δράσης των βακτηριδίων που καταναλώνουν οξυγόνο.

Το pH του θαλασσινού νερού κυμαίνεται στην περιοχή 7.5-8.4. Η σταθερότητα του pH οφείλεται κυρίως στην παρουσία των ανθρακικών ιόντων.

Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού στις θάλασσες και τους ωκεανούς παρουσιάζει ορισμένες διακυμάνσεις τόσο κάθετα, όσο και οριζόντια. Στα μεγάλα βάθη η θερμοκρασία είναι 2-4° C σ' όλα τα πλάτη. Αντίθετα, στην επιφάνεια παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα χαμηλά και υψηλά γεωγραφικά πλάτη.



Σχήμα 1.2. Κατανομή της θερμοκρασίας συναρτήσει του βάθους στα διάφορα γεωγραφικά πλάτη (Φυτιάνος, Κ., 1996).

1.3 Θαλάσσια ρεύματα

Οι υδάτινες μάζες των ωκεανών βρίσκονται σε συνεχή κίνηση. Όταν οι κινήσεις του νερού γίνονται προς μια προτιμώμενη κατεύθυνση, τότε μιλάμε για θαλάσσια ρεύματα.

Τα αίτια που προκαλούν τα ρεύματα είναι διάφορα. Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν τα θαλάσσια ρεύματα είναι οι άνεμοι, διαφορές πυκνότητας ανάμεσα στις υδάτινες μάζες καθώς και διαφορές στη μεταφορά θερμότητας ανάμεσα στον ατμοσφαιρικό αέρα και το νερό.

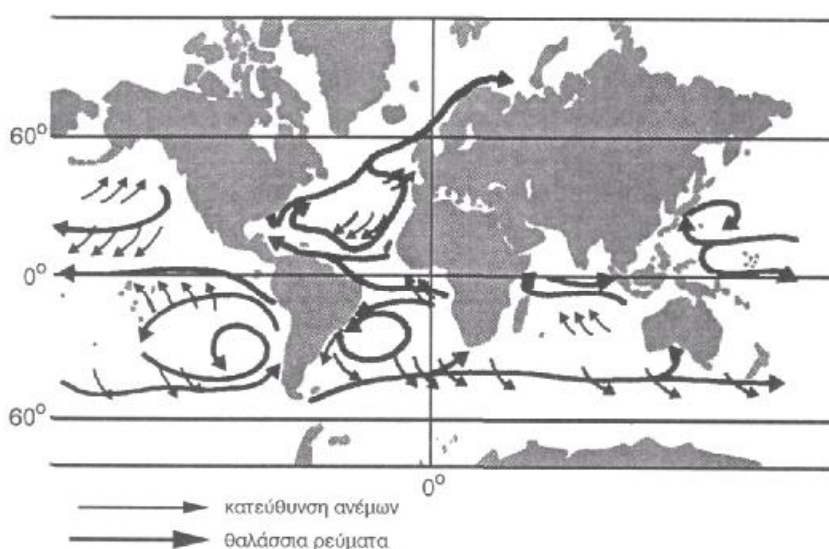
Η περιστροφή της γης, η μορφή των ηπείρων, υποθαλάσσιοι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι παλιρροιακές δυνάμεις, καθορίζουν κυρίως την κατεύθυνση των θαλάσσιων ρευμάτων, με αποτέλεσμα ο υπολογισμός της να είναι εξαιρετικά πολύπλοκος, λόγω του μεγάλου πλήθους των παραμέτρων. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.3, η διεύθυνση των ρευμάτων δεν συμπίπτει με αυτή των ανέμων.

Λόγω της περιστροφής της γης και της δύναμης Coriolis, τα ρεύματα αποκλίνουν κατά μια ορισμένη γωνία από τη διεύθυνση του ανέμου. Στο Βόρειο ημισφαίριο, η απόκλιση όλων των ρευμάτων γίνεται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, ενώ στο Νότιο κατά την αντίθετη φορά. Επειδή

συγχρόνως και οι κύριες διευθύνσεις των ανέμων υφίστανται τις ίδιες αποκλίσεις, προκύπτει μια επιπρόσθετη ενίσχυση των δυνάμεων απόκλισης.

Η απόκλιση των ρευμάτων είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο πιο βαθιά βρίσκεται η υδάτινη στήλη.

Διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους ρευμάτων: τα επιφανειακά και τα βαθιά. Τα σπουδαιότερα επιφανειακά ρεύματα σχηματίζονται στη ζώνη του Ισημερινού, ανάμεσα στο Βόρειο και Νότιο τροπικό.



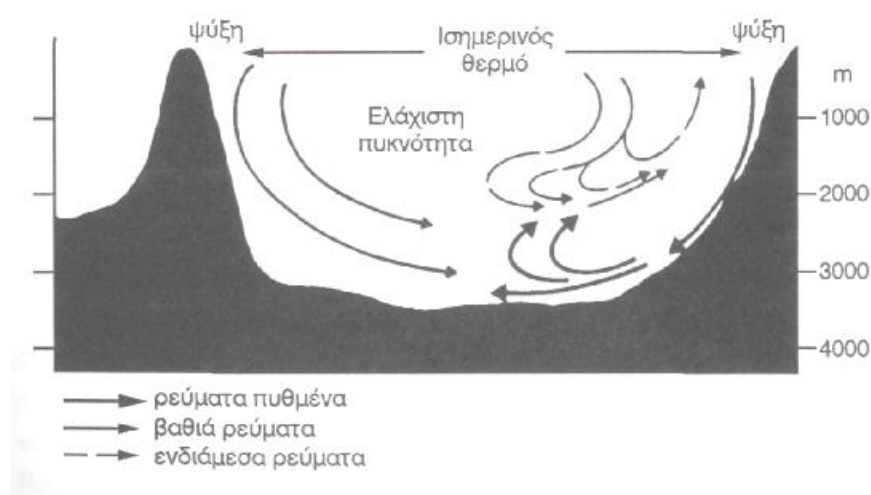
Σχήμα 1.3. Τα σπουδαιότερα θαλάσσια ρεύματα και οι κατευθύνσεις των ανέμων (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Οι διάφορες ήπειροι μεταβάλλουν την κατεύθυνση των ρευμάτων προς βορρά ή προς νότο. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει π.χ. στο Βόρειο Ατλαντικό, στις ανατολικές ακτές των ΗΠΑ, το ρεύμα Golf Stream, που έχει αποφασιστική σημασία για τις κλιματολογικές συνθήκες της Ευρώπης. Επειδή η δύναμη Coriolis αυξάνεται με αύξηση του γεωγραφικού πλάτους, η αρχική κατεύθυνση στρέφεται. Έτσι προκύπτει ένας τεράστιος αριθμός κύκλων από επιφανειακά ρεύματα. Στα κέντρα των κύκλων αυτών βρίσκονται ζώνες, με σχετικά ελάχιστη επιφανειακή κίνηση (π.χ. η θάλασσα των Σαργασσών στο Βόρειο Ατλαντικό).

Το σχήμα των επιφανειακών ρευμάτων είναι ίδιο σε όλους τους ωκεανούς.

Οι υδάτινες μάζες που ρέουν από τον Ισημερινό με κατεύθυνση τους πόλους, ψύχονται καθ' οδόν με αυξανόμενο το γεωγραφικό πλάτος, το ειδικό βάρος τους αυξάνει, με αποτέλεσμα να βυθίζονται σε βαθύτερα στρώματα και να επιστρέφουν σαν ψυχρά ρεύματα πυθμένα στον Ισημερινό, δημιουργώντας έτσι τα βαθιά ρεύματα (Σχ. 1.4).

Περιοχές όπου συναντώνται επιφανειακά ρεύματα και παράγουν βαθιά ρεύματα, χαρακτηρίζονται σαν συγκλίνουσες. Με την επίδραση των επιφανειακών, βαθιών και ρευμάτων πυθμένα, δημιουργείται μια μόνιμη ανταλλαγή των υδάτινων μαζών σ' όλους τους ωκεανούς.



Σχήμα 1.4. Τα κυριότερα ρεύματα κάτω από την επιφάνεια (παράδειγμα - Ατλαντικός ωκεανός) (Φυτιάνος, Κ., 1996).

1.4 Θαλάσσια ιζήματα

Τα ιζήματα αποτελούνται από τα αδιάλυτα προϊόντα της διάβρωσης των εδαφών και της βιολογικής δραστηριότητας, μαζί με όλα τα διαλυτά είδη που συνδέονται με τις στερεές φάσεις μέσω διεργασιών που εξελίσσονται στη θαλάσσια μάζα κατά την καταβύθιση των αιωρούμενων σωματιδίων. Η σύσταση των ιζημάτων εξαρτάται από την προέλευση, τον τρόπο μεταφοράς και το περιβάλλον απόθεσης. Τα αδιάλυτα προϊόντα της διάβρωσης περιλαμβάνουν τα σταθερά μη διασπώμενα πρωτογενή ορυκτά και τα ορυκτά που σχηματίζονται στο περιβάλλον διάβρωσης – κυρίως αργίλους και οξειδία

σιδήρου και αργιλίου καθώς και τα άμορφα πρόδρομά τους. Η βιολογική δραστηριότητα συνεισφέρει χουμικά και άλλα αδιάλυτα οργανικά υλικά, αλλά και ανόργανες ενώσεις, όπως ανθρακικά, πυριτικά και φωσφορικά άλατα, σαν συστατικά των σκελετικών δομών. Μετά την απόθεση και τη συσσώρευση του ιζήματος, διαγενετικές διεργασίες, που συνεπάγονται από τις φυσικές και χημικές βαθμίδες κάτω από τη μεσεπιφάνεια ιζήματος/νερού, τροποποιούν περαιτέρω την ορυκτολογία και τη χημεία του ιζήματος.

Ανάλογα με το περιβάλλον απόθεσης, τα θαλάσσια ιζήματα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα νηρητικά και πελαγικά. Τα νηρητικά ιζήματα αποτίθενται στην παράκτια ζώνη και αποτελούνται κυρίως από χερσογενή προϊόντα διάβρωσης, είναι κυρίως χονδρόκοκκα και μπορούν να δημιουργήσουν αποθέσεις μεγάλους βάθους.

Τα πελαγικά ιζήματα συναντώνται σε βαθύτερα νερά και σε μεγάλες αποστάσεις από την ακτή. Είναι εν γένει λεπτόκοκκα και προέρχονται από αυθιγενείς ανόργανες ή βιολογικές διεργασίες. Οι ανόργανες διεργασίες περιλαμβάνουν την κροκίδωση κολλοειδών ενυδατωμένων αργιλλοπυριτικών ορυκτών, που λόγω λεπτού διαμερισμού, παραμένουν εν αιώρηση για μεγάλα χρονικά διαστήματα και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις από την ακτή, ενώ οι βιολογικές διεργασίες περιλαμβάνουν τη συσσώρευση σκελετικών υπολειμμάτων πλαγκτονικών οργανισμών.

Τα ιζήματα αντικατοπτρίζουν την κατάσταση ενός υδάτινου συστήματος από πλευράς ρύπανσης, καθώς επίσης και την ιστορική εξέλιξη των υδρολογικών και χημικών παραμέτρων. Συγκριτικές μελέτες των ολικών συγκεντρώσεων και των καθέτων προφίλ (sediment cores) δίνουν πληροφορίες για τα φυσικά επίπεδα των ρύπων και για αυτά που συσσωρεύονται προερχόμενα από ανθρώπινες δραστηριότητες. Όπως έχει αναφερθεί τα μέταλλα δεν βρίσκονται μόνιμα δεσμευμένα στα ιζήματα, αλλά μπορούν να ανακυκλωθούν, μέσω βιολογικών και χημικών παραγόντων και να επανέλθουν στην υδάτινη στήλη.

Για να εκτιμηθεί η περιβαλλοντική σημασία των ιζημάτων που είναι εμπλουτισμένα σε βαρέα μέταλλα πρέπει να διερευνηθούν τα παρακάτω ερωτήματα:

- 1) Πώς κατανέμονται τα μέταλλα στα διάφορα συστατικά του ιζήματος,
- 2) πόσο εύκολα μπορούν να απελευθερωθούν στην υδάτινη στήλη,

3) πόσο διαθέσιμα είναι στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς.

Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων, τα ιζήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

α) Τα λεπτόκοκκα ιζήματα με διάμετρο σωματιδίων $< 50 \mu\text{m}$ που υποδιαιρούνται σε ιλύ και άργιλο και

β) τα χονδρόκοκκα με διάμετρο σωματιδίων $> 50 \mu\text{m}$ που υποδιαιρούνται σε άμμο και χαλίκια.

Οι δύο αυτές κατηγορίες διαφέρουν ως προς τις ορυκτολογικές, μορφολογικές, φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες. Τα λεπτόκοκκα ιζήματα αποτελούνται κυρίως από αργιλικά ορυκτά, οργανική ύλη και σωματίδια από χαλαζία, ανθρακικά άλατα και αστρίους, ενώ τα χονδρόκοκκα αποτελούνται κυρίως από μίγμα χαλαζία με αστρίους. Το κλάσμα με διάμετρο σωματιδίων $< 2 \mu\text{m}$ ονομάζεται, εκτός από αργιλικό, και πελετικό, είναι εμπλουτισμένο σε Fe, είτε ως ορυκτό του Fe, είτε ως Fe δεσμευμένος με τα αργιλικά και την οργανική ύλη.

Τα λεπτόκοκκα σωματίδια περιέχουν και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων. Πολλοί συγγραφείς προτείνουν την εξέταση του πελετικού κλάσματος ως την πιο αντιπροσωπευτική για το χαρακτηρισμό του βαθμού ρύπανσης από ανθρώπινες δραστηριότητες. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα μέταλλα φθάνουν στο ίζημα σε χονδρόκοκκη μορφή σωματιδιακή μορφή (π.χ. σε περιοχές έκχυσης αποβλήτων από ορυχεία και χυτήρια).

Κεφάλαιο 2

Φαινόμενα ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον

2.1 Εισαγωγή

Μια από τις σοβαρότερες απειλές για τις θάλασσες είναι η ρύπανση από βιομηχανικά, αστικά, γεωργικά απόβλητα και διαρροές πετρελαίου. Στη Μεσόγειο έχουν επισημανθεί 115 περιοχές όπου παρατηρούνται υψηλά επίπεδα ρύπανσης. Στην Ελλάδα τέτοιες περιοχές βρίσκονται στους κόλπους Θερμαϊκό, Πατραϊκό, Σαρωνικό και ιδιαίτερα στην Ελευσίνα.

Η άναρχη οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη κατά μήκος των ακτών, καθώς και η υπερβολική χρήση λιπασμάτων, αποτελούν σημαντικές πηγές θαλάσσιας ρύπανσης. Είναι χαρακτηριστικό πως μέσω των επιφανειακών απορροών τα υπολείμματα από την χρήση των λιπασμάτων μεταφέρονται στη θάλασσα εμπλουτίζοντας την σε θρεπτικές ουσίες, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τον ευτροφισμό των θαλασσών.

Η αλλαγή του φυσικού χαρακτήρα των ακτών, μέσω των αμμοληπιών και των εκχερσώσεων και η αυθαίρετη εκμετάλλευση των παραλιών για τουριστικούς σκοπούς αλλοιώνουν τη δυναμική των ελληνικών ακτών, με αποτέλεσμα την εδαφική διάβρωση.

Χημικά εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα και μυκητοκτόνα χρησιμοποιούνται αδιάκοπα από τους γεωργούς τα οποία καταλήγουν στη θάλασσα με τη βροχή και τα ποτάμια. Οι καπνοί από τα εργοστάσια κι οι άνεμοι διασκορπίζουν τις τοξικές ουσίες και η βροχή τις ρίχνει στη θάλασσα.

Οι θαλάσσιες πετρελαιοπηγές συμβάλλουν στη μόλυνση με τη διαφυγή πετρελαίου κατά την άντληση. Τα τεράστια δεξαμενόπλοια που μεταφέρουν ακάθαρτο πετρέλαιο, ξεπλένουν τις δεξαμενές τους με νερό της θάλασσας. Σχεδόν όλα τα καράβια αδειάζουν τα ακάθαρτα νερά τους στην ανοιχτή θάλασσα. Εξωλέμβιες μηχανές αποβάλλουν μεγάλες ποσότητες πετρελαίου από τις εξατμίσεις τους, πόλεις, πολιτείες και χώρες ρίχνουν τόνους από απορρίμματα στη θάλασσα, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνουν τα κατάλοιπα των διάφορων βιομηχανιών, ακαθαρσίες από τον αδιάκοπο καθαρισμό των λιμανιών, οξέα και μέταλλα από τους αγωγούς αποχετεύσεως των χημικών εργοστασίων, ή των εργοστασίων χάρτου, οργανικές ύλες από τα εργοστάσια κονσερβοποιίας και συσκευασίας τροφίμων, όλα όσα μεταφέρονται από τους

δημόσιους υπονόμους των πόλεων, δηλητηριώδη αέρια από τις δοκιμές διάφορων πολεμικών όπλων, βιολογικών και χημικών και τέλος ραδιενεργά κατάλοιπα.

Εξαιτίας των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του, το νερό της θάλασσας επιδρά πάνω σε ορισμένες τοξικές ή άλλες ουσίες που προκαλούν μόλυνση, φτάνει να είναι βιοδιασπώμενες. Μεγάλα αντικείμενα, όπως είναι τα βυθισμένα καράβια προσελκύουν τα ψάρια, γιατί αποτελούν για αυτά κάλυμμα. Η οξειδωση και οι διάφορες φυσικές ουσίες που είναι διαλυμένες στο νερό διαλύουν τα μεταλλικά μέρη και έτσι τα μέταλλα εισέρχονται στα θαλάσσια ιζήματα.

Μέταλλα, όπως ο χαλκός, ο σίδηρος, το νικέλιο, το κοβάλτιο και ιδιαίτερα το μαγγάνιο, μεταφέρονται στον πυθμένα του ωκεανού, κατακαθίζουν συνήθως σαν οξειδία γύρο από τα μικρά αντικείμενα, βράχους, κόκαλα ψαριών, δόντια καρχαριών ή θραύσματα από αντικείμενα. Επιπρόσθετα μεγάλο μέρος των απορριμμάτων που φτάνουν στη θάλασσα διασκορπίζεται, ενώ ουσίες όπως το θειικό οξύ εξουδετερώνονται πολύ εύκολα.

2.2 Ρύπανση θαλασσών

Η επιβάρυνση με ρύπους των θαλασσών ονομάζεται θαλάσσια ρύπανση. Μεγάλο μέρος των ρύπων αυτών περιέχεται στα αστικά, βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα. Τα αστικά απόβλητα, περιέχουν μεγάλη ποσότητα απορρυπαντικών, ενώ τα απόβλητα από γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες περιέχουν κυρίως αζωτούχες ενώσεις (νιτρικά και νιτρώδη άλατα, αμμωνία), φωσφορικά άλατα και πολλές οργανικές ουσίες. Τα γεωργικά λύματα μπορεί επιπλέον να περιέχουν εντομοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, στα συστατικά των οποίων κάποιες φορές περιλαμβάνονται χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες και βαρέα τοξικά μέταλλα.

Τα βιομηχανικά απόβλητα περιέχουν συνήθως σημαντικές ποσότητες από τις πρώτες ύλες καθώς και από τα προϊόντα που προκύπτουν κατά την παραγωγική διαδικασία. Έτσι, εκτός από νιτρικά και φωσφορικά άλατα, τα λύματα βιομηχανιών μπορούν να περιέχουν οξέα, διαλυμένα μέταλλα, άλατα, οργανικούς διαλύτες κ.α. Τα ποτάμια γίνονται συχνά αποδέκτες αστικών και

βιομηχανικών λυμάτων που βέβαια καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον ρυπαίνοντας το.

Επιπρόσθετα οι θάλασσες, εκτός του ότι αποτελούν αποδέκτες των νερών των ποταμών που έχουν ρυπανθεί, δέχονται απευθείας αστικά, αγροτικά και βιομηχανικά λύματα από την ξηρά, ενώ ρυπαίνονται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι το πετρέλαιο από ατυχήματα πετρελαιοφόρων ή υποθαλάσσιων γεωτρήσεων πετρελαίου, η ρίψη στερεών και υγρών -συχνά τοξικών- αποβλήτων (οξέα, άλατα βαρέων μετάλλων κ.λ.π.) από πλοία στην ανοιχτή θάλασσα κ.α. Οι ρύποι καταλήγουν στη θάλασσα και από την ατμόσφαιρα, τόσο από την ξηρά όσο και από πηγές ρύπανσης στον θαλάσσιο χώρο, π.χ. εξέδρες καύσης τοξικών αποβλήτων στην ανοιχτή θάλασσα και αλλού.

Οι συνέπειες της ρύπανσης των θαλασσών είναι ιδιαίτερα εμφανείς στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στα σημεία απόρριψης λυμάτων (μείωση ή και εξαφάνιση ειδών ζώων και φυτών, αλλοίωση των υδάτων, κ.α.). Επιπλέον, στις κλειστές θάλασσες, όπως η Μεσόγειος, η απόρριψη αποβλήτων από γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες και αστικών λυμάτων προκαλεί συχνά το φαινόμενο του ευτροφισμού, που έχει ως αποτέλεσμα την υπέρμετρη ανάπτυξη υδρόβιων φυτών και φυτοπλαγκτού και μαζικούς θανάτους ψαριών από ασφυξία.

Γενικά, η ρύπανση των θαλασσών απειλεί πολλά είδη ζώων και φυτών αλλά και τον άνθρωπο, στον οποίο φτάνουν πολλές τοξικές ουσίες μέσω της τροφικής αλυσίδας, επηρεάζοντας δυσμενώς την υγεία του.

Τα ειδικά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των θαλασσίων περιβαλλόντων επηρεάζουν την βιολογική δομή και ποικιλότητα των πληθυσμών του έμβιου κόσμου σε αυτό το σύστημα. Οι επιδράσεις των ρυπογόνων συστατικών επίσης επηρεάζονται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Λόγω του μεγάλου βαθμού διασποράς (που προκαλείται από τις διαφορές στην πυκνότητα και τα ρεύματα) και της μεγάλης διαλυτότητας, η ρυπογόνος δράση του BOD (Biochemical Oxygen, Demand), των αιωρούμενων στερεών, και των τοξικών ουσιών εμφανίζεται σε τοπικά επίπεδα. Οι σημαντικοί τύποι θαλάσσιας ρύπανσης είναι η τοξική ρύπανση, ο σχηματισμός κηλίδων (slick), η

βακτηριακή ρύπανση κυρίως των νερών κολύμβησης, και η ρύπανση από πετρέλαιο.

2.3 Ρύπανση από Πετρελαιοειδή

Ποσότητες πετρελαίου που λόγω ατυχήματος ή ανθρώπινης αμέλειας διαρρέουν και εξαπλώνονται στην επιφάνεια της θάλασσας, αποτελούν μία από τις σοβαρότερες αιτίες ρύπανσης και καταστροφής της χλωρίδας και της πανίδας στην έκταση που καταλαμβάνουν. Πετρελαιοκηλίδες μπορούν να προκληθούν από ατυχήματα σε πετρελαιοφόρα δεξαμενόπλοια, από τον παράνομο καθαρισμό των δεξαμενών καυσίμου των πλοίων στην ανοιχτή θάλασσα και την απόρριψη χρησιμοποιημένων λιπαντικών και υπολειμμάτων καύσης, από ατυχήματα σε εξέδρες υποθαλάσσιων γεωτρήσεων πετρελαίου κ.λπ.

Η Ελλάδα διατρέχει μεγάλο κίνδυνο από τη διακίνηση και αποθήκευση των πετρελαιοειδών. Η διακίνησή τους γίνεται κυρίως σε κλειστούς κόλπους με ιδιαίτερη ναυτιλιακή κίνηση, ενώ η ανάπτυξη και η τοποθέτηση των βιομηχανικών περιοχών κατά μήκος του άξονα Θεσσαλονίκης, Βόλου, Αθήνας, Πάτρας δημιουργεί πολλαπλούς κινδύνους ρύπανσης στις γειτονικές θαλάσσιες περιοχές.

Η ρύπανση της θάλασσας με πετρελαιοειδή έχει τεράστιες συνέπειες στο φυσικό περιβάλλον. Το πετρέλαιο είναι ελαφρότερο από το νερό και γι' αυτό επιπλέει στην επιφάνειά του. Από τη στιγμή που το πετρέλαιο θα βρεθεί στη θάλασσα, αρχίζει μια αργή, φυσική διαδικασία οξειδωσης και βιοδιασπασής του από μικροοργανισμούς που έχουν την ικανότητα να διασπούν υδρογονάνθρακες. Το υπόλειμμα του πετρελαίου τρεις μήνες περίπου μετά τη δημιουργία της πετρελαιοκηλίδας αποτελείται από ένα υδρόφοβο τμήμα, που συσσωματώνεται σε σβώλους, και ένα υδρόφιλο τμήμα, το οποίο προσλαμβάνει μεγάλες ποσότητες νερού και μετατρέπεται σε ένα παχύρρευστο γαλάκτωμα με τη μορφή ελαιώδους λάσπης, που ονομάζεται "μους σοκολάτα". Οι σβώλοι κατακάθονται στο βυθό ή μεταφέρονται με τη βοήθεια ρευμάτων στις κοντινές ακτές μαζί με τη "μους σοκολάτα", όπου παραμένουν για λίγους μήνες (ακτές με έντονα κύματα) ή και για χρόνια (ήρεμες ακτές).

Το 30-40% των πετρελαιοειδών που ρίχνονται στην επιφάνεια της θάλασσας αποτελείται από πηκτικά συστατικά, τα οποία εξατμίζονται γρήγορα, ενώ τα υπόλοιπα συστατικά σχηματίζουν ένα λεπτό, «μονομοριακό» στρώμα πετρελαίου το οποίο εμποδίζει τις φυσικές ανταλλαγές που συμβαίνουν μεταξύ νερού και ατμοσφαιρικού αέρα, και οι οποίες είναι απαραίτητες για το βιολογικό κύκλο της θαλάσσιας ζωής.

Το στρώμα αυτό του πετρελαίου, με άλλα λόγια, μειώνει στο ελάχιστο την ανανέωση του νερού με το οξυγόνο του αέρα, εμποδίζει τις ακτίνες του ήλιου να εισχωρήσουν βαθιά στη θάλασσα για τη φωτοσύνθεση, προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και υπερβολική ανάπτυξη μικροοργανισμών που καταναλώνουν οξυγόνο. Τα μαλάκια και τα φυτά είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε αυτή τη ρύπανση γιατί δηλητηριάζονται και πεθαίνουν από ασφυξία. Το ίδιο συμβαίνει και με τα ψάρια εκείνα που δεν εγκαταλείπουν έγκαιρα τη ρυπασμένη περιοχή.

Η πίσσα που εκβράζεται στις παραλίες καταστρέφει τους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς, ενώ έχει υπολογιστεί ότι απαιτούνται 2-3 χρόνια για να αποκατασταθεί μερικώς η παράκτια χλωρίδα. Ως προς τα πουλιά οι επιπτώσεις της ρύπανσης είναι δραματικές. Τα φτερά τους καλύπτονται από πετρέλαιο, δεν μπορούν να πετάξουν, πεθαίνουν από το κρύο γιατί δεν έχουν πλέον το μονωτικό στρώμα των φτερών και των πούπουλων, ενώ όσα επιβιώνουν, δηλητηριάζονται και πεθαίνουν στην προσπάθειά τους να απαλλαγούν από το πετρέλαιο.

Στη Μεσόγειο, λόγω της απουσίας μεγάλων κυμάτων, έντονων καιρικών φαινομένων, αλλά και μεγαλύτερης αλατότητας, η φυσική διάλυση μιας πετρελαιοκηλίδας δυσχεραίνεται. Ο ρυθμός των ποσοτήτων του πετρελαίου που βουλιάζουν ή διαλύονται είναι αργός κατά τη διάρκεια της ρύπανσης από πετρέλαιο. Εκτός από τις καταστρεπτικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αξιοσημείωτες είναι και οι δυσμενείς επιπτώσεις των πετρελαιοκηλίδων στην αλιεία και τον τουρισμό στις περιοχές που πλήττονται, καθώς και η απώλεια μεγάλων ποσοτήτων πετρελαίου που για να δημιουργηθεί από τη φύση χρειάστηκαν εκατομμύρια χρόνια. Υπολογίζεται ότι παγκοσμίως διαρρέουν στη θάλασσα περίπου 1 εκατομμύριο τόνοι πετρελαίου το χρόνο. Ωστόσο το διάστημα 1981-90 περιορίστηκε σημαντικά το ποσοστό πετρελαιοκηλίδων που προέρχονται από ατυχήματα σε

δεξαμενόπλοια.

Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης των πετρελαιοκηλίδων ανάλογα με την περιοχή, τη σύσταση του πετρελαίου και τις καιρικές συνθήκες. Συνήθως με ειδικά «σάρωθρα» και «φράγματα» συλλέγετε το πετρέλαιο και μεταφέρεται σε σταθμούς διάθεσης στη στεριά, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η ρύπανση αντιμετωπίζεται με χημικές ουσίες που έχουν την ιδιότητα να διασπούν το πετρέλαιο και συνήθως να το κατακρημνίζουν στον πυθμένα της θαλάσσιας περιοχής. Η τελευταία αυτή μέθοδος θα πρέπει να αποφεύγεται γιατί πλήττονται όλοι εκείνοι οι οργανισμοί που κατοικούν στα ιζήματα του πυθμένα.

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική έρευνα για την καταπολέμηση των πετρελαιοκηλίδων γίνεται πειραματικά, με τη βοήθεια γενετικά μεταλλαγμένων βακτηρίων. Η πετρελαιοκηλίδα ψεκάζεται με θρεπτικά συστατικά πλούσια σε άζωτο και φώσφορο, ενώ τα βακτήρια αναπτύσσονται και τρέφονται με αυτά, καθώς και από τα συστατικά του πετρελαίου, τα οποία τελικά διασπώνται. Επειδή τα συνήθη βακτήρια δεν μπορούν να καταναλώσουν τα ιδιαίτερα βαριά χημικά συστατικά του πετρελαίου, οι επιστήμονες δημιούργησαν γενιές από 12 συνολικά βακτήρια, τα οποία με ξεχωριστές ιδιότητες το καθένα αναλαμβάνουν να διασπάσουν τα διάφορα συστατικά του αργού πετρελαίου.

Πολύ μικρές ποσότητες πετρελαίου απαιτούνται για να παραγάγουν μια ορατή κηλίδα (περίπου το 0,0001mm, στρώμα). Τα παχύτερα στρώματα μπορούν να προκαλέσουν ζημία, ειδικά στα θαλασσοπούλια και τις παράκτιες βιοκοινωνίες μέσω της τοξικής δράσης. Επίσης εμποδίζουν την αναπνοή, τη σίτιση και τη φωτοσύνθεση. Η τοξικότητα συσχετίζεται αντιστρόφως με το μοριακό βάρος, καθώς όσο πιο ελαφρύ, τόσο περισσότερο πτητικό είναι το πετρέλαιο και τόσο λιγότερο τοξικό (για 96-ώρες, το TLm από περίπου 10 mg/liter φτάνει σε πάνω από 1000 mg/liter). Με εξαίρεση αυτή για τα θαλασσοπούλια, τα αποτελέσματα της ρύπανσης από πετρέλαιο δεν έχουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στους θαλάσσιους πληθυσμούς.

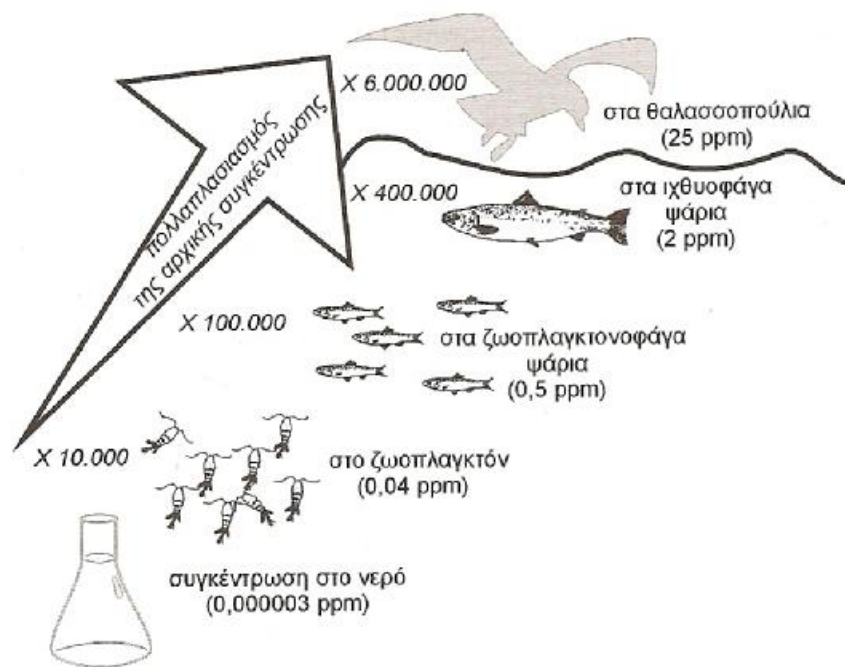
Η μοίρα του πετρελαίου στη θάλασσα εξαρτάται ως ένα ορισμένο βαθμό από το μοριακό βάρος του. Τα μέρη με χαμηλό μοριακό βάρος εξατμίζονται εύκολα δημιουργώντας ένα γαλάκτωμα που μεταβολίζεται γρήγορα από το φυτοπλαγκτόν και τα βακτήρια. Τα βαρύτερα μέρη τείνουν να αποδομηθούν πιο αργά, αλλά συνήθως δεν παραμένουν για περισσότερο

από 1 ή 2 έτη. Επομένως η κύρια επιδίωξη είναι να αποφευχθεί η ζημία στις τουριστικές περιοχές. Η διαχείριση του περιλαμβάνει το κάψιμο, την βύθιση, ή την διασπορά, καθώς και την συλλογή του από την επιφάνεια της θάλασσας.

2.4 Ρύπανση από Βιομηχανικά - Τοξικά Απόβλητα

Ρύπανση μπορεί να προξενηθεί από βιομηχανικά τοξικά απόβλητα που αναστέλλουν τις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης και δημιουργούν πολλά προβλήματα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η ρύπανση από παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα προέρχεται κυρίως από τα απόνερα των βιομηχανιών και τις γεωργικές χρήσεις.

Δύο είναι οι ομάδες τοξικών ουσιών. Τα μέταλλα (κυρίως υδράργυρος, κάδμιο, και μόλυβδος, αν και πολλά άλλα μεταλλικά στοιχεία μπορούν να περιληφθούν σε αυτή την ομάδα ρυπαντών) και οι χλωριωμένες οργανικές ενώσεις (κυρίως φυτοφάρμακα και ζιζανιοκτόνα όπως το DDT και τα eldrins μαζί με τις χλωριωμένες οργανικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για άλλους λόγους, όπως PCBs). Και οι δύο ομάδες ουσιών είναι εξαιρετικά ευαίσθητες και προσρροφούνται επάνω στα στερεά σωματίδια και έτσι αφαιρούνται γρήγορα από την υδάτινη στήλη. Κατά την ιζηματογένεση συσσωρεύονται στα θαλάσσια ιζήματα όπου ή μετέχουν σε χημικές αντιδράσεις και γεωχημικές διεργασίες και μετασχηματίζονται ή μπαίνουν στην τροφική αλυσίδα μέσα από τους βενθικούς μικροοργανισμούς και τα ασπόνδυλα (σχ. 2.1).



Σχήμα 2.1. Εξέλιξη της συγκέντρωσης του DDT σε τυπική τροφική αλυσίδα στο θαλάσσιο περιβάλλον (Ζαχαρίας, κ.α., 2004).

2.5 Ρύπανση από Αστικά Λύματα

Τα αστικά λύματα περιέχουν κυρίως, αιωρούμενα οργανικά και ανόργανα προϊόντα, στερεά σωματίδια, διαλυμένα συστατικά, μικροοργανισμούς και νερό. Η δυσάρεστη οσμή και το χρώμα τους, κατά μεγάλο μέρος προκαλείται από το οργανικό υλικό που υφίσταται αναερόβια διάσπαση από βακτήρια. Οργανικά υλικά στα λύματα είναι συνήθως κόπρانا, υπολείμματα χαρτιού, τροφών, ούρα, σαπούνια, απορρυπαντικά, λάπη, έλαια και άλλα. Στα ανόργανα συστατικά τους περιλαμβάνονται άμμος, άργιλος, αμμωνία, καθώς και νιτρικά, φωσφορικά ή και άλλα άλατα.

Σε γενικές γραμμές τα οικιακά ή αστικά λύματα προέρχονται από ανθρωπογενείς κυρίως δραστηριότητες. Επειδή τα λύματα είναι πλούσια σε οργανικά θρεπτικά συστατικά, έχουν μεγάλες απαιτήσεις οξυγόνου προκειμένου να διασπαστούν από αερόβια βακτήρια και μύκητες. Στην περίπτωση που το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό είναι αρκετό για την αποσύνθεση των οργανικών συστατικών των λυμάτων δε δημιουργούνται δυσάρεστες οσμές. Αυξανόμενες όμως συγκεντρώσεις από αυτά τα οργανικά

συστατικά απαιτούν περισσότερο οξυγόνο για να διασπαστούν. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες που προκαλούν δυσάρεστες για το φυσικό περιβάλλον καταστάσεις.

Οι επιδράσεις των ρύπων στα νερά μπορεί να είναι αλλοιώσεις φυσικές (αύξηση θολερότητας, ελάττωση οξυγόνου) οπότε επιβραδύνεται η βιοαποικοδόμηση των οργανικών ουσιών, επηρεάζονται οι τροφικές αλυσίδες και διαταράσσονται τα οικοσυστήματα. Οι χημικές αλλοιώσεις στα νερά μπορεί να προέρχονται από θρεπτικά συστατικά αλλά και από χημικές τοξικές ουσίες. Τα θρεπτικά συστατικά μπορεί να προξενήσουν το φαινόμενο του ευτροφισμού.

Οι τοξικές ουσίες (βαριά μέταλλα, οξέα, αλκάλια φυτοφάρμακα) μπορεί να προκαλέσουν δηλητηριάσεις στον άνθρωπο, καρκινογένεση και άλλες βλάβες. Η απόρριψη των αστικών λυμάτων χωρίς επεξεργασία σε θαλάσσιες περιοχές, αλλοιώνει την ποιότητα των υδάτων τους με αποτέλεσμα τα οικοσυστήματα αυτά να υποβαθμίζονται και να μην εξυπηρετούν τις χρήσεις που μέχρι τώρα στήριζαν όπως τουρισμό, αναψυχή, αλιεία. Βακτήρια ιοί και παράσιτα που συνήθως βρίσκονται στα αστικά και στα κτηνοτροφικά λύματα συσσωρεύονται σε μύδια κυδώνια και άλλους βρώσιμους οργανισμούς που προκαλούν δηλητηριάσεις στον άνθρωπο. Για να αποφευχθεί η ρύπανση των νερών πρέπει τα αστικά λύματα να υποστούν βιολογικό καθαρισμό σε ανάλογες εγκαταστάσεις.

2.6 Ρύπανση από γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες

Οι γεωργικές καλλιέργειες και οι γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες με την αυξανόμενη χρήση του νερού, των λιπασμάτων, των φυτοφαρμάκων και την ανεξέλεγκτη απόρριψη των περιττωμάτων των ζώων, εξελίσσονται σε ρυπαντικούς παράγοντες εξαιρετικά σημαντικούς. Τα προβλήματα ρύπανσης που δημιουργούνται από αυτές τις δραστηριότητες έχουν σχέση με την υπερβολική χρήση των φυτοφαρμάκων και των λιπασμάτων, με τη διάβρωση του εδάφους, αλλά και την υποβάθμιση ή ρύπανση των υπόγειων υδροφόρων οριζώντων.

Η υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων, πρακτικά διαδεδομένη στην ελληνική γεωργία, εισαγάγει νιτρικά και φωσφορικά θρεπτικά άλατα στο

έδαφος, εμπλουτίζει με τα θρεπτικά αυτά συστατικά τα νερά, αλλοιώνει τα οικοσυστήματα και προκαλεί τον ευτροφισμό των υδάτων.

Οι επιπτώσεις της χρήσης των φυτοφαρμάκων εστιάζονται στη διασπορά μεγάλων ποσοτήτων τοξικών ουσιών στο περιβάλλον, στη ρύπανση των νερών, του εδάφους και σε τοξικά φαινόμενα στους οργανισμούς. Η αντοχή, η παραμονή και η μεταφορά των υπολειμμάτων των φυτοφαρμάκων, από και διαμέσου του εδάφους, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την έκταση και ένταση της ρύπανσης που αυτά προκαλούν. Οι χημικές αντιδράσεις και η φυσική μεταφορά των μορίων των φυτοφαρμάκων καθορίζουν επίσης το βαθμό της ρύπανσης.

Αν οι ιδιότητες των φυτοφαρμάκων συνδυαστούν με την τοξικότητα και την καρκινογένεση που πιθανόν προξενούν, τότε συνιστούν μεγάλο κίνδυνο για το περιβάλλον. Τα στατιστικά στοιχεία από τη χρήση των φυτοφαρμάκων στην Ελλάδα δείχνουν ότι κάθε χρόνο χρησιμοποιούνται περίπου 3.500 τόνοι δραστικής ουσίας εντομοκτόνων, 3.400 τόνοι ζιζανιοκτόνων και 2.800 τόνοι μηκυτοκτόνων.

Με τις επιφανειακές απορροές τα γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον όπου μετασχηματίζονται, συσσωρεύονται και επιδρούν στο οικοσύστημα διαταράσσοντας την οικολογική ισορροπία σε τοπική ή και μεγαλύτερη κλίμακα.

Οι τοξικές ουσίες φθάνουν όλες στη θάλασσα. Ένα μεγάλο μέρος από αυτές φθάνουν στο βυθό. Οι βαριές ουσίες φθάνουν γρήγορα στον πυθμένα. Πολλές διαλυμένες χημικές ουσίες που βρίσκονται στους ιστούς των διάφορων ζωικών και φυτικών οργανισμών βυθίζονται όταν οι ζωντανοί αυτοί οργανισμοί πεθάνουν και πέσουν στον πυθμένα. Μερικές ενώσεις υδραργύρου είναι αβλαβείς για τους ζωντανούς οργανισμούς στη μορφή που φθάνουν στη θάλασσα. Όταν όμως φτάσουν στο βυθό μετατρέπονται από τα βακτηρίδια σε μεθύλ-υδράργυρο που είναι πολύ τοξικός.

2.7 Ρύπανση από μέταλλα

Η ανθρωπογενής δραστηριότητα, οι φυσικές διεργασίες, όπως εκρήξεις ηφαιστειών και η αποσάθρωση των πετρωμάτων είναι πηγές από όπου υλικά εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον κυρίως από τον ηπειρωτικό φλοιό. Επίσης υλικά εισέρχονται και από τον ωκεάνιο φλοιό, μέσω υποθαλάσσιων ηφαιστειακών εκρήξεων, αποσάθρωσης και της υδροθερμικής δραστηριότητας. Η μεταφορά των υλικών γίνεται κυρίως μέσω της ατμόσφαιρας, των ποταμών και της υδροθερμικής δραστηριότητας.

Σε παγκόσμια κλίμακα περίπου το 47% του πυθμένα των ωκεανών καλύπτεται από ανθρακικού τύπου ιζήματα βιογενούς προέλευσης, ενώ περίπου το 38% από αργίλους.

Τα μέταλλα αποτελούν σημαντικά συστατικά του γήινου στερεού φλοιού και είναι πράγματι ενδιαφέρον το γεγονός ότι από τα 10 πρώτα σε αφθονία στοιχεία του στερεού φλοιού τα 7 είναι μέταλλα (Al: 7,5% κ.β., Fe: 4,7%, Ca: 3,4%, Na: 2,6%, K: 2,4%, Mg: 1,9%, και Tί: 0,6%). Μέταλλα τα οποία παρουσιάζουν πυκνότητα μεγαλύτερη από 5,0 g/cm³ ή ατομικό βάρος μεγαλύτερο από 20 καλούνται συνήθως «βαρέα μέταλλα». Τα τελευταία αποκτούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή είναι τοξικά ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Έτσι, σύμφωνα με την επίδραση που ασκούν τα μέταλλα στους οργανισμούς, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Ελαφρά μέταλλα (K, Na, Ca κ.ά.) τα οποία μεταφέρονται ως κινητά κατιόντα στα υδατικά διαλύματα.
- Μέταλλα μετάπτωσης (Fe, Co, Cu και Mn), τα οποία είναι απαραίτητα σε μεταβολικές λειτουργίες όταν βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, αλλά είναι δυνατόν να είναι τοξικά σε υψηλές συγκεντρώσεις.
- Βαρέα μέταλλα (π.χ. Hg, Pb, Sn, Se, As) τα οποία δεν είναι απαραίτητα σε μεταβολικές λειτουργίες και είναι τοξικά ακόμη και όταν βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

Η τοξική επίδραση των μετάλλων στους οργανισμούς καθορίζεται από έναν αριθμό χημικών περιβαλλοντικών παραγόντων που χαρακτηρίζουν το θαλάσσιο περιβάλλον και βιολογικών παραγόντων που καθορίζουν τη γενική

κατάσταση των οργανισμών. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι χημικές παράμετροι που καθορίζουν τη μορφή του μετάλλου στο θαλάσσιο περιβάλλον, δεδομένου ότι έχει διαπιστωθεί ότι όλες οι μορφές τους δεν είναι το ίδιο τοξικές. Γενικά, μπορεί να υποστηριχτεί ότι οι μεθυλιωμένες (CH₃-) μορφές των μετάλλων είναι περισσότερο τοξικές από όλες τις υπόλοιπες.

Τα βαρέα μέταλλα εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον με ανόργανη ή οργανική και σωματιδιακή ή διαλυμένη μορφή. Το μεγαλύτερο ποσό βαρέων μετάλλων εισέρχεται στο θαλάσσιο περιβάλλον μαζί με τα αργιλοπυριτικά ορυκτά στο πλέγμα των οποίων τα βαρέα μέταλλα κατέχουν θέσεις. Ορυκτά όπως οι άστριοι και ο χαλαζίας παρουσιάζουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, σε αντίθεση με τα αργιλικά (αλουμινοπυριτικά) ορυκτά που παρουσιάζουν αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο πλέγμα τους.

Στα βαρέα μέταλλα παρατηρείται σχεδόν σταθερή συγκέντρωση στα αργιλοπυριτικά ορυκτά, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν αντίστοιχα μια σταθερή αναλογία με τη συγκέντρωση του Al. Ο λόγος της συγκέντρωσης του βαρέως μετάλλου προς τη συγκέντρωση του Al στα θαλάσσια ιζήματα αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη της ρύπανσής τους. Υψηλότερες τιμές μετάλλου/Al έναντι της τυπικής στα αργιλοπυριτικά ορυκτά δηλώνει συνήθως την ανθρωπογενή προέλευση της επιπλέον συγκέντρωσης του μετάλλου. Μια άλλη απλοποιημένη προσέγγιση για την εκτίμηση της ανθρωπογενούς προέλευσης των βαρέων μετάλλων στα θαλάσσια ιζήματα είναι η σύγκριση των συγκεντρώσεών τους με αυτές που παρουσιάζουν σε μη ρυπασμένα τυπικά θαλάσσια ιζήματα ή ιζηματογενή πετρώματα και οι οποίες καλούνται συγκεντρώσεις υποβάθρου (background).

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που είναι υπεύθυνες για την είσοδο των βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι τα αστικά λύματα, τα βιομηχανικά και μεταλλευτικά απόβλητα, τα γεωργοκτηνοτροφικά απόβλητα και η απόρριψη υλικών βυθοκόρησης. Η βιολογική λάσπη που προκύπτει από την επεξεργασία των αστικών λυμάτων είναι εμπλουτισμένη σε μεγάλο αριθμό βαρέων μετάλλων. Επιπλέον είναι σημαντικό το πρόβλημα της εισόδου στη θάλασσα βαρέων μετάλλων με τα βιομηχανικά απόβλητα. Ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών δραστηριοτήτων παράγει απόβλητα εμπλουτισμένα σε μεγάλο αριθμό βαρέων μετάλλων.

Τα βαρέα μέταλλα που έχουν βιολογικό ενδιαφέρον διαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

- Στα μέταλλα τα οποία σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα στο μεταβολισμό των οργανισμών, αλλά σε μεγάλες ποσότητες είναι τοξικά. Μερικά από αυτά περιέχονται στις αναπνευστικές χρωστικές των οργανισμών, όπως είναι ο σίδηρος (σπονδυλωτά), ο χαλκός (αρθρόποδα) και το βανάδιο (χιτωνοφόρα) και άλλα, όπως ο ψευδάργυρος, κοβάλτιο, μαγγάνιο, χρώμιο, σελήνιο, νικέλιο, και κασσίτερος, είναι συστατικά ενζύμων ή χρησιμεύουν ως καταλύτες σε διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις.
- Στα μέταλλα, υδράργυρος, κάδμιο, μόλυβδος, κασσίτερος, σελήνιο και αρσενικό, τα οποία δεν είναι απαραίτητα στο μεταβολισμό των οργανισμών και είναι τοξικά ακόμη και σε μικρές ποσότητες.

Τα βαρέα μέταλλα προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς με τη διαδικασία της παθητικής προσρόφησης και της ενεργητικής απορρόφησης. Παθητική προσρόφηση των βαρέων μετάλλων γίνεται στις εξωτερικές μεμβράνες των οργανισμών. Η ενεργητική απορρόφησή τους γίνεται κυρίως όταν τα μέταλλα είναι απαραίτητα στη φυσιολογία των οργανισμών (π.χ. το βανάδιο για τα ασκίδια) ή όταν οι οργανισμοί δεν μπορούν να κάνουν διάκριση πρόσληψης μεταξύ μετάλλων που έχουν την ίδια χημική συμπεριφορά (π.χ. πρόσληψη ραδιενεργού στροντίου αντί ασβεστίου). Η κατανομή ενός μετάλλου στους ιστούς του οργανισμού εξαρτάται από το είδος του και έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει εξειδίκευση των οργάνων (κρίσιμα όργανα ή ιστοί) σχετικά με τη συσσώρευση του προσλαμβανόμενου μετάλλου. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται εκλεκτική προσρόφηση.

Όλοι οι θαλάσσιοι οργανισμοί δεν έχουν την ίδια ικανότητα αποβολής της ποσότητας των μετάλλων που προσλαμβάνουν. Ορισμένοι οργανισμοί συσσωρεύουν συνεχώς τα προσλαμβανόμενα μέταλλα, με αποτέλεσμα την ποσοτική αύξηση των μετάλλων αυτών στα κρίσιμα όργανα ή τους ιστούς. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται βιοσυσσώρευση και οι οργανισμοί ονομάζονται βιοσυσσωρευτές. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί που τρέφονται από βιοσυσσωρευτές είναι φανερό ότι προσλαμβάνουν τα μέταλλα σε αυξημένες

ποσότητες. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται βιομεγέθυνση και η σπουδαιότερη σημασία της είναι ότι έχει επιπτώσεις στους οργανισμούς-θηρευτές που ανήκουν σε ανώτερα τροφικά επίπεδα της τροφικής αλυσίδας (συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου), οι οποίοι εμπλουτίζονται συνεχώς με μέταλλα μέσω της διατροφής τους από βιοσυσσωρευτές. Τα πλέον επικίνδυνα βαρέα μέταλλα από την άποψη της τοξικότητας για τον άνθρωπο και τους θαλάσσιους οργανισμούς είναι ο υδράργυρος, το κάδμιο, ο χαλκός και ο μόλυβδος.

Ο προσδιορισμός της ρύπανσης των ιζημάτων από βαρέα μέταλλα αποτελεί ένα αξιόπιστο μέσο για τον καθορισμό του επιπέδου επιβάρυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από αυτά. Ο προσδιορισμός του βαθμού ρύπανσης των ιζημάτων είναι δυνατόν να επιτευχθεί με σύγκριση των συγκεντρώσεων τους στα ρυπασμένα θαλάσσια ιζήματα έναντι των φυσικών συγκεντρώσεων (καλούνται συγκεντρώσεις υποβάθρου) σε μη ρυπασμένα ιζήματα. Επιπρόσθετα έχουν προταθεί διάφορες απλές μαθηματικές σχέσεις, που καλούνται δείκτες ρύπανσης (pollution indices) και οι οποίες ποσοτικοποιούν την επιβάρυνση των θαλασσίων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα.

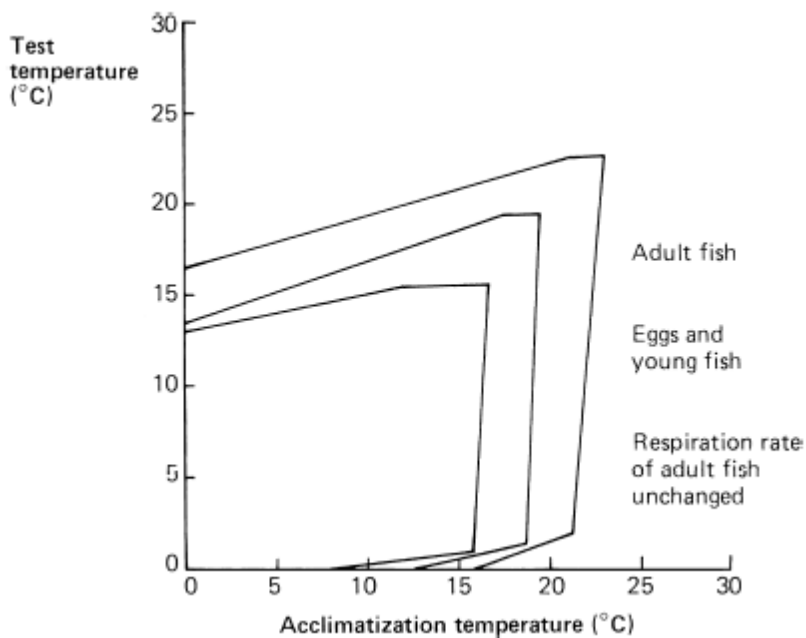
2.8 Θερμική ρύπανση

Η θερμική ρύπανση προέρχεται από πολλές βιομηχανικές δραστηριότητες όπως η παραγωγή μεταλλουργικού κωκ κ.α., Κυρίως όμως προέρχεται από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Λόγω της εποχιακής εξάρτησης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συχνά υπάρχουν εποχιακές αλλά και ημερήσιες διακυμάνσεις στις ποσότητες θερμότητας που εκλύεται στα υδατικά συστήματα. Αυτό δημιουργεί ένα παρόμοιο πρόβλημα με αυτό που προκαλείται από τις διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις των τοξικών ουσιών και προσδιορίζεται συνήθως κατά τρόπο ανάλογο με την χρήση των μονάδων νέκρωσης. Ο εγκλιματισμός στη θερμότητα είναι επίσης παρόμοιος με τον εγκλιματισμό στις τοξίνες (σχ. 2.2.).

Η αύξηση της θερμοκρασίας στα υδατικά συστήματα μπορεί να βλάψει τις βιοκοινωνίες με διάφορους τρόπους όπως:

- Μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου.

- Μείωση της διαθεσιμότητας του οξυγόνου μέσω της αύξησης της βακτηριακής δραστηριότητας (η αύξηση στη δραστηριότητα είναι περίπου 10% ανά βαθμό Κελσίου).
- Αύξηση του πληθυσμού και της μεταβολικής ικανότητας των υδρόβιων οργανισμών με παράλληλη αύξηση της ζήτησης σε τροφή και διαθέσιμο οξυγόνο (η αύξηση στην μεταβολική ικανότητα ποικίλλει για τους διαφορετικούς οργανισμούς αλλά μπορεί να φτάσει και ως 250% ανά 10 βαθμούς Κελσίου).
- Μεταβολή στην αναπαραγωγική ικανότητα, ιδιαίτερα των ψαριών, με τα αρσενικά ή τα θηλυκά είναι ώριμα για αναπαραγωγή σε διαφορετικούς χρόνους.
- Πρόκληση φυσιολογικού κινδύνου μιας και για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς υπάρχει μια πολύ λεπτή ισορροπία μεταξύ των βέλτιστων και μέγιστων θερμοκρασιών.



Σχήμα 2.2 Εγκλιματισμός στη θερμότητα για υδρόβιους οργανισμούς (James, 1984).

Η θερμική ρύπανση, που προκαλείται από έκχυση θερμών νερών προερχόμενων από μονάδες παραγωγής ενέργειας και διυλιστηρίων πετρελαίου (που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό για την ψύξη των μηχανών τους) στο θαλάσσιο περιβάλλον, είναι δυνατόν να αυξήσει τη θερμοκρασία

εκτός των απαιτούμενων ορίων για τα είδη που διαβιούν στο περιβάλλον αυτό, με δυσμενείς συνέπειες για την επιβίωσή τους.

2.9 Ρύπανση από ραδιενέργεια

Η διασπορά ραδιενεργού σκόνης που μεταφέρεται μέσω των ανέμων και των βροχοπτώσεων σε μια θαλάσσια περιοχή, είναι πηγή ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Μετά το ατύχημα στον πυρηνικό αντιδραστήρα του Τσερνόμπιλ το 1986, η Βαλτική Θάλασσα ήταν η περιοχή που δέχτηκε το μεγαλύτερο μέρος του ραδιενεργού φορτίου σε σχέση με τις άλλες θαλάσσιες περιοχές. Αναλύσεις θαλάσσιου νερού της Βαλτικής θάλασσας που έγιναν τον Οκτώβριο και Νοέμβριο 1986 έδειξαν ότι η συγκέντρωση του καϊσίου-137 ήταν 0,19 Bq ανά λίτρο, ενώ κατά τη χρονική περίοδο 1980-5 είχε μέσον όρο 0,018 Bq ανά λίτρο. Αντίστοιχες αναλύσεις ιχθύων έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις καϊσίου-137 ήταν 41 Bq ανά χιλιόγραμμο βάρους (Bq είναι η μονάδα συχνότητας των ραδιενεργών διασπάσεων του πυρήνα μιας ουσίας). Επιπτώσεις στη δημόσια υγεία από κατανάλωση ιχθύων δεν έχουν καταγραφεί.

Η μεταφορά και διασπορά του ραδιενεργού υλικού από το Τσερνόμπιλ στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο μελετήθηκε από το ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ". Τα ραδιενεργά κατάλοιπα από την πηγή προέλευσης ακολούθησαν τη διαδρομή των ποταμών Πριπυάτ, Δούναβη και Δνείστερου προς τη Μαύρη Θάλασσα και μέσω των Δαρδανελλίων έφθασαν στο Βόρειο Αιγαίο και ακολούθως στο νότιο Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος.

Τα αποτελέσματα της σχετικής μελέτης, που αφορά στην τιμή της συγκέντρωσης του ραδιενεργού στοιχείου καϊσίου-137 στο νερό, στο ίζημα και στους θαλάσσιους οργανισμούς του Αιγαίου Πελάγους πριν και μετά το ατύχημα, φαίνονται στον πίνακα 2.1.:

Πίνακας 2.1. Συγκεντρώσεις του μακρόβιου ραδιονουκλιδίου καΐσιου-137 στο Αιγαίο Πέλαγος πριν και μετά το ατύχημα Τσερνόμπιλ (Γεωργιάδης, κ.α., 2004).

Περίοδος	Θαλασ. Νερό	Ϊζημα	Φύκη	Ιχθείς	Μύδια
	(Bq/m ³)	(Bq/kg.w.w)	(Bq/kg.w.w)	(Bq/kg.w.w)	(Bq/kg.w.w)
1984-5	2,70±0,28	2,42±0,34	0,57±0,65	0,34±0,07	0,68±0,06
1986-7	27,00±0,27	4,54±1,99	1,21±0,87	10,14±7,45	7,10±1,80
1988-9	20,70±14,70	1,88±0,96	<1,0	0,65±0,37	0,46±0,14

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι εννέα χρόνια μετά από το ατύχημα Τσερνόμπιλ οι συγκεντρώσεις του καΐσιου-137 στο Αιγαίο Πέλαγος είναι αρκετά υψηλές και αυτό οφείλεται στη συνεχή εισροή του ραδιονουκλιδίου αυτού από τη Μαύρη Θάλασσα. Αντίθετα, η περιεκτικότητα του καΐσιου-137 τόσο στο ίζημα όσο και στους θαλάσσιους οργανισμούς του Αιγαίου Πελάγους φαίνεται ότι έχει ήδη προσεγγίσει τα προ του ατυχήματος επίπεδα.

2.10 Μόλυνση θαλασσών

Η σχέση μεταξύ της εμφάνισης ασθενειών στους κολυμβητές και του μικροβιακού φορτίου των νερών κολύμβησης, είναι πολύ σύνθετη. Οι απαιτήσεις για τα ύδατα κολύμβησης από την άποψη της συγκέντρωσης των κολοβακτηριδίων ή των στρεπτόκοκκων, είναι συγκεκριμένες, όμως τα στοιχεία δείχνουν πως ο κύριος κίνδυνος για την υγεία των κολυμβητών είναι οι εντερικοί ιοί. Ένας άλλος κίνδυνος για την υγεία είναι από τα οστρακόδερμα. Λόγω του ότι φιλτράρουν μεγάλες ποσότητες νερού για την σίτισή τους, αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να συγκεντρώσουν τους παθογόνους μικροοργανισμούς (και τα βαριά μέταλλα) σε επικίνδυνα επίπεδα στους ιστούς τους. Επομένως, επιβάλλεται η θέσπιση ορίων των τοξικών ουσιών στα νερά όπου καλλιεργούνται για την προστασία της υγείας των καταναλωτών.

2.11 Διείσδυση ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον

Για τη μελέτη της θαλάσσιας ρύπανσης πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τρόποι μεταφοράς από τις ηπείρους στους ωκεανούς, τόσο σφαιρικά, όπως είναι η μεταφορά από την ατμόσφαιρα, όσο και τοπικά από τις εκβολές των ποταμών και τις εκροές των αγωγών.

Οι ρύποι καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον με διάφορες οδούς:

1. Με τους ποταμούς που μεταφέρουν οργανικές και ανόργανες επικίνδυνες και τοξικές ενώσεις
2. Με απευθείας απόχυση υγρών αποβλήτων στις ακτές, μέσω αγωγών ή με μεταφορά με πλοία και απόθεση στη θάλασσα, υγρών και στερεών τοξικών ενώσεων.
3. Από την ατμόσφαιρα.
4. Με τις θαλάσσιες μεταφορές.

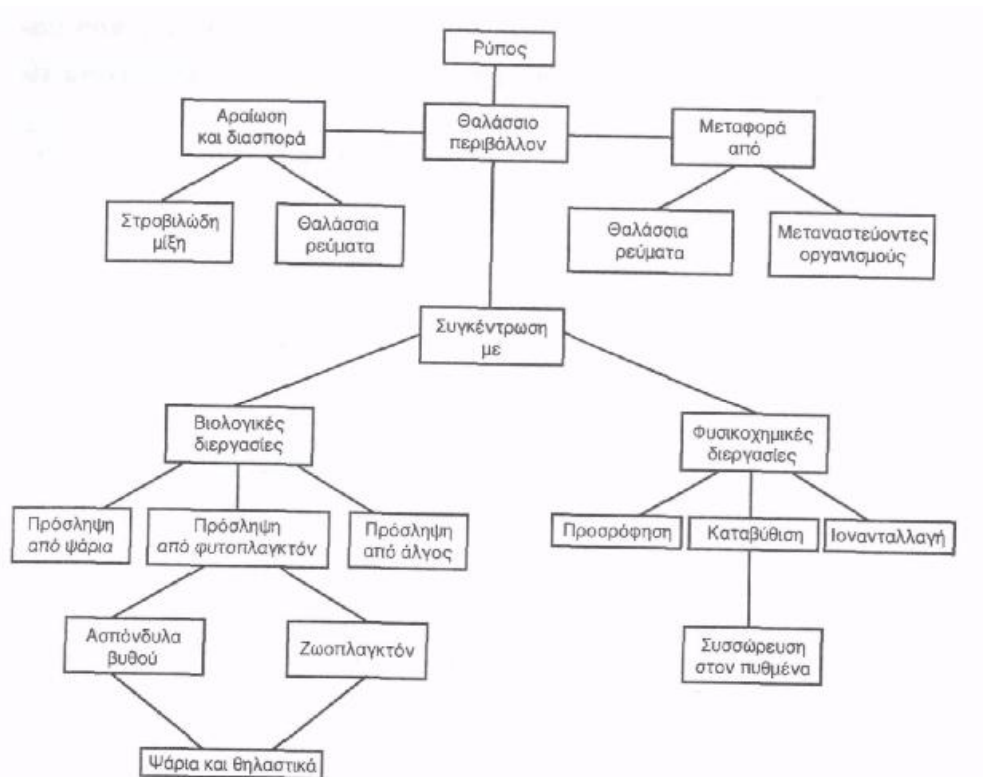
Στο σχήμα 2.3 δίνεται η τύχη και η κατανομή των ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Οι κυριότερες ωκεανογραφικές και βιολογικές διεργασίες που καθορίζουν την τελική αποικοδόμηση των διαφόρων ρύπων συνοπτικά είναι οι ακόλουθες:

- Επιφανειακή διασπορά με την επίδραση του ανέμου και των ρευμάτων.
- Εξάτμιση
- Διάλυση
- Αραίωση - Διάχυση - Διασπορά
- Γαλακτωματοποίηση
- Φωτοχημική οξειδωση
- Αυτοοξειδωση
- Βιοαποικοδόμηση
- Προσρόφηση σε σωματίδια
- Κατάποση από το ζωοπλαγκτόν και ανώτερους θαλάσσιους οργανισμούς
- Αρχική ιζηματοποίηση
- Επακόλουθη επαναιώρηση του ιζήματος στη διεπιφάνεια νερού-ιζήματος και στα ενδιάμεσα κενά διαστήματα των ιζημάτων

Πίνακας 2.2. Κυριότεροι ρύποι που εισάγονται στους ωκεανούς από ανθρώπινες δραστηριότητες και φυσικές πηγές (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Κατηγορία ρύπων	Προέλευση από φυσικές πηγές	Προέλευση από ανθρώπινες δραστηριότητες
Υδρογονάνθρακες πετρελαίου	Ποτάμια, νερά βροχής, ηφαίστεια, διαρροές πετρελαίων ατμόσφαιρα, βακτήρια στην υδάτινη στήλη.	Μεταφορικά μέσα, παραγωγή αεροζόλ, έκπλυση αστικών περιοχών από νερά βροχής
Αιωρούμενα σωματίδια	Ποτάμια, νερά βροχής, θολερά ρεύματα, νεφελοειδείς σιβάδες, υψηλή βιολογική παραγωγή, ατμόσφαιρα	Κτηνοτροφία, αλιεία, λιμάνια, ποτάμια, κανάλια, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, γεωτρήσεις
Βαρέα μέταλλα	Ηφαίστεια, ποτάμια, νερά βροχής, ιζήματα, αποσύνθεση οργανισμών	Βιομηχανικά και αστικά απόβλητα
Ραδιενεργά υλικά	Ποτάμια, νερά βροχής, ατμόσφαιρα, μεταλλοφόρα κοιτάσματα	Βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας, πυρηνικές δοκιμές
Θρεπτικά συστατικά	Ποτάμια, νερά βροχής, ιζήματα πυθμένα που ανέρχονται στην επιφάνεια, βιολογική ανακύκλωση, ατμόσφαιρα	Αστικά λύματα, λιπάσματα από γεωργικές καλλιέργειες
Θερμική αλλοίωση	Ηφαίστεια, υπέρθερμες τροφές, λιμνοθάλασσες ή εκβολές ποταμών	Απόβλητα πύργων ψύξης, μετατροπή/χρησιμοποίηση της θερμικής ενέργειας των ωκεανών
BOD	Αποσύνθεση, ευτροφισμός, κόκκινη παλίρροια (Red-tide)	Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, απόβλητα κονσερβοποιίας
Αλατότητα	Ρηχές λιμνοθάλασσες, ποτάμια, «θόλοι άλατος» (salt-dome)	Βιομηχανικά απόβλητα που περιλαμβάνουν απόθεση άλμης από κοιλάτητες αποθήκευσης και «θόλοι άλατος»



Σχήμα 2.3. Οι διάφορες διεργασίες που καθορίζουν την τύχη και την κατανομή ενός ρύπου που καταλήγει στο θαλάσσιο περιβάλλον. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Οι ωκεανογραφικοί και λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση των υγρών και στερεών ουσιών που εισάγονται στη θάλασσα, είναι:

- Χημική σύσταση και μέγεθος, προκειμένου για στερεή ουσία
- Ταχύτητα εκροής
- Διάρκεια εκροής
- Ποσότητα του νερού που διοχετεύεται με το σωλήνα εκροής των αποβλήτων και που μπορεί να προκαλέσει σημαντική προκαταρκτική αραίωση
- Ταχύτητα και διεύθυνση των ρευμάτων
- Κατεύθυνση κυμάτων, ρευμάτων και ανέμων
- Δίνες που προκαλούνται από τα πλοία ή τις φορτηγίδες
- Βάθος της αναμιγνυόμενης στιβάδας (που καθορίζεται γενικά από την θερμοκλίνη, αλλά δεν μπορεί να ελεγχθεί από την πυκνοκλίνη)

- Πυκνότητα του νερού κάτω από την αναμιγνυόμενη στιβάδα (τα ελαφρά σωματίδια μπορούν να επιπλέουν κατά μήκος της ισόπυκνης επιφάνειας και έτσι να συγκεντρωθούν ή να μεταφερθούν από ή προς μια περιοχή)
- Διαχωρισμός των διαφόρων φάσεων των ρευστών π.χ. ελαφρά και βαριά σωματιδιακά κλάσματα, διαλυτό κλάσμα κ.ά.
- Βάθος του σωλήνα εκροής
- Βάθος της υδάτινης στήλης
- Τοπογραφία και σύσταση πυθμένα

2.12 Διεργασίες μεταφοράς ρύπων

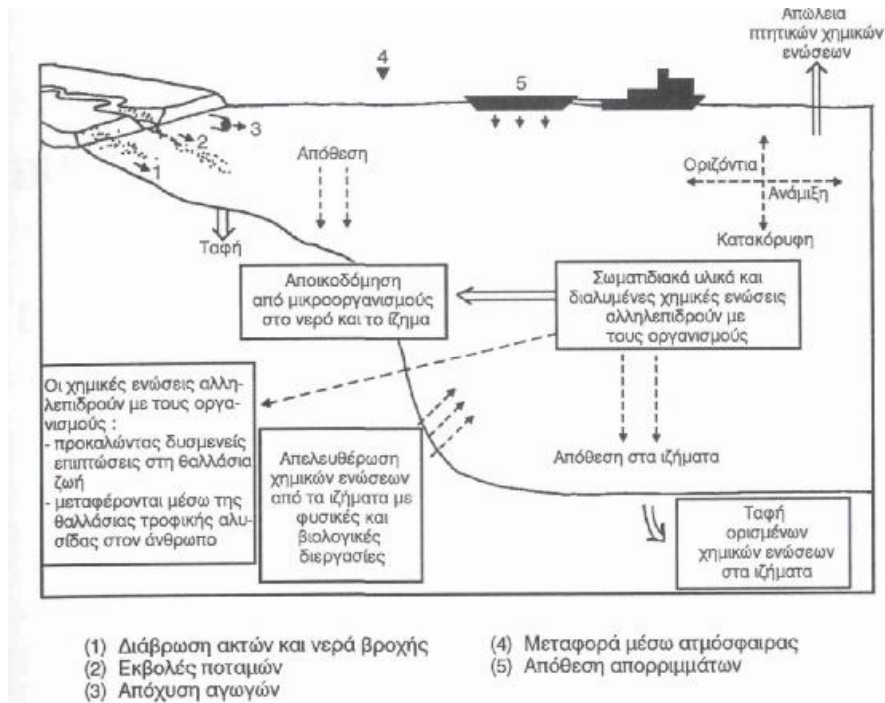
Η διασπορά των ρύπων εξαρτάται από το βάθος, την κατανομή της πυκνότητας στην υδάτινη στήλη, την τυρβώδη διάχυση, τον κυματισμό και τα ρεύματα. Τα απόβλητα που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον υφίστανται αρχικά αραίωση, ενώ περαιτέρω διασπορά επιτυγχάνεται με διεργασίες ανάμιξης.

Στο σχήμα 2.4 δίνονται σχηματικά οι οδοί και οι διεργασίες μεταφοράς των αποβλήτων στα θαλάσσια οικοσυστήματα.

Οι επικρατούσες συνθήκες ρευμάτων επηρεάζουν τη μεταφορά και την καταβύθιση των αποβλήτων, ενώ η στρωματοποίηση του νερού καθορίζει την κατακόρυφη μεταφορά τους. Όπως προαναφέρθηκε βιολογικής σημασίας ρύποι, όπως παθογόνοι μικροοργανισμοί, μέταλλα, υδρογονάνθρακες πετρελαίου και συνθετικές οργανικές ενώσεις, δεσμεύονται από τα σωματιδιακά υλικά και ακολουθούν την τύχη των ιζημάτων καθώς καταλήγουν σ' αυτά. Επαναιώρηση των ιζημάτων μπορεί να προκαλέσει επαναδιάλυση των ρύπων.

Η χημική μορφή και η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων και των συνθετικών οργανικών ενώσεων μπορεί να μεταβληθεί από βιολογικές διεργασίες όπως μικροβιακή αποικοδόμηση και από χημικές, όπως αντιδράσεις ρόφησης, εκρόφησης, οξειδωσης και διάλυσης.

Οι δράσεις ρόφησης-εκρόφησης εξαρτώνται κυρίως από την επιφάνεια των σωματιδίων, το φορτίο, τα ανταγωνίζοντα ιόντα, τη χημική μορφή και τις διεργασίες ιοανταλλαγής μεταξύ διεπιφάνειας στερεού-διαλύτη.



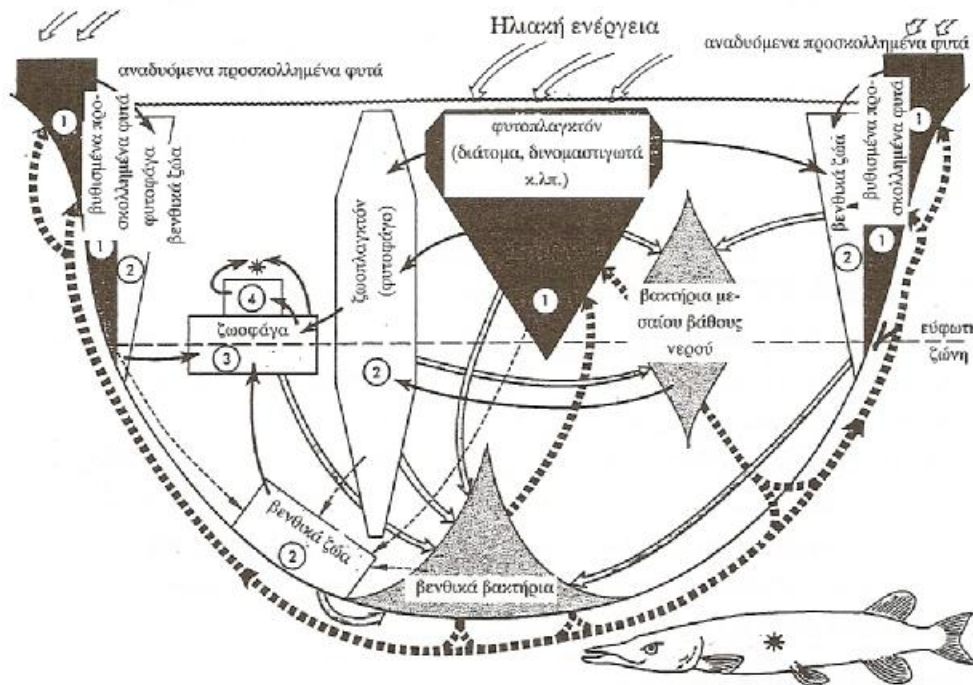
Σχήμα 2.4. Οδοί διείσδυσης και διεργασίες μεταφοράς των αποβλήτων στα θαλάσσια οικοσυστήματα. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις των μετάλλων και των συνθετικών ενώσεων στο νερό και τα ιζήματα δεν συνεπάγονται απαραίτητα την εμφάνιση τοξικών επιδράσεων στις βιοκοινωνίες.

Βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες ελέγχουν την τοξικότητα και την βιοσυσσώρευση των διαφόρων ρύπων. Η πρόσληψη των ρύπων από τους οργανισμούς γίνεται μέσω προσρόφησης στις επιφάνειες του σώματος τους και ανταλλαγής του νερού κατά την αναπνοή και την πρόσληψη τροφής. Η απομάκρυνση των ρύπων γίνεται κυρίως με απέκκριση.

2.13 Επιπτώσεις της ρύπανσης στις θαλάσσιες βιοκοινωνίες

Θαλάσσια βιοκοινωνία είναι το σύνολο των οργανισμών που ζουν σε μια καθορισμένη περιοχή. Θαλάσσιο οικοσύστημα είναι η βιοκοινωνία σε συνδυασμό με το φυσικό (ανόργανο) περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται. Βασικές μονάδες κάθε οικοσυστήματος είναι τα φυτά, τα ζώα και τα βακτήρια, ενώ η τροφική τους αλληλεξάρτηση αποτελεί την τροφική αλυσίδα (σχ. 2.5).



Σχήμα 2.5. Σχηματική αναπαράσταση της τροφικής αλυσίδας στο θαλάσσιο περιβάλλον (Γεωργιάδης, κ.α., 2004).

Η σύνθεση οργανικών ενώσεων με επιλογή των ανόργανων ουσιών του νερού, από τους υδρόβιους οργανισμούς καλείται πρωτογενής παραγωγή. Η παραγωγή αυτή γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των υδρόβιων φυσικών οργανισμών. Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό το διοξείδιο του άνθρακος και κάποιες άλλες φωσφορικές και νιτρικές ουσίες. Έτσι οι υδρόβιοι φυτικοί οργανισμοί που έχουν χλωροφύλλη, χρησιμοποιώντας τη φωτεινή ενέργεια είναι ικανοί να συνθέσουν οργανικές ουσίες.

Τα κύρια προϊόντα της πρωτογενούς παραγωγής είναι υδατάνθρακες πρωτεΐνες και λίπη. Το σύνολο των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών στους οποίους κατά το μεγαλύτερο μέρος οφείλεται η πρωτογενής παραγωγή στο υδάτινο περιβάλλον εκφράζεται ως μονάδα επιφάνειας ύδατος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι υδάτινες περιοχές που χαρακτηρίζονται από την παρουσία μεγάλου αριθμού φυτοπλαγκτονικών κυττάρων χαρακτηρίζονται επίσης και από μεγάλη παραγωγικότητα. Θεωρείται σκόπιμο λοιπόν να

εξετάζονται και να ερευνώνται οι παράγοντες που επηρεάζουν και καθορίζουν τη μεγάλη και ταχεία ανάπτυξη του φυτοπλαγκτονικών πληθυσμών επειδή σε αυτούς τους οργανισμούς όπως προαναφέρθηκε οφείλεται η πρωτογενής παραγωγή των υδάτινων εκτάσεων.

Η πρωτογενής αυτή παραγωγή είναι θεμελιώδους σημασίας για το υδρόβιο περιβάλλον καθ' όσον είναι ο πρώτος κρίκος της τροφικής αλυσίδας και τελειώνει με τα ψάρια και τα διάφορα υδρόβια θηλαστικά.

Η κατανάλωση των φυτικών οργανισμών του υδρόβιου περιβάλλοντος από τα φυτοφάγα ζώα οδηγεί στην παραγωγή ζωικών ιστών. Αυτή αποτελεί τη δευτερογενή παραγωγή του υδάτινου περιβάλλοντος που αποτελεί τροφή της πρώτης βαθμίδας του σαρκοφάγων ζώων, η παραγωγή των οποίων ονομάζεται τριτογενής παραγωγή. Αυτή αποτελεί τροφή για τα άλλα σαρκοφάγα ζώα κ.ο.κ.

Αυτά τα στάδια παραγωγής των ζωντανών ιστών αποτελούν τους κρίκους της τροφικής αλυσίδας του υδάτινου περιβάλλοντος. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι συνδέσεις είναι πολύ πολύπλοκες από ότι αναφέρθηκε δεδομένου ότι πολλοί από τους εμπλεκόμενους οργανισμούς παίρνει τροφή τους από περισσότερα από ένα τροφικά επίπεδα. Έτσι οι κρίκοι της τροφικής αλυσίδας εμπλέκονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα τροφικό δίκτυο. Στα διάφορα τροφικά επίπεδα παρατηρούνται μεγάλες απώλειες οργανικών ουσιών, εξαιτίας πολλών παραγόντων.

Παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό των διαφόρων οργανισμών σε κάθε τροφικό επίπεδο, δεν καταναλώνεται από τα διάφορα ζωικά είδη, αλλά πεθαίνει και αποσυντίθεται αυτολυόμενο ή με βακτηριακή δράση. Επίσης μέρος της τροφής που καταναλώνεται από τα διάφορα ζωικά είδη αποβάλλεται χωρίς να αφομοιωθεί, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της τροφής που έχει αφομοιωθεί καταναλώνεται για την αντιμετώπιση των αναγκών του ζωικών οργανισμών με αποτέλεσμα στο τέλος να μένει ένα μικρό ποσοστό για την παραγωγή νέων αστών.

Πιστεύεται ότι ο βαθμός εκμετάλλευσης της τροφής είναι μεγαλύτερος τους φυτοφάγους παρά στους σαρκοφάγους οργανισμούς. Εξαιτίας της αναπνοής και της εκκρίσεως, του θανάτου και της αποσυνθέσεως των υδρόβιων οργανισμών, οι οργανικές ουσίες διασπώνται και επιστρέφουν στο

νερό ως απλές ενώσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται από τους φυτικούς υδρόβιους οργανισμούς κατά την πρωτογενή παραγωγή. Έτσι οι διάφορες ενώσεις και τα στοιχεία συνεχώς ανακυκλώνονται από ανόργανη σε οργανική μορφή και πάλι σε ανόργανη. Η αρχική σύνθεση των οργανικών ουσιών περιλαμβάνει δέσμευση ενέργειας από το σύστημα, που προέρχεται από τον ήλιο.

Οι παράγοντες που ρυθμίζουν την πρωτογενή παραγωγικότητα είναι το φως, η θερμοκρασία, τα θρεπτικά συστατικά και η ένταση της καταναλώσεως των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών από τους ζωοπλαγκτονικούς.

Η υπερβολικής αύξηση της οργανικής ουσίας λόγω αύξησης της πρωτογενούς παραγωγής και της βιομάζας των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών ονομάζεται *Ευτροφισμός*. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε περιοχές (κυρίως κόλπους) που ρυπαίνονται από αστικά λύματα και γεωργικά απόβλητα, τα οποία εισάγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον μεγάλα φορτία θρεπτικών αλάτων (άζωτο, φώσφορος) και οργανικής ουσίας. Σε αντίθεση με τον ευτροφισμό, ο ολιγοτροφισμός χαρακτηρίζει θαλάσσιες περιοχές φτωχές σε πρωτογενή παραγωγή και φυτοπλαγκτονική βιομάζα (κυρίως ωκεάνιες περιοχές), ενώ ο μεσοτροφισμός είναι η ενδιάμεση κατάσταση ευτροφισμού και ολιγοτροφισμού. Ο ευτροφισμός μιας περιοχής αντιμετωπίζεται επιτυχώς με τη διαδικασία επεξεργασίας των αστικών λυμάτων, με σκοπό την απομάκρυνση τόσο της οργανικής ουσίας, όσο και των θρεπτικών αλάτων που περιέχουν.

Τα πετρελαιοειδή επηρεάζουν το σύνολο των θαλάσσιων οργανισμών, δηλαδή τόσο αυτούς που διαβιούν στα επιφανειακά ή βαθύτερα στρώματα του νερού, όσο και εκείνους που κατοικούν στον πυθμένα της θάλασσας. Όταν μια ποσότητα πετρελαιοειδών χυθεί στη θάλασσα, διασκορπίζεται αρχικά στα επιφανειακά στρώματα και αμέσως αρχίζει η διαδικασία διαχωρισμού των υποπροϊόντων που περιέχει. Τα υποπροϊόντα μικρού μοριακού βάρους συσσωρεύονται στην επιφάνεια και εξατμίζονται γρήγορα, ενώ τα υδατοδιαλυτά υποπροϊόντα διαλύονται σε όλη τη μάζα του νερού. Τα αδιάλυτα συστατικά δημιουργούν γαλακτώματα, είτε πετρελαίου μέσα στο νερό σχηματίζοντας μικρές σταγόνες, είτε νερού μέσα στο πετρέλαιο σχηματίζοντας μια σκούρα αφρώδη μάζα, η οποία ονομάζεται «μους

σοκολάτας». Τα υποπροϊόντα μεγάλου ειδικού βάρους σχηματίζουν σβόλους πίσσας και καθιζάνουν στο βυθό ή μεταφέρονται στις παράκτιες περιοχές.

Οι επιπτώσεις της επίδρασης των πετρελαιοειδών φαίνεται ότι διαφοροποιούνται ανάλογα με την κατηγορία των οργανισμών που προσβάλλονται από αυτά. Μελέτες που έγιναν σε περιοχές με συνεχή ρύπανση από πετρελαιοειδή (διυλιστήρια, π.χ. Κόλπος Ελευσίνας) έδειξαν ότι οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί. Έχει διαπιστωθεί όμως ότι το φυτοπλαγκτόν προσλαμβάνει τους πετρελαϊκούς ρύπους (πολλοί από τους οποίους θεωρούνται καρκινογόνοι) μέσω της διατροφής του ή της προσρόφησης των ρύπων στα κύτταρά του και τους μεταφέρει στα ανώτερα τροφικά επίπεδα μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Οι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί (κωπήποδα, αυγά ψαριών, προνύμφες των βενθικών οργανισμών) επηρεάζονται σημαντικά από τα πετρελαιοειδή παρουσιάζοντας προβλήματα κυρίως στην πλεύση, λόγω μεταβολής του ιξώδους του νερού, και στην αναπνοή, από την έλλειψη οξυγόνωσης του νερού λόγω κάλυψης των επιφανειακών στρωμάτων από πετρέλαια, με αποτέλεσμα να βυθίζονται στον πυθμένα και να πεθαίνουν.

Τα άμεσα αποτελέσματα των πετρελαιοειδών στις βενθικές βιοκοινωνίες (φυτοβένθος και ζωοβένθος) οφείλονται κυρίως στη μηχανική τους δράση. Οι εναποθέσεις πίσσας στον πυθμένα καλύπτουν το χώρο διαβίωσης αλλά και τους ίδιους τους οργανισμούς, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται τόσο η μετακίνηση και η διατροφή των βενθικών ζώων, όσο και η ανάπτυξη των βενθικών φυτών. Έτσι, ο αριθμός των ειδών τους ελαττώνεται και τελικά εξαφανίζονται σε περιπτώσεις έντονης και χρόνιας πετρελαϊκής ρύπανσης. Εάν όμως σταματήσει η εκβολή των πετρελαιοειδών, γίνεται σταδιακά πλήρης αποκατάσταση των βενθικών βιοκοινωνιών.

Τα περισσότερα είδη ψαριών που ζουν στα υδάτινα στρώματα των ανοικτών θαλασσών, λόγω της μεγάλης τους κινητικότητας, έχουν τη δυνατότητα απομάκρυνσης από τις περιοχές έντονης ρύπανσης. Τα ψάρια κλειστών κόλπων επηρεάζονται εντονότερα, όταν δημιουργούνται ανοξικές καταστάσεις λόγω κάλυψης των επιφανειακών στρωμάτων από πετρέλαια ή εάν υποστούν φραγμό των βραγχίων τους από πίσσα. Σε πολλές περιπτώσεις χρόνιας αλλά όχι έντονης ρύπανσης τα ψάρια αναπτύσσονται κανονικά, αλλά οι ιστοί τους εμποτίζονται από πετρελαϊκές ουσίες έντονης

οσμής, με αποτέλεσμα να χάσουν την εμπορική τους αξία.

Τα θαλάσσια πτηνά ανήκουν στην κατηγορία των πλέον ευαίσθητων οργανισμών στην πετρελαϊκή ρύπανση. Αντίθετα με τους άλλους θαλάσσιους οργανισμούς, οι οποίοι επηρεάζονται από τις τοξικές ιδιότητες, τα πτηνά βλάπτονται από τις φυσικές ιδιότητες των πετρελαιοειδών. Όταν ένα πτηνό πλέει ή βυθίζεται για αναζήτηση τροφής σε νερά που έχουν ρυπανθεί από πετρέλαια, το πτέρωμά του καλύπτεται πολύ γρήγορα από ορισμένες πετρελαϊκές ουσίες, χάνει τον υδρόφοβο χαρακτήρα του και ο αέρας που υπάρχει μεταξύ πτερώματος και δέρματος αποβάλλεται λόγω εισροής νερών στην περιοχή αυτή. Ο αέρας αυτός παρέχει θερμική μόνωση και άνωση κατά την πλεύση και η απομάκρυνσή του έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη των πτηνών, την απώλεια της ικανότητάς τους για πλεύση και τελικά, την καταβύθιση και τον πνιγμό τους.

Η επίδραση του πετρελαίου στα θαλάσσια θηλαστικά εξαρτάται από το είδος του τρίχωματος που καλύπτει το δέρμα τους. Θηλαστικά με πυκνό τρίχωμα (π.χ. φώκιες) όταν καλυφθούν με πετρέλαιο, παρουσιάζουν συμπτώματα απώλειας της θερμικής μόνωσης που τους προσφέρει το τρίχωμα, ενώ αυτά που έχουν λείο δέρμα (δελφίνια, φάλαινες) δεν επηρεάζονται άμεσα.

Τα βαρέα μέταλλα που έχουν βιολογικό ενδιαφέρον διαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

- Στα μέταλλα τα οποία σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα στο μεταβολισμό των οργανισμών, αλλά σε μεγάλες ποσότητες είναι τοξικά. Μερικά από αυτά περιέχονται στις αναπνευστικές χρωστικές των οργανισμών, όπως είναι ο σίδηρος (σπονδυλωτά), ο χαλκός (αρθρόποδα) και το βανάδιο (χιτωνοφόρα) και άλλα, όπως ο ψευδάργυρος, κοβάλτιο, μαγγάνιο, χρώμιο, σελήνιο, νικέλιο, και κασσίτερος, είναι συστατικά ενζύμων ή χρησιμεύουν ως καταλύτες σε διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις.
- Στα μέταλλα, υδράργυρος, κάδμιο, μόλυβδος, κασσίτερος, σελήνιο και αρσενικό, τα οποία δεν είναι απαραίτητα στο μεταβολισμό των οργανισμών και είναι τοξικά ακόμη και σε μικρές ποσότητες.

Τα βαρέα μέταλλα προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς με τη διαδικασία της παθητικής προσρόφησης και της ενεργητικής απορρόφησης. Παθητική προσρόφηση των βαρέων μετάλλων γίνεται στις εξωτερικές μεμβράνες των οργανισμών. Η ενεργητική απορρόφησή τους γίνεται κυρίως όταν τα μέταλλα είναι απαραίτητα στη φυσιολογία των οργανισμών (π.χ. το βανάδιο για τα ασκίδια) ή όταν οι οργανισμοί δεν μπορούν να κάνουν διάκριση πρόσληψης μεταξύ μετάλλων που έχουν την ίδια χημική συμπεριφορά (π.χ. πρόσληψη ραδιενεργού στροντίου αντί ασβεστίου).

Η κατανομή ενός μετάλλου στους ιστούς του οργανισμού εξαρτάται από το είδος του και έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει εξειδίκευση των οργάνων (κρίσιμα όργανα ή ιστοί) σχετικά με τη συσσώρευση του προσλαμβανόμενου μετάλλου. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται εκλεκτική προσρόφηση. Όλοι οι θαλάσσιοι οργανισμοί δεν έχουν την ίδια ικανότητα αποβολής της ποσότητας των μετάλλων που προσλαμβάνουν.

Ορισμένοι οργανισμοί συσσωρεύουν συνεχώς τα προσλαμβανόμενα μέταλλα, με αποτέλεσμα την ποσοτική αύξηση των μετάλλων αυτών στα κρίσιμα όργανα ή τους ιστούς. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται βιοσυσσώρευση και οι οργανισμοί ονομάζονται βιοσυσσωρευτές. Οι θαλάσσιοι οργανισμοί που τρέφονται από βιοσυσσωρευτές είναι φανερό ότι προσλαμβάνουν τα μέταλλα σε αυξημένες ποσότητες. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται βιομεγέθυνση και η σπουδαιότερη σημασία της είναι ότι έχει επιπτώσεις στους οργανισμούς-θηρευτές που ανήκουν σε ανώτερα τροφικά επίπεδα της τροφικής αλυσίδας (συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου), οι οποίοι εμπλουτίζονται συνεχώς με μέταλλα μέσω της διατροφής τους από βιοσυσσωρευτές. Τα πλέον επικίνδυνα βαρέα μέταλλα από την άποψη της τοξικότητας για τον άνθρωπο και τους θαλάσσιους οργανισμούς είναι ο υδράργυρος, το κάδμιο, ο χαλκός και ο μόλυβδος.

2.14 Κριτήρια επιλογής περιοχών εναπόθεσης αποβλήτων στους ωκεανούς

Τα κριτήρια επιλογής των περιοχών εναπόθεσης των αποβλήτων στους ωκεανούς που προτείνονται από την ομάδα GESAMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution: IMCO/ FAO/ UNESCO/ MMD/ WHO/ IAEA/ UN/ UNEP) είναι τα εξής:

- α) Φυσικά:**
 - Ροή του νερού
 - Επιφανειακά κύματα
 - Ρεύματα
 - Ανακύκλωση
 - Τυρβώδης διάχυση
 - Κατακόρυφη ανάμιξη
 - Διάχυση
- β) Γεωλογικά:**
 - Φυσικοχημικές ιδιότητες των αποβλήτων και των ιζημάτων
 - Ικανότητα ρόφησης
 - Συντελεστές κατανομής
 - Ιζηματοποίηση-διασπορά ιζήματος
 - Σταθερότητα των ιζημάτων
- γ) Βιολογικά:**
 - Περιοχές καλλιέργειας οστρακοειδών ή ιχθύων
 - Αλιευτικές περιοχές
 - Οδοί μετανάστευσης
 - Παραγωγικότητα
 - Περιοχές αναπαραγωγής

2.15 Ανθρωπογενείς μεταβολές στη δομή του θαλάσσιου οικοσυστήματος

Από τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν είναι εμφανές ότι ανθρώπινες επεμβάσεις μπορούν να έχουν άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στη δομή των βιοκοινωνιών και κατά συνέπεια στη δυναμική των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Άμεσες συνέπειες στη σύνθεση της βιοκοινωνίας έχει η

αλιεία, όταν μάλιστα γίνεται με τρόπο που να μεταβάλει αμετάκλητα την αφθονία των αλιευόμενων ειδών. Δραστική μείωση της αφθονίας ορισμένων ειδών συνεπάγεται παραχώρηση ελεύθερου χώρου στους ανταγωνιστές τους (τα είδη βρίσκονται σε ανταγωνισμό για την τροφή ή και το χώρο στην περίπτωση του βένθους). Τα τελευταία αναπτύσσονται καλύπτοντας το κενό και δεν επιτρέπουν την επανάκαμψη του μειωθέντος πληθυσμού. Φυσικά, όπως αναφέρθηκε η αλιεία δεν μεταβάλλει σημαντικά τη δομή των κατώτερων τροφικών επιπέδων.

Άμεσες είναι επίσης οι συνέπειες της ρύπανσης ιδιαίτερα όταν οι ρύποι επιδρούν άμεσα στην επιβίωση των οργανισμών. Οι διαφορές ανάμεσα στα είδη, όσο αφορά στην αντοχή τους, οδηγεί στην ταχεία εξαφάνιση των πλέον ευάλωτων από αυτά τροποποιώντας κατά συνέπεια τη δομή των βιοκοινωνιών.

Η δομή των βιοκοινωνιών μεταβάλλεται άμεσα από τη μεταφορά και ενσωμάτωση νέων ειδών σε ένα οικοσύστημα. Αυτό συμβαίνει με διάφορους τρόπους. Με τυχαία μεταφορά, όπως στην περίπτωση των δεξαμενόπλοιων που γεμίζουν τις δεξαμενές με θαλασσινό νερό σε μια περιοχή και τις αδειάζουν σε ένα άλλο θαλάσσιο οικοσύστημα μεταφέροντας εκεί ξένους οργανισμούς. Ένα θλιβερό παράδειγμα ατυχηματικής μεταφοράς είναι η διαφυγή από το ενυδρείο του Ωκεανογραφικού Μουσείου του Μοναχό του τροπικού φύκου *Caulepra taxifolia* (φύκος φονιάς), που εξαπλώνεται με ταχείς ρυθμούς στη Μεσόγειο. Στη ίδια κατηγορία κατατάσσονται επίσης και οι διαφυγές ψαριών από κλωβούς μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας που χωρίς ωστόσο να είναι νέα είδη έχουν συχνά διαφορετικά γενετικά χαρακτηριστικά από τους τοπικούς πληθυσμούς. Σκόπιμες αλλαγές προκαλούνται κα κατά τον εμπλουτισμό με νέα και πιο παραγωγικά είδη περιοχών κυρίως παράκτιων (λιμνοθάλασσες) αλλά και εσωτερικών (λίμνες, ποτάμια).

Τέλος οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στον παράκτιο χώρο που μεταβάλλουν τη γεωμορφολογία του επιτρέπουν συχνά με τη διάνοιξη διαύλων ανάμεσα σε θαλάσσια οικοσυστήματα τις μετακινήσεις ειδών από το ένα στο άλλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η είσοδος και στη συνέχεια η εξάπλωση στη Μεσόγειο ειδών της Ερυθράς θάλασσας, μέσω του καναλιού του Σουέζ.

Οι έμμεσες επεμβάσεις αφορούν κυρίως στις αλλαγές των αβιοτικών

χαρακτηριστικών των οικοσυστημάτων (εμπλουτισμός με θρεπτικά : ευτροφισμός, αλλαγή στην ποιότητα του βυθού, αύξηση της θερμοκρασίας όπως στην περίπτωση των πυρηνικών μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας, αλλαγές στην τοπογραφία και τον φωτισμό της παράκτιας ζώνης κλπ) Αυτές όλες οι αλλαγές με τη σειρά τους μεταβάλλουν μέσω των τροφικών δικτύων τη δομή των βιοκοινωνιών, οδηγώντας προοδευτικά σε νέες ισορροπίες.

Κεφάλαιο 3

Τεχνολογία ελέγχου θαλάσσιας ρύπανσης

3.1 Εισαγωγή

Τα προβλήματα της περιβαλλοντικής υποβάθμισης απαιτούν επείγουσα δράση βασισμένη σε υπάρχουσα επιστημονική γνώση. Η διεθνής ωκεανογραφική έρευνα ανταποκρίνεται ήδη, μέσω ανεξάρτητων ερευνητικών προσπάθειών και μεγάλων νέων προγραμμάτων όπως το WOCE (Το πείραμα για την Παγκόσμια Θαλάσσια Κυκλοφορία) και το JGOFS (Παγκόσμια Συλλογική Μελέτη Θαλάσσιας Ροής), σε ερωτήματα που αφορούν στο ρόλο των θαλασσών στην παγκόσμια μεταβολή του κλίματος που προέρχεται από την ανθρωπογενή ρύπανση της ατμόσφαιρας. Ένα σημαντικό ερώτημα αφορά στον τρόπο με τον οποίο η θάλασσα προσλαμβάνει CO₂ από την ατμόσφαιρα. Είναι γνωστό ότι, προς το παρόν, το ατμοσφαιρικό CO₂ αυξάνεται μόνο κατά το ήμισυ του ρυθμού της γήινης παραγωγής (το άλλο μισό πιθανώς εισέρχεται στη θάλασσα), αλλά περαιτέρω έρευνα δικαιολογείται από τους φόβους ότι αυτό το κλάσμα μπορεί να μεταβληθεί.

Ίσως ακόμη πιο σημαντικό, δεν είναι γνωστό με βεβαιότητα αν η προβλεφθείσα παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω των ανθρωπογενών επιδράσεων συμβαίνει στην πραγματικότητα.

Η ικανότητα των επιστημονικών ομάδων πάνω σε ατμοσφαιρικά και ωκεανογραφικά θέματα να κάνουν αξιόπιστες προβλέψεις των κλιματολογικών μεταβολών είναι μάλλον περιορισμένη, εν μέρει εξαιτίας τέτοιων αβεβαιοτήτων. Μπορεί ακόμη να υπάρχουν άγνωστες διεργασίες, για τις οποίες δεν γνωρίζουμε ακόμη, και που θα οδηγούσαν σε δραστικές αναθεωρήσεις των προβλέψεων που ισχύουν τώρα.

Μια εκτίμηση της επίδρασης κάποιων εν εξελίξει πρακτικών εφαρμογών μπορεί, σε ορισμένες περιπτώσεις, να γίνει με την έναρξη ενός κατάλληλου σχεδίου παρακολούθησης και με την εισαγωγή ή προσαρμογή των μετρήσεων ελέγχου που καθορίζουν την πρακτική εφαρμογή αναλόγως. Σε άλλες περιπτώσεις, εντούτοις, θα μπορούσε να υπάρξει μία σημαντική χρονική καθυστέρηση έτσι ώστε κατά τη χρονική στιγμή που το πρόγραμμα παρακολούθησης δείξει οποιεσδήποτε αρνητικές επιδράσεις θα μπορούσε να

είναι πολύ αργά για τη λήψη αποτελεσματικής επανορθωτικής δράσης για την αποτροπή απρόβλεπτων συνεπειών. Το θέμα αυτό είναι στο επίκεντρο των συζητήσεων για τη διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων, την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας και πολλά άλλα τρέχοντα ενδιαφέροντα θέματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις η εκτίμηση και ο έλεγχος εξαρτώνται από τη χρήση των μοντέλων πρόβλεψης. Η χρήση των μοντέλων μπορεί επίσης να είναι απαραίτητη για προβλήματα τα οποία είναι άμεσου, παρά μακροπρόθεσμου ενδιαφέροντος αλλά όπου η φυσική μεταβλητότητα ή οι περιορισμοί στις τεχνικές μέτρησης θα καθιστούσαν ένα πρόγραμμα ελέγχου αναποτελεσματικό.

Τα μαθηματικά μοντέλα ως προς τις θαλάσσιες διεργασίες χρησιμοποιούνται συχνά για την εκτίμηση και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης. Αν και δεν είναι διαθέσιμο κανένα γενικό μοντέλο, είναι συνήθως δυνατό να παρέχουν κάποια ποσοτική εκτίμηση της επίδρασης κάποιου ρύπου. Η μείωση της αναπόφευκτης αβεβαιότητας της εκτίμησης απαιτεί τον καθορισμό των διεργασιών κλειδιά, μέσω ανάλυσης της απόδοσης του μοντέλου, ακολουθούμενη από εστιασμένη πειραματική ή μοντελοποιημένη δουλειά. Απαιτείται επίσης η συνεχιζόμενη βασική έρευνα με σκοπό τη βελτίωση των πιθανοτήτων ανακάλυψης απρόβλεπτων παραγόντων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σημαντικές αναθεωρήσεις των τωρινών εκτιμήσεων.

3.2 Μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης διεργασιών

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για προβλέψεις της συμπεριφοράς ενός συστήματος αποτελούνται ουσιαστικά από μαθηματικές αναπαραστάσεις των νόμων που καθορίζουν το σύστημα και τις εισροές του. Σε πολλά προβλήματα σχετικά με τη θάλασσα, το βασικό πλαίσιο είναι ένα υδροδυναμικό μοντέλο που περιγράφει την κίνηση του νερού και την ταυτόχρονη εξέλιξη των πεδίων θερμοκρασίας και αλατότητας, που επηρεάζουν την κίνηση μέσω ανωστικών δυνάμεων. Η συμπεριφορά ενός ρύπου μπορεί κατόπιν να περιγραφεί μαθηματικά λαμβάνοντας υπόψη γεωχημικές και βιογεωχημικές διεργασίες και αλληλεπιδράσεις με το ίζημα,

όπως επίσης τις διεργασίες συναγωγής και διασποράς που σχετίζονται με την κίνηση του νερού.

Ο πρωταρχικός αντικειμενικός στόχος ενός τέτοιου μοντέλου είναι να γίνονται προβλέψεις σε περιπτώσεις όπου η παρακολούθηση είναι ανεπαρκής. Εντούτοις, είναι σημαντικό να αναγνωρισθεί ότι ακόμη και όταν η παρακολούθηση ανταποκρίνεται επαρκώς, ένα μοντέλο μπορεί να είναι ανεκτίμητο για την επινόηση μιας στρατηγικής ελέγχου όπως επίσης για την βελτιστοποίηση κάθε προτεινόμενης διάθεσης αποβλήτων.

Τα μοντέλα είναι, βεβαίως, μόνο αναπαραστάσεις μιας πραγματικότητας που, για τη φυσική μόνο, μπορεί να περιέχουν φαινόμενα σε κλίμακες από χιλιοστά έως μέγαντρα. Κανένα επίπεδο υπολογιστικής ισχύος δεν θα επέτρεπε ανάλυση αυτής της έκτασης των κλιμάκων, έτσι ώστε πρέπει να γίνει αποδεκτή μία κατά προσέγγιση ανάλυση. Αυτό απαιτεί, οι διεργασίες που συμβαίνουν σε μικρή κλίμακα να αντιπροσωπεύονται ή να «παραμετροποιούνται», χρησιμοποιώντας τύπους που περιέχουν τις διεργασίες της μεγαλύτερης κλίμακας οι οποίες αναλύονται σαφώς. Για παράδειγμα, μία διεργασία κλειδί που πρέπει γενικά να «παραμετροποιηθεί» μ' αυτό τον τρόπο στα θαλάσσια μοντέλα είναι ο ρυθμός κατακόρυφης ανάμιξης που σχετίζεται με μικρής κλίμακας τυρβώδεις κινήσεις.

Τα μοντέλα μπορεί ακόμη να είναι αβέβαια λόγω της έλλειψης επαρκούς γνώσης των κινητηρίων δυνάμεων, όπως είναι ο άνεμος. Επίσης μπορεί να εξαρτώνται έντονα από τις «ανοικτές οριακές συνθήκες», δηλαδή τις συχνά μάλλον αβέβαιες συνθήκες που εφαρμόζονται στα όρια του χώρου που επεξεργάζονται.

Δεδομένων των αναπόφευκτων αβεβαιοτήτων των κινητηρίων δυνάμεων, των εσωτερικών παραμετροποιήσεων και των οριακών συνθηκών, είναι σημαντικό οι «αναλύσεις ευαισθησίας» να πραγματοποιηθούν κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι παράγοντες αυτοί να κυμαίνονται σε εύλογα όρια. Αυτό παράγει εύρος σφαλμάτων ή περιοχές αβεβαιότητας που είναι μία αρνητική συνοδεία σε κάθε μοντέλο. Οι αναλύσεις ευαισθησίας συμβάλλουν επίσης στον καθορισμό των περαιτέρω πειραματικών ή θεωρητικών μελετών που απαιτούνται αν χρειασθεί να μειωθεί το εύρος σφαλμάτων και κυρίως δίνουν τη δυνατότητα στο δημιουργό του μοντέλου να αναπτύξει μια διαίσθηση σχετικά με τη συμπεριφορά του μοντέλου. Η ανάπτυξη αυτής της διαίσθησης

συμπεριλαμβάνει μεταβολή ακόμη και εκείνων των παραμέτρων του μοντέλου που είναι ικανοποιητικά γνωστές.

Υποστηρίζεται συχνά ότι για να έχει ένα μοντέλο οποιαδήποτε δυνατότητα πρόβλεψης θα πρέπει πρώτα να αναπαριστά την παρούσα κατάσταση ικανοποιητικά. Υπάρχει μερικές φορές η πρόσθετη υπόθεση ότι ένα μοντέλο που το επιτυγχάνει, θα είναι ακριβές για πρόβλεψη. Αυτή είναι μία επικίνδυνη θεώρηση, καθώς πολλά μοντέλα έχουν συντονισθεί έτσι ώστε να εξηγούν την παρούσα κατάσταση μεταβάλλοντας τις παραμέτρους τους ή τις οριακές συνθήκες μέσα σε εύλογα όρια. Μπορεί να έχουν μικρή ισχύ πρόβλεψης αν έχει καθορισθεί το λάθος σημείο στην περιοχή των παραμέτρων ή αν οι παράμετροι ή οι οριακές συνθήκες αλλάζουν με άγνωστο τρόπο. Ακόμη και αν κανένα απ' αυτά τα σφάλματα δεν συμβαίνει, ένα μοντέλο μπορεί να κάνει λανθασμένες προβλέψεις για ένα σενάριο που είναι πολύ διαφορετικό από το παρόν. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο θαλάσσιας κυκλοφορίας που αναπαράγει τη βασική θερμοκρασιακή δομή της θάλασσας μπορεί να το επιτυγχάνει χωρίς να απαιτεί ακριβείς ρυθμούς ανάμιξης στη βαθιά θάλασσα και έτσι να διαθέτει μικρή δυνατότητα πρόβλεψης για την τύχη ενός ρύπου που απελευθερώνεται στο βυθό της θάλασσας.

Η άλλη όψη αυτού του θέματος είναι ότι ένα μοντέλο μπορεί να μην είναι ικανοποιητικό στην αναπαραγωγή των λεπτομερειών της θάλασσας, αλλά να είναι εξαιρετικά επαρκές στην εξέταση των μεταβολών συγκέντρωσης και της επίδρασης κάποιου ρύπου. Αυτό είναι ιδιαίτερα πιθανό να ισχύει για κάποια από τα γενικά μοντέλα που εξετάζει η GESAMP εκτιμώντας τις συνέπειες της διάθεσης των αποβλήτων στη βαθιά θάλασσα. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των μοντέλων δεν οδηγεί απαραίτητα σε μικρότερη αβεβαιότητα στην απόδοση του μοντέλου, ειδικότερα αν κάθε μοντέλο περιορίζεται ως προς την ακρίβεια λόγω της άγνοιας της σωστής παραμετροποίησης μιας διεργασίας κλειδί.

Απλά μοντέλα είναι συχνά ανεκτίμητα για την ανάπτυξη διαίσθησης και ακόμη για τον προσδιορισμό των πιο σημαντικών διεργασιών. Αυτό συμβαίνει γιατί οι αναλύσεις ευαισθησίας είναι πολύ ευκολότερο να πραγματοποιηθούν με αυτά παρά με περισσότερο πολύπλοκα μοντέλα. Επίσης, σε μερικές περιπτώσεις, μια απλή εκτίμηση «τάξης μεγέθους» είναι ότι χρειάζεται για να δείξουμε ότι ένα ιδιαίτερο σενάριο δεν αντιπροσωπεύει ένα πρόβλημα.

Όταν απαιτούνται πολύπλοκα μοντέλα και δικαιολογούνται από την ακρίβεια της εσωτερικής παραμετροποίησης, απλούστερα μοντέλα παρέχουν έναν έλεγχο, στην απόδοση των πιο περίπλοκων μοντέλων. Πράγματι, είναι γενικά σκόπιμο να αναπτυχθεί μία ιεραρχία των μοντέλων αυξανόμενης περιπλοκότητας με το καθένα να παρέχει διαίσθηση και ελέγχους για την ερμηνεία του επομένου πιο πολύπλοκου μοντέλου.

Ακόμη και όταν πολύπλοκα μοντέλα της θάλασσας είναι εφικτά, χρειάζεται προσοχή όταν ο ρύπος που μελετάται είναι πολύ ανθεκτικός και πιθανώς παραμένει στη στήλη νερού ή τα ιζήματα, για περισσότερο από μερικές δεκαετίες. Η μεταβολή κλίματος, είτε φυσική είτε ανθρωπογενής, θα μπορούσε επίσης να καταστήσει ανακριβές ένα μοντέλο της τοπικής θάλασσας ή του ωκεανού κατά έναν απροσδόκητο τρόπο. Από την άλλη μεριά, ένας ρύπος με μακροχρόνια παραμονή στη θάλασσα είναι πιθανό να επεκταθεί στο χώρο. Έτσι ο υπολογισμός της διάθεσης του είναι πιθανό να βασισθεί στον περιορισμό της «συλλογικής δόσης» σ' έναν μεγάλο πληθυσμό για μια μακρά περίοδο. Καθώς η εκτίμηση αυτής της συλλογικής δόσης περιλαμβάνει ολοκλήρωση ως προς σημαντική μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου και της ατομικής δόσης, τότε απλά μοντέλα μπορεί μάλλον να επαρκούν ακόμη και αν αδυνατούν να προβλέψουν μικρές διακυμάνσεις.

Οι έννοιες της ατομικής και συλλογικής δόσης έχουν ιδιαίτερως αναπτυχθεί σε μελέτες που ασχολούνται με την εκτίμηση και ρύθμιση της διάθεσης των ραδιενεργών αποβλήτων στις θάλασσες. Αυτό συσχετίζεται με την υπόθεση ότι, για την ιονική ακτινοβολία, ο κίνδυνος είναι γραμμικά ανάλογος με τη δόση χωρίς να τίθεται όριο κάτω από το οποίο δεν υπάρχει κίνδυνος. Αυτή μπορεί να είναι μία κατάλληλη υπόθεση για πολλούς άλλους ανθεκτικούς ρύπους επίσης, αν και η απαιτούμενη τοξικολογική γνώση μπορεί προς το παρόν να λείπει σε πολλές περιπτώσεις.

Διαφορετικά μοντέλα συχνά αναπτύσσονται για να αντιμετωπίσουν το «εγγύς πεδίο» και το «μακρινό πεδίο» της απελευθέρωσης ενός ρύπου. Παραμετρικές τιμές (των ρυθμών τυρβώδους ανάμιξης, για παράδειγμα) που μπορεί να είναι κατάλληλες για το μοντέλο ως σύνολο είναι πιθανό να δίνουν εσφαλμένες εκτιμήσεις για το μέσο πεδίο συγκέντρωσης και τις διακυμάνσεις του κοντά στην πηγή. Το θέμα είναι τεχνικό, αλλά είναι σημαντικό να αναγνωρισθεί η ανάγκη για ένα ειδικό μικρότερο μοντέλο κοντά στην πηγή.

Τα μοντέλα συνήθως προβλέπουν κάποιο είδος μιας μέσης συγκέντρωσης του ρύπου, αν και οι διακυμάνσεις μπορεί να είναι σημαντικές σε μεγάλη απόσταση από την πηγή.

Οι δευτερεύοντες υπολογισμοί ή υπομοντέλα είναι συχνά ένα σημαντικό τμήμα ενός προγράμματος μοντελοποίησης. Για παράδειγμα, η GESAMP εξέτασε τη μεταφορά ρύπων με τα ψάρια και συμπέρανε ότι ήταν γενικά μικρή σε σύγκριση με τη φυσική μεταφορά και έτσι δεν χρειάζεται να συμπεριληφθεί σαφώς στο κύριο μοντέλο. Εξέτασε επίσης όχι μόνο πραγματικές διαδρομές μέσω των οποίων ένας ρύπος θα μπορούσε να επιδράσει στον άνθρωπο ή τη βιοκοινωνία, αλλά ακόμη υποθετικές διαδρομές όπως η μελλοντική ανάπτυξη νέων ψαρότοπων.

Οποσδήποτε μια γενική συζήτηση για τις τεχνικές και τα συστατικά στοιχεία της μοντελοποίησης μπορεί να παράσχει κάποια καθοδήγηση και μπορεί να βοηθήσει να εκλείψουν κάποιες συνηθισμένες εσφαλμένες αντιλήψεις, αλλά απαιτείται ακόμη μεγάλη προσπάθεια μέχρις ότου αναπτυχθεί ένα απλό γενικό μοντέλο που να μπορεί να εφαρμοσθεί σ' ένα «τέλειο σύστημα» για ευρεία χρήση.

Τα ζητήματα της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι σπάνια μαύρο και άσπρο. Πολλές σκόπιμες ή τυχαίες περιπτώσεις διάθεσης ρύπων στη θάλασσα έχουν μία καθορισμένη επίδραση στους ανθρώπους και τη βιοκοινωνία. Εξετάζοντας βελτιώσεις της επιστημονικής εκτίμησης και συγκρίνοντας διαφορετικές επιλογές διάθεσης, είναι σημαντικό να καθορισθεί αν το αντικείμενο του ενδιαφέροντος είναι η ατομική δόση, η συλλογική δόση, η επίδραση στη βιοκοινωνία ή η απώλεια της αισθητικής. Η μορφή του ελέγχου, της μελέτης της διεργασίας ή της μοντελοποίησης που απαιτείται μπορεί να είναι διαφορετική σε κάθε περίπτωση.

Η ωκεανογραφική έρευνα είναι σε θέση να κάνει ποσοτικές εκτιμήσεις των διαδρομών και της συγκέντρωσης των περισσότερων ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον και να επινοήσει και άλλα προγράμματα που χρειάζονται για να βελτιώσουν τις εκτιμήσεις. Η εκτίμηση της επίδρασης στον άνθρωπο και τη βιοκοινωνία απαιτεί ακόμη τοξικολογικές γνώσεις και αυτό μπορεί να είναι λιγότερο ικανοποιητικά πιστοποιημένο.

Οι εκτιμήσεις γίνονται με εύρος σφάλματος βασισμένες σε υπάρχουσες γνώσεις και την εκτίμηση των γνωστών και αγνώστων παραμέτρων που θα έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη αλλά όχι υπερβολικά.

Σε πολλά προβλήματα η ωκεανογραφική έρευνα είναι βέβαιη για τις εκτιμήσεις και τα περιθώρια σφαλμάτων αλλά σε άλλες περιπτώσεις παραδέχεται ότι μπορεί να υπάρχουν άγνωστες παράμετροι που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σημαντικές αναθεωρήσεις.

Οι επιστημονικές μελέτες είναι σαφώς μόνο ένα μικρό τμήμα των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την προστασία του θαλασσιού περιβάλλοντος και μπορεί συχνά να είναι δευτερεύουσες για άλλες θεωρήσεις. Εντούτοις, είναι σημαντικό οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων να λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τους οικονομικούς, ηθικούς ή νομικούς λόγους για μία συγκεκριμένη απόφαση για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος και όχι να χρησιμοποιούν την επιστημονική αβεβαιότητα ως μία δικαιολογία για τις αποφάσεις τους.

3.3 Μοντέλα διασποράς ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον

Ο όρος διασπορά, όπως χρησιμοποιείται στον τίτλο, έχει την έννοια της εξάπλωσης ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ένα μοντέλο διασποράς είναι δυνατόν να είναι οτιδήποτε παρουσιάζει μία εικόνα του φυσικού φαινομένου της εξάπλωσης, από πολύ ακριβές μέχρι υπεραπλοποιημένο. Το μοντέλο μπορεί να είναι ένα υδραυλικό μοντέλο του συστήματος ή ένα μαθηματικό μοντέλο που περιλαμβάνει ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων. Το μοντέλο είναι δυνατόν να ονομασθεί με βάση τη μέθοδο επίλυσης του συστήματος των εξισώσεων, π.χ. μοντέλο πεπερασμένων διαφορών ή πεπερασμένων στοιχείων.

Επειδή η ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων περιλαμβάνει γενικεύσεις και υποθέσεις, θεωρείται απαραίτητη η επαλήθευση τους με πειραματικές μετρήσεις ή μετρήσεις πεδίου. Βελτίωση των τιμών των παραμέτρων είναι σχεδόν πάντα δυνατή. Η βελτίωση των μοντέλων γίνεται σταδιακά. Έτσι, οι πρώτες γενεές ενός μοντέλου δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές για την πρόβλεψη της διασποράς των ρύπων. Ακόμη όμως και στην περίπτωση αυτή, η χρήση ενός μοντέλου μπορεί να δώσει μία καλύτερη εξήγηση ενός προβλήματος ή ενός φαινομένου. Ένα μοντέλο

μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο οδηγό για μέτρα που πρέπει να ληφθούν στην περίπτωση ενός ατυχήματος ή για μακροπρόθεσμο και βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό.

Η διασπορά ενός ρύπου στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι δυνατόν να περιγραφεί με τη γνωστή εξίσωση (1ος νόμος) του Fick σε μία διάσταση:

$$Q = -K \frac{\partial c}{\partial x} \quad (3.1)$$

όπου:

Q= ροή μάζας (flux), M/L²T

K= συντελεστής τυρβώδους διάχυσης, L²/T

$\frac{\partial c}{\partial x}$ = κλίση της συγκέντρωσης με την απόσταση, M/L⁴

Δυστυχώς, ούτε ο συντελεστής K, ούτε η κλίση $\partial c/\partial x$ παραμένουν σταθερά τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Συνεπώς η λύση του προβλήματος στην ολότητα του καθίσταται εξαιρετικά δύσκολη.

Ξεκινώντας από ένα στοιχειώδη όγκο θαλασσινού νερού με πλευρές Δx, Δy και Δz, είναι δυνατόν να γραφεί το ισοζύγιο μάζας ενός συντηρητικού ρύπου, λαμβάνοντας υπ' όψη μόνον τις διεργασίες της διασποράς και συναγωγής (advection):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial(C_u)}{\partial x} - \frac{\partial(C_v)}{\partial y} - \frac{\partial(C_w)}{\partial z} \quad (3.2)$$

όπου: c = συγκέντρωση του ρύπου, M/L³

t= χρόνος, T

x, y, z = καρτεσιανές συντεταγμένες, L

K_x, K_y, K_z =συντελεστές διασποράς (τυρβώδους διάχυσης) στις διευθύνσεις x,y,z, αντιστοίχως, L²/T

u,v,w = συνιστώσες της ταχύτητας του νερού στις διευθύνσεις x,y,z, αντιστοίχως, L/T

Οι συντελεστές διασποράς K_x, K_y, K_z διαφέρουν ως προς τις τρεις συντεταγμένες x,y,z, κυρίως όμως ως προς τις οριζόντιες (x,y) και την κατακόρυφη (z) διεύθυνση. Λόγω της σημαντικής κατακόρυφης στρωμάτωσης που συνήθως παρατηρείται στη θάλασσα, η διασπορά στην διεύθυνση z είναι πολύ μικρότερη από αυτή που παρατηρείται στις οριζόντιες διευθύνσεις x και y. Η εξίσωση (3.2) έχει γραφεί για τη γενική περίπτωση, δηλαδή για συνθήκες

μη ομογενείς και ανισότροπες. Απεναντίας, για ομογενείς και ισότροπες συνθήκες, $K_x=K_y=K_z =$ σταθερά.

Για την απλοποίηση της εξίσωσης (3.2), θα υποθεθεί ότι οι συνθήκες είναι ομογενείς και ισότροπες στις οριζόντιες διευθύνσεις, έτσι ώστε: $K_x=K_y=K_z=$ σταθερά και $K_z= K_y=$ σταθερά. Οι συνθήκες αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε πρακτικούς ωκεανογραφικούς υπολογισμούς και προσεγγίζουν περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες. Έτσι, για σταθερές συνιστώσες ταχύτητας u, v, w , η εξίσωση (3.2) γίνεται:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_H \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + K_v \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) - \left(u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (3.3)$$

Στην εξίσωση αυτή, οι παράγωγοι δευτέρου βαθμού οφείλονται στη διασπορά, ενώ αυτές του πρώτου βαθμού οφείλονται στη συναγωγή, δηλαδή τη μεταφορά μάζας λόγω της ταχύτητας του θαλασσινού νερού.

Επίσης η εξίσωση (3.3) περιγράφει τη συμπεριφορά ενός συντηρητικού ρύπου. Εάν ο ρύπος υφίσταται φυσικοχημικές ή/και βιολογικές αλλαγές, επιπλέον όροι που θα περιγράφουν την κινητική των διεργασιών αυτών πρέπει να προστεθούν στην εξίσωση (3.3).

3.3.1 Ασυνεχής διοχέτευση ρύπων

Θα θεωρηθεί μία απομονωμένη κηλίδα ρύπων, σαν αυτή που θα σχηματίζεται από ασυνεχή απόρριψη αποβλήτου από ένα πλοίο στη θάλασσα.

Θα θεωρηθεί ότι η αρχική κατανομή της συγκέντρωσης έχει μία διατομή που προσεγγίζει μία καμπύλη Gauss. Το πρόβλημα της τυρβώδους διάχυσης μελετάται στις δύο οριζόντιες διαστάσεις. Τυρβώδης διάχυση στην κατακόρυφη διεύθυνση δεν είναι δυνατή διότι παρεμποδίζεται από τον πυθμένα της θάλασσας ή από έντονη στρωμάτωση του θαλάσσιου νερού. Η ολική μάζα του ρύπου που έχει απορριφθεί είναι m και, υποθέτοντας κυκλική συμμετρία, η συγκέντρωση θα δίνεται από την σχέση:

$$C = \frac{m}{za} \exp\left(-\frac{pr^2}{a}\right) \quad (3.4)$$

όπου:

c =συγκέντρωση, M/L^3

z =πάχος της κηλίδας του αποβλήτου, L

r =ακτίνα κυκλικής κηλίδας, L

a = χαρακτηριστική επιφάνεια της κηλίδας, L^2

Για επαλήθευση, η ολική μάζα του ρύπου θα είναι:

$$\int_0^{\infty} 2przCdr = \int_0^{\infty} 2prz \frac{m}{za} \exp(-pr^2/a) dr = m \int_0^{\infty} \frac{2pr}{a} \exp(-pr^2/a) dr =$$

$$= m \int_0^{\infty} -e^{-pr^2/a} d(-pr^2/a) = m \left[-e^{-pr^2/a} \right]_0^{\infty} = m$$

Η συγκέντρωση στο κέντρο της κυκλικής κηλίδας ($r=0$) θα είναι:

$$C_{r=0} = \frac{m}{za} \quad (3.5)$$

Έτσι, η ποσότητα του ρύπου είναι τέτοια, ώστε η μάζα της θα καταλάμβανε τον όγκο ενός κυλίνδρου με διατομή την χαρακτηριστική επιφάνεια (όγκος = za) και συγκέντρωση $C_{r=0}$. Η συγκέντρωση σε μία ακτίνα r από το κέντρο της κηλίδας, ώστε $pr^2 = a$, θα είναι:

$$C_r = \frac{m}{za} e^{-1} \quad \text{ή}$$

$$C_r = \frac{C_0}{e} \quad (3.6)$$

Η μάζα του ρύπου έξω από την χαρακτηριστική επιφάνεια a θα είναι:

$$\int_{\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{p}}}^{\infty} 2przCdr = m \left[-e^{-pr^2/a} \right]_{\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{p}}}^{\infty} = \frac{m}{e}$$

Το αποτέλεσμα της διασποράς θα είναι η αύξηση της επιφάνειας της κηλίδας. Η ροή του ρύπου, λόγω διασποράς, προς τα έξω δια μέσου μίας κυλινδρικής επιφάνειας σε ακτίνα r θα είναι:

$$F = m/t = -2przK \frac{dC}{dr} \quad (3.7)$$

Ο ρυθμός συσσώρευσης του ρύπου σε κυλινδρικό δακτύλιο (annulus) πάχους dr θα είναι:

$$-\frac{dF}{dr} \cdot dr = \frac{dm}{dt} = 2pKz \left(\frac{dC}{dr} + r \frac{d^2C}{dr^2} \right) dr \quad (3.8)$$

Ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης στον κυλινδρικό δακτύλιο θα είναι:

$$\frac{-\frac{dF}{dr} \cdot dr}{dv} = \frac{dC}{dt} = \frac{K(2p z r dr)}{2p z r dr} \left(\frac{1}{r} \frac{dC}{dr} + \frac{d^2 C}{dr^2} \right) \quad \eta$$

$$\frac{dC}{dt} = K \left(\frac{1}{r} \frac{dC}{dr} + \frac{d^2 C}{dr^2} \right) \quad (3.9)$$

Η πρώτη και δεύτερη παράγωγος του C ως προς r είναι δυνατόν να παραχθούν από την εξίσωση (3. 4):

$$\frac{dC}{dt} = C \frac{d}{dr} (-pr^2 / a) = -\frac{2pr}{a} C \quad (3.10)$$

Η δεύτερη παράγωγος θα είναι:

$$\frac{d^2 C}{dr^2} = C \frac{d}{dr} \left(-\frac{2pr}{a} \right) + \left(-\frac{2pr}{a} \right) \frac{dC}{dr} \quad \eta$$

$$\frac{d^2 C}{dr^2} = -\frac{2p}{a} C + \frac{4p^2 r^2}{a^2} C \quad (3.11)$$

Με αντικατάσταση στην εξίσωση (3.9) έχουμε:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{4p}{a} \left(\frac{pr^2}{a} - 1 \right) KC \quad (3.12)$$

Ο ρυθμός αύξησης της κηλίδας ως προς το χρόνο θα είναι:

$$\frac{da}{dt} = \frac{dC}{dt} \cdot \frac{da}{dC} \quad (3.13)$$

Ο μόνος όρος που θα πρέπει να υπολογισθεί είναι ο $\frac{da}{dC}$ σαν το

αντίστροφο του $\frac{dC}{da}$:

$$\frac{dC}{da} = \exp\left(-\frac{pr^2}{a}\right) \frac{d}{da} \left(\frac{m}{za} \right) + \left(\frac{m}{za} \right) \frac{d}{da} \left[\exp\left(-\frac{pr^2}{a}\right) \right] \quad \eta$$

$$\frac{dC}{da} = \frac{C}{a} \left(\frac{pr^2}{a} - 1 \right) \quad \text{και} \quad (3.14)$$

$$\frac{dC}{da} = \frac{1}{\frac{C}{a} \left(\frac{pr^2}{a} - 1 \right)} \quad (3.15)$$

Με αντικατάσταση στην εξίσωση (3.13) έχουμε:

$$\frac{da}{dt} = \left[\frac{4p}{a} \left(\frac{pr^2}{a} - 1 \right) KC \right] \left[\frac{1}{\frac{c}{a} \left(\frac{pr^2}{a} - 1 \right)} \right] \quad \text{ή} \quad (3.16)$$

$da = 4\pi K dt$ ή με ολοκλήρωση:

$$\int_{a_0}^a da = 4\pi K \int_0^t dt \quad \text{και} \quad a - a_0 = 4\pi K t \quad (3.17)$$

Η τελευταία εξίσωση δείχνει ότι η χαρακτηριστική επιφάνεια της κηλίδας αυξάνει γραμμικά με το χρόνο και ανάλογα με τον οριζόντιο συντελεστή διασποράς K . Αν και το μοντέλο αυτό δεν περιγράφει κάθε φυσικό σενάριο ρύπανσης, επιδεικνύει τη μεθοδολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη άλλων μοντέλων.

3.3.2 Συνεχής διοχέτευση ρύπων

Μία μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λύση του προβλήματος της συνεχούς διοχέτευσης ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι αυτή της υπέρθεσης (superposition). Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αρχή ότι οι διάφορες συγκεντρώσεις του ίδιου συντηρητικού ρύπου, που οφείλονται σε διάφορες πηγές, είναι δυνατόν να προστεθούν για να υπολογισθεί η ολική συγκέντρωση του ρύπου σε κάποιο σημείο του χώρου και του χρόνου. Έτσι, οι συγκεντρώσεις που οφείλονται σε μία αλληλουχία στιγμιαίων απορρίψεων αποβλήτων από μία πηγή είναι δυνατόν να προστεθούν για να υπολογισθεί η συγκέντρωση που οφείλεται στην ισοδύναμη συνεχή απόρριψη. Εάν οι στιγμιαίες κηλίδες δίδονται αναλυτικά, η ολική συγκέντρωση υπολογίζεται με ολοκλήρωση. Διαφορετικά, η συνεχής απόρριψη θα πρέπει να προσεγγισθεί με το άθροισμα ενός πεπερασμένου αριθμού μικρών διαδοχικών απορρίψεων.

Η μέθοδος της υπέρθεσης έχει εφαρμοσθεί ευρέως τόσο σε μοντέλα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όσο και ρύπανσης επιφανειακών νερών. Για παράδειγμα, πολύ γνωστό είναι το διδιάστατο μοντέλο του Rijkwaterstaat της Ολλανδίας με πρακτική εφαρμογή σε προβλήματα ρύπανσης επιφανειακών νερών από το 1963. Μερικά τυπικά αποτελέσματα του μοντέλου αυτού παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.1-3.3.

Σε γενικές γραμμές, η συγκέντρωση σε ένα σημείο (x,y) σε χρόνο t_m που οφείλεται σε μία απόρριψη $Q(t)$ στο σημείο (x_0,y_0) κατά την περίοδο $(0,t_m)$ (στην οποία το Q μπορεί να είναι παροδικά μηδέν) δίδεται από την εξίσωση:

$$C(x, y, t) = \int_0^{t_m} \frac{Q(t)}{h(t)} \bar{C}_2 [x - x_m(t_m, t), y - y_m(t - t_m), t_m - t] dt \quad (3.18)$$

Όπου \bar{C}_2 είναι η επιλεγείσα συνάρτηση (με βάση τοπικές μετρήσεις ή θεωρητικούς υπολογισμούς) που περιγράφει την διδιάστατη ανάπτυξη μιας στιγμιαίας απόρριψης. $h(t)$ είναι το αποτελεσματικό (effective) πάχος της στρωμάτωσης του νερού, που συνήθως λαμβάνεται ως σταθερό. Το κλάσμα $Q(t)/h(t)$ είναι δυνατόν να εκληφθεί σαν απλή συνάρτηση του χρόνου:

$$Q_{eff}(t) = \frac{Q(t)}{h(t)} \quad (3.19)$$

Για παράδειγμα η ανάπτυξη μιας κηλίδας σαν συνάρτηση του χρόνου περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\bar{C}_2(x, h, q) = \frac{M}{4pq\sqrt{K_x K_h}} \exp \left[-\frac{1}{4q} \left(\frac{x^2}{K_x} + \frac{h^2}{K_h} \right) \right] \quad (3.20)$$

όπου:

\bar{C}_2 = συγκέντρωση του ρύπου, M/L^3

ξ, η = συντεταγμένες ως προς το κινούμενο κέντρο μάζας της κηλίδας $(x_M, y_M), L$

θ = ηλικία της κηλίδας, T

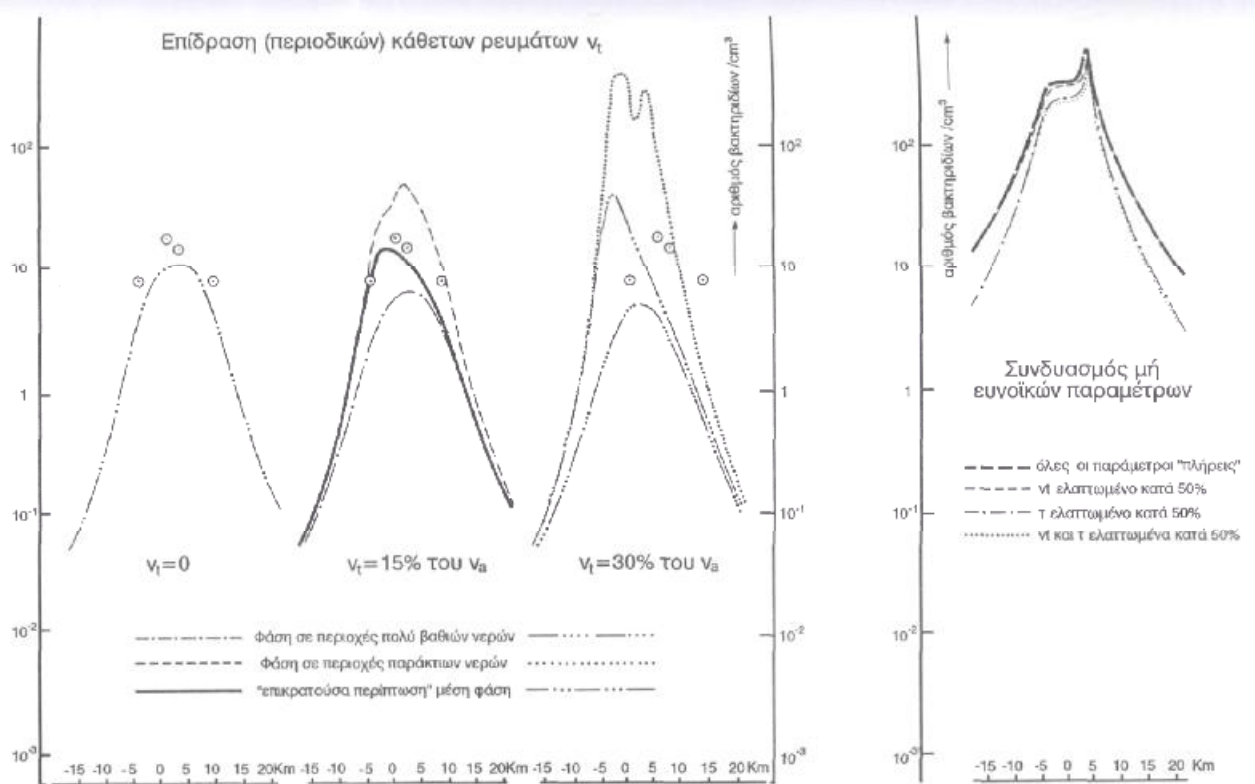
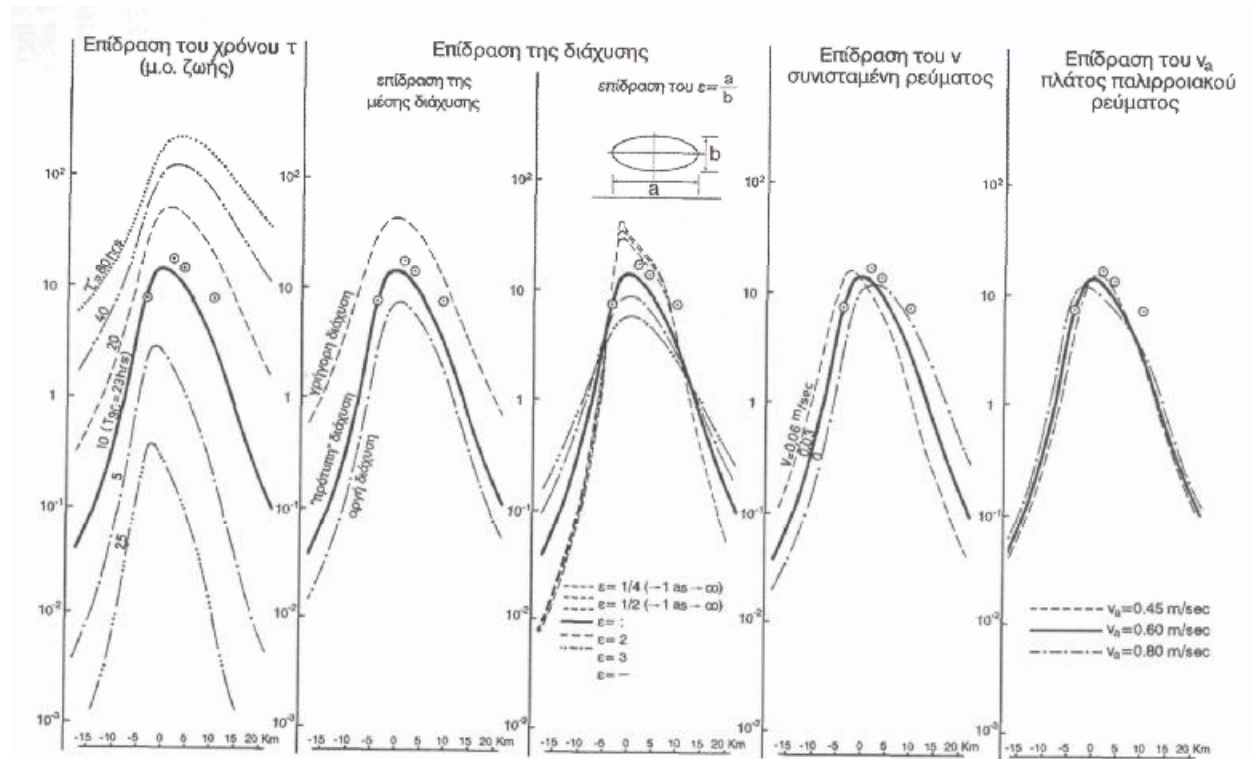
M = μάζα στιγμιαίας απόρριψης ρύπου, M

K_ξ, K_η = συντελεστές τυρβώδους διάχυσης στις συντεταγμένες ξ και η , L^2/T

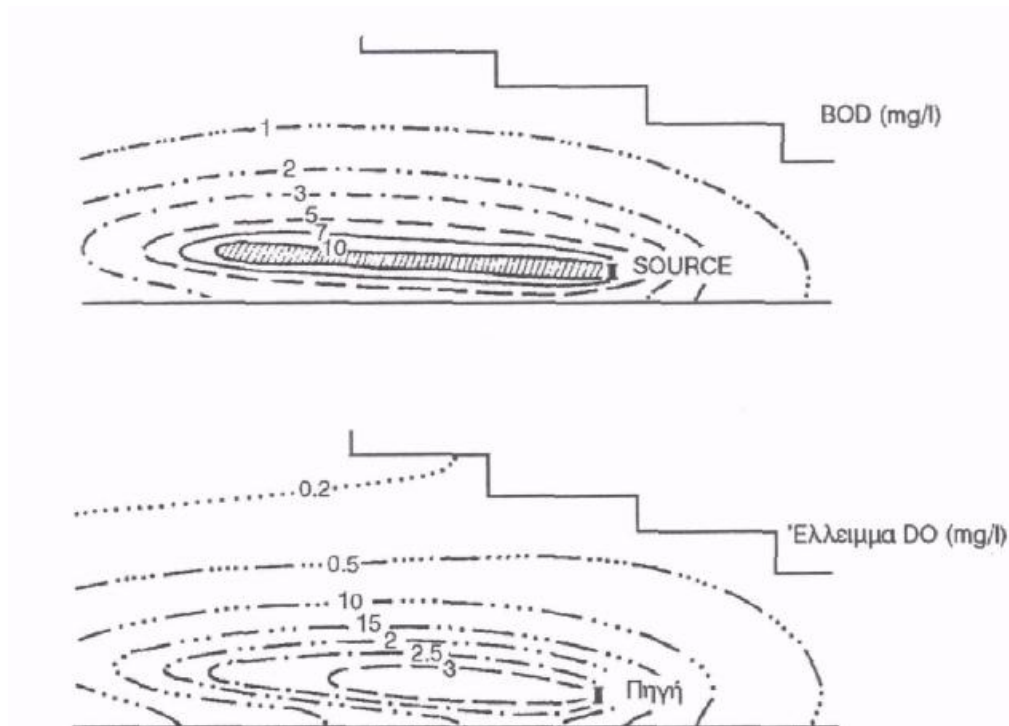
Στην εξίσωση (3.18) οι όροι $[X_M(t_m, t), y_M(t_m, t)]$ (και για συντομία $x_{Mj}(t_m, t)$) παριστάνουν ολοκληρώματα της μορφής:

$$X_{M_i}(t_m, t) = x_{0_i} + \int_0^{t_m} U_i(t) dt \quad (3.21)$$

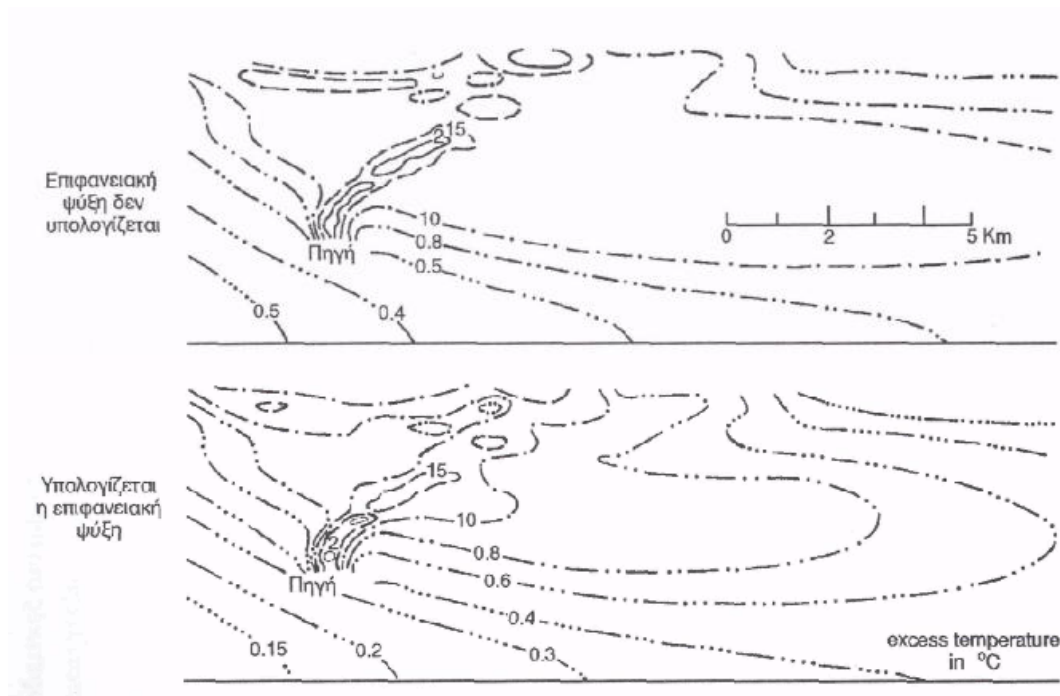
όπου $U_i(t)$ είναι η συνάρτηση της ταχύτητας της κηλίδας σαν συνάρτηση του χρόνου, που ξεκινά από το σημείο (x_0, y_0) σε χρόνο t . Λόγω της διασποράς της κηλίδας, το U_i πρέπει να υπολογισθεί σαν μέση τιμή της ταχύτητας ως προς τον όγκο που καταλαμβάνει η κηλίδα. Η συνάρτηση αυτή είναι διαφορετική από αυτήν που περιγράφει την ταχύτητα ενός σωματιδίου του ρύπου που ξεκινά από το σημείο (x_0, y_0) την ίδια χρονική στιγμή t .



Σχήμα 3.1. Αποτελέσματα του διδιάστατου μοντέλου υπέρθεσης. Συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων στις ακτές, όπως υπολογίστηκαν για διαφορετικές συνθήκες. (Φυτιάνος, Κ., 1996).



Σχήμα 3.2. Αποτελέσματα του διδιάστατου μοντέλου υπέρθεσης. Παράδειγμα πρόβλεψης BOD και DO με παλιρροιακή ροή σε εκβολές. (Φυτιάνος, Κ., 1996).



Σχήμα 3.3. Αποτελέσματα του διδιάστατου μοντέλου υπέρθεσης. Παράδειγμα πρόβλεψης θερμοκρασιακής κατανομής για δύο διαφορετικές συνθήκες. Περίπλοκη μορφή ροής με παλιρροιακά και εναπομένοντα (residual) ρεύματα. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Σε γενικές γραμμές, οι όροι x_M και y_M δεν μπορούν να προσδιορισθούν ανεξάρτητα και στην πράξη υπολογίζονται αριθμητικά, χρησιμοποιώντας υπολογιστική ρευστομηχανική. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό 200 σημείων της καμπύλης $x_{m_i}(t_m, t)$, πρέπει να υπολογισθούν 400 ολοκληρώματα της εξίσωσης (3.21) Κάθε ολοκλήρωμα πρέπει να προσδιορισθεί σε 100 σημεία του χρόνου. Συνήθως όμως γίνονται απλοποιήσεις, διότι οι υπολογισμοί είναι εξαιρετικά χρονοβόροι.

Η μέθοδος της υπέρθεσης που αναφέρθηκε παραπάνω για τη λύση του προβλήματος της συνεχούς διοχέτευσης ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

- 1) Είναι αδύνατο να χειρισθεί κανείς συστήματα με γεωμετρικά πολύπλοκα όρια.
- 2) Μεταβολές στο βάθος του νερού μπορούν να αντιμετωπισθούν με τη χρήση πολλαπλών στοιβάδων νερού, που δεν είναι πάντοτε επαρκής.
- 3) Η επίδραση του πεδίου ταχύτητας στην εσωτερική δομή των επί μέρους κηλίδων δεν είναι δυνατόν να προσομοιωθεί, εκτός από ορισμένες ειδικές περιπτώσεις.
- 4) Η μέθοδος εισάγει ένα συστηματικό σφάλμα στην προσομοίωση γραμμικών πηγών ρύπανσης.
- 5) Εκτός από μερικές ειδικές περιπτώσεις, δεν είναι δυνατή η προσομοίωση χημικών αντιδράσεων μεταξύ διαφόρων ουσιών.

Βεβαίως υπάρχουν και πλεονεκτήματα που καθιστούν τη μέθοδο της υπέρθεσης ελκυστική, παρά τους περιορισμούς και την ύπαρξη εναλλακτικών λύσεων. Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- 1) Τα μοντέλα υπέρθεσης είναι σχετικά απλά, οικονομικά και γρήγορα, όσον αφορά υπολογισμούς σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.
- 2) Δεν υπάρχουν υπολογιστικά προβλήματα, όπως αριθμητική διάχυση και αστάθεια στις λύσεις.
- 3) Είναι δυνατόν να υπολογισθεί εύκολα η διάσπαση ρύπων.
- 4) Παρά τη σχετική απλότητα των μοντέλων υπέρθεσης, τα τους είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για προκαταρκτικές προβλέψεις, σχεδιασμό πειραμάτων και αξιολόγηση της σπουδαιότητας διαφόρων παραμέτρων.

3.4 Έλεγχος της θαλάσσιας ρύπανσης με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης

Από τη δεκαετία του 1960 μέχρι σήμερα έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία της τηλεπισκόπησης που επιτρέπει να γίνονται σήμερα μετρήσεις ρουτίνας σε παγκόσμια κλίμακα για παραμέτρους χερσαίες, ατμοσφαιρικές και των ωκεανών. Έτσι γίνονται σήμερα μετρήσεις για το κλίμα από διάφορες αεροναυτικές υπηρεσίες όπως η ESA στην Ευρώπη, η NASDA στην Ιαπωνία και η NASA στις ΗΠΑ με συντονισμό του διεθνούς προγράμματος IGBP (International Geosphere-Biosphere Program) και του ερευνητικού προγράμματος για το παγκόσμιο κλίμα (WCRP). Ο στόχος είναι να καθιερωθούν βασικές παρατηρήσεις, βάσει των οποίων να μπορεί να γίνεται εκτίμηση της ρύπανσης και των συνεπειών της.

Η τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση (remote sensing, teledetection) είναι η επιστήμη και τέχνη συλλογής με τεχνικά μέσα και χωρίς φυσική επαφή, δεδομένων για ένα αντικείμενο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, και ανάλυσης αυτών για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών. Ο όρος τηλεπισκόπηση εμφανίστηκε στη δεκαετία του '60. Η πλέον χαρακτηριστική και διαδεδομένη περίπτωση συλλογής δεδομένων τηλεπισκόπησης είναι αυτή της δορυφορικής τεχνολογίας.

Η Τηλεπισκόπηση βασίζεται στη μέτρηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από ένα στόχο (target). Η πρόοδος στην εφαρμογή της τηλεπισκόπησης στον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης υπήρξε αργή, διότι μόνο μερικοί παράμετροι, όπως αιωρούμενα ιζηματοειδή φορτία, συγκέντρωση φυτοπλαγκτού, θολερότητα, αλατότητα, διεύθυνση και ένταση ανέμου, κυμάτων και ρευμάτων, πετρελαιοκηλίδες, καθώς και θερμοκρασία μπορούσαν ν' ανιχνευθούν με την τηλεπισκόπηση. Επιπλέον, ουσίες που ρυπαίνουν καταλήγουν συχνά στο θαλάσσιο περιβάλλον σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις, οπότε και διασκορπίζονται ακολουθώντας πολύπλοκες οδούς. Οπωσδήποτε όμως η τηλεπισκόπηση προσφέρει σημαντικά οφέλη, λόγω του υψηλού κόστους του ελέγχου της θαλάσσιας ρύπανσης που χρησιμοποιεί παραδοσιακές μεθόδους.

Παρά την εξέλιξη της τεχνολογίας στην τηλεπισκόπηση μέχρι σήμερα, δεν είναι ακόμη δυνατόν να προσδιορισθούν τα θρεπτικά συστατικά (ενώσεις αζώτου και φωσφόρου), βαρέα μέταλλα και pH με τη μέθοδο αυτή.

Η συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού που προσδιορίζεται σαν χλωροφύλλη, είναι ένας σημαντικός δείκτης για την ποιότητα του θαλασσινού νερού. Ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται για τη συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού, χρησιμοποιούνται επίσης για τον προσδιορισμό της θολερότητας, των αιωρούμενων σωματιδίων και της διαλελυμένης οργανικής ύλης (κίτρινη ύλη). Ανάμεσα σ' άλλες παραμέτρους που μπορούν να προσδιορισθούν με τηλεπισκόπηση είναι η θερμοκρασία, η αλατότητα, ένταση ανέμου, διεύθυνση και μήκος κυμάτων, ταχύτητα και διεύθυνση ρευμάτων. Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων αυτών χρησιμοποιούνται διάφοροι ανιχνευτές, μεταξύ των οποίων οι πιο σημαντικοί είναι οι εξής.

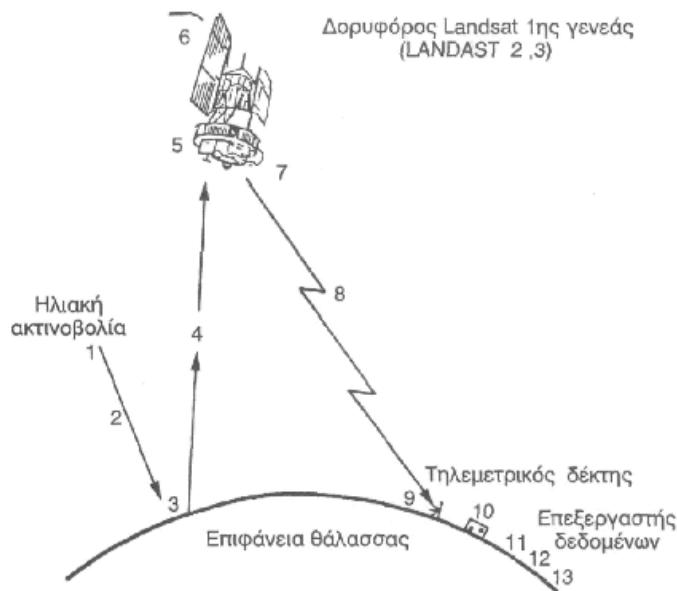
3.4.1 Δορυφορικοί ανιχνευτές

- Έγχρωμος σαρωτής παράκτιων περιοχών (CZCS)
- Ραδιόμετρο πολύ υψηλής ευκρίνειας (AVHRR)
- Landsat πολυφασματικός σαρωτής (MSS)
- Landsat θεματικός χαρτογράφος (TM)
- SPOT πολυφασματικός ανιχνευτής υψηλής ευκρίνειας ορατού (HRV)

Στο Σχ. 3.4 δίνεται το διάγραμμα που δείχνει τον τρόπο λήψης, μεταβίβασης, επεξεργασίας και χρήσης δεδομένων LANDSAT.

3.4.2 Ανιχνευτές αεροσκαφών

- Φασματόμετρο ορατού/υπερύθρου (AVIRIS)
- Απεικονιστής φθορισμού (FLI)
- Συμπαγής φασματογραφικός απεικονιστής (CASI)



Σχήμα 3.4. Διάγραμμα που δείχνει τον τρόπο λήψης, μεταβίβασης, επεξεργασίας και χρήσης δεδομένων LANDSAT. 1) Ηλιακή ακτινοβολία, 2) μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς περνάει μέσα από την ατμόσφαιρα, 3) ανάκλαση της στην επιφάνεια της θάλασσας, 4) μεταβίβαση (διάδοση) της ακτινοβολίας μέσω της ατμόσφαιρας στο δορυφόρο, 5) λήψη ακτινοβολίας (σημάτων) από το δορυφόρο, 6) παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες, 7) επεξεργασία σημάτων/δεδομένων (καταγραφή σε μαγνητοταινία και μεταβίβαση), 8) διάδοση της ακτινοβολίας (σημάτων) μέσω της ατμόσφαιρας, 9) λήψη των σημάτων από επίγειο τηλεμετρικό δέκτη, 10) επεξεργασία των σημάτων (δεδομένων LANDSAT) για γεωμετρική, ραδιομετρική και άλλες διορθώσεις, 11) μεταβίβαση των σημάτων σε τράπεζα πληροφοριών (data bank), 12) διανομή των δεδομένων στους χρήστες, 13) ανάλυση των δεδομένων (εικόνες, φιλμς, μαγνητοταινίες κ.λπ.) από τους χρήστες. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Υπάρχει μια σειρά από νέους ανιχνευτές της θαλάσσιας ρύπανσης υψηλής τεχνολογίας που θα ενταχθούν στο σύστημα παρατήρησης της γης (EOS, Earth Observation System). Αυτό θα δημιουργήσει ευρείας κλίμακας δυνατότητες για μια διεθνή συνεργασία που θα έχει σκοπό την ανίχνευση και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης. Έτσι θα είναι διαθέσιμος ένας αυξημένος αριθμός "εργαλείων" για τον έλεγχο και για αντιμετώπιση των πιο σημαντικών προβλημάτων στη θαλάσσια ρύπανση. Ως εκ τούτου είναι

επιτακτικό να μεγιστοποιηθεί η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής, με κατάλληλα εκπαιδευμένο επιστημονικό προσωπικό.

3.5 Προσδιορισμός ρύπων με ειδικούς ανιχνευτές

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 άρχισε να εφαρμόζεται η επιτήρηση της θάλασσας από ειδικά αεροπλάνα για τους διάφορους ρύπους και πιο ειδικά για τις πετρελαιοκηλίδες. Με τον τρόπο αυτό έγινε δυνατό να επιτευχθεί.

- μια συνεχής επιτήρηση και έλεγχος της θάλασσας σε μεγάλη έκταση για τον εντοπισμό πετρελαιοκηλίδων λόγω ατυχημάτων, αλλά και λόγω ρύπανσης από χερσαίες πηγές που διοχέτευαν τα απόβλητα τους στη θάλασσα
- εξακρίβωση και επιβεβαίωση ασαφών και ανακριβών πληροφοριών σχετικά με τη ρύπανση από πετρελαιοκηλίδες, αποφεύγοντας έτσι άσκοπες και πολυδάπανες επιχειρήσεις και μέτρα
- Εντοπισμός της ρύπανσης από πετρέλαιο και ταυτοποίηση της πηγής του. Αυτό απαιτεί επίσης ηλεκτρονικούς και οπτικούς ανιχνευτές.
- Συντονισμός επιχείρησης πλοίων για την απομάκρυνση των πετρελαιοκηλίδων.

Το πετρέλαιο που χύνεται στη θάλασσα εξαπλώνεται γρήγορα στην επιφάνεια του νερού και καλύπτει μια σχετικά μεγάλη επιφάνεια σε σύντομο χρονικό διάστημα. Λόγω των χημικών ιδιοτήτων του αργού πετρελαίου και υπό την επίδραση του ανέμου και των ρευμάτων, η επιφάνεια που καλύπτεται με πετρέλαιο δεν είναι συνεχόμενη σαν μια στιβάδα πετρελαίου του ίδιου πάχους σε κάθε τοποθεσία, αλλά η πετρελαιοκηλίδα κατανέμεται σε διάφορες περιοχές και έχει διαφορετικό πάχος. Για να αποβεί επιτυχής και αποτελεσματική μια επιχείρηση πλοίων για την καταπολέμηση των πετρελαιοκηλίδων, θα πρέπει να καθοδηγούνται και να κατευθύνονται στις μεγάλες πετρελαιοκηλίδες με το μεγαλύτερο πάχος στιβάδας πετρελαίου.

Τα μηχανήματα που έχουν επιλεγεί για τα ειδικά αυτά αεροπλάνα περιλαμβάνουν ανιχνευτές που η λειτουργία τους στηρίζεται σε διάφορες φυσικές ιδιότητες ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες και ένταση ηλιακού φωτός.

Οι πιο σημαντικοί ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- **Το αερομεταφερόμενο ραντάρ πλευρικής θέας** (Side-Looking Airborne Radar, SLAR). Το ραντάρ αυτό λειτουργεί σαν ένας ανιχνευτής μεγάλου

εύρους για ανίχνευση μεγάλης έκτασης λεπτών στρωμάτων πετρελαίου στην επιφάνεια του νερού. Σαρώνει την επιφάνεια του νερού κατά τη διεύθυνση πτήσης χρησιμοποιώντας παλμούς ραντάρ, παρέχοντας τη δυνατότητα κάλυψης αποστάσεων από 25 έως 30 χιλιόμετρα. Η ανωμαλία της υδατικής επιφάνειας που προκαλείται από τα κύματα, συντελεί στην εξάπλωση των παλμών ραντάρ σε όλες τις διευθύνσεις και συνεπώς ένα μικρό μέρος της έντασης τους λαμβάνεται από την κεραία SLAR. Εντούτοις, τα κύματα εξασθενούν αισθητά από λεπτά στρώματα πετρελαίου στην υδατική επιφάνεια - π.χ. από ρύπανση πετρελαίου. Σε τέτοιες περιπτώσεις δεν λαμβάνεται καμία αντήχηση ραντάρ από την επιφάνεια, δείχνοντας έτσι ότι υπάρχει ένα στρώμα πετρελαίου. Η πορεία αυτή σ' ένα μεγάλο ποσοστό είναι ανεξάρτητη από τον καιρό και τις οπτικές συνθήκες.

Το μετρούμενο αποτέλεσμα, εντούτοις, δεν είναι πάντοτε καθαρό, γιατί τα στρώματα στην υδατική επιφάνεια οφείλονται σε φυσικές αιτίες και μπορεί να αποτελούνται από αβλαβείς ουσίες που, όμως, δεν μπορούν να διακριθούν από τα στρώματα πετρελαίου στην οθόνη του ραντάρ.

- **Ο σαρωτής UV/IR (υπεριώδους-υπερύθρου)** χρησιμοποιεί φασματικές περιοχές στο υπεριώδες (0.32-0.38 cm) και στο υπέρυθρο (8.5-14 cm) και, σαν ανιχνευτής κοντινού εύρους, ερευνά την επιφάνεια του νερού στην περιοχή ναδύρ του αεροσκάφους γραμμή με γραμμή. Το κανάλι UV καταγράφει το ανακλώμενο στην επιφάνεια ηλιακό φως και εμφανίζει πολύ λεπτά στρώματα πετρελαίου πάχους εκατοστού του χιλιοστού, τα οποία είναι μόλις αναγνωρίσιμα με το μάτι.

Το κανάλι IR καταγράφει τη θερμική ακτινοβολία της επιφάνειας του ωκεανού. Εφόσον οι θερμοκρασίες του αργού πετρελαίου και της ελεύθερης επιφάνειας του νερού γενικά διαφέρουν, η ρύπανση γίνεται ορατή σ' αυτή τη θερμική εικόνα.

Εντούτοις, αυτό απαιτεί μεγαλύτερα πάχη στρώματος, τουλάχιστον μερικών δεκάτων του χιλιοστού. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν μία ποιοτική κατανομή των επιφανειακών ουσιών, χωρίς να παρέχουν οποιαδήποτε πληροφορία για το απόλυτο πάχος και συνεπώς για τον όγκο. Το κανάλι UV χρειάζεται ηλιακό φως και έτσι, δεν είναι κατάλληλο για όλες τις καιρικές συνθήκες, ενώ για το IR οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν και κατά τη νύχτα.

- Το **ραδιάτρομο μικροκυμάτων (MWR)** είναι επίσης ένας ανιχνευτής κοντινού εύρους. Παρ' όλα αυτά, μετρά τη φυσική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται θερμικά στην κλίμακα εκατοστού των μηκών κύματος. Για το λόγο αυτό, έχει ικανότητα μεγάλου βαθμού σ' όλες τις καιρικές συνθήκες (διδείσδυση μέσα από σύννεφα και ομίχλη, εν μέρει και βροχή). Η λειτουργική σπουδαιότητα έγκειται στον ποσοτικό προσδιορισμό στρωμάτων πετρελαίου με διαφορετικά πάχη και όγκους όσον αφορά τη ρύπανση από πετρέλαιο. Γαλακτώματα πετρελαίου σε νερό είναι δύσκολο ν' ανιχνευθούν, ενώ είναι αδύνατο κάτω από την επιφάνεια. Ο MWR χρησιμοποιεί τα εξαρτημένα από τα μήκη κύματος φαινόμενα παρεμπόδισης για τα πάχη στρωμάτων στην κλίμακα του χιλιοστού, συγκρινόμενα με το "χρωματικό ιριδισμό" στην περίπτωση των πολύ λεπτών στρωμάτων πετρελαίου. Συνεπώς, ο ανιχνευτής αυτός αποτελεί ένα σημαντικό συμπλήρωμα του ανιχνευτή IR/UV. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται σε απόλυτες τιμές και εμφανίζονται με διαφορετικά χρώματα.

- **Επεξεργασία δεδομένων:** Ο έλεγχος και η εκτίμηση των δεδομένων επιτυγχάνεται μ' ένα σύστημα επεξεργασίας των δεδομένων. Τα μετρούμενα αποτελέσματα του ανεξάρτητου ανιχνευτή μπορούν να εμφανισθούν εκλεκτικά και σε συγκεκριμένους συνδυασμούς σε μια τηλεοπτική οθόνη μαζί με σημαντικά δεδομένα όπως η ημερομηνία, χρόνος και γεωγραφικές συντεταγμένες.

- **Σύστημα κάμερας:** Για την ταυτοποίηση των πλοίων, τοποθετείται επίσης ένα σύστημα κάμερας. Το αερομεταφερόμενο σύστημα πρώτης γενιάς επίβλεψης-ανίχνευσης ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο λειτούργησε στα μέσα της δεκαετίας του 1980.

3.6 Σύστημα ανίχνευσης ρύπων δεύτερης γενιάς

Το σύστημα της πρώτης γενιάς περιορίσθηκε στην τεχνολογία των ανιχνευτών που ήταν λειτουργικά διαθέσιμη στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Εντούτοις, τα ερευνητικά κέντρα και η βιομηχανία επεξεργάσθηκαν ήδη καινούργιους και βελτιωμένους ανιχνευτές. Επιπροσθέτως έπρεπε να ληφθεί υπόψη ότι το πρώτο σύστημα είχε σχεδιασθεί για μια πιθανή διάρκεια ζωής 5-10 ετών, έτσι ώστε η εφαρμογή σε λειτουργία ενός νέου συστήματος είχε σχεδιασθεί για το χρονικό διάστημα μεταξύ 1990 και 1995.

Το νέο σύστημα περιλαμβάνει σε σύγκριση με το σύστημα πρώτης γενιάς βελτιώσεις, όπως:

- Συνυπολογισμός και των ρύπων εκτός του πετρελαίου, ταξινόμηση των ρύπων και βελτίωση της μεθόδου προσδιορισμού του πάχους των ρύπων.
- Βελτίωση της επεξεργασίας των δεδομένων του ανιχνευτή και της παρουσίασης των δεδομένων.
- Περισσότερο εκτεταμένα εύρη.
- Εισαγωγή ενός νέου συστήματος με νέους ανιχνευτές για την ανίχνευση και μέτρηση των ρύπων, νέο ναυσιπλοϊκό εξοπλισμό, καθώς και ένα νέο αεροσκάφος κατάλληλο από τεχνικής και οικονομικής άποψης για την εργασία αυτή.

Τα ουσιώδη χαρακτηριστικά των λειτουργικών απαιτήσεων του συστήματος πρώτης γενιάς διατηρήθηκαν, λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρία που αποκτήθηκε από την εφαρμογή τους. Το ίδιο εφαρμόζεται στους ανιχνευτές SLAR και το σαρωτή IR/UV που είναι ακόμη κατάλληλος για χρήση.

Το νέο σύστημα περιλαμβάνει νέους ανιχνευτές όπως ο ανιχνευτής φθορισμού Laser, και ένα βελτιωμένο ραδιόμετρο μικροκυμάτων.

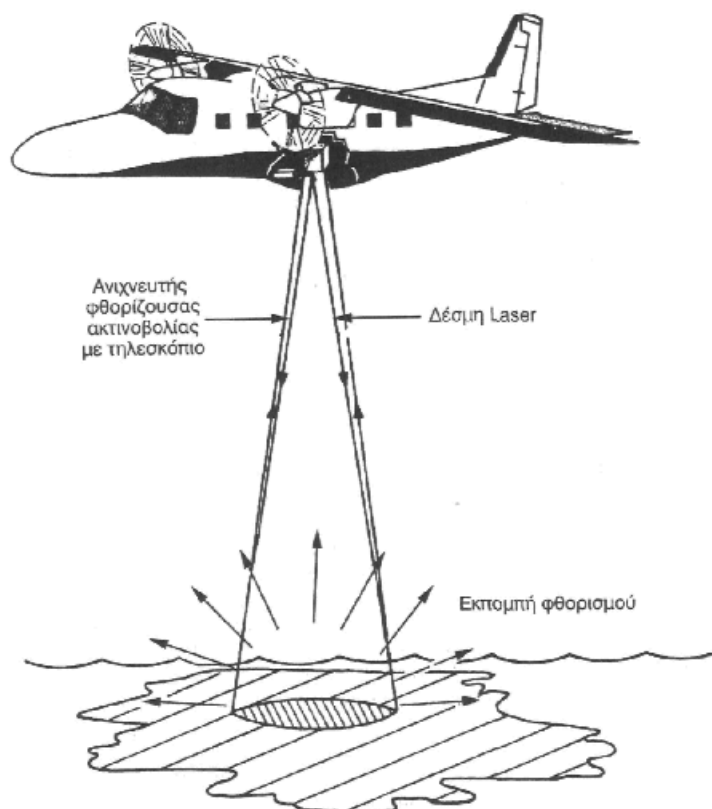
Με τον νέο σύστημα επιτυγχάνεται:

- Ανίχνευση και άλλων ρύπων εκτός του πετρελαίου, όπως π.χ. χημικών ουσιών στην επιφάνεια του νερού.
- Ανάλυση (ποσότητα και διασπορά, ταξινόμηση κλπ.) των ρύπων που ανιχνεύονται.
- Τοποθέτηση ενός συστήματος σύνδεσης των δεδομένων για τη μεταβίβαση των εναέριων δεδομένων στις επίγειες υπηρεσίες.

3.6.1 Ο ανιχνευτής φθορισμού Laser (Laser fluorosensor, LFS)

Είναι ανιχνευτής κοντινού εύρους και λειτουργεί όπως ο ανιχνευτής IR/UV (Υπερύθρου/υπεριώδους) και το ραδιόμετρο μικροκυμάτων σε συνηθισμένα ύψη πτήσεων από 100 έως 500 m. Πηγή laser υψηλής ισχύος δημιουργεί πολύ βραχείς έντονους φωτεινούς παλμούς στην ορατή ή υπεριώδη φασματική περιοχή που μεταφέρονται στην επιφάνεια της

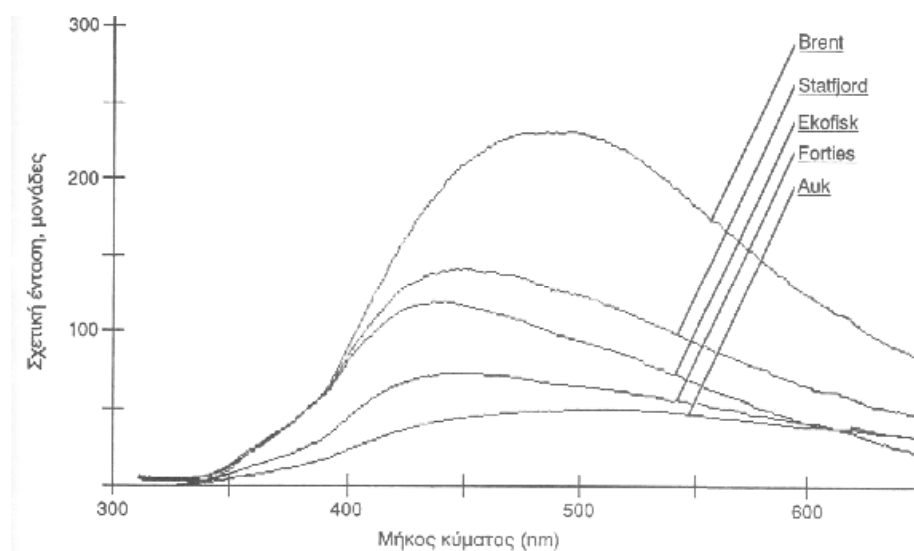
θάλασσας και δημιουργούν σκεδασμό και φθορισμό του φωτός στα ανώτερα στρώματα του νερού. Τα σήματα αυτά ανιχνεύονται με ένα τηλεσκόπιο υψηλής φωτεινής έντασης, διαχωρίζονται με οπτικά φίλτρα σε διάφορα φασματικά τμήματα και η ένταση τους μετράται από φωτοανιχνευτές (Σχ. 3.5).



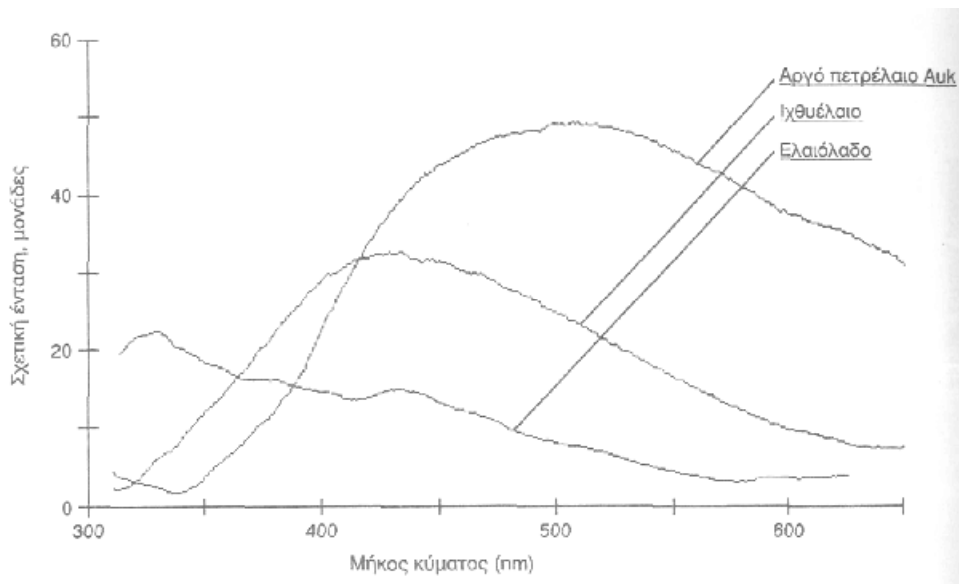
Σχήμα 3.5. Αρχή της μέτρησης με τον ανιχνευτή φθορισμού Laser. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Η ανίχνευση της πετρελαϊκής ρύπανσης από τον LFS στηρίζεται στη φασματοσκοπική ιδιότητα του πετρελαίου. Το ακατέργαστο πετρέλαιο και ακόμη τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τις μηχανές των πλοίων αποτελούνται από ένα μίγμα διαφορετικών υδρογονανθράκων. Αυτά τα πετρέλαια, όπως οι περισσότερες από τις πιο σύνθετες οργανικές ενώσεις, έχουν την ιδιότητα να φθορίζουν όταν εκτίθενται σε φωτεινή ακτινοβολία και την απορροφούν. Το εκπεμπόμενο φως φθορισμού, σε σύγκριση με το φως διέγερσης, για παράδειγμα από το laser, μετατοπίζεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Πληροφορίες για τον τύπο του πετρελαίου μπορούν να αποκτηθούν από μια ανάλυση της κατανομής της φασματικής έντασης του φθορισμού.

Στο Σχ. 3.6 δίνονται τα χαρακτηριστικά φθορισμού διαφόρων τύπων αργού πετρελαίου που παρήχθησαν στη Βόρεια Θάλασσα, στην ορατή περιοχή με διέγερση φθορισμού στο εγγύς υπεριώδες και που προσδιορίστηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές. Αντίστοιχα δεδομένα λαμβάνονται επίσης με τον LFS από το αεροσκάφος. Οι διαφορετικοί αυτοί τύποι αργού πετρελαίου μπορούν προφανώς να διακριθούν με τα χαρακτηριστικά τους φάσματα. Με παρόμοιο τρόπο είναι δυνατό να διακρίνουμε αργό πετρέλαιο από ακίνδυνες ουσίες, όπως ιχθυέλαιο, ή ελαιόλαδο που μπορούν επίσης να σχηματίσουν υμένες στην επιφάνεια του νερού (Σχ. 3.7). Πέρα από τα δεδομένα που απεικονίζονται εδώ, τα φάσματα ενός μεγάλου αριθμού άλλων τύπων αργού πετρελαίου και χημικών ενώσεων έχουν συλλεγεί σ' ένα κατάλογο δεδομένων για την ταυτοποίηση αυτών των ουσιών με τα δεδομένα μετρήσεων με LFS.



Σχήμα 3.6. Φάσμα φθορισμού για διάφορα είδη αργού πετρελαίου στη Βόρεια Θάλασσα. (Φυτιάνος, Κ., 1996).



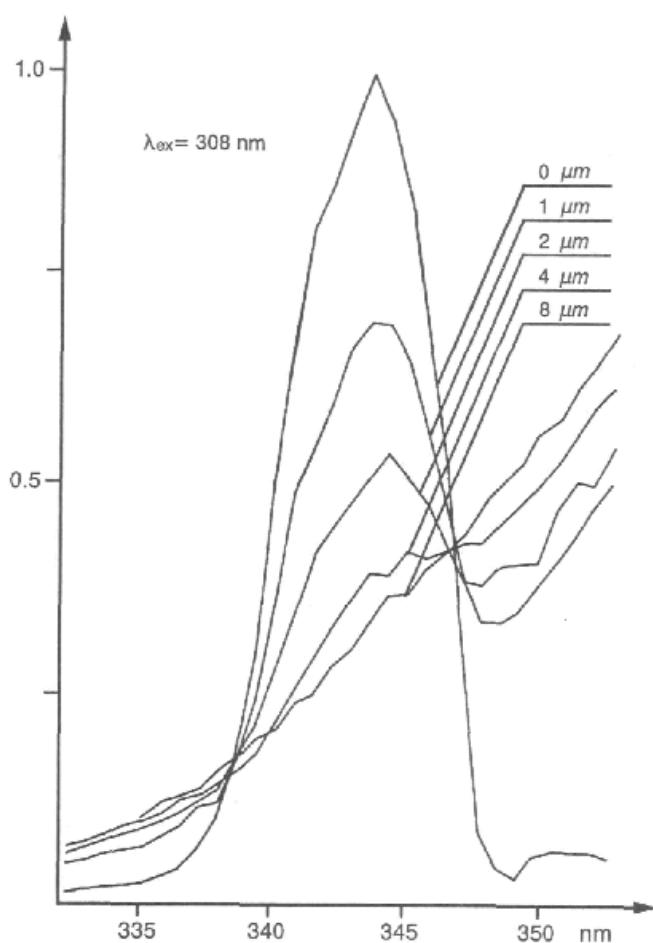
Σχήμα 3.7. Φάσμα φθορισμού ιχθυελαίου και ελαιόλαδου. Για σύγκριση δίνεται το φάσμα αργού πετρελαίου Αuk. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Η δεύτερη θεμελιώδης ιδιότητα των πετρελαίων για τη φασματοσκοπική ανάλυση είναι η ισχυρή απορρόφηση φωτός η οποία εξαρτάται, όπως και ο φθορισμός, από τον τύπο του πετρελαίου. Είναι, εντούτοις, τόσο ισχυρή, ώστε η φωτεινή ακτίνα ακόμη και από ένα laser μεγάλης έντασης, θα απορροφηθεί εντελώς όταν περάσει δια μέσου πολύ λεπτών στρωμάτων πετρελαίου, πάχους περίπου 0,1 mm. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η δημιουργία φωτός φθορισμού περιορίζεται σε στρώματα αυτής της κλίμακας. Αυξάνοντας το πάχος ενός στρώματος πετρελαίου, η ένταση φθορισμού που παρατηρείται, αρχικά παρουσιάζει αξιοσημείωτη αύξηση έως ότου - εξαιτίας της απορρόφησης της ακτινοβολίας laser - φθάσει τελικά σε μια σταθερή τιμή στην περίπτωση των παχύτερων στρωμάτων πετρελαίου. Η κατανομή του πάχους των υμένων μέσα σε μια πετρελαιοκηλίδα μπορεί να επιτευχθεί απ' αυτή την χαρακτηριστική ιδιότητα.

Το πάχος στρώματος μιας πετρελαιοκηλίδας μπορεί επιπλέον να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία αν χρησιμοποιηθούν συγκεκριμένα σήματα τα οποία δημιουργούνται στη στήλη νερού μέσω της έκθεσης σε φως laser.

Ο σκεδασμός Raman των μορίων νερού αντιπροσωπεύει μια χαρακτηριστική και -συγκρινόμενη με το φθορισμό του πετρελαίου-, μια πολύ στενή φασματική δομή που μπορεί να ανιχνευτεί με ευαισθησία (Σχ. 3.8).

Χωρίς να εξηγηθεί με πολλές λεπτομέρειες εδώ ο φυσικός μηχανισμός του φαινομένου Raman, μπορεί να ειπωθεί ότι η ένταση του σκεδασμένου φωτός εξαρτάται από τον αριθμό των μορίων του νερού που συλλαμβάνονται από την ακτινοβολία laser και από την ένταση της έκθεσης τους. Κατά την παρουσία ενός υμένα πετρελαίου στην υδατική επιφάνεια η έκθεση αυτή μειώνεται εξαιτίας της ισχυρής απορρόφησης του φωτός μέσα στο πετρέλαιο και έτσι η παρατηρούμενη ένταση του σκεδασμού Raman από την στήλη νερού μειώνεται δραστικά. Αυτό χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το πάχος του στρώματος στο εύρος 0.1 έως 50 μm σε σχέση με την απορροφητική ισχύ του πετρελαίου και συνεπώς με τον τύπο του πετρελαίου.



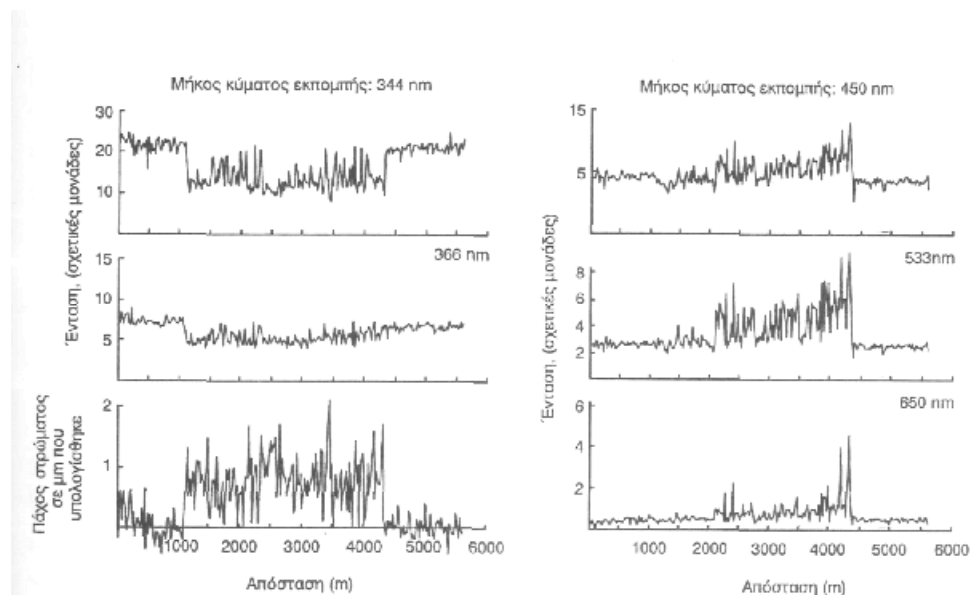
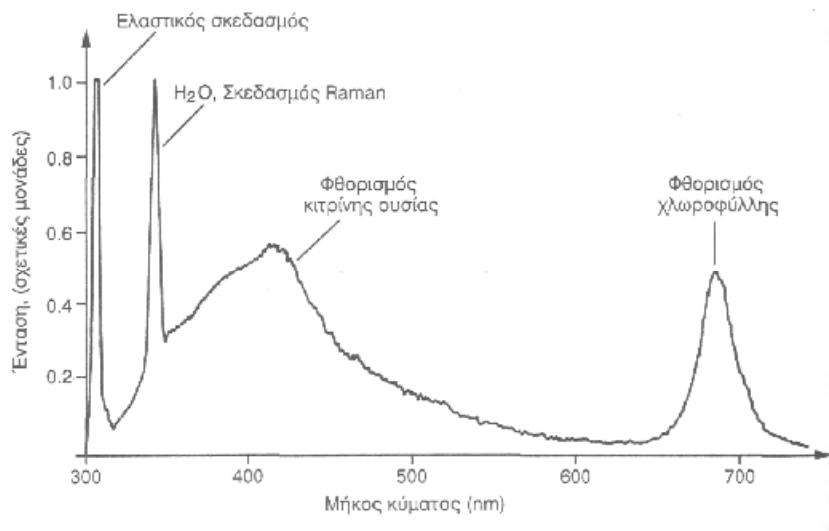
Σχήμα 3.8. Φάσμα σκεδασμού Raman υδατικού δείγματος. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Το Σχ. 3.9 παρουσιάζει άλλες εφαρμογές του LFS εκτός από την ανάλυση επιβλαβών ουσιών. Ο σκεδασμός Raman του νερού εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ουσιών που απορροφούν και σκεδάζουν στη στήλη νερού. Γι' αυτό η θολερότητα του θαλασσινού νερού μπορεί να προσδιορισθεί μέσω της μετρούμενης έντασης. Ο ανιχνευόμενος φθορισμός της χλωροφύλλης επιτρέπει την χαρτογράφηση της κατανομής των αλγών στη θαλάσσια περιοχή κατά μήκος της πτήσης, με μια ακρίβεια ανίχνευσης και προσδιορισμού που είναι σχεδόν ισοδύναμη με εκείνη των αναλύσεων βιολογικού εργαστηρίου.

Τα σήματα που προκαλούνται από την "κίτρινη ουσία" (φουλβικό οξύ) είναι επίσης ένα σημαντικό φασματικό χαρακτηριστικό. Είναι μια ομάδα ουσιών οργανικών μορίων που προκύπτουν από την αποσύνθεση των φυτών στο έδαφος και γι' αυτό είναι φυσικής προέλευσης. Μεταφέρονται στη θάλασσα μέσω των ποταμών και περιγράφονται στην ωκεανογραφία με τον όρο "κίτρινη ουσία" εξαιτίας της ιδιότητας τους να χρωματίζουν το νερό χαρακτηριστικά κίτρινο, αν απαντούν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις. Η χαρακτηριστική ιδιότητα της "κίτρινης ουσίας" να είναι χημικά σταθερή και ανιχνεύσιμη με τη μέθοδο φθορισμού, αποτελεί ένα άλλο πεδίο εφαρμογής του LFS. Οι οδοί μεταφοράς του νερού των ποταμών και οι ουσίες που περιέχονται σ' αυτό στις παράκτιες περιοχές και η ανάμιξη του με το θαλασσινό νερό μπορούν ν' ανιχνευθούν με τον ίδιο τρόπο, όπως η θέση τυπικών υδάτινων μαζών και μετώπων με χαρτογράφηση της συγκέντρωσης της κίτρινης ουσίας.

Σαν ένα παράδειγμα της ανάλυσης των υμένων του αργού πετρελαίου με τον LFS δίνεται στο Σχ. 3.9, σε μια Ολλανδική παράκτια περιοχή, όπου έγινε μια προσομοίωση κατάστασης που αντιστοιχεί στην κρίσιμη τιμή της επιτρεπτής διαρροής πετρελαίου από τα πετρελαιοφόρα σε ανοικτές θάλασσες. 60 lit αργού πετρελαίου αναμεμιγμένα με 100 m³ νερού εκχύθηκαν ανά ναυτικό μίλι από ένα κινούμενο πλοίο. Το πετρέλαιο που χύθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος, σχημάτισε μία πετρελαιοκηλίδα πλάτους 10-30 m κατά μήκος της πορείας του πλοίου. Με τον LFS που σάρωσε την υδατική επιφάνεια κατά μήκος της πτήσης ανιχνεύθηκαν τα ίχνη του πετρελαίου. Τα πάχη των υμένων υπολογίσθηκαν από τα φασματικά δεδομένα που

αντιστοιχούν στην αναμενόμενη τιμή περίπου του 1 μm από την ποσότητα του πετρελαίου που χύθηκε.

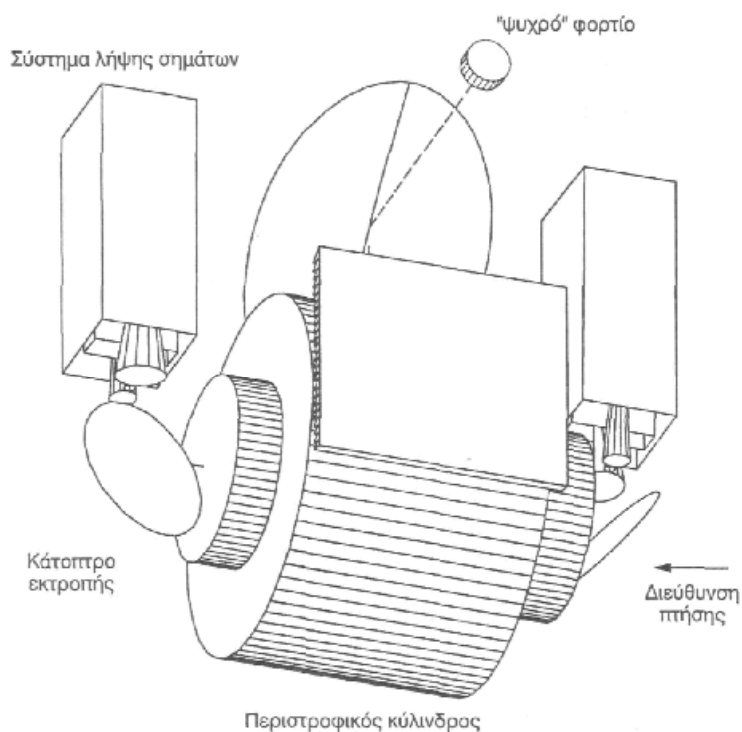


Σχήμα 3.9. Αποτελέσματα μετρήσεων με τον LFS σε πετρελαιοκηλίδες. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Το ραδιόμετρο μικροκυμάτων τέλος (MWR) πραγματοποιεί μια χαρτογράφηση επιφανειακών στρωμάτων πετρελαίου σε δυο διαστάσεις. Το σάρωμα γίνεται με τη βοήθεια δυο κατόπτρων σ' ένα περιστρεφόμενο κύλινδρο και το κάθε κάτοπτρο συνδέεται με ένα πλήρες σύστημα λήψης σημάτων για τις ειδικές συχνότητες (Σχ. 3.10). Με τον ανιχνευτή αυτό προσδιορίζεται το πάχος και ο όγκος της στιβάδας του πετρελαίου με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Τέλος, ανακεφαλαιώνοντας, με τον ανιχνευτή φθορισμού Laser (LFS) επιτυγχάνονται οι παρακάτω στόχοι.

- Χαρτογράφηση λεπτών στρωμάτων στην επιφάνεια της θάλασσας και σε εύρος 150 m κατά μήκος της πτήσης.



Σχήμα 3.10. Βασική δομή του ραδιόμετρον μικροκυμάτων. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

- Ταυτοποίηση της κατηγορίας ουσιών (παράνομες/επιτρεπτές/φυσικές) και επιμέρους ταξινόμηση (ελαφρύ/βαρύ αργό πετρέλαιο και/ή πετρέλαιο diesel από τις μηχανές των πλοίων).
- Προσδιορισμός των στρωμάτων που έχουν ένα πάχος μεταξύ 0.1 και 10 μm .
- Ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων στην επιφάνεια της θάλασσας καθώς και ποσοτήτων πετρελαίου που συμπαρασύρονται κάτω από την επιφάνεια.

Επίσης ο LFS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μέτρηση φυσικών και βιολογικών παραμέτρων σε ευρείας κλίμακας θαλάσσιες περιοχές (monitoring) και ειδικότερα για

- Χαρτογράφηση ρυπαντών που προέρχονται από χερσαίες πηγές μέσω ποταμών και εκβολών, καθώς επίσης και για οδούς μεταφοράς και ανάμειξη.
- Μέτρηση του φυτοπλαγκτού κυρίως σε περιοχές που παρουσιάζουν άνθηση του νερού και τέλος
- Καταγραφή παραμέτρων που έχουν μεγάλη οικολογική σημασία σε περιοχές με φύκη που είναι ανακατεμένα με λάσπη (mud flats).

Κεφάλαιο 4

Μέθοδοι ποσοτικοποίησης θαλάσσιας ρύπανσης

4.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια στο θαλάσσιο περιβάλλον εισέρχονται υλικά τα οποία διαμορφώνουν το χημικό αλλά και το μικροβιακό φορτίο του συστήματος. Τα χημικά είδη ανάλογα με την συγκέντρωσή τους ταξινομούνται στα κύρια στοιχεία, δηλαδή αυτά που έχουν υψηλή συγκέντρωση όπως το Ca, Mg, K, Na και στα ιχνοστοιχεία ή βαρέα μέταλλα όπως Fe, Mn, Cu, Pb κ.α., με συγκέντρωση στο θαλασσινό νερό κάτω από 1mg/l.

Τα ανόργανα και οργανικά χημικά είδη βρίσκονται σε άμεση αλληλεξάρτηση με τον έμβιο μικρόκοσμο ή μακρόκοσμο στο θαλάσσιο περιβάλλον και επιστημονικά η αλληλεξάρτηση αυτή περιγράφεται από τον όρο βιογεωχημικές διεργασίες.

Στο θαλάσσιο σύστημα όπου συνυπάρχουν φάσεις όπως αιωρούμενα σωματίδια, ιζήματα, νερό της θάλασσας και νερό των πόρων, η μετακίνηση των χημικών ειδών από την μια φάση στην άλλη επηρεάζεται από τις οξειδωαναγωγικές συνθήκες (pH, Eh) και την δραστηριότητα των μικροοργανισμών.

Οι οξειδωαναγωγικές συνθήκες εξαρτούνται κυρίως από την διαθεσιμότητα ή μη οξυγόνου στην περιοχή, όμως έχει αποδειχθεί ότι τόσο το κανονικό δυναμικό οξειδωαναγωγής, όσο κι η συγκέντρωση του οξυγόνου μεταβάλλονται από την βιολογική δραστηριότητα και εξαρτούνται από αυτή.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που είναι το κύριο υλικό της ιζηματογένεσης στο θαλάσσιο περιβάλλον έχουν τέσσερις κυρίως πηγές προέλευσης.

Μεταφέρονται, μέσω της ατμόσφαιρας και εναποτίθενται στην επιφάνεια της υδάτινης στήλης, ή μέσω της υδροθερμικής δραστηριότητας, ή μέσω των ποταμών, ή αυθυγενώς δημιουργούνται στην υδάτινη στήλη.

Σε περιοχές οι οποίες απέχουν πολύ από την ηπειρωτική λεκάνη, ή από τα κέντρα υδροθερμικής δραστηριότητας, η αυθυγενής παραγωγή σωματιδίων και η βιολογική δραστηριότητα είναι αυτές οι διεργασίες που κυρίως ρυθμίζουν την κατανομή τους στην υδάτινη στήλη και την χημική τους

σύσταση. Σε περιοχές υψηλής παραγωγικότητας, στην ευφωτική ζώνη παράγονται μεγάλες ποσότητες φυτοπλακτού και οργανικού υλικού κατά την διάρκεια της φωτοσύνθεσης.

4.2 Έλεγχος χερσαίων πηγών ρύπανσης

Ο έλεγχος των χερσαίων πηγών ρύπανσης των θαλασσών είναι δύσκολος αλλά συγχρόνως είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη και προστασία των παράκτιων περιοχών και του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Περίπου το 80% της θαλάσσιας ρύπανσης προέρχεται από τις χερσαίες πηγές, οι ρύποι των οποίων καταλήγουν στους ωκεανούς δια μέσου της ατμόσφαιρας, με απ' ευθείας απόχυση ή διαμέσου ποταμών. Οι παράκτιες περιοχές έχουν επηρεασθεί σημαντικά λόγω της έντονης ανάπτυξης και χρήσης των περιοχών αυτών. Έξι στους δέκα ανθρώπους ζουν σε μια παράκτια ζώνη 60 χιλιομέτρων και ο πληθυσμός των παράκτιων περιοχών υπολογίζεται να διπλασιαστεί στα επόμενα 20 με 30 χρόνια. Οι πρώτες προσπάθειες για τον έλεγχο των χερσαίων πηγών ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος αρχίζουν μετά το συνέδριο για το περιβάλλον των Ηνωμένων Εθνών το 1972 στη Στοκχόλμη. Μετά το 1982, οπότε δημοσιεύεται η συνθήκη για το δίκαιο των θαλασσών, η UNEP δημιουργεί την πρώτη ομάδα εργασίας ειδικών ad hoc για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τις χερσαίες πηγές ρύπανσης. Με τις οδηγίες της ομάδας αυτής παρέχονται χρήσιμες πληροφορίες για τον έλεγχο της ρύπανσης, δεν καθιερώνεται όμως ένα διεθνές πλαίσιο ή στρατηγική.

Μετά την διακυβερνητική διάσκεψη των ειδικών το 1991 σχετικά με τις χερσαίες πηγές ρύπανσης προτάθηκαν ορισμένα συγκεκριμένα μέτρα προκειμένου να υιοθετηθούν από τα ενδιαφερόμενα κράτη, όπως:

- Προληπτικές μετρήσεις για την προστασία, ελάττωση και έλεγχο της ρύπανσης από τις χερσαίες πηγές
- Καθιέρωση μιας στρατηγικής και ενός σχεδίου δράσης που να στηρίζεται σε κοινά αποδεκτές αρχές και περιέχει ένα σύνολο στόχων που πρέπει να επιτευχθούν.
- Υιοθέτηση ενός διεθνούς πλαισίου διαχείρισης για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιδράσεις των χερσαίων

δραστηριοτήτων σε συνδυασμό με τις κατά τόπους υφιστάμενες συμβάσεις και σχέδια δράσης.

- Καθιέρωση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης και ανάπτυξης διαδικασιών και δράσεων σε εθνικό, τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.
- Βελτίωση της συνεργασίας και συντονισμό μεταξύ των τοπικών δραστηριοτήτων.

Η πολιτική υποστήριξη που παρέχεται προς το παρόν για τη δημιουργία και εφαρμογή μιας συνθήκης για τον έλεγχο των χερσαίων πηγών ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι προς το παρόν περιορισμένη. Επίσης πολλές αναπτυσσόμενες χώρες δεν είναι διατεθειμένες να πάρουν πρόσθετα νομικά μέτρα, εάν προηγουμένως δεν τεθεί το κρίσιμο πρόβλημα μεταφοράς τεχνολογίας και οικονομικής βοήθειας προς τις χώρες αυτές. Αν και πολλές χώρες πιστεύουν ότι ο έλεγχος των χερσαίων πηγών ρύπανσης πρέπει πρωταρχικά ν' απευθύνεται σε εθνικό και τοπικό επίπεδο, έχει γίνει πλέον κοινή συνείδηση ότι είναι τελείως απαραίτητη η υποστήριξη μιας παγκόσμιας στρατηγικής για την εφαρμογή ενός κοινά αποδεκτού πλαισίου αρχών και δράσεων για την καταπολέμηση των χερσαίων πηγών ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

4.3 Πηγές προέλευσης μετάλλων στα θαλάσσια ιζήματα

Η θάλασσα είναι μία απέραντη δεξαμενή όπου υλικά μεταφέρονται με διάφορους τρόπους και εναποτίθενται στα ιζήματα του πυθμένα. Δύο είναι οι κύριες πηγές από τις οποίες υλικά εισέρχονται στην θάλασσα. Η μία πηγή είναι ο ηπειρωτικός φλοιός της γης και η δεύτερη πηγή είναι ο ωκεάνιος φλοιός.

Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στον ηπειρωτικό φλοιό και έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή του προς μεταφορά υλικού, είναι η αποσάρθρωση των πετρωμάτων που γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και η ηφαιστιακή δραστηριότητα που εξελίσσεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Μια τρίτη και εξίσου σημαντική πηγή υλικών είναι η ανθρωπογενής δραστηριότητα και οι φυσικές καταστροφές. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις τα υλικά που

παράγονται απατούνται και στις τρεις καταστάσεις της ύλης, στερεή, υγρή, και αέρια.

Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στον ωκεάνιο φλοιό και έχουν σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή υλικού στην θάλασσα είναι η υδροθερμική δραστηριότητα και οι εκρήξεις των ηφαιστείων που βρίσκονται στους ωκεανούς καθώς και η αποσάρθρωση των πετρωμάτων από το νερό της θάλασσας σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η μεταφορά των υλικών γίνεται με τέσσερις τρόπους, μεταφορά μέσω της ατμόσφαιρας, μεταφορά μέσω των ποταμών, μεταφορά μέσω των πάγων και μεταφορά μέσω υδροθερμικών πηγών. Ο κάθε τρόπος μεταφοράς έχει το δικό του ποσοστό σπουδαιότητας στην διαδικασία εναπόθεσης υλικών.

Η μεταφορά μέσω ποταμών έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων υλικού στις περιοχές όπου εκβάλλουν, η μεταφορά μέσω της ατμόσφαιρας έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή υλικών στην επιφάνεια των ωκεανών σε παγκόσμια κλίμακα και η μεταφορά μέσω νερού που βρίσκεται στην μορφή του πάγου εξαρτάται κυρίως από τις κλιματολογικές συνθήκες.

Έστω και εάν βρισκόμαστε σε μία μεσοπαγετώδη εποχή (interglacial) όπου οι πάγοι βρίσκονται συγκεντρωμένοι στους πόλους, εντούτοις περίπου 20×10^4 g/yr υλικού του στερεού φλοιού της γης εναποτίθενται στους ωκεανούς με μεταφορά μέσω νερού που βρίσκεται στην μορφή του πάγου και μάλιστα το 90% περίπου αυτού του υλικού προέρχεται από την Ανταρκτική. Σε γενικές γραμμές η μεταφορά μέσω της μορφής του πάγου δεν παίζει κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ρόλο στην εναπόθεση υλικού στην ωκεάνια δεξαμενή διότι κυρίως παρατηρείται στο περιβάλλον της ανταρκτικής και του βόρειου παγωμένου ωκεανού. Επιπροσθέτως το νερό στην μορφή πάγου στις περιοχές των πόλων είναι ως επί το πλείστον χημικά ανενεργό και παίζει κυρίως τον ρόλο της παγίδας με αποτέλεσμα να υπάρχει μειωμένη αποδέσμευση μετάλλων στην διαλελυμένη τους μορφή στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Εξετάζοντας το ποταμιαίο σύστημα, βλέπουμε ότι το νερό των ποταμών έχει ως πηγές προέλευσης το νερό της βροχής, το λιώσιμο των πάγων, το νερό των πηγών καθώς και το νερό από άλλες δραστηριότητες κυρίως ανθρωπογενής που ως επί το πλείστον είναι πηγές μόλυνσης. Οι πηγές διαλελυμένων και εν αιωρήση (στερεάς μορφής) συστατικών σε ένα ποταμιαίο σύστημα είναι η αποσάθρωση των πετρωμάτων, η αποσύνθεση του οργανικού υλικού, η υγρή ή στερεή εναπόθεση υλικού από την ατμόσφαιρα καθώς και απόβλητα που ρυπαίνουν το σύστημα. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι το υλικό που μεταφέρεται από τα ποτάμια δεν διαχέεται σε όλη την έκταση του στην θάλασσα. Το μεγαλύτερο ποσοστό εναποτίθεται στις εκβολές και μόνο ένα μικρό ποσοστό μεταφέρεται στα ανοικτά.

Για να κατανοήσουμε το μέγεθος της μεταφοράς των αιωρούμενων στερεών από τους ποταμούς στο ωκεάνιο περιβάλλον θα αναφερθούμε σε μελέτες που δείχνουν ότι η μεταφορά αυτή σε ετήσια βάση κυμαίνεται από 13.5×10^{15} g/yr σε 18.3×10^{15} g/yr . Μία ενδιάμεση τιμή των 15.5×10^{15} g/yr έχει αναφερθεί.

Περίπου το 90% του υλικού που μεταφέρεται από τα ποτάμια παραμένει στις εκβολές. Εάν λοιπόν υπολογίσουμε το ποσοστό αυτό βασισμένοι στην τιμή των 15.5×10^{15} g/yr για την μεταφορά υλικού από τους ποταμούς σε ετήσια βάση που αναφέρθηκε , τότε θα βρούμε ότι μόνο 1.55×10^{15} g/yr μεταφέρονται πέραν των εκβολών των ποταμών. Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά στην τιμή των 1.26×10^{15} g/yr για την ροή αιωρούμενου υλικού από τα ποτάμια προς τους ωκεανούς σε παγκόσμια κλίμακα. συνολική ροή διαλελυμένων που εισέρχεται στην ωκεάνια δεξαμενή από τα ποτάμια είναι της τάξεως των 3.7×10^{15} g/yr.

Μερικές τιμές ροών διαλελυμένων και αιωρούμενων στοιχείων που εισέρχονται στην ωκεάνια δεξαμενή σε ετήσια βάση δίνονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Ροή διαλυμένων και αιωρούμενων μετάλλων από ποτάμια σε παγκόσμια κλίμακα (Chester, 1993).

Στοιχείο	Διαλυμένη φάση $\times 10^{12}$ g/yr	Αιωρούμενη φάση $\times 10^{12}$ g/yr
Al	0.95	146
Fe	0.30	75
Mn	0.30	1.6
Ni	0.03	0.14
Co	0.0075	0.03
Cr	0.0185	0.155
V	0.037	0.26
Cu	0.06	0.155
Pb	0.0037	0.155
Zn	0.025	0.39
Cd	0.0031	0.0016

Η ατμόσφαιρα είναι ίσως το πιο σπουδαίο μονοπάτι μεταφοράς αιωρούμενου υλικού στην θάλασσα σε παγκόσμια κλίμακα. Αναφέρεται χαρακτηριστικά από μελέτες σε περιοχές του βορείου Ατλαντικού ωκεανού κοντά στον Ισημερινό προς τα ανατολικά της μεσοωκεάνιας ράχης του Ατλαντικού Ωκεανού (Mid – Atlantic Ridge) έδειξαν, ότι τα ιζήματα του πυθμένα σχηματίσθηκαν κατά ένα μεγάλο ποσοστό από εναπόθεση υλικών που μετεφέρθησαν μέσω του αέρα. Τόσο μεγάλη εναπόθεση σε κλίμακα χρόνου και περιοχής έχει παρατηρηθεί και για τον κεντρικό Ειρηνικό ωκεανό όπου σχεδόν όλο το υλικό σχηματισμού των ιζημάτων του πυθμένα που δεν έχει βιογενή προέλευση προέρχεται από υλικό που μεταφέρθηκε μέσω του αέρα.

Το αιώρημα που αποτελείται από υγρό και στερεό υλικό και μεταφέρεται μέσω του αέρα ονομάζεται αεροσόλ (aerosol). Τα αεροσόλ κατατάσσονται με βάση την σύσταση και την προέλευση τους, ενώ άλλος τρόπος κατάταξης είναι με την διάμετρο των σωματιδίων που τα αποτελούν.

Έτσι τα αεροσόλς με διάμετρο σωματιδίων $<2 \mu\text{m}$ ονομάζονται λεπτόκκοκα (fine), ενώ αυτά με διάμετρο σωματιδίων $>2 \mu\text{m}$ ονομάζονται χονδρόκκοκα (coarse). Για την περιοχή του βορείου Ατλαντικού ωκεανού, κατατάχθηκαν τα αεροσόλς σε πέντε κατηγορίες που σχετίζονται με το μέγεθος των σωματιδίων που τα αποτελούν:

- i. αυτά με διάμετρο σωματιδίων $>40 \mu\text{m}$,
- ii. αυτά που τα σωματίδια τους προέρχονται από την επιφάνεια του ωκεανού,
- iii. αυτά που τα σωματίδια τους προέρχονται κυρίως από την σκόνη
- iv. αεροσόλς όπου τα σωματίδια τους προέρχονται από την τροπόσφαιρα και
- v. αεροσόλς όπου τα σωματίδια τους έχουν διάμετρο $<0.06 \mu\text{m}$.

Τα αιωρούμενα και αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας προέρχονται από φυσικές πηγές ή ανθρωπογενής δραστηριότητες. Με βάση τα χημικά τους χαρακτηριστικά που έχουν άμεση σχέση με την θερμοκρασία της πηγής σχηματισμού τους, χωρίζονται σε αυτά που προήρθαν από χαμηλές και αυτά που προήρθαν από υψηλές θερμοκρασίες. Οι πιο σημαντικές φυσικές πηγές τους είναι:

- i. ο στερεός φλοιός της γης, ο οποίος εμπλουτίζει την ατμόσφαιρα τόσο με αέρια όσο και με αιωρούμενα συστατικά που παράγονται κατά την διάρκεια διεργασιών κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες,
- ii. οι ωκεανοί, οι οποίοι σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών παράγουν αιωρούμενα σωματίδια μέσω της αναγέννησης των αλάτων από μηχανική κυρίως δράση. Επίσης οι ωκεανοί προμηθεύουν την ατμόσφαιρα με πτητικά συστατικά,
- iii. η ηφαιστειακή δραστηριότητα που υπό συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και εκρήξεων προμηθεύει την ατμόσφαιρα με αέρια και αιωρούμενα σωματίδια,
- iv. η βιόσφαιρα όπου κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας κατά την καύση των φυτικών οργανισμών παράγονται αέρια και αιωρούμενα σωματίδια που κατακλύζουν την ατμόσφαιρα,
- v. άλλες εξωγενής πηγές, όπως μικρομετεωρίτες (κοσμικά σφαιρίδια) κ.λ.π.

Οι ανθρωπογενής δραστηριότητες, περιλαμβάνουν κυρίως την βιομηχανική παραγωγή πλήθους αγαθών, την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, τις αστικές δραστηριότητες κ.α.

Η συνολική παραγωγή αιωρούμενων συστατικών (από φυσικές κ' ανθρωπογενής πηγές) είναι της τάξεως των 810×10^{12} g/yr, ενώ τα σωματίδια που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα με την συμμετοχή αερίων κάτω από συγκεκριμένες φυσικοχημικές συνθήκες είναι της τάξεως των 750×10^{12} g/yr. Τα σωματίδια αυτά είναι κυρίως σουλφίδια που παράγονται στην ατμόσφαιρα και η ποσότητα τους είναι της τάξεως των 535×10^{12} g/yr. Τα σωματίδια που προέρχονται από άλατα των θαλασσών είναι περίπου 500×10^{12} g/yr και μαζί με τα σουλφίδια αποτελούν το 70% των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με τα πρώτα να βρίσκονται τοπικά πάνω από τις δεξαμενές παραγωγής τους (ωκεανούς).

Επίσης αιωρούμενα σωματίδια με την μορφή σκόνης παράγονται από διάβρωση των πετρωμάτων από τον αέρα. Αυτή η διαδικασία εξαρτάται από την φύση των επιφανειών η οποία έχει άμεση σχέση με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, τον καιρό και γενικότερα τις κλιματολογικές συνθήκες. Το βόρειο ημισφαίριο φέρει μεγαλύτερο φορτίο σκόνης από ότι το νότιο ημισφαίριο πιθανόν λόγω του μεγαλύτερου ποσοστού ξηράς που παρατηρείται στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη.

Επιπροσθέτως η έρημος Σαχάρα παίζει έναν πολύ σπουδαίο ρόλο στην εισαγωγή σκόνης στο βόρειο ημισφαίριο, έστω και εάν μερικές μελέτες δείχνουν ότι σπουδαίο ρόλο στην εισαγωγή σκόνης στο βόρειο ημισφαίριο παίζουν και ξηρές ηπειρωτικές περιοχές της Ασίας. Η ροή σκόνης στον βόρειο Ατλαντικό ωκεανό που προέρχεται κυρίως από την Σαχάρα είναι της τάξεως των $100 - 400 \times 10^{12}$ g/yr , ενώ η αντίστοιχη τιμή για τον βόρειο Ειρηνικό ωκεανό είναι 300×10^{12} g/yr.

Πίνακας 4.2. Διαλυτότητες στοιχείων από αεροσόλς σε διαφορετικές θαλάσσιες περιοχές στο % ποσοστό της ολικής τους συγκέντρωσης (Chester, 1993)

Στοιχείο	Παράκτιες περιοχές, Ανθρωπογενούς προέλευσης αεροσόλς	Παράκτιες περιοχές, Λιθογενούς προέλευσης αεροσόλς	Ανοιχτά του ωκεανού, Ανθρωπογενούς και Λιθογενούς προελεύσεως αεροσόλς
Al	5	<5	5
Fe	7,5	<7,5	7,5
Mn	45	<20	35
Ni	50	<25	40
Co	25	<20	22,5
Cr	12,5	<10	10
V	30	<20	25
Cu	30	<5	30
Pb	50	<5	30
Zn	70	<5	45
Cd	85	-	80

Οι αέριες μάζες μεταφέρουν κυρίως υλικό που προήρθε από την αποσάθρωση του στερεού φλοιού της γης και βρίσκεται στην έρημο Σαχάρα. Για παράδειγμα το ποσό της σκόνης που μεταφέρεται σε ετήσια βάση από την έρημο Σαχάρα στον Ατλαντικό ωκεανό δυτικά της Αφρικής είναι της τάξης των $60-400 \times 10^{12} \text{g/yr}$. Σε περιόδους όπου παρατηρούνται ανεμοθύελλες το ποσοστό αυξάνει φτάνοντας και τα $700 \mu\text{g}$ σκόνης / m^3 αέρα.

Η μεταφορά αυτών των αιωρούμενων σωματιδίων (αεροσόλς) συνεπάγεται και μεταφορά χημικών ειδών στο ωκεάνιο περιβάλλον. Η διαλυτότητα αυτών των συστατικών εξαρτάται άμεσα από την πηγή προέλευση τους και διακρίνονται στα:

- i. Πολύ διαλυτά στοιχεία (>90% της ολικής συγκέντρωσης τους). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει κυρίως άλατα του Na, Br, και Cs.
- ii. Σχετικά διαλυτά (20-90% της ολικής συγκέντρωσης τους). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα στοιχεία Cd, Zn, As, Se, Co, Sb, Cr, Ag, Mn, V και Pb. Τα στοιχεία αυτά έχουν ένα πλήθος πηγών από τις οποίες προέρχονται και γενικώς ισχύει ότι η διαλυτότητα τους στο θαλασσινό νερό αυξάνεται όσο αυξάνεται και το ποσοστό ανθρωπογενούς προέλευσης στο κλάσμα των αιωρούμενων σωματιδίων. Το Cd και το Mn αποτελούν εξαίρεση και η διαλυτότητα τους φαίνεται να είναι ανεξάρτητη της πηγής των αεροσόλς.
- iii. Λίγο διαλυτά έως και αδιάλυτα στοιχεία (<10% της ολικής συγκέντρωσης τους). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα στοιχεία Al, Fe, Sc, Ce, La, Hf, Yb, Pa και Lu. Αυτά τα στοιχεία συνήθως δεν είναι εμπλουτισμένα και έχουν κυρίως λιθογενή προέλευση.

Η διαλυτότητα στο νερό της θάλασσας των στοιχείων που προέρχονται από αεροσόλς σε διαφορετικές θαλάσσιες περιοχές δίνονται στον πίνακα 2.

Η ροή των στοιχείων εκφρασμένη σε $\text{ng/cm}^2/\text{yr}$ για διαφορετικές ωκεάνιες και θαλάσσιες περιοχές δίνεται στον πίνακα 4.3. Η υδροθερμική δραστηριότητα παίζει ένα σπουδαίο ρόλο στην διαδικασία μεταφοράς χημικών στοιχείων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ο ωκεάνιος φλοιός κυρίως αποτελείται από βασάλτη που είναι ο πιο κοινός τύπος πετρώματος που απαντάται στον πυθμένα των ωκεανών. Η αλληλεπίδραση του θαλάσσιου νερού με τους βασάλτες του ωκεάνιου φλοιού γίνεται με τρεις κυρίως τρόπους :

- α) μέσο της υδροθερμικής δραστηριότητας σε υψηλές θερμοκρασίες βαθιά μέσα στο φλοιό ή σε χαμηλές θερμοκρασίες στα σύνορα της μεσοωκεάνιας ράχης.
- β) μέσο της εξαλλοίωσης των βασαλτικών πετρωμάτων με μηχανικό κυρίως τρόπο σε χαμηλές θερμοκρασίες και
- γ) μέσο της άμεσης επαφής της ζεστής λάβας που φτάνει στον πυθμένα των ωκεανών.

Κατά την εξάπλωση του πυθμένα του ωκεανού, νέο τμήμα του ωκεάνιου φλοιού (λιθόσφαιρα) σχηματίζεται από μάγμα που αποβάλλεται στο περιβάλλον του πυθμένα από το σύστημα της μεσοωκεάνιας ράχης. Το ήδη υπάρχον (παλιότερο) βασαλτικό υπόβαθρο είναι πορώδες με πλήθος ρηγμάτων που απατούνται τόσο στις ζώνες γρήγορης όσο και στις ζώνες αργής εξάπλωσης του πυθμένα (fast and slow – spreading ridges). Σε αυτές τις περιοχές κρύο νερό της θάλασσας εισέρχεται στα διαπερατά κενά του φλοιού, μερικές φορές ακόμα σε βάθος μερικών χιλιομέτρων, όπου υφίσταται ανακύκλωση μέσω της θερμότητας και έρχεται σε επαφή με ζώνες δράσης του μάγματος. Εκεί το νερό της θάλασσας υφίσταται μεγάλες αλλαγές στη σύστασή του, με αποτέλεσμα να σχηματίζει υψηλής θερμοκρασίας υδροθερμικά διαλύματα, τα οποία αναδύονται και έρχονται σε επαφή (ανάμιξη) με το νερό του πυθμένα μέσω ενός συστήματος αναβλυζόντων πηγών.

Κατά την διάρκεια της ανακύκλωσης και της ανάβλυσης τους προς τον πυθμένα του ωκεανού, τα υδροθερμικά ρευστά έρχονται σε επαφή με πετρώματα και ιζήματα τα οποία αποπλένονται κατά την διάρκεια της επαφής τους με τα υδροθερμικά διαλύματα, τα οποία με την σειρά τους εμπλουτίζονται σε μέταλλα που μεταφέρονται σε διαλελυμένη μορφή στο νερό του πυθμένα του ωκεανού.

Ο εμπλουτισμός του θαλάσσιου περιβάλλοντος με μέταλλα που προέρχονται από τα υδροθερμικά διαλύματα έχει γίνει το αντικείμενο πολλών ερευνών από ερευνητές ανά τον κόσμο.

Πίνακας 4.3 . Ατμοσφαιρική ροή ιχνοστοιχείων στην επιφάνεια ωκεανών και θαλασσών (μονάδες ng/cm²/yr) (Chester, 1993)

Στοιχείο	Βόρειος Ατλαντικός Βορειο- ανατολικά	Τροπικός Βόρειος Ατλαντικός	Νότιος Ατλαντικός	Βόρεια θάλασσα	Δυτική Μεσόγειος θάλασσα
Al	97000	5000	2900	30000	5000
Sc	-	1,1	-	5	1
V	-	17	-	480	-
Cr	111	14	-	210	49
Mn	570	70	60	920	-
Fe	48000	3200	5900	25500	5100
Co	12	2,7	-	39	3,5
Ni	67	20	390	260	-
Cu	48	25	220	1300	96
Zn	152	130	750	8950	1080
As	-	-	45	280	54
Se	-	14	-	22	48
Ag	-	0,9	-	-	3
Cd	-	5	9	43	13
Sb	-	3,5	-	58	48
Au	-	0,1	-	-	0,05
Hg	-	2,1	24	-	5
Pb	32	310	660	2650	1050
Th	-	0,9	-	4	1,2

Με χαρακτηριστικό την θερμοκρασία των υδροθερμικών διαλυμάτων που φτάνουν στον πυθμένα τόσο της θάλασσας, δύο κυρίως τύποι υδροθερμικών πηγών υπάρχουν :

α) Τα υδροθερμικά πεδία χαμηλών θερμοκρασιών, με θερμοκρασίες υδροθερμικών διαλυμάτων μεταξύ 6°C και 17°C και ροή υδροθερμικών ρευστών 2-10 l/s.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου είδους υδροθερμικών πηγών είναι αυτές που βρέθηκαν στην ωκεάνια ράχη των νησιών Galapagos, στον ανατολικό Ειρηνικό ωκεανό. Σε αυτό το σύστημα η αλληλεπίδραση των υδροθερμικών διαλυμάτων με το καθαρό θαλασσινό νερό γίνεται σε κάποιο μικρό σχετικά βάθος μέσα στο σύστημα των υδροθερμικών πηγών με αποτέλεσμα την καθίζηση των μετάλλων με την μορφή σουλφιδίων κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα.

β) Τα υδροθερμικά πεδία υψηλών θερμοκρασιών, με θερμοκρασίες υδροθερμικών διαλυμάτων περί τους 350°C. Τα υδροθερμικά αυτά διαλύματα αναδύονται μέσω μαύρων καμινάδων (black chimneys) που αποτελούνται κυρίως από σουλφίδια του Fe, Zn και Cu, ενώ μπορεί να φτάσουν και τα 10m ύψος.

Τα συστήματα αυτών των υδροθερμικών πηγών είναι γνωστά ως black smokers. Τα υψηλής θερμοκρασίας υδροθερμικά ρευστά που αναβλύζουν μέσα από αυτές τις πηγές έχουν όξινο και αναγωγικό χαρακτήρα που οφείλεται κυρίως στην παρουσία H₂S, είναι εμπλουτισμένα με Mn, Ca, Ba, K, Si και Rb, ενώ είναι απεμπλουτισμένα σε Mg και SO₄²⁻. Ο πίνακας 4 που ακολουθεί δείχνει χαρακτηριστικές τιμές συγκεντρώσεων μετάλλων για υδροθερμικά διαλύματα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις τους στο θαλασσινό νερό.

Πίνακας 4.4. Συγκεντρώσεις μετάλλων σε υδροθερμικά διαλύματα υψηλών θερμοκρασιών της περιοχής Guaymas (κόλπος Καλιφόρνιας) και της περιοχής 21°N East Pacific Rise (EPR, Von Damm et.al., 1985)

Στοιχείο (Συγκέντρωση)	Υδροθερμικά Διαλύματα	Υδροθερμικά Διαλύματα	Νερό θάλασσας
	Περιοχή Guaymas	Περιοχή 21°N EPR	
Li (μmol/kg)	630-1076	891-1322	26
Na (mmol/kg)	475-513	432-510	463
K (mmol/kg)	37,1-49,2	23,2-25,8	9,79
Rb (μmol/kg)	57-86	27-33	1,3
Be (nmol/kg)	12-91	10-37	0,02
Mg (mmol/kg)	0	0	52,7
Ca (mmol/kg)	26,6-41,5	11,7-20,8	10,2
Sr (μmol/kg)	160-253	67-97	87
Ba (μmol/kg)	>7 - >24	>7 - >15	0,14
Al (μmol/kg)	0,9-7,9	4,0-5,2	0,005
Mn (μmol/kg)	128-236	699-1002	<0,001
Fe (μmol/kg)	17-180	750-2429	<0,001
Co (nmol/kg)	<5	22-227	0,03
Cu (μmol/kg)	<0,02-1,1	<0,02-44	0,007
Zn (μmol/kg)	0,1-40	40-106	0,01
Ag (nmol/kg)	<1-230	<1-38	0,02
Cd (nmol/kg)	<10-46	17-180	1
Pb (nmol/kg)	<20-652	183-359	0,01
PH	5,9	3,3-3,8	7,8
NH ₄ ⁺ (mmol/kg)	10,7-15,6	<0,01	<0,01

Αντιδράσεις σε περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών γίνονται και κατά την άμεση επαφή λάβας με θαλασσινό νερό στα βάθη των ωκεανών. Αυτές οι υποθαλάσσιες ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν ως αποτέλεσμα των σχηματισμό νέων ορυκτών όπως σμικτίτη ζεωλίτη κ.α. καθώς και τον εμπλουτισμό του θαλάσσιου νερού σε Ca, Na, K, Si, B, Mn, Zn και Cn. Το ποσοστό της επίδρασης του θαλάσσιου νερού στην αποσάθρωση των βασαλτικών πετρωμάτων του ανώτερου τμήματος του στερεού ωκεάνιου φλοιού, είναι συνάρτηση του χρόνου επαφής τους.

Η χημική αποσάθρωση αυτού του είδους των πετρωμάτων λαμβάνει χώρα είτε στην επιφάνεια του πυθμένα του ωκεανού παρουσία μεγάλων ποσοτήτων θαλάσσιου νερού και οξειδωτικών συνθηκών, είτε σε βαθύτερα στρώματα (2-3km) παρουσία μικρών ποσοτήτων θαλάσσιου ύδατος. Κατά τη διάρκεια της χημικής αυτής αποσάθρωσης των βασαλτικών πετρωμάτων κάτω από χαμηλές θερμοκρασίες νέες ορυκτολογικές φάσεις σχηματίζονται και παρατηρείται μεταφορά χημικών ειδών μεταξύ θαλάσσιου νερού και πετρωμάτων.

4.4 Γεωχημικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων ιζημάτων

Η γεωχημεία των ιζημάτων του πυθμένα στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθορίζεται από τους εξής παράγοντες.

- i. Την σύσταση του υλικού ιζηματογένεσης
- ii. Τις φυσικοχημικές διεργασίες που επιτελούνται στο εσωτερικό των ιζημάτων
- iii. Την βιολογική δραστηριότητα που εξελίσσεται στο εσωτερικό των ιζημάτων (δράση μικροοργανισμών).

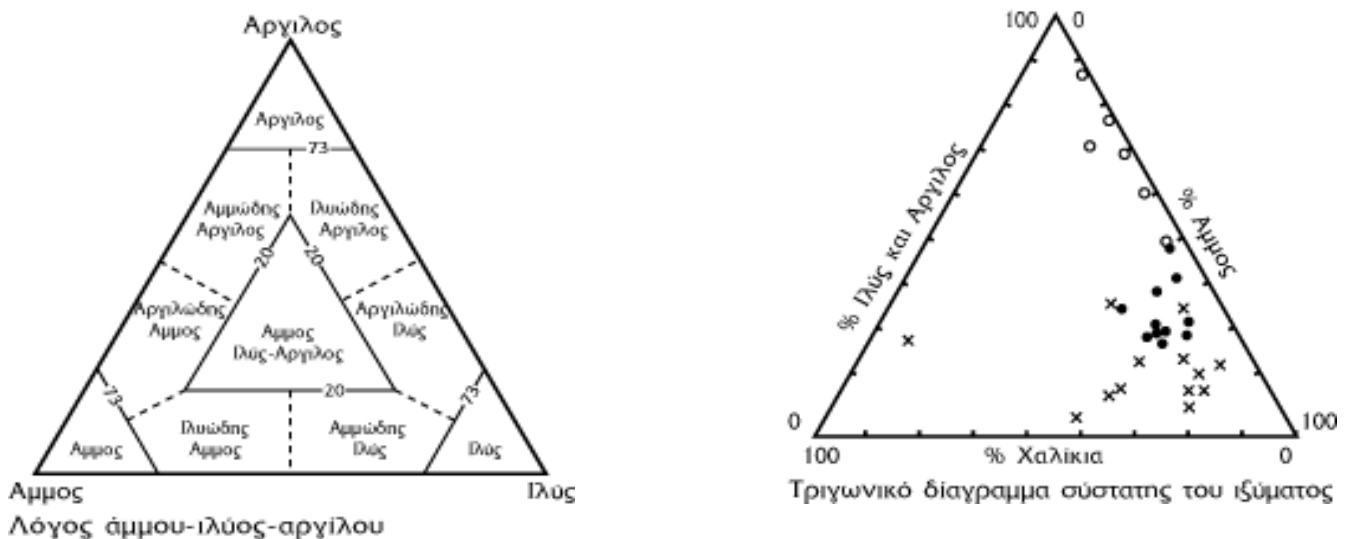
Η δραστηριότητα των μικροοργανισμών στο σώμα των ιζημάτων, γνωστή ως bioturbation (βιοαναδιάταξη), έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή των γεωχημικών χαρακτηριστικών τους από στρώμα σε στρώμα.

Ποσοτικός προσδιορισμός του βαθμού βιοαναδιάταξης (bioturbation) γίνεται με την χρήση αδρανών ιχνηλατών που τοποθετούνται στην επιφάνεια του ιζήματος, ή χρησιμοποιώντας φυσικά ραδιοϊσότοπα στοιχείων. Η εποχιακή μεταβολή του βαθμού βιοαναδιάταξης (bioturbation) προσδιορίζεται

χρησιμοποιώντας ^{234}Th (χρόνος ημίσειας ζωής 24 ημέρες) και ^{210}Pb (χρόνος ημίσειας ζωής 22 χρόνια). Η επιλογή του ^{210}Pb γίνεται ώστε να μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά την μέτρηση της σταθεράς αναδιάταξης (mixing coefficient) που δίνει το βαθμό του ποσοστού βιοαναδιάταξης (bioturbation) σε εποχιακή κλίμακα και σε βάθος 10-20 cm μέσα στο ιζήμα. Το ^{234}Th εξαιτίας του μικρού χρόνου ημίσειας ζωής, δίνει ασφαλή συμπεράσματα μόνο για τα πρώτα λίγα cm του ιζήματος και αποτελεί κυρίως δείκτη βιοαναδιάταξης για μικρά χρονικά διαστήματα.

Η δραστηριότητα των μικρόζων ή μακρόζων (meiofauna ή macrofauna) ουσιαστικά είναι υπεύθυνη για το ανακάτεμα των ιζημάτων σε βάθος έως 5cm. Όμως τα μεγαλόζωα (megafauna) είναι ικανά να ανακατέψουν το ιζήμα σε βάθος μερικών δεκάδων cm. Μελέτες με πλουτώνιο και ^{210}Pb στον βόρειο ανατολικό Ατλαντικό ωκεανό έδειξαν ότι η δράση αυτών των οργανισμών μεταφέρουν το επιφανειακό στρώμα των ιζημάτων από 3 έως και 15cm.

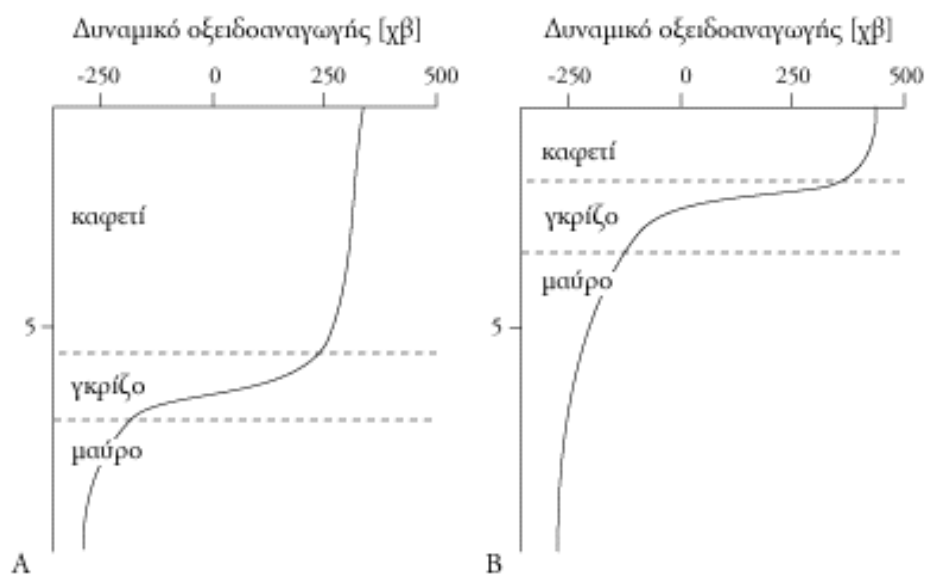
Τα ιζήματα διακρίνονται ανάλογα με τα μεγέθη των κόκκων που τα απαρτίζουν στα είδη που αναφέρονται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1. Τριγωνικά διαγράμματα φάσεων ιζημάτων (Καρακάσης και Ελευθερίου, 2008).

Βέβαια τα περισσότερα ιζήματα δεν αποτελούνται από μία μόνο κατηγορία αλλά από ένα φάσμα μεγεθών κόκκων οπότε χαρακτηρίζονται είτε περιγραφικά, με βάση το επικρατές κλάσμα, είτε με βάση μαθηματικούς δείκτες όπως η μέση διάμετρος κόκκου. Κάτω από την ζώνη επίδρασης του κυματισμού συνήθως τα ποσοστά ιλύος και αργίλου είναι σημαντικά εκτός από περιπτώσεις όπου υπάρχουν ισχυρά θαλάσσια ρεύματα.

Μία άλλη σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει τα θαλάσσια ιζήματα είναι το οξειδοαναγωγικό καθεστώς του ιζήματος το οποίο συνδέεται με την ποσότητα οξυγόνου που είναι διαλυμένο στο νερό (μεσοδιαστηματικό νερό) που υπάρχει ανάμεσα στους κόκκους του. Η κατάσταση αυτή περιγράφεται από το οξειδοαναγωγικό δυναμικό (Eh) το οποίο μετράται σε mV. Σε γενικές γραμμές οι οξειδωτικές συνθήκες (υψηλό Eh μέχρι +400 mV) σημαίνουν υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου ενώ αναγωγικές συνθήκες (χαμηλό Eh μέχρι -200 mV) απουσία οξυγόνου. Τα περισσότερα ζωικά είδη έχουν ανάγκη από οξυγόνο και γι'αυτό τα ιζήματα με χαμηλό Eh είναι φτωχά σε πανίδα.



Σχήμα 4.2. Μεταβολή του οξειδοαναγωγικού δυναμικού συναρτήσει του βάθους από την επιφάνεια του βυθού σε δύο τύπους ιζήματος. A, μεσαία άμος, B ψιλή άμμος (Καρακάσης και Ελευθερίου, 2008).

Το οξειδοαναγωγικό δυναμικό του ιζήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις παρακάτω παραμέτρους:

- **Μέγεθος κόκκων του ιζήματος:** όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρός τους τόσο καλύτερη είναι η κυκλοφορία του νερού στο εσωτερικό του ιζήματος άρα και η οξυγόνωσή του. Επομένως λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς-άργιλος) αναμένεται να έχουν μικρότερες τιμές Eh σε σχέση με αμμώδη ιζήματα.
- **Το οργανικό υλικό:** η αποικοδόμηση του οποίου οδηγεί σε ταχεία κατανάλωση του οξυγόνου. Ετσι ιζήματα με υψηλό οργανικό περιεχόμενο έχουν συνήθως χαμηλό Eh.
- **Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του θαλασσινού νερού επάνω από το ίζημα.** Αν το θαλασσινό νερό έχει μικρή περιεκτικότητα σε οξυγόνο τότε η δυνατότητά του να εφοδιάσει το μεσοδιαστηματικό νερό με οξυγόνο είναι μικρή, επομένως οι τιμές του Eh δεν μπορεί παρά να είναι χαμηλές.

Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η μεταβολή του οξειδοαναγωγικού δυναμικού συναρτήσει του βάθους από την επιφάνεια του βυθού σε δύο τύπους ιζήματος. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει ένα ανοιχτόχρωμο (καστανόχρουν) στρώμα ιζήματος στο οποίο επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες, βαθύτερα υπάρχει ένα στρώμα μαύρου χρώματος όπου επικρατούν αναγωγικές συνθήκες ενώ ενδιάμεσα παρεμβάλλεται ένα λεπτό γκρίζο στρώμα όπου το οξειδοαναγωγικό δυναμικό μεταβάλλεται ραγδαία (απότομα) μέσα σε μία πολύ μικρή απόσταση. Το γκρίζο αυτό στρώμα έχει ονομαστεί "Στρώμα Ασυνέχειας του Οξειδοαναγωγικού Δυναμικού" ή RPD. Καθώς φαίνεται στο σχήμα 4.2 σε ίζημα λεπτής άμμου το RPD βρίσκεται πλησιέστερα στην επιφάνεια από ότι σε ιζήματα αδρής άμμου ακριβώς γιατί η διείσδυση οξυγονωμένου νερού είναι δυσκολότερη στα λεπτόκοκκα ιζήματα.

4.5 Μέθοδοι ποσοτικοποίησης της ρύπανσης των θαλάσσιων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα

Ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η απόρριψη στη θάλασσα, αστικών λυμάτων, βιομηχανικών, μεταλλευτικών και γεωργοκτηνοτροφικών

αποβλήτων καθώς και προϊόντων βυθοκόρησης, είναι υπεύθυνες για την είσοδο στο θαλάσσιο περιβάλλον μεγάλων ποσοτήτων βαρέων μετάλλων (μέταλλα με πυκνότητα $>5 \text{ gem}^{-3}$ και τοξικά σε μικρές συγκεντρώσεις). Ο προσδιορισμός της ρύπανσης των ιζημάτων του πυθμένα από βαρέα μέταλλα αποτελεί ένα αξιόπιστο μέσο για τον καθορισμό του επιπέδου επιβάρυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από αυτά, καθώς τα μέταλλα μετά από ένα σύντομο ή μακρύ ταξίδι στην υδάτινη στήλη, καθιζάνουν στον πυθμένα.

4.5.1 Συγκεντρώσεις υποβάθρου

Η ποσοτικοποίηση του βαθμού ρύπανσης των ιζημάτων του πυθμένα από βαρέα μέταλλα είναι δυνατόν να επιτευχθεί με σύγκριση των συγκεντρώσεων τους **(C)** στα ρυπασμένα θαλάσσια ιζήματα, έναντι των **φυσικών συγκεντρώσεων** τους **(Cb)** στα μη ρυπασμένα ιζήματα. Οι τελευταίες καλούνται συνήθως **συγκεντρώσεις υποβάθρου (Cb)** (background concentration). Οι συγκεντρώσεις υποβάθρου των διαφόρων βαρέων μετάλλων στα φυσικά θαλάσσια ιζήματα ελέγχονται από το χημισμό των μητρικών πετρωμάτων της χέρσου καθώς τα ιζήματα έχουν προέλθει από τη φυσική και χημική αποσάθρωση τους. Έτσι, οι συγκεντρώσεις υποβάθρου μπορεί να προέλθουν είτε από τη χημική ανάλυση των μητρικών πετρωμάτων είτε από τη χημική ανάλυση των φυσικών θαλασσίων ιζημάτων.

Με βάση τα παραπάνω, για τον καθορισμό των συγκεντρώσεων υποβάθρου των βαρέων μετάλλων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί:

- (1) Η μέση χημική σύσταση των **τυπικών σχιστολίθων και αργίλων** (standard shale and clays), η οποία έχει διαπιστωθεί ότι προσεγγίζει καλύτερα τις συγκεντρώσεις των μετάλλων στα θαλάσσια μη ρυπασμένα ιζήματα από ό,τι αυτή άλλων πετρωμάτων (π.χ. γρανιτικά, ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες). Αυτή η προσέγγιση οδηγεί σε μία γρήγορη αλλά αδρή εκτίμηση του λόγου (C/Cb), καθώς η χημική σύσταση των τυπικών σχιστολίθων είναι διαθέσιμη βιβλιογραφικά (Πίν. 4.3) και δεν απαιτούνται χημικές αναλύσεις.
- (2) Η χημική σύσταση συγχρόνων θαλασσίων ιζημάτων σε "(α) μη ρυπασμένες περιοχές με παρόμοια μητρικά πετρώματα με αυτά της ρυπασμένης υπό μελέτη περιοχής ή (β) μη ρυπασμένη θέση πλησίον της ρυπασμένης περιοχής. Στην πρώτη υποπερίπτωση χρειάζεται

βιβλιογραφική διερεύνηση ενώ στη δεύτερη χημική ανάλυση του δείγματος της μη ρυπασμένης θέσης, το οποίο συνήθως καλείται **δείγμα αναφοράς** (reference sample).

- (3) Η χημική σύσταση των μη ρυπασμένων ιζημάτων που βρίσκονται κάτω από τα ρυπασμένα επιφανειακά ιζήματα. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί τη συλλογή πυρήνα ιζήματος από το θαλάσσιο πυθμένα (βλέπε βιβλίο Υδροσφαιρας) και οδηγεί στον ακριβή υπολογισμό του λόγου (**C/C_b**). Η χημική ανάλυση των ιζημάτων από την επιφάνεια προς τη βάση του πυρήνα επιτρέπει όχι μόνο τον ακριβή υπολογισμό των συγκεντρώσεων υποβάθρου, που συνήθως εντοπίζονται μερικά εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα, αλλά μπορεί να δώσει μια σαφή εικόνα της ιστορικής εξέλιξης της ρύπανσης από τα βαρέα μέταλλα.

Στον Πίνακα 4.3 δίνονται οι συγκεντρώσεις υποβάθρου διαφόρων βαρέων μετάλλων, σε τυπικούς σχιστολίθους και αργίλους (προσέγγιση 1), σε ιζήματα της υφαλοκρηπίδας και σε λιμναία ιζήματα (προσέγγιση 2) και σε υποεπιφανειακά ιζήματα του Βόρειου Κορινθιακού κόλπου (προσέγγιση 3).

Πίνακας 4.3. Συγκεντρώσεις υποβάθρου βαρέων μετάλλων (Ζαχαρίας κ.α., 2004).

Μέταλλο	Τυπικοί Σχιστόλιθοι & άργιλοι	Ιζήματα Υφαλοκρηπίδας	Λιμναία ιζήματα	Υποεπιφανειακά ιζήματα Β.Κορινθιακού Κόλπου
Fe (%)	4,72	6,5	4,34	2,6
Mn (ppm)	600,0	850,0	760,0	664
Zn (ppm)	95,0	92,0	118,0	64
Cr (ppm)	83,0	60,0	62,0	105
Ni (ppm)	68,0	35,0	66,0	119
Cu (ppm)	45,0	56,0	45,0	33
Pb (ppm)	20,0	22,0	34,0	11
Co (ppm)	19,0	13,0	16,0	20

4.5.2 Μέθοδοι προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στις επιμέρους χημικές φάσεις των ιζημάτων

Η ολική συγκέντρωση ενός μετάλλου σε ένα ίζημα είναι δυνατόν να οικοδομείται από τις επιμέρους συγκεντρώσεις που παρουσιάζει στις διάφορες χημικές φάσεις του ιζήματος (Πίν. 4.4). Ο προσδιορισμός των επιμέρους συγκεντρώσεων του κάθε βαρέως μετάλλου, στις χημικές φάσεις του ιζήματος, είναι ιδιαίτερα σημαντικός διότι δίνει αξιόπιστες πληροφορίες όσον αφορά στην περιβαλλοντική επιβάρυνση. Το ανθρωπογενές ποσοστό (ρύπανση) των βαρέων μετάλλων είναι συνδεδεμένο με το ίζημα με τη διεργασία της ρόφησης ή/και της κατακρήμνισης και συνεπώς ο προσδιορισμός του ποσοστού αυτού οδηγεί στην εύρεση του βαθμού ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Επιπλέον, τα βαρέα μέταλλα που βρίσκονται συνδεδεμένα στα ιζήματα με τη διεργασία της ρόφησης, εύκολα απελευθερώνονται προς την υδάτινη στήλη για να προσληφθούν στη συνέχεια από τους οργανισμούς και έτσι να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα.

Η συνηθέστερη μεθοδολογία προσδιορισμού της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στις επιμέρους χημικές φάσεις είναι αυτή της Κλασματικής Χημικής Ανάλυσης (Sequential or Partial Extraction Procedure). Η κλασματική χημική ανάλυση στηρίζεται στην αρχή ότι διαφορετικά αντιδραστήρια απελευθερώνουν τα βαρέα μέταλλα από διαφορετικές χημικές φάσεις του ιζήματος (Πίν. 4.4). Πολλά σχήματα κλασματικής χημικής ανάλυσης έχουν προταθεί την τελευταία 20-ετία, τα περισσότερα των οποίων βασίζονται στο σχήμα των τριών σταδίων (Πίν. 4.5). Για να είναι δυνατή η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων, σε διεθνές επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Ένωση πρότεινε την εφαρμογή ενός σχήματος τριών σταδίων (3-stage) κλασματικής ανάλυσης (Πίν. 4.5). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι κλασματικές χημικές αναλύσεις είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες αναλύσεις ενώ πρέπει να τονισθεί ότι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους δεν είναι απλή, αφού τα περισσότερα βαρέα μέταλλα βρίσκονται σε περισσότερες της μίας, χημικές φάσεις.

Πίνακας 4.4. Η επίδραση διαφόρων αντιδραστηρίων στις διάφορες χημικές φάσεις των ιζημάτων. Οι γραμμές μεγάλου εύρους αντιπροσωπεύουν την απελευθέρωση των μετάλλων εξαιτίας της επίδρασης των αντιδραστηρίων, ενώ οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν αβέβαιη επίδραση των αντιδραστηρίων. (Ζαχαρίας κ.α., 2004).

ΤΥΠΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗ ΡΙΟΥ	ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ					
	ΘΕΣΕΙΣ ΙΟΝΤΟΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ	ΘΕΣΕΙΣ ΡΟΦΗΘΕΙΣ	ΚΑΤΑΚΡΗΜΩΣΗ (-CO ₃ , -S, -OH)	ΕΥΚΑΤΑΚΡΗΜΩΝΙ ΣΗ ΜΕ ΟΞΕΙΔΙΑ Fe, Mn	ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΥΛΗ	ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ ΟΡΥΚΤΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗΣ	MgCl ₂					
ΟΞΙΚΟ ΟΞΥ (+ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ)	HOAc	HOAc/OAc				
	HOAc +	NH ₂ OH				
ΟΣΑΛΙΚΟ ΟΞΥ (+ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ)	HOx +	NH ₄ Ox				
ΑΡΑΙΟ ΟΞΥ (ΨΥΧΡΟ)	0,4 M	HCl				
ΟΣΕΑ (ΘΕΡΜΑ)	HCl +	HNO ₃	HNO ₃ +	HClO ₄		
ΤΡΙΠΛΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΞΕΩΝ		HCl +	HNO ₃ +	HF		
ΧΗΛΙΚΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ	EDTA	DTPA				
				Na ₄ P ₂ O ₇		
				Na ₄ P ₂ O ₇	Na ₂ S ₂ O ₇	
				Na ₄ P ₂ O ₇ +	HCO ₃ ⁻ + κιτρικό	
ΤΙΞΗ (ΕΚΠΛΥΣΗ ΜΕ ΟΞΥ)			Na ₂ CO ₃			

Πίνακας 4.5. Κλασματική χημική ανάλυση ιζημάτων και το σχήμα τριών σταδίων BCR (Ζαχαρίας κ.α., 2004).

Χημική φάση ιζήματος	Αντιδραστήρια	BCR Αντιδραστήρια
Μέταλλα σε θέσεις ανταλλαγής	1M MgCl ₂ σε pH = 7	0,11 molL ⁻¹ CH ₃ COOH
Μέταλλα συνδεδεμένα με το ανθρακικό κλάσμα των ιζημάτων	NaOAc/HOAc σε pH = 5	
Μέταλλα συνδεδεμένα με οξειδία Fe Mn	0,04M NH ₄ OH.HCl σε 25% HOAc	0,10 molL ⁻¹ NH ₂ OH.HCl pH = 2
Μέταλλα συνδεδεμένα με οργανικό υλικό	(α) 0,02M HNO ₃ και 30% H ₂ O ₂ (β) 30% H ₂ O ₂ (γ) 3,2M NH ₄ OAc σε 20% HNO ₃	8.8 molL ⁻¹ H ₂ O ₂ και 1 molL ⁻¹ NH ₄ CH ₃ COO σε pH = 2
Μέταλλα σε θέσεις κρυσταλλικού πλέγματος ορυκτών	HF + HC1O ₄ + HNO ₃	

Πολλοί ερευνητές αναλύουν χημικά τα ιζήματα με τη μέθοδο της ολικής διάσπασης (τριπλή επίδραση οξέων, Πίνακες 4.4 και 4.5) με την οποία διασπώνται ακόμη και τα κρυσταλλικά πλέγματα των αργιλικών ορυκτών. Με τη μέθοδο της ολικής διάσπασης προσδιορίζεται η ολική συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα ιζήματα, και στη συνέχεια με απλές ή/και συνθέτες μαθηματικές τεχνικές εξάγονται πληροφορίες για τη σύνδεση των βαρέων μετάλλων με τις επιμέρους χημικές φάσεις.

Οι μαθηματικές τεχνικές είναι δυνατόν να είναι από απλές, όπως: (i) η σύγκριση των συγκεντρώσεων με τις συγκεντρώσεις υποβάθρου, (ii) οι λόγοι Me/Al (iii) τα διαγράμματα μεταξύ βαρέων μετάλλων και Al, Si, Fe, Mn, CaCO₃ και οργανικού υλικού, (iv) ο υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης (correlation coefficients) μεταξύ των βαρέων μετάλλων (ω) η κατασκευή δένδρογραμμάτων (cluster analysis), έως πολύ σύνθετες, όπως: ii) η Ανάλυση Κύριων Συνθετικών (Principal Components Analysis, PCA) και (ii) η Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis, FA).

4.5.3 Εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης από μέταλλα των θαλασσίων ιζημάτων

Οι δείκτες ρύπανσης (pollution indices) είναι μαθηματικές σχέσεις που βασίζονται στο "λόγο συγκέντρωσης μετάλλου προς συγκέντρωση υποβάθρου του" (C/Cb), με σκοπό την ποσοτικοποίηση της επιβάρυνσης των θαλασσίων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δεικτών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6. Δείκτες ρύπανσης θαλάσσιων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα (Ζαχαρίας κ.α., 2004).

Igeo	Δείκτης γεωσυσσώρευσης (Geoaccumulation Index)
P.L.I.	Δείκτης φορτίου ρύπανσης (Pollution Load Index)
S.E.F.	Δείκτης εμπλουτισμού (Sediment Enrichment Factor)
M.I.	Δείκτης μικρορύπανσης (Micropollutant Index)
M.P.I.	Δείκτης ρύπανσης μετάλλου (Metal Pollution Index)

Οι παραπάνω δείκτες είναι δυνατόν να διακριθούν, σύμφωνα με τον τρόπο που υπολογίζουν την επιβάρυνση σε:

- δείκτες επιφανειακών (Igeo, P.L.I, M.I, M.P.I) ή υποεπιφανειακών ιζημάτων (S.E.F), ανάλογα αν απαιτούν ή όχι τη χημική ανάλυση των υποεπιφανειακών ιζημάτων,
- δείκτες με (M.P.I.) ή χωρίς (P.L.I, M.I, S.E.F) εκτίμηση της λιθολογικής σύστασης των ιζημάτων,
- δείκτες θέσης (Igeo, M.I, M.P.I, S.E.F) ή περιβάλλοντος (P.L.I), ανάλογα αν υπολογίζει την επιβάρυνση σε μια θέση δειγματοληψίας ή συνολικά σε όλη τη θαλάσσια περιοχή,
- δείκτες μετάλλου (Igeo, M.P.I, S.E.F) ή ομάδας μετάλλων (P.L.I, M.I) ανάλογα αν υπολογίζει την επιβάρυνση για κάθε μέταλλο χωριστά ή για ομάδες μετάλλων.

Ο δείκτης γεωσυσσώρευσης δίνεται από τον τύπο:

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1,5 \times B_n$$

όπου:

- § C_n : είναι η συγκέντρωση του μετάλλου στο λεπτόκοκκο κλάσμα (<2 μm) των ιζημάτων.
- § B_n : είναι η συγκέντρωση υποβάθρου του ίδιου μετάλλου στους τυπικούς σχιστολίθους σε μη ρυπασμένο ίζημα.
- § 1,5: σταθερός όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για ελαχιστοποίηση των επιδράσεων από τη κοκκομετρική σύσταση του ιζήματος.

Πίνακας 4.7. Βαθμός ρύπανσης ιζημάτων σύμφωνα με την I_{geo} -Τάξη (Ζαχαρίας κ.α., 2004).

I_{geo}	I_{geo} -Τάξη	C_n/C_b	Βαθμός Επιβάρυνσης
>5	6	96	Ρυπασμένη περιοχή
4-5	5	48	Έντονα επιβαρυμένη έως ρυπασμένη
3-4	4	24	Έντονα επιβαρυμένη
2-3	3	12	Ελαφρά έως έντονα επιβαρυμένη
1-2	2	6	Ελαφρά επιβαρυμένη
0-1	1	3	Μη επιβαρυμένη έως ελαφρά επιβαρυμένη
<0	0	1,5	Μη επιβαρυμένη περιοχή

Ο δείκτης γεωσυσσώρευσης ταξινομείται σε 7 τάξεις μεγέθους (πιν.4.7), η υψηλότερη των οποίων (τάξη 6) αντιπροσωπεύει 96 φορές εμπλουτισμό του συγκεκριμένου μετάλλου έναντι της συγκέντρωσης υποβάθρου του ($2^6 = 64 \times 1,5 = 96$).

4.6 Ρύπανση των θαλασσών από πετρέλαιο

Η ρύπανση της θάλασσας από πετρέλαιο προκαλεί το έντονο ενδιαφέρον της κοινής γνώμης γιατί η μορφή αυτή ρύπανσης είναι ορατή και ο περισσότερος κόσμος τη συναντά είτε στις ακτές όπου κολυμπά ή από εικόνες στην τηλεόραση και στον τύπο, κάθε φορά που υπάρχει μια θεαματική πετρελαιοκηλίδα. Οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου καταλήγουν στη θάλασσα με διάφορους τρόπους, οπωσδήποτε όμως τα ατυχήματα με τα πετρελαιοφόρα δεν αποτελούν τη μόνη πηγή ρύπανσης από πετρέλαιο.

Είναι δύσκολο να υπολογισθεί η συνολική ποσότητα των υδρογονανθράκων πετρελαίου που καταλήγουν στη θάλασσα. Πρόσφατοι υπολογισμοί κυμαίνονται από 1.7 έως 8.8 εκατομμύρια τόνους/έτος. Ένας αντικειμενικός υπολογισμός βρίσκεται γύρω στα 3 εκατ. τόνους/έτος.

4.6.1 Πηγές ρύπανσης των θαλασσών από υδρογονάνθρακες πετρελαίου

Μια από τις μεγαλύτερες μορφές ρύπανσης του περιβάλλοντος από ανθρώπινες δραστηριότητες είναι και η ρύπανση των θαλασσών από πετρελαιοειδή.

Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο $5-6 \cdot 10^6$ τν αργού πετρελαίου και υπολείμματα αυτού, καταλήγουν στη θάλασσα.

Στον πίνακα 4.8 δίνονται οι πηγές εισόδου των υδρογονανθράκων πετρελαίου στη θάλασσα, με τις αντίστοιχες ετήσιες ποσότητες πετρελαίου που συνεισφέρουν. Όπως φαίνεται στον πίνακα, ένα μεγάλο ποσοστό του πετρελαίου που καταλήγει στη θάλασσα, οφείλεται στις διαρροές διυλιστηρίων ή πετροχημικών εργοστασίων, σε ατυχήματα και μεταφορά μέσω ατμόσφαιρας ή ποταμών.

Οι μεγαλύτερες καταστροφές προκαλούνται, κυρίως, από ατυχήματα κοντά στις ακτές, επειδή οι παράκτιες περιοχές αποτελούν σημαντικό βιότοπο και χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο για διάφορους σκοπούς.

Σύμφωνα με μελέτες του M.I.T., έχει υπολογιστεί ότι σε διαδικασίες ρουτίνας, τα τάνκερς έχουν απώλειες 0,53 εκατομμυρίων μετρικών τόνων.

Σημαντικά μέτρα που συμβάλλουν στην αποφυγή δημιουργίας πετρελαιοκηλίδων, που έχουν σαν αποτέλεσμα τη ρύπανση των ακτών και της εκεί χλωρίδας και πανίδας από αργό πετρέλαιο ή υπολείμματα αυτού, είναι η καθιέρωση υποχρεωτικής πορείας για μεγάλα δεξαμενόπλοια σε μεγάλη απόσταση από τις ακτές και η απαγόρευση έκπλυσής τους. Περίπου το 80% του παγκόσμιου στόλου δεξαμενόπλοιων, χρησιμοποιεί την τεχνική LOT (Load on top) με την οποία περιορίζεται σημαντικά η ρύπανση της θάλασσας από την πλύση των δεξαμενόπλοιων.

Πίνακας 4.8. Πηγές εισόδου και ποσότητες υδρογονανθράκων πετρελαίου στις θάλασσες (εκατομ. τόνοι/έτος) (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Πηγή		Συν. Ποσότητα
Μεταφορές		
μεταφορά με τάνκερ	0,70	
ατυχήματα τάνκερ	0,40	
έρμα και καύσιμα τάνκερ	0,30	
καθαρισμός τάνκερ	0,03	
άλλα ατυχήματα	0,02	
		1,45
Σταθερές εγκαταστάσεις		
παραθαλάσσια διυλιστήρια	0,10	
παραθαλάσσια παραγωγή	0,05	
θαλάσσιοι τερματικοί σταθμοί μεταφόρτωσης	0,02	
		0,17
Άλλες πηγές		
αστικά λύματα	0,70	
Βιομηχανικά απόβλητα	0,20	
αποχετεύσεις ομβρίων υδάτων	0,12	
μεταφορά με ποταμούς	0,04	
μεταφορά από την ατμόσφαιρα με τις βροχοπτώσεις	0,30	
απόρριψη στους ωκεανούς	0,02	
		1,38
φυσικές εισροές		0,25
Συνολική ποσότητα		3,25

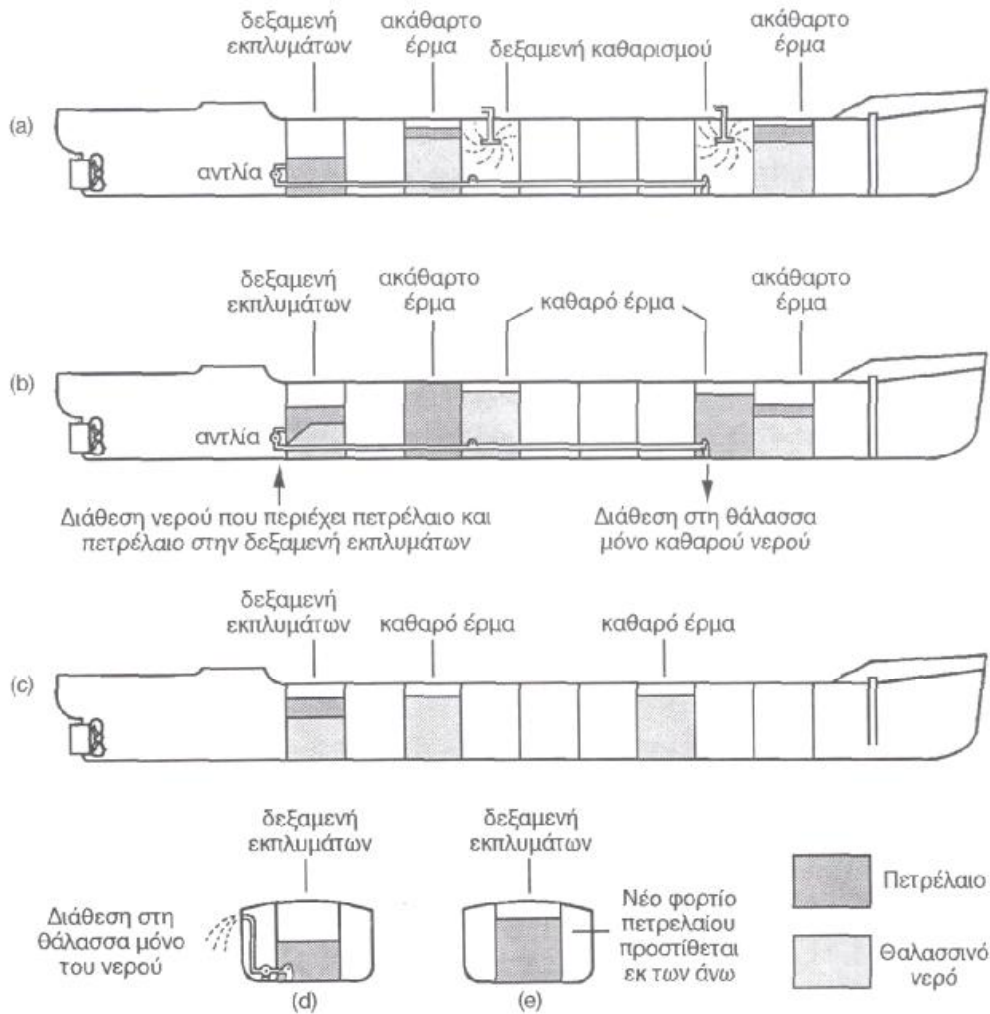
Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το θαλασσινό νερό που εισάγεται στις δεξαμενές και αναμιγνύεται με το πετρέλαιο αφήνεται να διαχωριστεί σ' όλη τη διάρκεια της επιστροφής του πλοίου. Το σχετικώς καθαρό θαλασσινό νερό που είναι στον πυθμένα αποχύνεται εκ των κάτω και το επιπλέον πετρέλαιο, με μικρές ποσότητες θαλασσινού νερού, παραμένει. Το νέο πετρέλαιο προστίθεται εκ των άνω. Για τα σύγχρονα διυλιστήρια οι μικροποσότητες του νερού στο πετρέλαιο δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία (Σχ. 4.4).

Περίπου το 75% των ατυχημάτων από τάνκερς οφείλεται κυρίως στον ανθρώπινο παράγοντα και συμβαίνουν πιο συχνά στα δεξαμενόπλοια που ταξιδεύουν με "σημαίες ευκαιρίας" ορισμένων χωρών που δεν τηρούν τους κανόνες ασφαλείας και τις προδιαγραφές προστασίας του περιβάλλοντος για οικονομικούς κυρίως λόγους.

Μεταξύ 1969-1973, καταγράφηκαν 2.183 ατυχήματα με τάνκερς, προκαλώντας 452 περιπτώσεις ρύπανσης θαλασσών από πετρελαιοειδή.

Σημαντικά ατυχήματα που συνέβηκαν στο παρελθόν είχαν τρομερές επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Χαρακτηριστικά αναφέρονται το ναυάγιο του δεξαμενόπλοιου Torrey Canyon, το Μάρτιο του 1967, στα ανοικτά των ακτών της Βρετανίας, όπου εκχύθηκαν 118.000 τόνοι αργού πετρελαίου, και το Amoco Kadiz, το 1978, από το οποίο εκχύθηκαν 213.000 τόνοι στις Γαλλικές ακτές. Το 1979, στον κόλπο του Μεξικού, έγινε η μεγαλύτερη στον κόσμο διαρροή πετρελαίου, στην πετρελαιοπηγή Ixtoc ύστερα από ατύχημα. Η πετρελαιοκηλίδα που σχηματίστηκε, περιείχε πάνω από 530.000 τόνους αργού πετρελαίου.

Στο σχήμα 4.5 δίνονται οι κυριότεροι θαλάσσιοι οδοί μεταφοράς πετρελαίου και οι ποσότητες πετρελαίου που μεταφέρονται σε εκατομμύρια βαρέλια ανά ημέρα.



Σχήμα 4.4. LOT (Load on top).

(α): Οι άδειες δεξαμενές καθαρίζονται με νερό υψηλής πίεσης και τα εκπλύματα μεταφέρονται σε δεξαμενές για εκπλύματα (slop tanks).

(β): Το πετρέλαιο επιπλέει στην ανώτατη επιφάνεια των δεξαμενών που περιέχουν ακάθαρτο έρμα. Το νερό εκχύνεται στη θάλασσα και το πετρέλαιο μεταφέρεται στη δεξαμενή εκπλυμάτων.

(γ): Πιθανώς το πλοίο να μεταφέρει μόνο καθαρό έρμα και το πετρέλαιο επιπλέει στην επιφάνεια.

(δ): Το νερό που βρίσκεται στην κάτω στοιβάδα αντλείται και εκχύνεται στη θάλασσα.

(ε): Νέο φορτίο πετρελαίου προστίθεται εκ των άνω στην ποσότητα του πετρελαίου που παρέμεινε στη δεξαμενή εκπλυμάτων. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

πετρελαιοκηλίδας, είναι αμφιλεγόμενη. Έτσι, η ρύπανση απομακρύνεται "οπτικά" και παρατηρείται βελτίωση της βιοαποικοδόμησης του πετρελαίου. Η χρήση των απορρυπαντικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για την καταστροφή των πετρελαιοκηλίδων πρέπει να είναι περιορισμένη, γιατί σε συνδυασμό με το πετρέλαιο, μπορούν να αποβούν πιο επικίνδυνες απ' ότι το πετρέλαιο μόνο του. Έτσι, δεν πρέπει να αγνοείται η τοξικότητα των αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται, καθώς κι η σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης των συστατικών του πετρελαίου στην υδατική φάση. Για το λόγο αυτό η εφαρμογή χημικών μεθόδων σε ρηχά νερά παράκτιων περιοχών είναι προβληματική, επειδή υπάρχει κίνδυνος δηλητηρίασης των οργανισμών που ζουν στον πυθμένα και τα υπερκείμενα στρώματα.

Λόγω της μεγάλης τοξικότητας των απορρυπαντικών, έχουν τεθεί σημαντικοί περιορισμοί στη χρήση τους για την καταπολέμηση των πετρελαιοκηλίδων. Έτσι, π.χ. στη Γερμανία δεν επιτρέπεται η χρήση των απορρυπαντικών εκτός από ορισμένες ειδικές περιπτώσεις.

Στις ΗΠΑ, επιτρέπεται η χρήση των απορρυπαντικών μόνο για πετρελαιοκηλίδες πάνω από 30 tn, για βάθος θάλασσας μεγαλύτερο από 150 m και ποτέ κοντά στις ακτές.

Στο ατύχημα του Torrey Canyon χρησιμοποιήθηκαν χημικά απορρυπαντικά, όπως το "BP 1002", για τον καθαρισμό των ακτών, που ήταν αρκετά τοξικά, με αποτέλεσμα να καταστραφεί κάθε θαλάσσια ζωή στις παράκτιες περιοχές.

Σήμερα χρησιμοποιούνται απορρυπαντικά που είναι χίλιες φορές λιγότερο τοξικά από το "BP 1002", όπως το "Corexit 7664" και τα "BP 1100".

Οπωσδήποτε η τοξικότητα του μίγματος πετρελαίου-απορρυπαντικού δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από εκείνη του πετρελαίου.

Τα απορρυπαντικά είναι τασενεργές ουσίες που εντείνουν το σχηματισμό μικρών σταγονιδίων πετρελαίου διαμέτρου 1-5 μm που είναι διασκορπισμένα στο θαλασσινό νερό με αποτέλεσμα να απομακρύνεται η πετρελαιοκηλίδα από την επιφάνεια του νερού. Τα σταγονίδια του πετρελαίου υπό την επίδραση των απορρυπαντικών δεν προσκολλώνται στην επιφάνεια των αιωρούμενων σωματιδίων ή στο ίζημα, ενώ είναι πιο ευπρόσβλητα στα βακτήρια που το αποικοδομούν.

Η βιολογική δραστηριότητα αυξάνει παρουσία των απορρυπαντικών ουσιών.

Όταν άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα απορρυπαντικά για την καταπολέμηση των πετρελαιοκηλίδων, η αναλογία απορρυπαντικού προς πετρέλαιο ήταν 1:1. Τα σύγχρονα απορρυπαντικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αναλογία 1:30, και να ψεκαστούν από αεροπλάνο, λόγω της μεγάλης ικανότητας ανάμιξης τους. Η χρήση των απορρυπαντικών συνιστάται μετά την εξάτμιση των πτητικών κλασμάτων του πετρελαίου, ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος έκρηξης κατά τη διάρκεια της επιχείρησης καθαρισμού.

Ο ψεκασμός πρέπει να γίνεται πριν σχηματιστεί το γαλάκτωμα νερού σε πετρέλαιο ("Chocolate mousse") διότι το γαλάκτωμα αυτό είναι πιο σταθερό και διασκορπίζεται πολύ δυσκολότερα απ' ό,τι η πετρελαιοκηλίδα.

Άλλες χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση των πετρελαιοκηλίδων είναι ο αφρός πολυουρεθάνης που μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί μετά την απομάκρυνση του πετρελαίου με συμπίεση. Τα άχυρα καθώς και η κονιοποιημένη κιμωλία, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση του πετρελαίου από τη θάλασσα επιφάνεια. Η χρήση της κιμωλίας δεν συνιστάται διότι έχει αποδειχθεί ότι ελαττώνεται σημαντικά η μικροβιακή αποικοδόμηση του πετρελαίου.

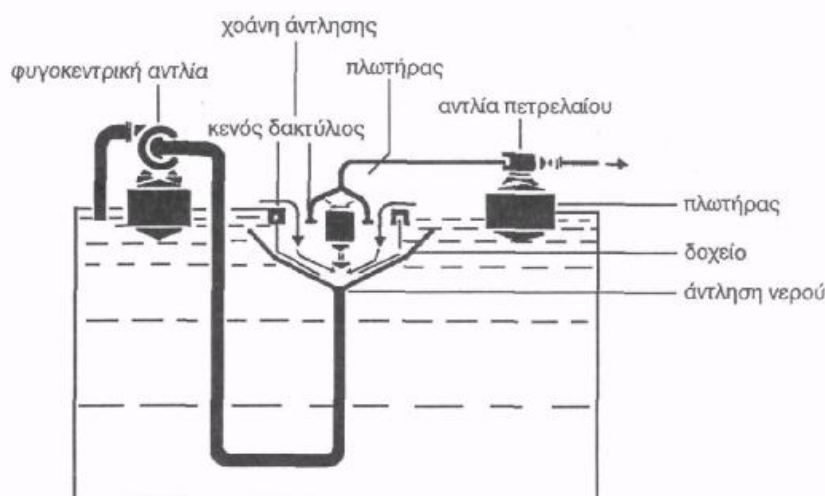
Η πιο "φιλική" προς το περιβάλλον μέθοδος καταπολέμησης των πετρελαιοκηλίδων είναι ο μηχανικός διαχωρισμός του μίγματος νερού-πετρελαίου από την επιφάνεια, με απομάκρυνση του νερού και επαναχρησιμοποίηση του πετρελαίου.

Ο μηχανικός καθαρισμός βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε παράκτιες περιοχές και γενικά όταν η θάλασσα είναι ήρεμη, ενώ όταν επικρατεί τρικυμία η εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι πολύ δύσκολη.

Για την περιστολή της εξάπλωσης των πετρελαιοκηλίδων σε λιμάνια και κλειστούς κόλπους (όπου η θάλασσα είναι σχετικά ήρεμη), συχνή είναι η χρήση πεπιεσμένου αέρα για τη δημιουργία ενός φράγματος από φυσαλλίδες που εμποδίζει το πετρέλαιο ν' απλωθεί. Για τον ίδιο σκοπό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ελαστικό πλωτό φράγμα.

Σε μικρές πετρελαιοκηλίδες, το πετρέλαιο που είναι στην επιφάνεια του νερού, παραλαμβάνεται με τη βοήθεια μιας ατέρμονης μεταφορικής ταινίας, η επιφάνεια της οποίας είναι καλυμμένη με προσροφητικό υλικό.

Ακόμη, χρησιμοποιούνται πλωτές εγκαταστάσεις για την άντληση του πετρελαίου από τις πετρελαιοκηλίδες (Σχ. 4.6). Στις εγκαταστάσεις αυτές γίνεται διαχωρισμός του μίγματος νερού-πετρελαίου και το μεν νερό επαναφέρεται στη θάλασσα, ενώ το πετρέλαιο απομακρύνεται. Η ικανότητα διαχωρισμού των εγκαταστάσεων αυτών είναι περιορισμένη (περίπου 40 m³ την ώρα).

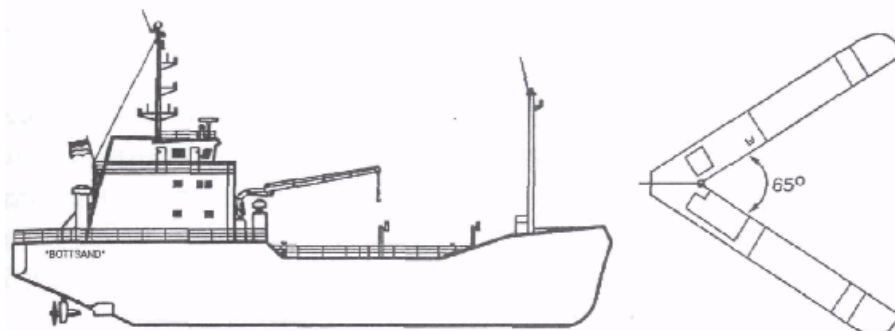


Σχήμα 4.6. Πλωτή εγκατάσταση άντλησης πετρελαίου από πετρελαιοκηλίδες. (Φυτιάνος, Κ., 1996).

Σήμερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχει βελτιωθεί η απόδοση των εγκαταστάσεων μηχανικού καθαρισμού, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες και να απομακρύνουν μέχρι και 400 tn πετρελαίου την ώρα.

Τέλος σε περιπτώσεις σχηματισμού μεγάλων πετρελαιοκηλίδων από ατυχήματα, χρησιμοποιούνται ειδικά πλοία με δίδυμη καρίνα, τα οποία κινούνται σε κατεύθυνση αντίθετη μ' αυτή της πετρελαιοκηλίδας. Το πετρέλαιο που προκύπτει από το διαχωρισμό του μίγματος νερού-πετρελαίου αποθηκεύεται στις δεξαμενές των πλοίων, ενώ το νερό αποχύνεται στη θάλασσα (Σχ. 4.7).

Πάντως σε περίπτωση που μια ακτή ρυπανθεί από πετρέλαιο πρέπει να εξεταστεί, εάν είναι απαραίτητο να καθαριστεί αυτή με διάφορες μεθόδους ή να γίνει η απομάκρυνση του πετρελαίου με φυσικές διεργασίες, χωρίς την ανθρώπινη επέμβαση που μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες καταστροφές στα οικοσυστήματα.



Σχήμα. 4.7. Πλοίο με δίδυμη καρίνα, βελτιωμένο μοντέλο με σύστημα συλλογής πετρελαίου (άνοιγμα της δίδυμης καρίνας μέχρι 65 °). (Φυτιάνος, Κ., 1996).

4.6.3 Καθαρισμός των ακτών από πετρέλαιο

Εάν μια μεγάλη ποσότητα πετρελαίου καταλήξει στις ακτές και υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης σ' αυτές, τότε μια μεγάλη ποσότητα μπορεί ν' αντληθεί σε βυτιοφόρα και ν' απομακρυνθεί. Ακόμη και στην περίπτωση που είναι δυνατό να παραλάβουμε το πετρέλαιο από τις ακτές, μια σημαντική ποσότητα παραμένει ανάμεσα στα βράχια ή διεισδύει στο υπόστρωμα. Οι τεχνικές για την απομάκρυνση του πετρελαίου αυτού εξαρτώνται από τη φύση της ακτής, και επειδή η κατεργασία προκαλεί συχνά μεγαλύτερη ζημιά στην πανίδα και χλωρίδα απ' ό,τι το ίδιο το πετρέλαιο, είναι συχνά προτιμότερο να μην επιχειρούμε να καθαρίσουμε την ακτή που έχει ρυπανθεί από πετρέλαιο. Η απόφαση να καθαρισθεί ή όχι η ακτή εξαρτάται από τη σημασία και αξία που έχει η παραλία. Μια παραλία που είναι τουριστικά αξιοποιήσιμη, έχει μια άμεση προτεραιότητα για καθαρισμό μια που η πανίδα και η χλωρίδα είναι μικρότερου ενδιαφέροντος από το να διατηρηθεί η ακτή καθαρή για τους τουρίστες.

Βράχια ή προβλήτες σε λιμάνια και παρόμοιες επιφάνειες καθαρίζονται με ατμό ή διαλυτικές ουσίες υπό υψηλή πίεση. Εάν χρησιμοποιηθούν χημικές ουσίες, τότε πρέπει να συνοδεύονται με μεγάλες ποσότητες νερού για να μπορεί να γίνει η διασπορά του πετρελαίου. Για να επιτευχθεί αυτό, τα βράχια καταιονίζονται με διαλυτικές ουσίες πριν από μια παλίρροια, οπότε τα κύματα απομακρύνουν το πετρέλαιο.

Οι ουσίες για τη διασπορά του πετρελαίου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε παραλίες από χαλίκια ή άμμο επειδή το πετρέλαιο εισχωρεί μέσα, οπότε εξαφανίζεται από την επιφάνεια για να επανεμφανισθεί αργότερα. Ο μόνος τρόπος καθαρισμού τέτοιων ακτών είναι να απομακρυνθεί το επιφανειακό στρώμα που έχει ρυπανθεί είτε με χειροκίνητα μέσα είτε με μπουλντόζες.

Πρόκειται για δραστικές κατεργασίες και τα καταστρεπτικά αποτελέσματα στη χλωρίδα και στην πανίδα μπορούν να ελαττωθούν χρησιμοποιώντας άχυρα και κομμένα χόρτα για να προσροφήσουν τη μεγαλύτερη ποσότητα του πετρελαίου. Σε βράχια που είναι καλυμμένα με φύκια, ένα μεγάλο μέρος του πετρελαίου παγιδεύεται σ' αυτά, συλλέγονται κατόπιν και απομακρύνονται. Η απομάκρυνση του πετρελαίου με τέτοιες φυσικές μεθόδους αφορά ένα μικρό μέρος, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου παραμένει. Μερικοί τόνοι πετρελαίου μπορούν να μετατραπούν σε εκατοντάδες τόνους άμμου και χαλικιών ρυπασμένων με πετρέλαιο και η διάθεση του υλικού αυτού παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα. Δεν μπορεί να γίνει καύση, εκτός εάν η περιεκτικότητα σε πετρέλαιο είναι υψηλή. Δεν συνιστάται επίσης η εναπόθεση του σε χωματερές αποβλήτων, γιατί υπάρχει ο κίνδυνος έκπλυσης του πετρελαίου και ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα. Δεν μπορούν επίσης να το επεξεργαστούν τα διυλιστήρια. Είναι δυνατό να οργωθεί το υλικό που περιέχει το πετρέλαιο σε μέρος που βακτήρια θα μπορούσαν να το αποικοδομήσουν, αλλά η μέθοδος αυτή δεν είναι αποτελεσματική για μεγάλες ποσότητες υλικού που έχει ρυπανθεί.

Συμπεράσματα

Στο θαλάσσιο περιβάλλον εισέρχονται υλικά τα οποία διαμορφώνουν το χημικό αλλά και το μικροβιακό φορτίο του συστήματος. Τα ανόργανα και οργανικά χημικά είδη βρίσκονται σε άμεση αλληλεξάρτηση με τον έμβιο μικρόκοσμο ή μακρόκοσμο στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Η ρύπανση των θαλασσών είναι οποιαδήποτε αλλαγή στην ποιότητα του νερού που μπορεί να είναι επιβλαβείς στους ανθρώπους ή τους υδρόβιους οργανισμούς. Μπορεί να προέλθει από φυσικές αιτίες, αλλά συνήθως οφείλεται στην απόρριψη βιομηχανικών, γεωργικών ή και άλλων αποβλήτων στα υδατικά και χερσαία συστήματα. Συμπερασματικά:

- Το θαλασσινό νερό περιέχει διάφορα άλατα, ιχνοστοιχεία και αέρια. Η σύσταση της θάλασσας μπορεί να μεταβάλλεται βραχυπρόθεσμα λόγω βιολογικών διεργασιών (π.χ. επίδραση της θερμοκρασίας), αλλά κυρίως λόγω της εισροής αποβλήτων και τοξικών ουσιών.
- Η ρύπανση των θαλασσών απειλεί πολλά είδη ζώων και φυτών αλλά και τον άνθρωπο, στον οποίο φτάνουν πολλές τοξικές ουσίες μέσω της τροφικής αλυσίδας, επηρεάζοντας δυσμενώς την υγεία του.
- Οι συνέπειες της ρύπανσης των θαλασσών είναι ιδιαίτερα εμφανείς στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στα σημεία απόρριψης λυμάτων (μείωση ή και εξαφάνιση ειδών ζώων και φυτών, αλλοίωση των υδάτων, κ.α.). Επιπλέον, στις κλειστές θάλασσες, η απόρριψη αποβλήτων από γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες και αστικών λυμάτων προκαλεί συχνά το φαινόμενο του ευτροφισμού, που έχει ως αποτέλεσμα την υπέρμετρη ανάπτυξη υδρόβιων φυτών και φυτοπλαγκτού και μαζικούς θανάτους ψαριών από ασφυξία.
- Κύριες κατηγορίες ρύπανσης των θαλασσών είναι η ρύπανση από μέταλλα, πετρέλαιο, φυτοφάρμακα, στερεά απόβλητα, υγρά αστικά απόβλητα, βιομηχανικά και άλλα τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα.
- Η συμπεριφορά ενός ρύπου μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά λαμβάνοντας υπόψη γεωχημικές και βιογεωχημικές διεργασίες και

αλληλεπιδράσεις με το ίζημα, όπως επίσης διεργασίες συναγωγής και διασποράς που σχετίζονται με την κίνηση του νερού.

- Σε πολλά προβλήματα σχετικά με τη διασπορά των ρύπων στην θάλασσα, το βασικό πλαίσιο είναι ένα υδροδυναμικό μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την κίνηση του νερού και την ταυτόχρονη εξέλιξη των πεδίων θερμοκρασίας και αλατότητας, που επηρεάζουν την κίνηση μέσω ανωστικών δυνάμεων.
- Η τηλεπισκόπηση (remote sensing, teledetection) είναι η επιστήμη συλλογής με τεχνικά μέσα και χωρίς φυσική επαφή, δεδομένων για ένα αντικείμενο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, και ανάλυσης αυτών για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών. Η πλέον χαρακτηριστική και διαδεδομένη περίπτωση συλλογής δεδομένων τηλεπισκόπησης είναι αυτή της δορυφορικής τεχνολογίας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται διάφορων τύπων ανιχνευτές.
- Η ποσοτικοποίηση του βαθμού ρύπανσης των ιζημάτων του πυθμένα από βαρέα μέταλλα είναι δυνατόν να επιτευχθεί με σύγκριση των συγκεντρώσεων τους στα ρυπασμένα θαλάσσια ιζήματα, έναντι των φυσικών συγκεντρώσεων τους στα μη ρυπασμένα ιζήματα.
- Οι δείκτες ρύπανσης (pollution indices) είναι μαθηματικές σχέσεις που βασίζονται στο "λόγο συγκέντρωσης μετάλλου προς συγκέντρωση υποβάθρου, με σκοπό την ποσοτικοποίηση της επιβάρυνσης των θαλασσίων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα.

Βιβλιογραφία

- Andrew R. Autry and Gary M. Ellis Bioremediation: An Effective Remedial Alternative for Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil. Environmental Progress, vol. 11, No. 4, pp., 318-323., 1992.
- Baker J."Fate and Effects of Marine Oil Pollution in UK-Waters", 1993.
- Baumgartner J.and Duedall I."Oceanic Processes in Marine Pollution. R. Krieger Publishing Co,USA., 1990.
- Brubaker D."Marine Pollution and International Law Principles and Practice",Belhaven Press,1994.E.Frankel. "Ocean Environmental Management",Prentice-Hall Pub., 1995.
- Buat - Menard P. and Chesselet R., Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. Earth and Planetary Science Letters, 42, 399-411., 1979.
- Butcher, S.S., Charlson, R.J., Orians, G.H., and Wolte, G.V., Global Biogeochemical Cycles. Academic Press, London p. 380., 1994.
- Cambray, R.S., D.F. Jefferies & G. Topping, *An estimate of the input of atmospheric trace elements into the North Sea and the Clyde Sea (1972-73)*. UK Atomic Energy Authority, Harwell, Rep. AERE-R7733., 1975.
- Chester R., Marine geochemistry. Chapman and Hall 698., 1993.
- Clark R.B. "Marine Pollution",Fourth Edition,Oxford University Press, 1997.
- Cormack D."Response to oil and chemical pollution".Applied Science Publ., 1983.
- Doerffer J."Oil Spill Response in the Marine Environment",Pergamon Press, 1992.
- Duedall I.et al. "Oceanic Processes in Marine Pollution.Krieger Publishing Company, 1990.
- Frankel E."Oceanic Environmental Management"Prentice-Hall Pub., 1995.
- Furness J.Heavy Metals in the Marine Environment CRC Press, 1990.
- Gerlach S. Marine Pollution,Sringer-Verlag,.N.York, 1991.

- Gesamp. "The state of the Marine Environment" Blackwell Scientific Publ., 1991.
- Gorman M. "Environmental Hazards", Marine Pollution, World Issues ABC-CL10, Inc., California, 1993.
- Grodwohl J. "Ocean Planet", Albadale Books, 1995.
- Haas P. "Saving the Mediterranean: The Politics of International Environmental Cooperation", Columbia University Press, 1992.
- Heitman, H.-G. "Saline Water Processing," VCH Publishers, New York., 1990.
- Hynes, H. N. B. "The Biology of Polluted Waters," Liverpool Univ. Press, Liverpool, U.K., 1964.
- James, A. "An Introduction to Water Quality Modelling," Wiley, London., 1984.
- James, A. Water Pollution. *University of Newcastle upon Tyne. U.K.*, 1998.
- Johnston R. "Marine Pollution", Academic Press, 1976.
- Kullenberg G. "Pollutant transfer and Transport in the Sea". Volume I, II, CRC Press, 1982.
- Lund, J.W. G. "Eutrophication," In "The Scientific Management of Animal and Plant Communities for Conservation," *Symp. Brit. Ecol. Soc.* (E. Duffey and A. S. Watt, eds.), Blackwell, London., 1971.
- Manahan S. "Environmental Chemistry 6th Edition, Lewis Publishers, 1994.
- Newman P. "Environmental protection of the N. Sea. Heinemann Publ, 1988.
- Nihou J. C.J. "Introduction to Marine Pollution Control". John Willey & Sons, Publication, N. York, 1979. 31. "Marine Interfaces ecohydrodynamics" Vol. 42, Elsevier Oceanography Series, N. York, 1986.
- Nihou J. C.J. "Modelling of Marine Systems: Vol. 10, Elsevier Oceanography Series, N. York, 1975.
- Ozmidov R. "Diffusion of Contaminants in the Ocean", Kluwer Academic Publ., 1990.

- Prager H."Global Marine Environment",University Press of America, 1992.
- Rayan T."Pollution:"Issues in Marine conversation,R.Bowker Publ., 1991.
- Saliq E."Toxic Metal Chemistry in Marine Environments" Marcel Decker Inc,USA, 1992.
- Salomons W..Forstener U."Metals in the Hydrocycle"Springer Verlag, N.York, 1984.
- Sindermann C."Ocean Pollution Effects on Living Resources Humans",CRC Press Inc., 1995.
- Sundermann J."Circulation Contamintant Fluxes in the N.Sea",Springer-Verlag,N.York, 1994.
- Williams J."Introduction to Marine Pollution Control".J Wiley & Sons Publ., 1979.
- Windom, H.L. Comparison of atmospheric and riverine transport of trace elements to the continental shelf environment. In *River inputs to ocean systems*, J.-M. Martin, J.D. Burton & D. Eisma (eds.), 360-9. Paris: UNEP/Unesco., 1981.
- Witter, A.E., Hutchins, D.A., Butler, A., and Luther III, G.W Determination of conditional stability constants and kinetic constants for strong model Fe-binding ligands in seawater. *Marine Chemistry*, 69, 1-17, 2000.
- Butcher, S.S., Charlson, R.J., Orians, G.H., and Wolte, G.V. *Global Biogeochemical Cycles*. Academic Press, London p. 380., 1994.
- Βασιλακιώτη Γ.,Φυτιανού Κ."Μέθοδοι ελέγχου του Περιβάλλοντος Θεσσαλονίκη, 1986.
- Βασιλακιώτη Γ."Χημεία Περιβάλλοντος",Θεσσαλονίκη, 1986.
- Γεωργιάδης, Θ., Ζιώμας, Ι., Ιγνατιάδου, λ., Καλλέργης, Γ., Καμπεζίδης, Χ., Κορνίτσας, Κ., Παπαθεοδώρου, γ., Ρεμουντάκη, ε., Σκορδίλης, Αθ., Φερεντίνος, Γ. Διάθεση Αποβλήτων και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον. Τόμος Δ. Εκδόσεις Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, σελ., 562., 2004.

- Ζαχαρίας, Ι., Κουτσικόπουλος, Κ., Παπαθεοδώρου, Γ., και Φερεντίνος, Γ. Το θαλάσσιο περιβάλλον ως αποδέκτης αποβλήτων. Τόμος Β. Εκδόσεις Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, σελ., 383. , 2004.
- Καρακάσης, Ι. και Ελευθερίου, Α. *Εισαγωγή στο Θαλάσσιο Περιβάλλον*. (<http://www.aqualex.org/elearning/>), 2008.
- Κοϊμτζή Θ. "Χημεία Περιβάλλοντος" Θεσσαλονίκη, 1989.
- Φυτιάνος, κ., Η ρύπανση των θαλασσών. Εκδόσεις University Studio Press, έκδοση β', Θεσσαλονίκη, σελ., 337.,1996.