

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

του μαθήματος

**ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ
ΥΔΑΤΑ**

*Γ. Κεχαγιάς
2020*

Α' ΜΕΡΟΣ

ΤΥΠΟΙ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΑ

Η Λιμνολογία είναι μία σχετικά νέα επιστήμη. Αποτελεί ουσιαστικά ένα υποσύνολο της επιστήμης της Θαλάσσιας Βιολογίας και της Ωκεανογραφίας. Η Λιμνολογία είναι η επιστήμη που μελετά τους αβιοτικούς και τους βιοτικούς παράγοντες που συναντώνται στα εσωτερικά ύδατα, δηλαδή στις συγκεντρώσεις γλυκού ή αλμυρού νερού που υπάρχουν στην ξηρά. Στα νερά αυτά ανήκουν τα ποτάμια, οι χείμαρροι, οι λίμνες, τα έλη, οι βάλτοι, οι λιμνοθάλασσες, οι λιμνοδεξαμενές και οι ταμιευτήρες.

Το ενδιαφέρον του ανθρώπου για αυτές τις εσωτερικές υδάτινες μάζες υπήρχε από πολύ παλιά, και συγκεκριμένα από τότε που ο άνθρωπος ανακάλυψε ότι οι λίμνες και οι ποταμοί της ηπειρωτικής περιοχής μπορούν να τον προμηθεύσουν άμεσα ή έμμεσα με τροφή. Σε σύγκριση με τη θάλασσα, η οποία είναι αχανής σε έκταση και η απουσία των ορίων της αποτελούσε πάντα πρόκληση για εξερεύνηση από τον άνθρωπο, η λίμνη, το έλος ο ποταμός έχουν εκ των πραγμάτων συγκεκριμένα όρια και ίσως για το λόγω αυτό υπήρξαν λιγότερο ελκυστικά για εξερεύνηση. Άλλωστε, η σημασία μιας τέτοιας υδάτινης μάζας περιοριζόταν στους πληθυσμούς που βρισκόταν στα όριά της, ενώ θεωρητικά είχε μικρότερη σημασία σαν εμπορική οδός ή για τη ναυσιπλοΐα. Στους παραπάνω λόγους ίσως να οφείλεται το γεγονός ότι η Λιμνολογία άργησε να αναπτυχθεί ως επιστήμη και αποτέλεσε “τέκνο” της Θαλάσσιας Βιολογίας και της Ωκεανογραφίας.

Ο όρος “Λιμνολογία” καθιερώθηκε για πρώτη φορά το 1895 από τον Ελβετό F. A. Forel στο βιβλίο του το οποίο είχε τον τίτλο “*Le leman: Monographie limnologique*”, και αφορούσε μελέτη κυρίως φυσικοχημικών, παρά βιολογικών, παραμέτρων της λίμνης της Γενεύης. Για την καθιέρωση αυτού του ονόματος βασίστηκε στην ελληνική ρίζα της λέξης “λίμνος” που σημαίνει λίμνη, έλος. Μετά

την ανάπτυξη που είχε η επιστήμη της Θαλάσσιας Βιολογίας, ιδιαίτερα μετά το μέσο του 19^{ου} αιώνα, όλες οι ανακαλύψεις, τα συμπεράσματα και οι τεχνικές που προέκυψαν πέρασαν και στην επιστήμη της Λιμνολογίας. Αυτό σημαίνει ότι έγινε η μεταφορά και χρησιμοποίηση συγκεκριμένων επιστημονικών εργαλείων, τεχνικών και ο τρόπος οργάνωση της έρευνας από συγγενείς επιστήμες, ενώ τα πρώτα βιολογικά ευρήματα προκάλεσαν το ενδιαφέρον της επιστήμης της Συστηματικής, αλλά και άλλων επιστημονικών κλάδων.

Τα οικοσυστήματα των εσωτερικών υδάτων αποτελούν φυσικούς πόρους οι οποίοι παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για τη βιόσφαιρα, το φυσικό μας περιβάλλον και την ίδια μας την ύπαρξη. Από τις λειτουργίες αυτές προκύπτουν σημαντικά οφέλη για τον άνθρωπο αλλά και το φυσικό περιβάλλον γενικότερα. Όμως, ποιοι είναι οι λόγοι για τους οποίους μια λίμνη αποτελεί ένα ενδιαφέρον οικοσύστημα; Ένας από τους λόγους είναι ότι οι λίμνες λειτουργούν ως αποδέκτες νερών γεγονός που παρέχει προστασία από τις πλημμύρες. Επίσης, τα εσωτερικά ύδατα έχουν πολύ μεγάλο οικολογικό ενδιαφέρον γιατί συντηρούν μια μεγάλη ποικιλία ειδών φυτικών και ζωικών οργανισμών, οι οποίοι συναντώνται τόσο στο νερό, όσο και στα όρια αυτών των περιοχών. Ακόμη, είναι γνωστό ότι λίμνες, έλη και υγρότοποι αποτελούν σημαντικά αναπαραγωγικά πεδία και τόπους συνάντησης για πολλά είδη πτηνών. Εκτός από την οικολογική σημασία που έχουν τα εσωτερικά ύδατα, παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό ενδιαφέρον για τον άνθρωπο. Η αλιεία και οι υδατοκαλλιέργειες είναι κάποιοι από τους τομείς στους οποίους δραστηριοποιείται ο άνθρωπος, ενώ σημαντική είναι η παροχή νερού προς άρδευση καλλιεργούμενων εκτάσεων από γειτονικούς ποταμούς, λίμνες ή άλλες συγκεντρώσεις υδάτων. Τέλος, δεν πρέπει να ξεχνάμε και τη σημασία αυτών των υδάτινων μαζών στους τομείς της αναψυχής (κολύμπι, αγώνες, κ.τ.λ.) και του τουρισμού.

Παρόλα αυτά πολλές φορές προκύπτουν απειλές, κίνδυνοι και προβλήματα από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, αλλά και από φυσικά αίτια τα οποία μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργία και γενικότερα την αξία αυτών των υδάτινων οικοσυστημάτων. Ειδικότερα οι επιπτώσεις αυτές διαφοροποιούνται και επηρεάζονται από:

- την άμεση και έμμεση αλληλεξάρτησή τους με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στον ίδιο τον υδάτινο πόρο και στην ευρύτερη λεκάνη απορροής του, και
- τους συνεργατικούς και ανταγωνιστικούς μηχανισμούς που δημιουργούνται στον ίδιο τον υδάτινο πόρο και μπορούν να φτάσουν ακόμη και πέρα από τη λεκάνη απορροής του (κλιματικά φαινόμενα, υπόγεια ύδατα, υδατικό ισοζύγιο, ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, γεωμορφολογία, κ.α.).

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες υπήρξε μία έντονη στροφή στην προστασία αυτών των ευαίσθητων οικοσυστημάτων, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν μικρή ικανότητα αντίδρασης και “απορρόφησης” των περιβαλλοντικών κραδασμών που προκύπτουν από τους παραπάνω παράγοντες. Επίσης, έγινε σαφές ότι είναι επιτακτική η ανάγκη για ορθολογιστική χρήση, αξιοποίηση και διαχείρισή τους και για το λόγω αυτό προωθήθηκε ένα διεθνές νομικό καθεστώς προστασίας τους. Έτσι, πολλά από αυτά τα οικοσυστήματα εντάχθηκαν στη συνθήκη RAMSAR με σκοπό την προστασία τους και τη διατήρηση μια συνεχούς ισορροπίας που δεν αλλοιώνει τα οικολογικά χαρακτηριστικά τους.

Σήμερα η έρευνα και μελέτη των εσωτερικών υδάτων αποκτά ιδιαίτερη σημασία γιατί ο πόρος αυτός, δηλαδή το νερό, είναι συνδεδεμένος με τις δραστηριότητές μας, αλλά και η ίδια η επιβίωσή μας εξαρτάται από τη βέλτιστη και ορθολογική διαχείριση και προστασία του. Τα σημαντικότερα ζητήματα ως προς τα εσωτερικά νερά και την ύπαρξή μας είναι:

- πόσο νερό διατίθεται για τις ανάγκες μας (προσφορά – κατανάλωση - υδατικό ισοζύγιο),
- πού είναι αποθηκευμένο (επιφανειακοί και υπόγειοι υδροφορείς – αποδέκτες),
- ποιος είναι ο προσφορότερος τρόπος εκμετάλλευσης (υδροληψία),
- με ποιο τρόπο θα διατεθεί (διαχείριση),
- πού θα το διαθέσουμε (χρήσεις – λειτουργίες),
- πώς θα προστατεύσουμε το νερό (ποιότητα και ποσότητα, ρύποι, αλλοιώσεις, εξυγίανση, προστασία).

2. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΛΙΜΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΑΜΩΝ

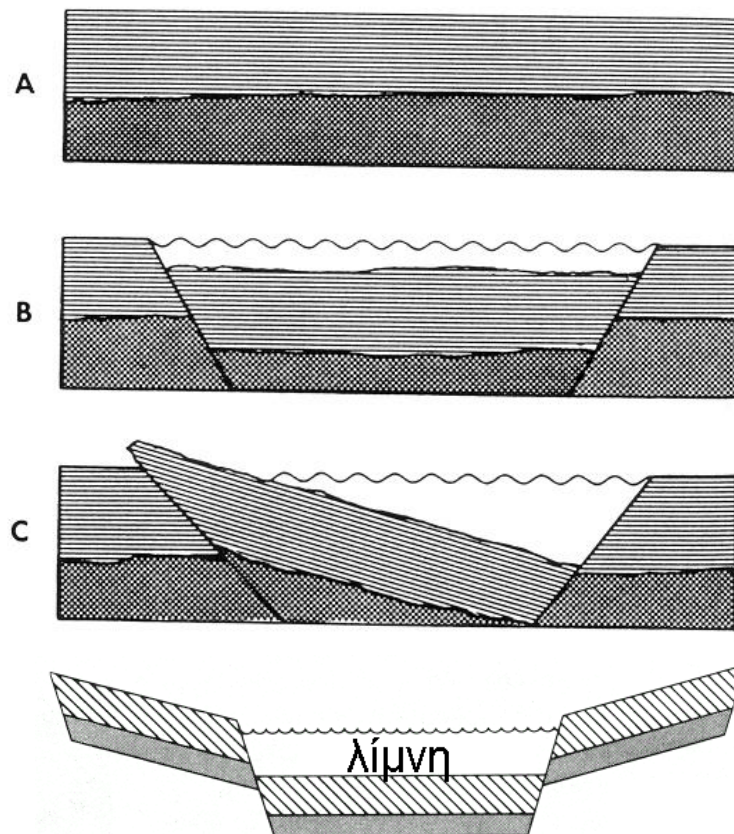
Η προέλευση, η κατανομή και ο σχηματισμός των φυσικών οδών επιφανειακής μεταφοράς και αποθήκευσης του νερού και των κάθε είδους υδατοσυλλογών σε οποιαδήποτε λεκάνη απορροής, είναι το αποτέλεσμα κλιματικών, γεωλογικών, γεωμορφολογικών παραγόντων αλλά και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Ειδικότερα, η δημιουργία των επιφανειακών υδατοσυλλογών στην ενδοχώρα μιας περιοχής οφείλεται κυρίως σε γεωλογικές διεργασίες, στη δράση παγετώνων, στη δράση ηφαιστειών, σεισμών και στη διαβρωτική δράση του νερού. Έτσι, ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας των λεκανών των λιμνών ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες που αναφέρονται πιο κάτω.

Η διαμόρφωση ενός ποταμού πραγματοποιείται συνήθως με δύο τρόπους: ο πρώτος αφορά στα νερά της βροχής τα οποία πέφτοντας στην επιφάνεια της ξηράς μετακινούνται προς χαμηλότερα υψόμετρα δημιουργώντας την κοίτη του ποταμού. Ο δεύτερος τρόπος αφορά σε υπόγεια νερά τα οποία εκβάλλουν στην επιφάνεια της γης από σημεία που ονομάζουμε πηγές, από τις οποίες κυλούν σε χαμηλότερα υψόμετρα, σχηματίζοντας το ποτάμι. Με τον έναν ή τον άλλο τρόπο τα βρόχινα ή τα πηγαία νερά σχηματίζουν τα πρώτα ρυάκια, τα πρωταρχικά ρεύματα, τα οποία όσο κατεβαίνουν προς χαμηλότερα υψόμετρα συνενώνονται σχηματίζοντας το κύριο τμήμα του ποταμού. Συνήθως τα ποτάμια στις ορεινές περιοχές είναι ορμητικά λόγω του απότομου υψομέτρου και η ταχύτητα που αναπτύσσει το νερό έχει σαν αποτέλεσμα να έχει αυτό μεγάλη διαβρωτική δύναμη. Λόγω της διάβρωσης του εδάφους, τα ποτάμια μεταφέρουν σε όλο το μήκος τους φερτά υλικά, τα οποία ανάλογα με το μέγεθός τους μπορούν να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις και να φτάνουν έτσι μέχρι τις εκβολές του ποταμού. Αυτά τα φερτά υλικά μπορεί καθώς μεταφέρονται και συσσωρεύονται, να μεταβάλλουν την τοπογραφία του ποταμού, και είναι δυνατό να δημιουργήσουν λίμνες ή να αλλάξουν τη μορφή, την έκταση και το σχήμα τους.

2.1. ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΛΙΜΝΕΣ

Πρόκειται για κοιλάττες του εδάφους που δημιουργήθηκαν από μετακινήσεις των τεκτονικών πλακών της γης. Οι τεκτονικές λίμνες διακρίνονται περαιτέρω σε:

- 1) **Ρηξιγενείς λίμνες:** οφείλουν τη δημιουργία τους στο σχηματισμό ενός ρήγματος (π.χ. Λίμνη Βαϊκάλη, Ταγκανίκα). Παράδειγμα ρηξιγενών λιμνών στην Ελλάδα αποτελούν οι βαθιές λίμνες Τριγωνίδα και Αμβρακία στην Αιτωλοακαρνανία, οι οποίες είναι τα υπολείμματα της μεγάλης “Αιτωλοακαρνανικής Λεκάνης” που κάλυπτε την ευρύτερη περιοχή μέχρι την περίοδο του Πλειστόκαινου (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Διαγραμματική απεικόνιση του τρόπου δημιουργίας των τεκτονικών λιμνών.

- 2) **Ηπειρογενείς λίμνες:** είναι αυτές που δημιουργήθηκαν από εξάρσεις του θαλάσσιου πυθμένα σαν αποτέλεσμα τεκτονικών μετακινήσεων (π.χ. Κασπία θάλασσα, Θάλασσα του Αράλ, Λίμνη Τιτικάκα. Στις λίμνες αυτές διατηρείται το θαλασσινό νερό και τα είδη των οργανισμών σ' αυτό.
- 3) **Από ανατροπή ροής ποταμών:** δημιουργήθηκαν από παραμορφώσεις του φλοιού της γης που οδήγησαν τελικά στη μεταβολή της κοίτης κάποιου ποταμού, ο οποίος πλημμύρισε μια νέα έκταση.

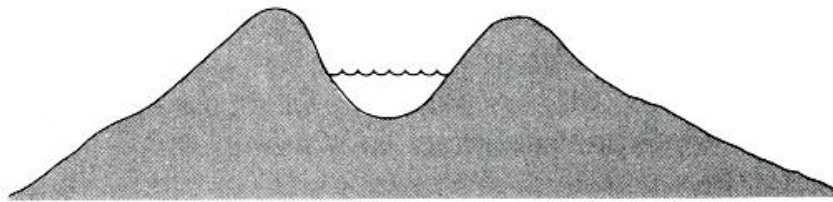
- 4) **Σεισμογενείς λίμνες:** δημιουργία μιας λεκάνης λόγω ανύψωσης της γης γύρω από αυτή και ταυτόχρονη καθίζηση του εσωτερικού λόγω σεισμικής δραστηριότητας (π.χ. η κοιλότητα της λίμνης Reelfoot στο Tennessee, δημιουργήθηκε σε ένα βράδυ από υποχώρηση του φλοιού της γης έπειτα από σεισμική δραστηριότητα το 1811).

2.2. ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΕΙΣ ΛΙΜΝΕΣ

Προέρχονται από διαδικασίες που έχουν να κάνουν με ηφαιστειακή δραστηριότητα. Διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες ηφαιστειογενών λιμνών:

- 1) **Λίμνες κρατήρων:** δημιουργήθηκαν στους κρατήρες σβησμένων ηφαιστειών που σταδιακά γέμισαν με νερό. Αυτές διακρίνονται σε τρεις τύπους:

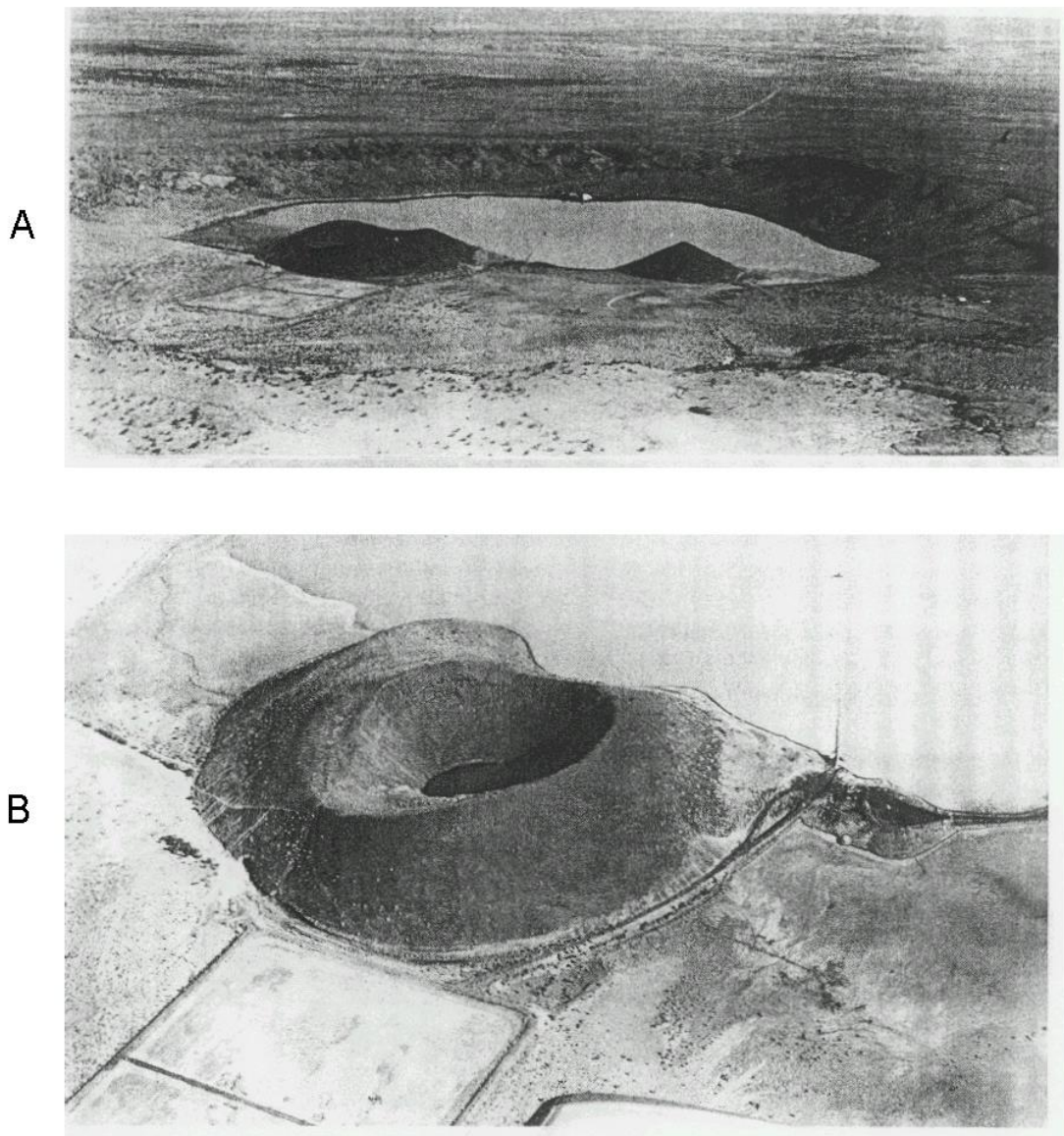
- α) **Λίμνες Calderas:** είναι λίμνες που σχηματίστηκαν στον αμετάβλητο κρατήρα ενός σβησμένου ηφαιστείου (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Διαγραμματική απεικόνιση του τρόπου δημιουργίας των ηφαιστειογενών λιμνών Calderas.

- β) **Λίμνες Maars:** είναι λίμνες που σχηματίστηκαν μέσα σε κρατήρες που δεν σχηματίζουν ηφαιστειακό κώνο. Μοιάζουν με βυθίσματα δηλαδή, μέσα από τα οποία είχε βγει κάποτε η λάβα, δεν έχουν όμως συνήθως ύψος όπως ο κλασικός κρατήρας του ηφαιστείου. Συνήθως έχουν διάμετρο <2 km.

- γ) **Λίμνες από καθίζηση λάβας:** δημιουργήθηκαν κατά την υποχώρηση του εδάφους που καλύπτονταν από λάβα (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Φωτογραφίες δύο ηφαιστειογενών λιμνών **A.** Λίμνη που προέκυψε από καθίζηση λάβας, και **B.** Λίμνη Maars.

2) Λίμνες που δημιουργήθηκαν με απόφραξη της απορροής ποταμών: Η λάβα που εκλύθηκε από ένα ηφαίστειο δημιούργησε ένα φυσικό φράγμα και ο ποταμός πλημμύρισε μια κοιλάδα συνήθως.

2.3. ΠΑΓΕΤΟΓΕΝΕΙΣ ΛΙΜΝΕΣ

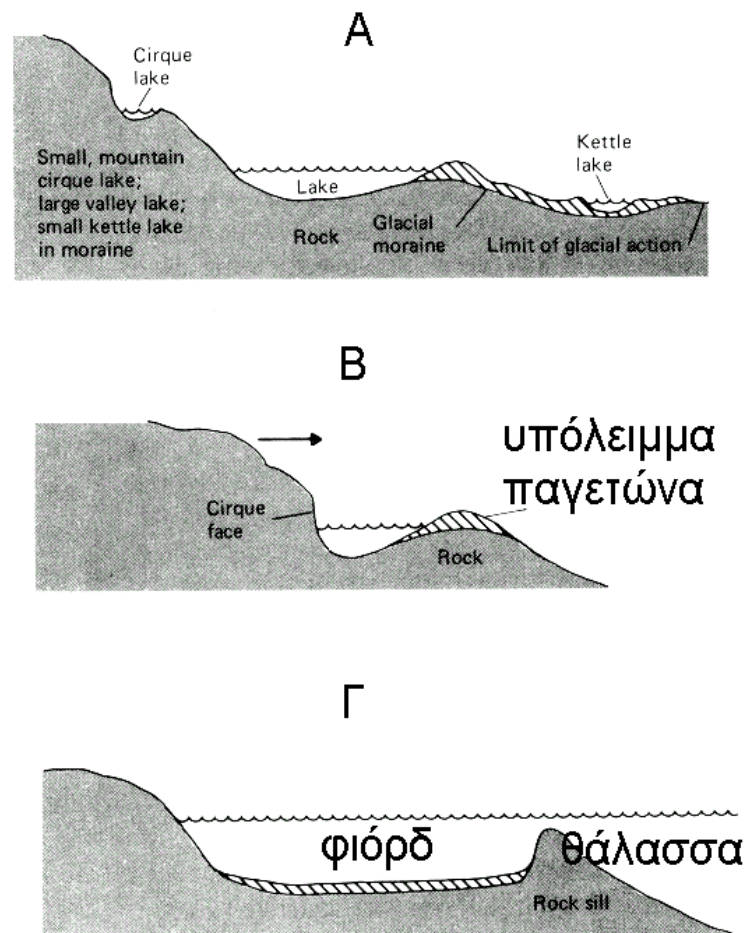
Οι παγετώνες είναι μια τεράστια συγκέντρωση πάγου που καλύπτει μια συνήθως μεγάλη έκταση ξηράς. Οι παγετώνες ήταν δομές που δημιουργήθηκαν σε παλαιότερη περίοδο πιθανότατα εξαιτίας σφοδρής αλλαγής του κλίματος της γης, και ήταν χαρακτηριστική η παρουσία τους στο Πλειστόκαινο, δηλαδή τη γεωλογική εποχή πριν τη σημερινή (που ονομάζεται Ολόκαινο). Το Πλειστόκαινο τελείωσε πριν από 10.500 περίπου χρόνια. Στη διάρκειά του οι παγετώνες έφτασαν να καταλαμβάνουν έως και το 31.5% της επιφάνειας της ξηράς, στον πλανήτη μας. Το Πλειστόκαινο, εκτός από την παρουσία των παγετώνων, χαρακτηριζόταν επίσης από έντονες νεφώσεις και βροχοπτώσεις και γενικά αυξημένη υγρασία.

Η δράση των παγετώνων αποτελεί την κυριότερη αιτία σχηματισμού των περισσότερων από τις λίμνες που υπάρχουν στη γη. Ένας παγετώνας είναι μια τεράστια μάζα νερού σε στερεά κατάσταση. Σε περιοχές λοιπόν που καλύφθηκαν από παγετώνες, το λιώσιμο του πάγου στο τέλος του Πλειόκαινου είχε σαν αποτέλεσμα να γεμίσουν με νερό οι κοιλότητες στην επιφάνεια της ξηράς.

Τύποι παγετογενών λιμνών:

- 1) **Glacial Rock basins:** σχηματίστηκαν από τη διαβρωτική δράση των παγετώνων. Οι παγετώνες όταν έλιωναν, άρχισαν να μετακινούνται. Κατά τη μετακίνησή τους αυτή προκαλούσαν διάβρωση στο έδαφος λόγω του ότι συμπαρέσυραν και υλικά του εδάφους στην κίνησή τους. Έτσι η μετακίνησή τους άφηνε θα λέγαμε ένα ίχνος το οποίο ήταν μια κοιλότητα στην οποία μέρος του παγετώνα παρέμενε και λιώνοντας, γίνονταν το νερό που τελικά τη γέμισε (Εικόνα 4A).
- 2) **Λίμνες Cirque και Piedmond:** λίμνες με μορφή ημικυκλίου οι οποίες σχηματίστηκαν στα σημεία όπου υπήρχε κλίση ενός βουνού από κατερχόμενο παγετώνα που προκάλεσε διάβρωση του εδάφους. Στις λίμνες Cirque το βάθος είναι συνήθως μεγαλύτερο στην πλευρά που βρίσκεται κοντά στην πλαγιά του βουνού, ενώ στην άλλη πλευρά υπάρχουν υπολείμματα εναποθέσεων της διάβρωσης του αρχικού παγετώνα (Εικόνα 4B).

- 3) **Λίμνες Kettle:** πρόκειται για μικρές και απότομες λίμνες, με ποικίλο βάθος, οι οποίες δημιουργήθηκαν από καταβύθιση μέρους του εδάφους κάτω από το βάρος του παγετώνα (Εικόνα 4Α).
- 4) **Fjords:** λίμνες που συναντώνται κατά μήκος των θαλάσσιων ακτών και περιέχουν νερό της θάλασσας. Πρόκειται για σχηματισμούς που δημιουργήθηκαν από τη διαβρωτική δράση ενός κατερχόμενου από κάποια κλίση παγετώνα, ο οποίος δημιούργησε μία κοιλάτητα που αργότερα πλημμύρισε με θαλασινό νερό (Εικόνα 4Γ).



Εικόνα 4. Διαγραμματική απεικόνιση του τρόπου δημιουργίας διαφόρων τύπων παγετογενών λιμνών **A.** Cirque, Glacial rock και Kettle, **B.** Piedmond και **Γ.** Fjord (φιορδ).

2.4. ΚΑΡΣΤΙΚΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ή ΛΙΜΝΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Είναι λίμνες που προέκυψαν από τη διάβρωση των πετρωμάτων, από τη δράση της βροχής ή υπόγειων ρευμάτων. Το έδαφος σε τέτοιες περιπτώσεις είναι συνήθως ασβεστολιθικό. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα δεν είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά

και μπορούν να διαβρωθούν εύκολα. Ο ασβεστόλιθος αποτελείται κυρίως από CaCO_3 το οποίο δεν επηρεάζεται από το νερό σε pH 7 (δηλαδή ουδέτερο). Αν όμως είναι έστω και λίγο όξινο τότε αρχίζει και διαλύεται. Καρστικές, λοιπόν, ονομάζονται οι λίμνες (όπως και τα πετρώματα) που περιέχουν τέτοια υλικά που διαβρώνονται. Ονομάστηκαν έτσι επειδή υπάρχει μεγάλος αριθμός τέτοιων λιμνών στις περιοχές Karst των Δαλματικών ακτών.

2.5. ANEMOΓΕΝΕΙΣ ΛΙΜΝΕΣ

Ο άνεμος έχει, όπως και το νερό, διαβρωτικές ιδιότητες ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη ξηρασία. Στην περίπτωση αμμωδών εδαφών ο άνεμος μπορεί να μεταβάλλει τη μορφή του εδάφους παρασύροντας και μεταφέροντας την άμμο. Ο άνεμος μπορεί επίσης μετακινώντας την άμμο ή άλλα υλικά να δημιουργήσει φράγματα αποκόπτοντας ρυάκια ή χείμαρρους από την τυπική απορροή τους και δημιουργώντας έτσι τις συνθήκες συγκέντρωσης νερού σε περιόδους βροχοπτώσεων. Οι λίμνες αυτές είναι συνήθως εποχιακές, πολλές φορές περιέχουν αλμυρό νερό (λόγω διάλυσης αλάτων σ' αυτές), δεν έχουν μεγάλο βάθος και ο πυθμένας και οι ακτές τους είναι αμμώδεις.

2.6. ΛΙΜΝΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΡΑΣΗ ΠΟΤΑΜΩΝ

Δέλτα

Ένας ποταμός που έχει κάποια ροή, δηλαδή ταχύτητα νερού όταν ανοίγει σε πλάτος σε μια επίπεδη έκταση όπως ένα δέλτα, τότε η ροή του μειώνεται και δημιουργεί ουσιαστικά μια λίμνη με χαρακτηριστικό βέβαια την ανανέωση του νερού (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Λίμνη που προέκυψε από τη δράση ενός ποταμού.

Λίμνες υπερχείλισης

Επίσης σε περιπτώσεις υπερχείλισης ποταμών, τα νερά βγαίνουν από την κλασσική κοίτη του ποταμού και ανάλογα με την τοπογραφία της περιοχής μπορεί να δημιουργούν λίμνες που το νερό τους θα ανανεώνεται περιοδικά από τις υπερχειλίσεις του ποταμού.

Λίμνες καταρακτών

Η διάβρωση που μπορεί να προκαλέσει ένα ρεύμα ή ποταμός μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιπτώσεις έντονης υψομετρικής διαφοράς. Το νερό που πέφτει

από ύψος μπορεί να προκαλέσει έντονη διάβρωση των πετρωμάτων κάτω από έναν καταρράκτη, δημιουργώντας έτσι μια λεκάνη σημαντικού βάθους και εμβαδού. Στην περίπτωση αλλαγής της ροής του ποταμού αυτό που θα παραμείνει θα είναι μια λίμνη που δημιουργήθηκε με τον τρόπο που αναφέραμε.

2.7. ΛΙΜΝΕΣ ΑΠΟ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟ ΚΑΙ ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Συνήθως πρόκειται για νεότερες λίμνες δίπλα ή κοντά σε ήδη υπάρχουσες, οι οποίες δημιουργήθηκαν από τη μετακίνηση νερού της ήδη υπάρχουσας λίμνης προς την καινούργια, από τον έντονο κυματισμό ή τον άνεμο. Φυσικά αυτές οι λίμνες είναι μικρότερες και ρηχότερες από την αρχική.

2.8. ΛΙΜΝΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΔΡΑΣΗ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Υπάρχουν μερικά είδη φυτικών και ζωικών οργανισμών που μπορούν με τη δράση τους να ενισχύσουν ή και να δημιουργήσουν μια λίμνη. Η κύρια δράση τέτοιων οργανισμών όπως το φυτό *Sphagnum* είναι το ότι μπορούν να διαμορφώσουν τη μορφολογία μιας λίμνης αυξανόμενα σε αριθμό. Έτσι μπορεί να αλλάξει το περίγραμμα της λίμνης και να δημιουργηθούν π.χ. κόλποι εκεί που πριν δεν υπήρχαν. Επίσης τέτοια φυτά φτιάχνουν φράγματα και μπορεί να δημιουργούν λιμνούλες μέσα σε μια λίμνη.

Είναι γνωστοί οι κοραλλιογενείς ύφαλοι στον Ειρηνικό, όπου έχουμε δημιουργία ενός είδους λίμνης γύρω από ένα νησί από αποθέσεις κοραλλιών.

Οι κάστορες είναι επίσης πολύ γνωστοί κατασκευαστές φραγμάτων σε τρεχούμενα νερά. Με συγκέντρωση ξύλων κυρίως αλλά και άλλων υλικών φτιάχνουν ένα φράγμα στον ποταμό και δημιουργούν έτσι μια τεχνητή λίμνη.

Αλιγάτορες επίσης σκάβουν φτιάχνοντας λίμνες, μικρού μεγέθους βέβαια.

Οι τεχνητές λίμνες επίσης είναι τύπος λιμνών που οφείλονται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Οι τεχνητές λίμνες, ή αλλιώς ταμιευτήρες, δημιουργούνται όταν χτιστεί ένα φράγμα στη ροή ενός ποταμού. Η επέμβαση αυτή μπορεί να γίνει είτε για λόγους άρδευσης, είτε, όπως συμβαίνει συνήθως σε αρκετούς

Ελληνικούς ποταμούς, για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Γενικά οι λίμνες που δημιουργούνται με δράση ζωντανών οργανισμών είναι και οι νεότερες γεωλογικά και εκτός μερικών εξαιρέσεων δεν έχουν ιδιαίτερα μεγάλο βάθος.

2.9. ΛΙΜΝΕΣ ΑΠΟ ΜΕΤΕΩΡΙΤΕΣ

Στο παρελθόν υπήρξαν περιπτώσεις λιμνών, των οποίων η προέλευση δεν μπορούσε να εξηγηθεί με τους παραπάνω τρόπους. Συχνά παρατηρούνται κοιλάτητες ή κρατήρες στο έδαφος με χαρακτηριστική κυκλική μορφή, που δύσκολα μπορούσαν να αποδοθούν σε ηφαιστειακές διεργασίες. Ιδιαίτερα αν τέτοιοι σχηματισμοί ήταν μοναδικοί σε μια περιοχή με λίμνες άλλης μορφής. Σήμερα πολλές από αυτές τις κοιλάτητες (δεν έχουν όλες νερό), εξηγούνται αν δεχτούμε την πτώση μετεωριτών στην επιφάνεια της γης, οι οποίοι είχαν αρκετά μεγάλο μέγεθος και μάζα, για να δημιουργήσουν τέτοιους κρατήρες.

3. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

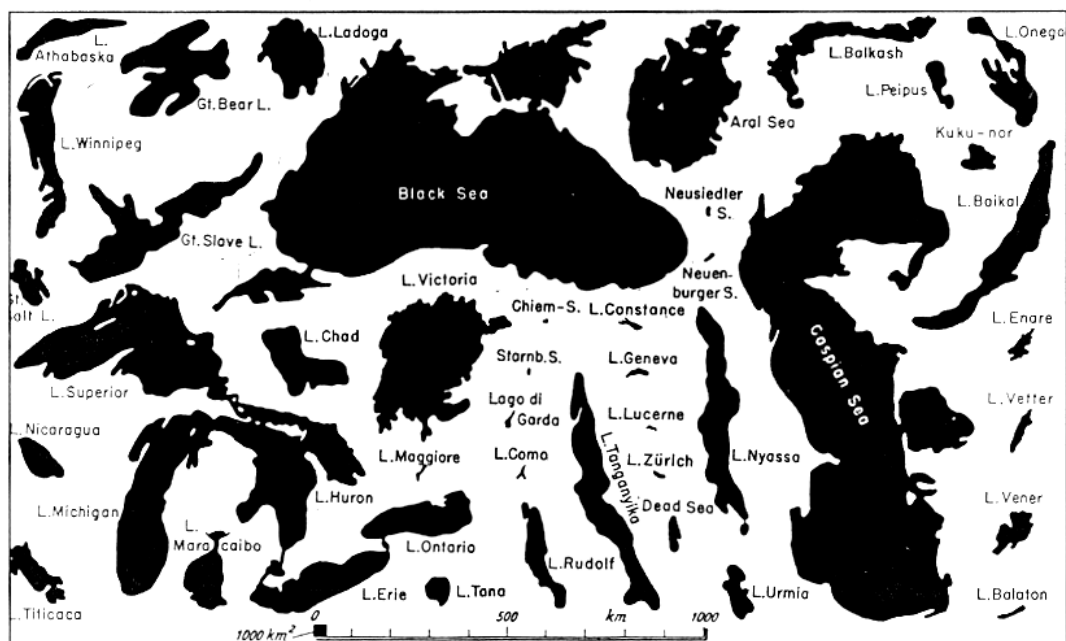
Ως **εσωτερικά νερά** συνήθως ορίζονται τα νερά που βρίσκονται στην ενδοχώρα ή και στον παράκτιο χώρο. Είναι «γλυκά» νερά που προέρχονται από την ενδοχώρα και τις βροχοπτώσεις ή αλμυρά νερά, υπεραλμυρά, αλλά και υφάλμυρα νερά που προέρχονται από θαλασσινά νερά τα οποία αραιώθηκαν με εισροές γλυκών νερών ή είναι γλυκά νερά που εμπλουτίστηκαν με άλατα.

Τα εσωτερικά νερά μπορούν να διακριθούν σε στάσιμα, τρεχούμενα και αποθηκευμένα νερά, όπως και σε γλυκά, υφάλμυρα και αλμυρά νερά. Στα στάσιμα νερά συγκαταλέγονται οι λίμνες, τα έλη, οι παροδικά ή μόνιμα κατακλυζόμενες εκτάσεις. Οι ποταμοί και οι χείμαρροι ανήκουν στα τρεχούμενα νερά, ενώ οι πηγές και τα φρέατα στο αποθηκευμένο υπόγειο νερό.

Τα εσωτερικά νερά στον πλανήτη μας κατανέμονται κυρίως στις φυσικές λίμνες που συγκεντρώνουν γύρω στα 200000 km³ νερό, στις τεχνητές λίμνες και στα ποτάμια που υπολογίζεται ότι έχουν 1200-1300 km³ νερό και στα υπόγεια νερά που υπολογίζεται ότι έχουν 8.4×10^6 km³ αποθηκευμένο ή μετακινούμενο νερό στα

ανώτερα 1000 μέτρα του φλοιού της γης, ενώ άλλα τόσα κυβικά χιλιόμετρα νερό βρίσκονται βαθύτερα.

Η Μαύρη Θάλασσα θεωρείται ως εσωτερική λίμνη που επικοινωνεί με τη θάλασσα, ενώ η Κασπία Θάλασσα είναι κλειστή αλμυρή λίμνη και είναι η μεγαλύτερη σε έκταση και όγκο (79300 km^3) λίμνη στον κόσμο. Οι μεγάλες λίμνες της Β. Αμερικής (Superior, Huron, Michigan, Ontario, Erie) αποτελούν τη μεγαλύτερη μάζα επιφανειακού γλυκού νερού στη γη με συνολική έκταση 245240 km^2 και όγκο 24620 km^3 . Η λίμνη Βαϊκάλη στην Ασία, με έκταση 31500 km^2 , όγκο 23000 km^3 και με μέγιστο βάθος 1741 μέτρα είναι η πιο βαθιά λίμνη στον κόσμο, ενώ η Ταγκανίκα στην Αφρική, είναι η δεύτερη σε βάθος λίμνη στον κόσμο με μέγιστο βάθος 1470 μέτρα, ενώ έχει έκταση 34000 km^2 και όγκο περίπου 19000 km^3 (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Συγκριτική παρουσίαση της έκτασης που καταλαμβάνουν παγκοσμίως οι μεγαλύτερες περιοχές εσωτερικών υδάτων.

Στην Ελλάδα, οι φυσικές και τεχνητές λίμνες καλύπτουν σε έκταση περίπου 956 km^2 , οι λιμνοθάλασσες περίπου 288 km^2 , οι ποταμοί έχουν μήκος περίπου 4268 km , τα έλη περίπου 58 km^2 και οι εκβολές και τα δέλτα των ποταμών περίπου 723 km^2 .

Οι φυσικές λίμνες στην Ελλάδα, που είναι 56, καταλαμβάνουν έκταση περίπου 29.5% (600 τ.χλμ.) από το σύνολο των επιφανειακών εσωτερικών υδάτων της χώρας (2026 τ.χλμ.), ενώ οι τεχνητές λίμνες που είναι 25 καλύπτουν το 17.7% (358 τ.χλμ.).

Στην Ελλάδα, η λίμνη Τριχωνίδα στην Αιτωλοακαρνανία είναι η μεγαλύτερη σε έκταση λίμνη (98.6 km²), με όγκο $2900 \times 10^3 \text{ m}^3$ και μέγιστο βάθος 58 μέτρα. Δεύτερη σε έκταση είναι η Βόλβη στη Μακεδονία με 68 km², με όγκο $940 \times 10^3 \text{ m}^3$ και μέγιστο βάθος 23 μέτρα, ενώ η Βεγορίτιδα στη Μακεδονία είναι η βαθύτερη ελληνική λίμνη με 70 μέτρα περίπου, Τρίτη σε έκταση (53 km²) και δεύτερη σε όγκο ($1530 \times 10^3 \text{ m}^3$). Η Μεγάλη Πρέσπα που δεν είναι αποκλειστικά ελληνική λίμνη, έχει έκταση $266 \times 10^3 \text{ m}^2$ και μέγιστο βάθος 55 μέτρα περίπου.

3.1. ΛΙΜΝΕΣ

Ως **λίμνη** χαρακτηρίζεται μία μικρή ή μεγάλη υδάτινη μάζα στην ξηρά, η οποία περιέχει γλυκό, υφάλμυρο και αλμυρό νερό με άμεση, έμμεση, υπόγεια, ή και επίγεια σύνδεση, ή είναι χωρίς σύνδεση με άλλους υδάτινους χώρους και αποδέκτες. Στην πλειονότητα των λιμνών η στάθμη τους βρίσκεται πάνω από τη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας, ενώ υπάρχουν και λίμνες που η στάθμη της επιφάνειας τους βρίσκεται πολύ κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, όπως είναι η Νεκρά Θάλασσα στο Ισραήλ με τοπογραφικό υψόμετρο -980 μέτρα, η Θάλασσα της Γαλιλαίας με -210 και η Κασπία με -25 μέτρα. Οι περισσότερες από τις πλέον βαθιές λίμνες στον κόσμο τοποθετούνται με το βαθύτερο σημείο της λεκάνης τους, πολύ κάτω από τη στάθμη της θάλασσας και τα βυθίσματά τους ονομάζονται «*κρυπτοβυθίσματα*». Στην Ελλάδα, σε κρυπτοβύθισμα, βρίσκονται οι λίμνες της Αιτωλοακαρνανίας, Τριχωνίδα και Αμβρακία, αφού το βαθύτερο τμήμα της λιμναίας λεκάνης τους βρίσκεται κάτω από τη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας.

3.2. ΕΛΗ

Στα **έλη** κατατάσσονται εκείνες οι περιοχές της ξηράς οι οποίες καλύπτονται περιοδικά ή μόνιμα με νερά μικρού βάθους και έχουν πυκνή βλάστηση. Πρόκειται για οικοσυστήματα υψηλής παραγωγικότητας η οποία επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη σύσταση του εδάφους. Η στάθμη του νερού στα έλη αυξομειώνεται περιοδικά εξαιτίας της ξηρασίας ή των βροχοπτώσεων.

Η συνολική έκταση των ελών στην Ελλάδα είναι 52 km². Η έκταση αυτή αντιπροσωπεύει το 2.8% του συνόλου των εσωτερικών υδάτων της χώρας. Η κατανομή τους στον Ελλαδικό χώρο έχει ως εξής: στη Θεσσαλία υπάρχουν 13 έλη συνολικής έκτασης 2 km², στα νησιά του Β. Αιγαίου 12 έλη (16 km²), στα νησιά του Ν. Αιγαίου 11 έλη (4 km²), στην Κ. Μακεδονία 9 έλη (10 km²) και λιγότερα σε άλλες περιοχές της χώρας.

Η κατάταξη των ελών μπορεί να γίνει ανάλογα με: το βάθος, τη θερμική στρωμάτωση, το υπόστρωμα, την προέλευση του νερού, τη βλάστηση και την αλατότητα.

A) Τα έλη ανάλογα με το **βάθος** και τη **θερμική στρωμάτωση** διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Έλη με βάθος < 25cm. Δεν παρουσιάζουν θερμική στρωμάτωση, η θερμοκρασία του νερού εξαρτάται απόλυτα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.
- Έλη με βάθος >25 cm. Σ' αυτά το νερό μπορεί να παρουσιάζει θερμική στρωμάτωση.

B) Ανάλογα με την **προέλευση του νερού** τα έλη διακρίνονται σε:

- Αποκλειστικά ομβροδίατα έλη: είναι περιοχές που κατακλύζονται μερικώς ή ολικώς από νερό το οποίο προέρχεται αποκλειστικά από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χαλάζι, χιόνι).
- Όχι αποκλειστικά ομβροδίατα έλη: το νερό σ' αυτά προέρχεται τόσο από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, όσο και από γειτονικές πηγές (ποτάμια, χείμαρροι, αναβλύσεις, κ.λ.π.).

Γ) Ανάλογα με τη **βλάστησή** τους τα έλη μπορούν να διακριθούν σε:

- Έλη με ποώδη βλάστηση: η υπερυδάτια βλάστηση του έλους αποτελείται από ποώδη φυτά.
- Έλη με ξυλώδη βλάστηση: η υπερυδάτια βλάστηση του έλους αποτελείται κυρίως από θάμνους.

Δ) Ανάλογα με την **αλατότητα** του νερού τους τα έλη μπορεί να διακριθούν σε:

- Αλατούχα έλη: η αλατότητα του νερού είναι μεγαλύτερη από το γλυκό νερό (0 ‰).
- Έλη γλυκών νερών: η αλατότητα σ' αυτά προσεγγίζει αυτή του γλυκού νερού.

3.3. ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ

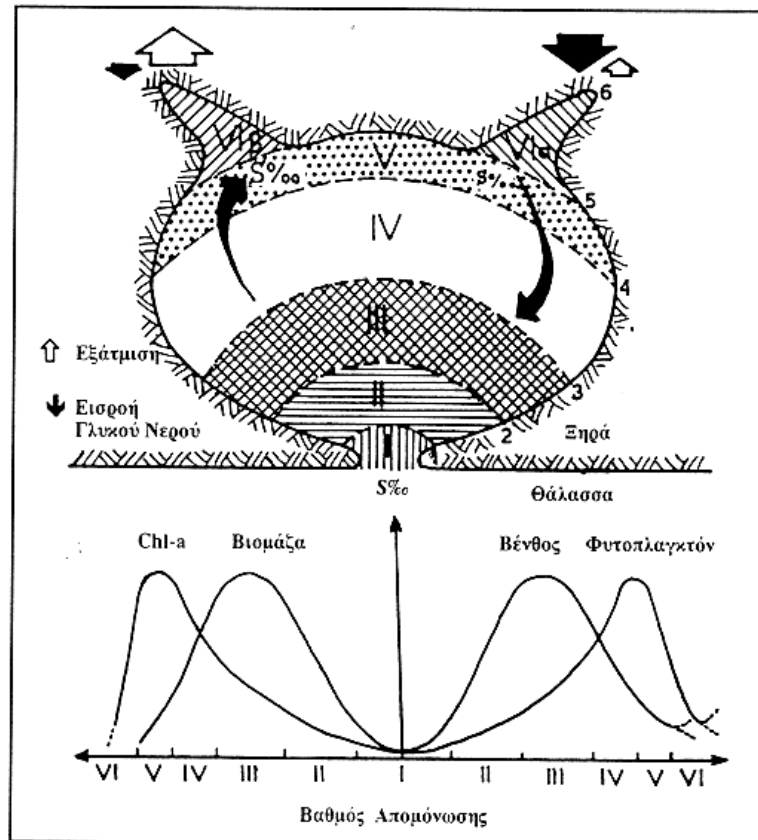
Οι λιμνοθάλασσες είναι παράκτιες υδάτινες περιοχές με μικρό βάθος και χαρακτηρίζονται από ιδιότυπες παραγωγικές, υδροδυναμικές και ιζηματολογικές συνθήκες. Συνήθως χωρίζονται από τη γειτονική θάλασσα περιοχή με φυσικό φράκτη την αμμουρίδα η οποία διαχωρίζει και ουσιαστικά συντηρεί τη λιμνοθάλασσα. Έτσι, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην προστασία αυτής της δομής, ώστε να διατηρούνται τα φυσικά της χαρακτηριστικά. Εκεί όπου χρειάζονται και σε περιπτώσεις ανάγκης συνήθως έχουμε τεχνικές παρεμβάσεις (ενισχύσεις σταθερότητας, εσοδευτικά στόμια, εκβαθύνσεις κ.α.).

Οι λιμνοθάλασσες αποτελούν ιδιαίτερα παραγωγικά υδάτινα οικοσυστήματα και συχνά σχετίζονται με τη διαχείριση των φυσικών βιολογικών πόρων (αλιεία). Εξαιτίας του μικρού τους βάθους, της περιορισμένης τους έκτασης και της δεδομένης επικοινωνίας τους με τη θάλασσα, είναι συστήματα ιδιαίτερα ασταθή, με βιοποικιλότητα χαμηλή, χαρακτηρίζονται από περιορισμένη «αδράνεια» η οποία με τις επιδράσεις εξωγενών παραγόντων (ανθρωπογενών και φυσικών αιτιών) υπόκεινται σε έντονες διακυμάνσεις. Σημειώνεται ότι ένα σημαντικό επίπεδο της οργάνωσής τους (π.χ. βενθική πανίδα) μπορεί να κυμαίνεται από την πλήρη εξαφάνιση μέχρι την πρόσκαιρη επανεποίκιση, ενώ ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει τους πληθυσμούς της βενθοπανίδας είναι ο παράγοντας του «περιορισμού» του οποίου η επίδραση αυξάνει ανάλογα με την απόσταση επικοινωνίας με το θαλάσσιο χώρο. Επιπρόσθετα, στις λιμνοθάλασσες παρατηρούνται συχνά «κρίσεις δυστροφισμού» που αποδίδονται κυρίως στον έντονο ρυθμό βιοαποικοδόμησης της οργανικής ύλης που σε συνδυασμό με συγκεκριμένες υδρολογικές και κλιματολογικές συγκυρίες (νηνεμία, υψηλές θερμοκρασίες, απουσία ανανέωσης των νερών) προκαλούν έντονες αναγωγικές συνθήκες.

Εξαιτίας των πιο πάνω ιδιαιτεροτήτων οι λιμνοθάλασσες συνήθως ακολουθούν ένα πρότυπο ζώνωσης που τις διαφοροποιεί ανάλογα με το βαθμό απομόνωσής τους από τη γειτονική θάλασσα και οι οποίες αντανακλούν σε διαφορετικούς φυσικοχημικούς παράγοντες και σύνθεση βενθικών και πελαγικών κοινοτήτων. Έτσι (Εικόνα 7):

- η ζώνη I χαρακτηρίζεται από θαλάσσιο χαρακτήρα, με αποκλειστικά θαλάσσια είδη και φυτοπλαγκτό νηριτικής προέλευσης,

- στη ζώνη II απουσιάζουν τα τυπικά θαλάσσια είδη, απαντούν στενύαλα βενθικά είδη (*Mactra*, *Tellina*), το φυτοπλαγκτό έχει μειωμένη ποικιλότητα με κυρίως δινομαστιγωτά και διάτομα,



Εικόνα 7. Πρότυπο ζώνωσης σε μεσογειακό λιμνοθαλάσσιο οικοσύστημα και προσεγγιστικές καμπύλες μεταβολών στο βένθος, στο φυτοπλαγκτό, στη βιομάζα και τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α.

- στη ζώνη III τα είδη που απαντούν είναι ευρύοικα (*Glycera*, *Ruditapes*), η βιομάζα έχει μέγιστη τιμή και το φυτοπλαγκτό δεν έχει νηρητικό χαρακτήρα,
- στη ζώνη IV απουσιάζει η θαλάσσια πανίδα, τα είδη που απαντούν έχουν λιμνοθαλάσσιο χαρακτήρα (*Abra*, *Cerastoderma*, *Hediste*, *Gammarus*), το φυτοπλαγκτό αποτελείται κυρίως από δινομαστιγωτά και διάτομα και η χλωρίδα από το φανερόγαμο *Ruppia*,
- στη ζώνη V απαντάται υψηλή απομόνωση, στις υπερύαλες περιοχές τα είδη που απαντούν είναι μετακινούμενα βενθικά (*Corophium*, *Hydrobia*) ενώ στις υποϋαλες περιοχές απαντούν τριχόπτερα και ολιγόχαιτα, το φυτοπλαγκτό αποτελείται κυρίως από διάτομα και κυανοφύκη, η βιομάζα είναι μέγιστη και η χλωρίδα από *Potamogeton*,

- στη ζώνη Via υπάρχει μέγιστη απομόνωση, τα νερά είναι κυρίως γλυκά καθώς και τα είδη που απαντώνται, ελάχιστα είναι τα μετακινούμενα υφάλμυρα είδη, το φυτοπλαγκτό αποτελείται από διάτομα και η χλωρίδα από χλωροφύκη γλυκών νερών,
- στη ζώνη Vib υπάρχει μέγιστη απομόνωση, τα νερά είναι υπερύαλα ή εξατμισογενή εδάφη, εμφανίζονται κρούστες κυανοφυκών, τα χλωροφύκη είναι λίγα, ενώ η βενθοπανίδα σχεδόν απουσιάζει εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις.

Μια λιμνοθάλασσα μπορεί να περιέχει γλυκά, αλμυρά ή υφάλμυρα νερά. Ένας μεγάλος αριθμός αβιοτικών παραγόντων επηρεάζει την ισορροπία στο οικοσύστημα της λιμνοθάλασσας, όπως είναι το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο, η θερμοκρασία, το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, η αλμυρότητα και άλλοι παράγοντες.

Οι λιμνοθάλασσες ανήκουν στα πλέον παραγωγικά συστήματα γιατί είναι συνεχής ο εμπλουτισμός τους σε άλατα, ενώ η βιοποικιλότητα διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της φυσικής τους αστάθειας που έτσι αποτρέπεται η εγκατάσταση πολλών βιοκοινωνιών. Παρόλα αυτά, η πρωτογενής παραγωγή τους στηρίζει αυξημένη δημιουργία οργανικής ύλης, η οποία υπερβαίνει την αυτοκατανάλωση μέσα στη λιμνοθάλασσα. Άφθονο είναι το οργανικό υλικό που εμπλουτίζει τον πυθμένα της λιμνοθάλασσας ή αυτό το οργανικό υλικό εξέρχεται προς τη θάλασσα από τα φυσικά ή τα τεχνητά ανοίγματά της. Η μεγάλη επομένως ποσότητα βιομάζας που κυριαρχεί σε ορισμένες περιοχές σε μια λιμνοθάλασσα, ουσιαστικά είναι απόθεμα ενέργειας και χρησιμεύει ως τροφή στο πολύπλοκο τροφικό τους πλέγμα. Γενικά οι λιμνοθάλασσες, με την άφθονη οργανική ύλη, την άφθονη πανίδα και χλωρίδα τους και τις ιδιόμορφες φυσικοχημικές τους συνθήκες ευνοούν την προσέλκυση πολλών ιχθυοπληθυσμών ορισμένη περίοδο, για τροφικούς κυρίως λόγους.

Από την άποψη της αλιευτικής παραγωγής οι λιμνοθάλασσες αποτελούν σημαντικά αλιευτικά κέντρα, όπου το 56% της παραγωγής αποτελούν οι κέφαλοι, γύρω στο 20% τα χέλια, 10% τα λαβράκια, και μικρότερες ποσότητες οι τσιπούρες, οι γοβιοί, οι γλώσσες, οι σπάροι και άλλα εμπορεύσιμα είδη. Με κριτήριο την αλιευτική παραγωγή, η μέση ετήσια συγκομιδή ψαριών από τις λιμνοθάλασσες ανέρχεται περίπου στα 6.3 χιλιόγραμμα ανά στρέμμα, με ακραίες τιμές παραγωγής εκείνης του Χαϊδευτού Καβάλας, όπου η ετήσια παραγωγή φτάνει τα 19.3 χιλιόγραμμα ανά στρέμμα και εκείνης των Αλυκών Θεσπρωτίας με 1.5 χιλιόγραμμα ανά στρέμμα.

Στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 72 λιμνοθάλασσες με συνολική έκταση περίπου 550 τ.χλμ. και παράγουν τουλάχιστον 6000 τόνους ψάρια υψηλής ποιότητας κάθε έτος. Στα Ιόνια νησιά έχουν καταγραφεί 10 λιμνοθάλασσες (21 τ.χλμ.), στη δυτική Ελλάδα 9 (170 τ.χλμ.) και με μικρότερους αριθμούς στις άλλες περιφέρειες.

3.4. ΡΕΟΝΤΑ ΥΔΑΤΑ

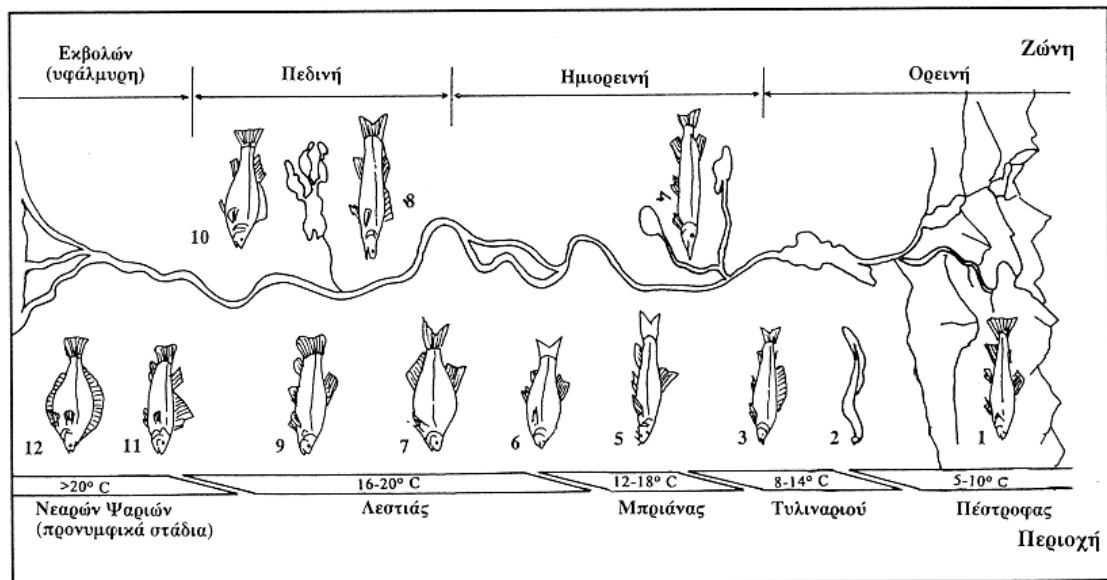
Στα **ρέοντα ύδατα** ανήκουν οι ποταμοί, τα ρυάκια και οι χείμαρροι τα οποία αποτελούν ατελή συστήματα ανοικτού τύπου, γιατί δέχονται υλικά (βιολογικά, οργανικά και ανόργανα) από γειτονικά συστήματα.

Κατά μήκος ενός ποταμού συνήθως διακρίνονται διάφορες ζώνες, κυρίως με βάση τα είδη ψαριών που επικρατούν σ' αυτές. Οι ζώνες αυτές, ως επί το πλείστον, ταυτίζονται με είδη «κλειδιά» που βρίσκονται σε κάθε περιοχή. Έτσι, στην κεντρική Ευρώπη και κατ' επέκταση και στην Ελλάδα με τις ιδιαιτερότητες που χαρακτηρίζουν τα ποτάμια μας και την ιδιόμορφη ιχθυοπανίδα μας, διακρίνονται οι ζώνες, της πέστροφας (*Salmo*), του τυλιναριού (*Leuciscus*) ή της τσίμας (*Phoxinus*), της μπριάνας (*Barbus*) ή του κέφαλου (*Leuciscus*), η ζώνη της λεστιάς (*Abramis*), όπου τα περισσότερα είδη είναι λιμνόφιλου χαρακτήρα και τέλος η περιοχή των εκβολών όπου τα είδη που βρίσκονται εδώ έχουν ευρύαλο χαρακτήρα.

Γενικά, στη **ζώνη της πέστροφας**, υπάρχει μεγάλη κλίση στο έδαφος, τα νερά είναι ορμητικά, ο πυθμένας έχει πέτρες και χαλίκια και το νερό είναι ψυχρό και με αρκετό διαλυμένο οξυγόνο. Στη **ζώνη του τυλιναριού**, το βάθος του νερού μπορεί να φθάνει και τα 2 μέτρα, η κλίση του εδάφους είναι μικρότερη και τα ρηχά νερά εναλλάσσονται με ποταμόλακκους. Τα είδη που απαντούν εδώ ανήκουν στα πεστροφοειδή (*Salmo*) και στα ρεόφιλα κυπρινοειδή (*Barbus & Abramis*). Στη **ζώνη της μπριάνας** ο ποταμός έχει μέτρια κλίση και ποικίλα ρεύματα με γρήγορα και ήρεμα νερά, ενώ στη **ζώνη της λεστιάς** περιλαμβάνονται τα χαμηλότερα τμήματα του ποταμού, δηλαδή τα κανάλια και οι τάφροι. Τα νερά είναι συνήθως θολά, το καλοκαίρι η θερμοκρασία υψηλή, και το διαλυμένο οξυγόνο μειωμένο.

Μια άλλη ταξινόμηση ορίζει το τμήμα πάνω από το όριο της ζώνης του τυλιναριού ως «ρείθρο» και κάτω από αυτό ως «πόταμον». Το **ρείθρο** εκτείνεται από την πηγή μέχρι την περιοχή όπου η μέση μηνιαία θερμοκρασία του νερού φτάνει τους 20 °C, το οξυγόνο αρκετά υψηλό, η ροή γρήγορη, ο πυθμένας αποτελείται από πέτρες και χαλίκια και η πανίδα είναι ψυχρή στενοθερμική και το πλαγκτό απουσιάζει ή είναι λίγο. Το **πόταμον** είναι η περιοχή όπου η μέση μηνιαία θερμοκρασία του νερού

υπερβαίνει τους 20 °C, το οξυγόνο απουσιάζει μερικές φορές, η ροή είναι αργή και ο πυθμένας αποτελείται κυρίως από άμμο και λάσπη (Εικόνα 8). Η πανίδα είναι ευρύθερμη ή θερμή στενοθερμική και συνήθως το πλαγκτό είναι άφθονο.



Εικόνα 8. Ταξινόμηση των περιοχών ενός ποταμού με βάση τα είδη ψαριών που συναντώνται σε αυτές.

Άλλοι ερευνητές ταξινομούν έναν ποταμό ανάλογα με τα γεωτοπογραφικά χαρακτηριστικά: **εύκρηνο** (περιοχή πηγής), **υπόκρημνο** (ρυάκι πηγής), **ρείθρο** (πετρώδες ρεύμα) και το **πόταμον** (ιλοαμμώδης πυθμένας) που φτάνει μέχρι τη θάλασσα.

Οι **ορεινές ροές** των ποταμών σχηματίζονται στις ορεινές περιοχές όπου υπάρχει σχετικά μεγάλη κλίση στο έδαφος, τα νερά τους είναι θορυβώδη, ο πυθμένας τους έχει χαλίκια και χοντρή άμμο, δεν έχουν διαλυμένα άλατα αλλά κρυσταλλική άργιλο που είναι το προϊόν της διάλυσης ορυκτών από τη δράση του χιονιού. Όταν τα επιτρέπουν οι υδρολογικές, τοπογραφικές, γεωμορφολογικές και άλλες συνθήκες σχηματίζονται οι χείμαρροι που μπορεί να βρίσκονται σε ορεινές, ημιορεινές και πεδινές περιοχές. Στις χαμηλότερες περιοχές οι χείμαρροι μεταφέρουν ανόργανα και οργανικά υλικά σε διάλυση και εμπλουτίζουν με αυτά τους αποδέκτες τους.

3.5. ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ

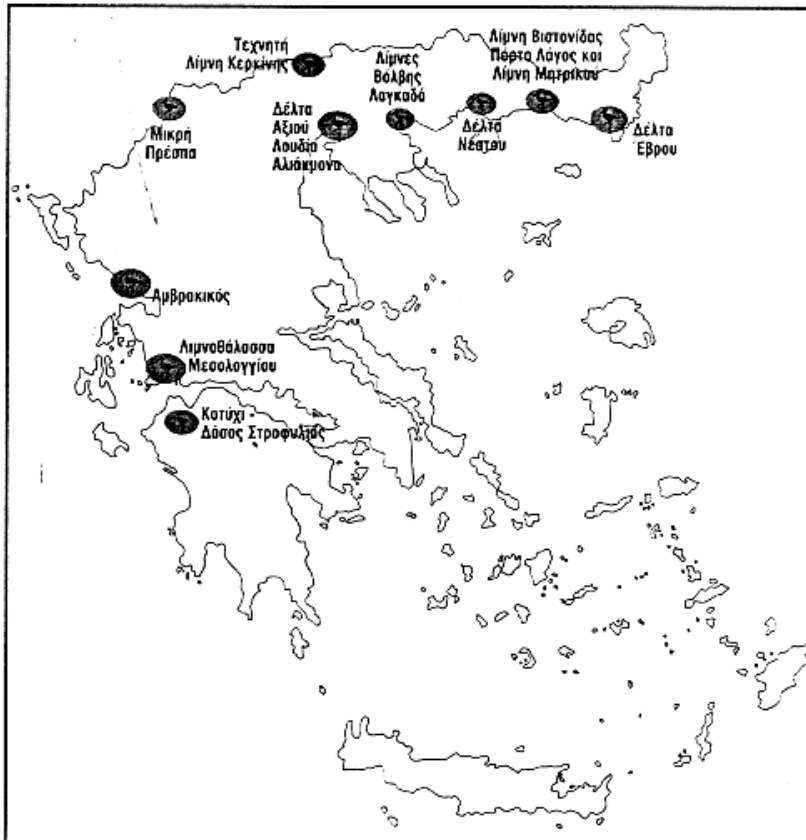
Σύμφωνα με τις διεθνείς συμβάσεις για την προστασία των υγροτόπων, οι **υγρότοποι** είναι φυσικές ή τεχνητές περιοχές παρόχθιες, παραλίμνιες ή παράκτιες περιοχές, αλυκές, έλη, τέλματα, βάλτοι ή και κατακλυζόμενες, μόνιμα ή πρόσκαιρα, από τα νερά της βροχής εκτάσεις, αλλά και περιοχές που καλύπτονται από θαλασσινό νερό το βάθος του οποίου κατά την άμπωτη δεν ξεπερνάει τα έξι μέτρα.

Οι υγρότοποι είναι γνωστό ότι αποτελούν ευαίσθητα οικοσυστήματα ανυπολόγιστης αξίας για την οικονομία της φύσης, τη λειτουργία της και την περιβαλλοντική μας κληρονομιά και τούτο γιατί:

- Προσφέρουν *οικονομικές, πολιτιστικές, επιστημονικές και ψυχαγωγικές δυνατότητες.*
- Αποτελούν κυρίαρχο στοιχείο για την *υδρομηχανική ισορροπία* του εδάφους.
- Ρυθμίζουν την *υδρολογική ισορροπία*, δηλαδή το κλίμα, τη ροή και τη στάθμη των υδάτων.
- Ανήκουν στα *παραγωγικότερα* σε βιομάζα οικοσυστήματα.
- Είναι περιοχές *αδιάκοπων ενεργειακών διεργασιών.*
- Συγκεντρώνουν *μεγάλη ποικιλότητα* σε είδη χλωρίδας και πανίδας κ.α.

Όσο πιο απλό είναι ένα υδάτινο οικοσύστημα, τόσο πιο επώδυνες είναι οι διαταραχές στις βιοκοινότητές τους, ενώ η αυξημένη βιοποικιλότητα μαζί με την πολυπλοκότητα των τροφικών επιπέδων, επιτρέπουν στο σύστημα εναλλακτικές λύσεις και έτσι μπορεί το σύστημα να αντιπαρέλθει τις οποιεσδήποτε οχλήσεις χωρίς σημαντικούς κραδασμούς. Αποτελούν δηλαδή οι υγρότοποι, εργαστήρια της φύσης υψηλής αποδοτικότητας όπου συναντώνται όλοι οι κρίκοι και τα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας. Βασικοί όμως ρυθμιστές στο σύστημα αυτό είναι τα πουλιά τα οποία βρίσκονται στην κορυφή της τροφικής πυραμίδας και έτσι η προστασία των πουλιών τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία. Οι υγροβιότοποι, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις και ήπιους όπως λέμε τρόπους παρέμβασης και εκμετάλλευσης, μπορούν να καλύψουν βασικές ανάγκες του ανθρώπου όπως:

- την παροχή νερού και πρώτων υλών για κάθε χρήση.
- την προσφορά τροφών πλούσιων σε πρωτεΐνες (υδατοκαλλιέργειες) και
- την αναψυχή, τα σπορ και την ψυχαγωγία.



Εικόνα 9. Οι κυριότεροι υγρότοποι της Ελλάδας που έχουν ενταχθεί στη σύμβαση Ramsar

Όπως είναι γνωστό, μέσα στην ποικιλία των βιοτόπων που συνθέτουν το ελληνικό περιβάλλον, οι υγρότοποι αποτελούν μια ιδιαίτερα σημαντική ενότητα (Εικόνα 9). Οι υγρότοποι ως οικοσυστήματα έχουν πολύπλοκη δομή και λειτουργικότητα, αποτελούν ζωτικούς χώρους για την επιβίωση αναρίθμητων ειδών της πανίδας και της χλωρίδας και προσφέρουν στον άνθρωπο υπηρεσίες και οφέλη με ανυπολόγιστη οικονομική, πολιτιστική, επιστημονική, ψυχαγωγική και άλλη σημασία. Ανέκαθεν οι υγρότοποι ήταν πόλος έλξης για πολλές δραστηριότητες του πρωτογενή τομέα, εξαιτίας της παραγωγικότητάς τους. Έτσι, συχνά σημαντικοί υγρότοποι οδηγήθηκαν σε υπερεκμετάλλευση με αποτέλεσμα να είναι πλέον εμφανή τα φαινόμενα υποβάθμισης και διατάραξης της οικολογικής τους ισορροπίας και των πόρων τους.

B' ΜΕΡΟΣ

ΒΙΟΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΙΜΝΩΝ & ΠΟΤΑΜΩΝ

1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Οι οργανισμοί σε λειτουργικό επίπεδο μπορούν να καταταχθούν με βάση την πηγή της ενέργειάς τους, τις πηγές άνθρακα και, όπως στην περίπτωση κάποιων κατώτερων οργανισμών όπως τα θειοβακτήρια, με βάση το μόριο το οποίο παίζει το ρόλο του δότη ηλεκτρονίων. Αν κατατάξουμε τους οργανισμούς με βάση τις πηγές ενέργειάς τους έχουμε τους *φωτότροφους οργανισμούς*, οι οποίοι αντλούν ενέργεια έχοντας ως πηγή τον ήλιο με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, και τους *χημειότροφους οργανισμούς*, οι οποίοι αξιοποιούν μια χημική πηγή ενέργειας. Αν τα κύτταρα δέχονται ηλεκτρόνια από ένα οργανικό συστατικό τότε μιλούμε για *οργανότροφους οργανισμούς*, ενώ αν αυτά προέρχονται από ανόργανα συστατικά τότε μιλούμε για *λιθότροφους οργανισμούς*. Οι οργανισμοί επίσης μπορούν να καταταχθούν ανάλογα με τον τύπο του άνθρακα που χρησιμοποιούν ως τροφή. Οι *αυτότροφοι οργανισμοί* αξιοποιούν το ανόργανο διοξείδιο του άνθρακα για να παράγουν οργανικά υλικά, ενώ οι *ετερότροφοι οργανισμοί* βασίζονται σε ήδη υπάρχον οργανικό άνθρακα όπως για παράδειγμα η γλυκόζη και το πυροσταφυλικό οξύ.

Οι έξι παραπάνω όροι που χρησιμοποιήσαμε για να κατατάξουμε τους ζωντανούς οργανισμούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλους συνδυασμούς. Για παράδειγμα, τη βάση των περισσότερων υδάτινων τροφικών αλυσίδων αποτελούν τα φύκη και τα ανώτερα υδρόβια φυτά που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας τον ήλιο, ως πηγή άνθρακα το διοξείδιο του άνθρακα, καθώς επίσης και το οξυγόνο που βρίσκεται στο νερό ως πηγή ηλεκτρονίων. Μπορούν λοιπόν, σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς, να καταταχθούν στους *φωτολιθοαυτότροφους*, αν και συνήθως προτιμάται ο απλούστερος όρος *φωτοαυτότροφοι*. Και αυτό συμβαίνει γιατί ο δότης

ηλεκτρονίων για σχεδόν όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς έχει ανόργανη προέλευση.

Οι περισσότεροι ετερότροφοι οργανισμοί χρησιμοποιούν οργανικό άνθρακα και ως πηγή ενέργειας αλλά και ως δότη ηλεκτρονίων, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο με τους αυτότροφους. Για διευκόλυνση στις τροφικές αλυσίδες διαχωρίζουμε απλά τους οργανισμούς σε *αυτότροφους* (φυτά και χημειολιθοτροφικά βακτήρια) και *ετερότροφους* (κάποια βακτήρια, μύκητες και ανώτεροι ζωικοί οργανισμοί). Υψηλότερα στην τροφική αλυσίδα βρίσκονται οι ετερότροφοι οργανισμοί που ονομάζονται *φυτοφάγοι* (χρησιμοποιούν φυτικό υλικό για την τροφή και την ανάπτυξή τους) και *σαρκοφάγοι* (τρέφονται με φυτοφάγους ή και άλλους σαρκοφάγους οργανισμούς). Με τον όρο *παμφάγοι* εννοούμε τους οργανισμούς εκείνους που τρέφονται με φυτά και με ζώα και με τον τρόπο αυτό λειτουργούν σε περισσότερα από ένα τροφικά επίπεδα.

2. ΟΙ ΚΥΡΙΕΣ ΟΜΑΔΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ

1) ΙΟΙ

Ο ρόλος των ιών στο υδάτινο περιβάλλον έχει συνδεθεί ευρέως με προβλήματα της δημόσιας υγείας. Ασθένειες όπως η γνωστή μας ηπατίτιδα μπορούν να μεταδοθούν μέσω νερού το οποίο έχει μολυνθεί από τις ακαθαρσίες ατόμων που πάσχουν από τη νόσο. Οι ιοί είναι υποχρεωτικά παράσιτα, που σημαίνει ότι η επιβίωσή τους καθώς και η αναπαραγωγή τους εξαρτώνται από άλλους οργανισμούς τους οποίους θα χρησιμοποιήσουν ως ξενιστές. Στους ιούς ανήκουν και οι *φάγοι* οι οποίοι προσβάλουν μόνο βακτήρια και κάποιες κατηγορίες φυκών (φαιοφύκη, πρασινοφύκη). Το μέγεθός τους είναι πολύ μικρό, συνήθως της τάξης των 0.02 μm, και μπορεί να είναι ορατοί μόνο με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Συνήθως η αναγνώρισή τους βασίζεται στην πρωτεΐνη από την οποία είναι φτιαγμένο το κάλυμμα τους, ή από το είδος της επίδρασης που έχουν στον ξενιστή τους. Λίγα είναι γνωστά για το ρόλο τους στη Λιμνολογία, εκτός από το γεγονός ότι οι κυανοφάγοι σχετίζονται με τη μείωση των κυανοφυκών που συναντώνται στο περίφυτο ή στο φυτοπλαγκτό. Με βάση αυτή τους την ιδιότητα διάφοροι ιοί έχουν χρησιμοποιηθεί

για τον περιορισμό των κυανοφυκών, έχει αποδειχθεί όμως ότι και τα κυανοφύκη μπορούν να αναπτύξουν ανοσία στις μολύνσεις, όπως συμβαίνει και σε άλλους ανώτερους οργανισμούς.

2) ΒΑΚΤΗΡΙΑ

Παρόλο που μπορεί να υπάρχουν ένα εκατομμύριο βακτηριακά κύτταρα σε κάθε κυβικό εκατοστό του νερού σε μία λίμνη, τα βακτήρια στο νερό αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό αν συγκριθούν με την πυκνότητά τους στο έδαφος. Τα βακτήρια είναι συνήθως μονοκύτταροι οργανισμοί οι οποίοι μπορούν να πολλαπλασιάζονται με μεγάλους ρυθμούς, συνήθως με απλή κυτταρική διαίρεση ενώ σπάνιες είναι οι περιπτώσεις φυλετικής αναπαραγωγής. Τα περισσότερα είδη βακτηρίων δεν περιέχουν χλωροφύλλη και κατά συνέπεια δεν πραγματοποιούν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, ωστόσο υπάρχει μία ομάδα αυτού του τύπου των φωτοσυνθετικών βακτηρίων που έχει βρεθεί σε λίμνες και σε άλλου τύπου εσωτερικά ύδατα.

Το εξωτερικό περίβλημα των βακτηρίων είναι φτιαγμένο από ακετυλιωμένα σάκχαρα και αμινοξέα που ονομάζονται πεπτιδογλυκάνες. Σε μεγάλη πυκνότητα στο περίβλημα αυτές οι ενώσεις μπορούν να βαφούν με ένα κρυσταλλικό σύμπλεγμα ιωδίου με βιολετί χρώμα το οποίο δεν απομακρύνεται με αλκοόλη. Τέτοια βακτήρια ονομάζονται *gram-θετικά*. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει μεγάλη πυκνότητα τέτοιων ουσιών στο εξωτερικό περίβλημα το κρυσταλλικό σύμπλεγμα ιωδίου μπορεί εύκολα να απομακρυνθεί με αλκοόλη και τέτοια βακτήρια ονομάζονται *gram-αρνητικά*. Τα βακτήρια έχουν μεγάλη ποικιλία μορφών, όμως τα πιο κοινά έχουν κοκκοειδή μορφή, ή είναι ραβδοειδή, μεμονωμένα ή σχηματίζοντας αλυσίδες. Όπως συμβαίνει και σε πολλά φύκη, τα βακτήρια έχουν τη δυνατότητα να κολυμπούν με τη βοήθεια μαστιγοφόρων προεξοχών οι οποίες μπορεί να προεκβάλλουν από τις δύο άκρες του βακτηρίου ή και να το περιβάλλουν εξωτερικά. Εκτός από ποικιλία στα μορφολογικά τους χαρακτηριστικά τα βακτήρια χαρακτηρίζονται και από τα διαφορετικά είδη πεπτιδογλυκάνων που βρίσκονται στο εξωτερικό τους περίβλημα.

Τα περισσότερα βακτήρια έχουν πολύ μικρό μέγεθος, μεταξύ 0.2 και 5μm σε μήκος, και συνήθως είναι δυνατό να διακρίνονται μόνο σαν σκούρα στίγματα όταν παρατηρεί κάποιος μία επιφάνεια στην οποία βρίσκονται χρησιμοποιώντας τη μέγιστη μεγέθυνση ενός οπτικού μικροσκοπίου. Η δυνατότητα που έχουν τα βακτήρια να πραγματοποιούν χημικές μετατροπές έχει γίνει η πιο αξιόπιστη μέθοδος

για την αναγνώριση και την κατάταξή τους. Οι τροφικές απαιτήσεις κάθε είδους βακτηρίου διαφέρουν από κάποιο άλλο και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα βακτήρια να χρειάζονται συγκεκριμένους συνδυασμούς οργανικών και ανόργανων τροφικών υποστρωμάτων για να μπορέσουν να αναπτυχθούν. Επιπροσθέτως, κατά την ανάπτυξή τους οι χημικές μετατροπές που προκαλούν έχουν σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση συγκεκριμένων προϊόντων. Για παράδειγμα, κάποια βακτήρια μετατρέπουν τα νιτρώδη ιόντα σε νιτρικά, κάποια απαιτούν ανοξικές συνθήκες για να μπορέσουν να διαβιώσουν, ενώ μερικά είδη απαιτούν φως για να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι τα βακτήρια μπορούν να μεσολαβήσουν για την πραγματοποίηση των περισσότερων χημικών μετασχηματισμών από οποιαδήποτε άλλη ομάδα οργανισμών. Αυτές οι διεργασίες περιλαμβάνουν για παράδειγμα το μετασχηματισμό του αζώτου, όπως είναι η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση, η διάσπαση της κυτταρίνης, η αλλοίωση των τροφών και η εκδήλωση διαφόρων ασθενειών και βλαβών σε ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς. Βακτήρια τα οποία διασπούν το πετρέλαιο είναι ένα άλλο παράδειγμα για τις δυνατότητες και τις χρήσεις αυτών των οργανισμών. Το οξυγόνο παίζει σημαντικό ρόλο στην κατάταξη των βακτηρίων επειδή κάποια από αυτά απαιτούν οξυγόνο, κάποια άλλα δεν μπορούν να επιβιώσουν παρουσία του, ενώ κάποια άλλα μπορούν να επιβιώνουν με ή χωρίς την παρουσία του.

Ο κύριος ρόλος των βακτηρίων στη φύση είναι στην ανακύκλωση διαφόρων οργανικών και ανόργανων στοιχείων και ενώσεων. Τα ετερότροφα βακτήρια που υπάρχουν μέσα σε μία λίμνη προκαλούν αποικοδόμηση των διαφόρων οργανικών ουσιών και δημιουργούν ένα στρώμα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, το οποίο εκμεταλλεύονται οι σαπροφάγοι οργανισμοί οι οποίοι τρέφονται με νεκρή οργανική ύλη. Χημειολιθοτροφικά βακτήρια τα οποία συναντώνται στο υπόστρωμα ή σε αιωρούμενα σωματίδια μέσα στο νερό των λιμνών είναι υπεύθυνα για την οξείδωση της αμμωνίας πρώτα σε νιτρώδη και μετά σε νιτρικά ιόντα, για την οξείδωση των θειωδών σε θεικές ενώσεις και την οξείδωση του δισθενούς σιδήρου (Fe^{2+}) σε τρισθενές σίδηρο (Fe^{3+}). Βακτήρια, επίσης, παράγουν τη γνωστή κιτρινωπή κρούστα πλούσια σε θείο σε περιοχές όπου υπάρχει έντονη αποσύνθεση από τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων λάσπης πλούσια σε οργανικά στοιχεία, ή τις ζελατινώδεις μάζες στο χρώμα της σκουριάς που συναντάμε σε ποτάμια ή ρυάκια. Στρώματα χημειολιθοτροφικών κυανών φωτοσυνθετικών βακτηρίων συναντώνται συχνά σε ανοξικές συνθήκες σε διάφορες λίμνες. Τα φωτοσυνθετικά βακτήρια, σε αντίθεση με

τα φύκη, δεν ανέχονται το οξυγόνο και συνήθως συναντώνται στις λίμνες σε στρώματα όπου επικρατεί πολύ λίγο φως ή ακριβώς κάτω από το μεταλίμνιο.

3) ΜΥΚΗΤΕΣ

Όπως οι ιοί και τα βακτήρια έτσι και οι μύκητες παίρνουν μέρος στη διαδικασία αποσύνθεσης και ανακύκλωσης της φυτικής και ζωικής ύλης μέσα στο νερό. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, πολύ γνωστό στους ιχθυολόγους, είναι η *Saprolenia*, ένα παράσιτο που βρίσκεται σε αφθονία σε ετοιμοθάνατα ή νεκρά ψάρια. Σολομοί που έχουν ολοκληρώσει τη διαδικασία της γέννησης των αυγών μπορεί πολλές φορές να καλυφθούν σε όλο τους το σώμα από ένα είδος άσπρου κουκουλιού αυτού του μύκητα. Όλοι οι μύκητες έχουν σκληρά εξωτερικά τοιχώματα και είτε είναι *σαπροφυτικοί*, δηλαδή χρησιμοποιούν οργανικά υποστρώματα για την ανάπτυξή τους, είτε είναι *παρασιτικοί*. Το λεπτό στρώμα από βακτήρια και μύκητες το οποίο παρατηρείται σχεδόν σε όλα τα οργανικά υπολείμματα μέσα στο νερό αποτελεί κύρια πηγή τροφής για πολλά ποτάμια και λιμναία ασπόνδυλα. Παρόλο που τα περισσότερα βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιούν την κυτταρίνη των φυτικών υπολειμμάτων, μόνο οι μύκητες και ελάχιστα βακτήρια κατέχουν τα κατάλληλα ένζυμα για τη διάσπαση της λιγνίνης, η οποία είναι το σκελετικό υλικό των φύλλων. Οι μύκητες μπορούν να πέπτουν το μεγαλύτερο μέρος της κυτταρίνης των φυτών αλλά και τους χιτινώδεις σκελετούς των εντόμων. Οι μύκητες αναπτύσσονται ακολουθώντας τα βακτήρια σε μία δεύτερη φάση αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Οι μύκητες κατατάσσονται με βάση τη φυλετική τους δομή και με βάση το σχήμα τους. Στο νερό συναντώνται πιο συχνά οι κατώτερες τάξεις μυκήτων, οι φυκομύκητες, κάποια είδη μαγιάς και οι λεγόμενοι Ατελείς Μύκητες.

4) ΠΡΑΣΙΝΑ ΦΥΤΑ : ΦΥΚΗ & ΜΑΚΡΟΦΥΤΑ

A) ΦΥΚΗ

Σε περιοχές με νερά μικρού βάθους τα ανώτερα υδρόβια φυτά μπορεί να έχουν σημαντική παρουσία, όμως τα φύκη είναι αυτά που κυριαρχούν από την άποψη της πρωτογενούς παραγωγής στα υδάτινα οικοσυστήματα. Τα φύκη συναντώνται ως ελεύθερα πλανώμενοι οργανισμοί μέσα στο νερό, ή βρίσκονται προσκολλημένα. Τα τελευταία κυριαρχούν στις αβαθείς περιοχές λιμνών με καθαρά νερά καθώς και σε

ποτάμια, ενώ τα πρώτα είναι ιδιαίτερα σημαντικά κυρίως σε μεγαλύτερες λίμνες και σε περιοχές με μικρότερη κίνηση νερού. Τα φύκη, τα οποία αποτελούν την πλέον διαφοροποιημένη ομάδα φυτικών οργανισμών, διακρίνονται από τα ανώτερα φυτά περισσότερο από την έλλειψη κάποιων χαρακτηριστικών παρά από αυτά που έχουν. Έτσι, τα φωτοσυνθετικά φύκη στερούνται ριζών, βλαστών και φύλλων. Τα φύκη μπορεί να αποτελούνται μόνο από ένα κύτταρο, να δημιουργούν αποικίες ή να είναι νηματοειδή. Μπορούν να αναπτύσσουν ειδικά αναπαραγωγικά κύτταρα, αλλά η πιο γρήγορη ανάπτυξη επιτυγχάνεται με τη φυλετική αναπαραγωγή.

Η κύρια ταξινόμηση των φυκών βασίζεται στις χρωστικές που αυτά διαθέτουν, στον τρόπο με τον οποίο διατηρούν τα ενεργειακά τους αποθέματα, στη σύνθεση του εξωτερικού τους τοιχώματος, στα όργανα κίνησης που διαθέτουν και στη γενικότερη μορφή και δομή τους. Τα φύκη περιέχουν βασικά δύο κύριους τύπους χρωστικών, τις *χλωροφύλλες* και τα *καροτενοειδή*. Η χλωροφύλλη είναι ένα σύνθετο μόριο που αποτελείται από τέσσερις δακτυλίους C-N οι οποίοι περιβάλλουν ένα άτομο μαγνησίου. Η απώλεια του μεταλλικού ατόμου παράγει την αποικοδομημένη μορφή της φαιοφυτίνης. Τα καροτενοειδή συνίστανται από γραμμικούς ακόρεστους υδατάνθρακες που ονομάζονται *καροτένια*. Το πορτοκαλί χρώμα που έχουν τα καρότα προέρχεται από αυτού του τύπου την χρωστική και από αυτήν έχουν πάρει το όνομά τους. Το κοκκινωπό χρώμα που έχουν κάποια είδη ζωοπλαγκτού, οι πέστροφες ή οι σολομοί προέρχεται επίσης από την διαίτά τους που είναι πλούσια σε καροτένια. Η χλωροφύλλη-α είναι η μοναδική μορφή που μπορεί να μεταφέρει ηλεκτρόνια, ενεργοποιείται από το φως και παράγει χημική ενέργεια με το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης. Όλες οι άλλες χρωστικές, περιλαμβανομένης και της χλωροφύλλης-b και c, των καροτενοειδών, των ξανθοφυλλών και των λιγότερο συνηθισμένων φυτοκυανινών, φυτοερυθρινών και φυτοπουρινών, είναι βοηθητικές χρωστικές. Συγκεντρώνουν το φως από διάφορες περιοχές του ορατού φάσματος στις οποίες η χλωροφύλλη-α δεν έχει την δυνατότητα να απορροφήσει το φως. Με τον τρόπο αυτό οι βοηθητικές χρωστικές μεταφέρουν ηλεκτρόνια στη χλωροφύλλη-α. Έτσι, μπορεί να πραγματοποιείται η ανάπτυξη των φυκών και σε περιοχές με λίγο φως, όπως σε μεγάλα βάθη όπου η μεγαλύτερη ποσότητα του μπλε και του πράσινου φωτός έχει απορροφηθεί από τα μόρια του νερού.

Τα εξωτερικά τοιχώματα των φυκών αποτελούνται από κυτταρίνη και άλλους πολυσακχαρίτες, πυρίτιο, πρωτεΐνες και λιπίδια. Όλα αυτά τα συστατικά συνδυάζονται και καταλαμβάνουν ποικίλα ποσοστά δημιουργώντας έτσι

διαφορετικούς τύπους τοιχωμάτων στους οποίους βασίζεται και η συστηματική τους κατάταξη. Έτσι, μεγάλες ποσότητες πυριτίου δημιουργούν το εξωτερικό περίβλημα των διατόμων. Στα *διάτομα* παρατηρείται μεγάλη ποικιλία διακόσμησης η οποία χρησιμοποιείται επίσης ως συστηματικό γνώρισμα. Αυτοί που ασχολούνται με τη συστηματική των διατόμων έχουν αναγνωρίσει περίπου 10.000 είδη βασιζόμενοι εξολοκλήρου στην περίτεχνη διακόσμηση αυτών των ειδών. Το πυριτικό ίζημα που έχει συσσωρευτεί από την απόθεση μεγάλου αριθμού διατόμων στον πυθμένα λιμνών και θαλασσών κατά το παρελθόν έχει δημιουργήσει τη λεγόμενη *Γη των Διατόμων*, η οποία χρησιμεύει ως υλικό για συσκευές φιλτραρίσματος.

Πολλά πλαγκτονικά φύκη έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης. Η πιο κοινή κολυμβητική συσκευή είναι τα μαστίγια τα οποία χρησιμοποιούνται ως κουπιά ή ως προπέλα (αναλόγως του οργανισμού) για την προώθηση στο νερό. Τα μεγάλου μεγέθους *δινομαστιγωτά*, όπως τα *Ceratium* και *Peridinium*, έχουν τη δυνατότητα να μεταναστεύουν στον κατακόρυφο άξονα μέσα στο νερό ανταποκρινόμενα σε αλλαγές φωτεινότητας. Αντίθετα, τα περισσότερα μαστιγοφόρα (π.χ. το μικρού μεγέθους χρυσοφύκος *Mallomonas* ή *Euglena*, μοιάζει να εκτελεί τυχαίες μετακινήσεις. Άλλα πλαγκτονικά φύκη μπορεί να διαθέτουν κυστίδια τα οποία γεμίζουν περιοδικά με αέρα γεγονός που μεταβάλλει την πλευστότητά τους και τους επιτρέπει κατακόρυφες μετακινήσεις μέσα στο νερό.

Φύκη τα οποία ζουν μέσα στο νερό προσκολλημένα σε βράχους, φυτά ή άλλα υποστρώματα σε λίμνες ή σε ποτάμια αποκαλούνται συχνά περίφυτο ή αλλιώς προσκολλημένα φύκη. Αυτά είναι συνήθως πράσινα ή μπλε-πράσινα φύκη ή διάτομα. Μεταξύ των προσκολλημένων διατόμων υπάρχουν κυρίως μονοκύτταρα Πεννιοειδή και ελάχιστα είδη Κεντρικών διατόμων. Το καφετί χρώμα των βράχων σε ποτάμια ή λίμνες οφείλεται σε ένα στρώμα τέτοιων διατόμων, ενώ το πράσινο γλιστερό στρώμα πάνω στα βράχια οφείλεται σε πράσινα ή μπλε-πράσινα φύκη. Τέτοια φύκη αναπτύσσονται συνήθως σε σκιερά μέρη ενώ σε περιοχές όπου δέχονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα το φως του ήλιου αναπτύσσονται η υδρόβια βλάστηση του γένους *Cladophora*. Αυτό το νηματοειδές γένος βρίσκεται μεταξύ φυκών και ανώτερων φυτών (μακρόφυτα) και μπορεί να χαρακτηριστεί ως *μεσόφυτο*.

B) ΜΑΚΡΟΦΥΤΑ

Τα υδρόβια μακρόφυτα είναι μεγάλου μεγέθους φυτά τα οποία αφθονούν σε υγρότοπους, σε ρηχές λίμνες και σε ποτάμια. Τα περισσότερα υδρόβια μακρόφυτα

είναι ανθοφορούντα φυτά (Αγγειόσπερμα), όμως οι υδρόβιες φτέρες, τα βρύα ή και τα μεγάλοι μεγέθους φύκη της ομάδας των Χαροφυκών μπορεί να αφθονούν σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Τα μακρόφυτα κατατάσσονται με βάση το περιβάλλον στο οποίο απαντώνται. Η κυριότερη διαίρεση γίνεται μεταξύ αυτών που προσκολλούνται με ρίζες σε ένα σταθερό υπόστρωμα. Η παρουσία ελεύθερα μετακινούμενων και προσκολλημένων μακροφύτων είναι συχνή σε λίμνες, ποταμούς, έλη και εκβολές (δέλτα). Σε μακρόφυτα που διαθέτουν ρίζες το βλαστικό και το αναπαραγωγικό σύστημα μπορεί να βρίσκονται, μερικώς ή εξολοκλήρου, επάνω ή μέσα στο νερό. Πολλά είδη διαθέτουν φύλλα ή άνθη τα οποία προβάλλουν πάνω από το νερό για μικρά χρονικά διαστήματα. Είδη με ρίζες έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι σε θέση να παίρνουν θρεπτικά συστατικά τόσο από το βυθό, όσο και απευθείας από το νερό. Έτσι, μπορούν να παίρνουν φώσφορο από το υπόστρωμα τον οποίο έπειτα επιστρέφουν στο περιβάλλον νερό μέσω της διαδικασίας της έκκρισης ή με την αποσύνθεση. Τα επιφυτικά φύκη είναι αυτά που ωφελούνται περισσότερο από αυτή τη διαδικασία καθώς βρίσκονται σε άμεση επαφή με τις επιφάνειες των φυτών. Μακρόφυτα που διαθέτουν ριζικό σύστημα δεν χρησιμοποιούν πάντα τις ρίζες τους για την προμήθεια των θρεπτικών. Ο ρόλος των ριζών σε τέτοιες περιπτώσεις είναι να στηρίζουν και να συγκρατούν το φυτό ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου αυτό βρίσκεται σε νερά που κινούνται με ταχύτητα (π.χ. ποτάμια, ρυάκια, κ.τ.λ.).

Στην περίπτωση των μακροφύτων είναι πολύ χαρακτηριστικό το πρότυπο διαδοχής ειδών, ή αλλιώς ζώνωσης, που παρατηρείται καθώς μετακινούμαστε από την ξηρά προς σταδιακά βαθύτερα νερά. Ένα ή δύο είδη απαντώνται σε κάθε βάθος, παρόλο το ότι η ποικιλία στους τύπους των υποστρωμάτων μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τη διακοπή της κανονικότητας μιας τέτοιας κατανομής. Τα μακρόφυτα είναι δυνατό να καλύψουν ολόκληρη την επιφάνεια μιας λίμνης εκεί όπου τα νερά είναι ρηχά και διαφανή. Ακόμη και σε βαθιές λίμνες μπορεί τα νερά να είναι πολύ διαυγή έτσι ώστε το φως να μπορεί να φτάνει μέχρι τον πυθμένα, οπότε συναντώνται εξίσου μακρόφυτα σε τέτοιες περιοχές. Όλα τα υδρόβια αγγειόσπερμα περιορίζονται σε ρηχά νερά, ενώ η αδυναμία να αναπτύσσονται σε βάθη μεγαλύτερα των 10 μέτρων φαίνεται ότι οφείλεται στην υψηλή υδροστατική πίεση. Τα αγγειόσπερμα επίσης δεν απαντώνται σε περιοχές με χαμηλή ένταση φωτισμού. Τη θέση τους εκεί παίρνουν κατώτερα φυτά που βρίσκονται μέσα στο νερό. Αυτά τα είδη φαίνεται ότι έχουν προσαρμοστεί στις συνθήκες όπου επικρατεί το μπλε και πράσινο φως, όπως συμβαίνει στα βαθιά νερά.

Υπάρχουν σχετικά λίγα είδη από πελαγικά ή επιπλέοντα μακρόφυτα και αυτό πιθανότατα επειδή αυτά απαιτούν νερά πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, ενώ επίσης παρασύρονται από τον άνεμο και ξεβράζονται στις όχθες των λιμνών οι οποίες είναι εκτεθειμένες σε τέτοιες καιρικές συνθήκες. Κάποια είδη από επιπλέουσες φτέρες του γένους *Salvinia* και αγγειόσπερμα είδη, όπως το *Eichornia crassipes* και το υδρόβιο μαρούλι *Pistia stratiotes*, μπορούν να καλύψουν ολόκληρη την επιφάνεια ακόμα και μεγάλων υδάτινων όγκων προκαλώντας προβλήματα στη διαχείριση του νερού αλλά και στη δημόσια υγεία. Σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές πολύ μικρότερου μεγέθους επιπλέοντα μακρόφυτα, όπως αυτά του γένους *Lemna* και φτέρες του γένους *Azolla*, μπορούν να καλύψουν τις αβαθείς και προστατευόμενες από τον άνεμο περιοχές λιμνών, ελών και αρδευτικών καναλιών. Τα μακρόφυτα του γένους *Azolla* περιέχουν το συμβιωτικό νιτροποιητικό φύκος *Anabaena azollae* το οποίο αυξάνει τη θρεπτική αξία αυτών των φυτών σαν τροφή για την κτηνοτροφία (κυρίως για βοοειδή) και σαν λίπασμα για ορυζώνες. Οι αιωρούμενες ρίζες των φυτών του γένους *Lemna* μπορεί να καλύπτονται επίσης από τέτοιου τύπου νιτροποιητικά βακτήρια. Τα γένη *Lemna* και *Azolla* διακρίνονται έχοντας χρώμα κιτρινοπράσινο ή και κοκκινωπό (*Azolla*) σε προχωρημένη ανάπτυξη.

Τα περισσότερα υδρόβια μακρόφυτα χρησιμεύουν ως τροφή σε πολλούς οργανισμούς αλλά και στην κτηνοτροφία. Ωστόσο, οι σπόροι από πολλά είδη Αγγειοσπέρμων είναι σημαντική τροφή για πολλά είδη πουλιών, ενώ τα φυσικά καταφύγια που δημιουργούνται σε αυτού του τύπου τη βλάστηση είναι ιδιαίτερα κρίσιμα για πολλά ασπόνδυλα και για τα αυγά πολλών ψαριών. Κάποια μακρόφυτα έχουν το χαρακτηριστικό της γρήγορης αποικοδόμησης μετά το θάνατό τους και συμβάλλουν έτσι με αυτό τον τρόπο στην αύξηση του οργανικού φορτίου στα υδάτινα οικοσυστήματα. Για παράδειγμα, το 80% του αζώτου στα φύλλα και τους βλαστούς των νεροκάρδαμων επιστρέφει στο νερό τρεις εβδομάδες μετά το θάνατο των φυτών τον Αύγουστο. Σε όλο τον κόσμο μακρόφυτα με ρίζες χρησιμοποιούνται στην ενίσχυση ιχθυοκαλλιεργειών, ή στον έλεγχο της στάθμης του νερού δημιουργώντας φυσικά φράγματα και αυξάνοντας έτσι τη στάθμη του νερού σε ποτάμια και περιοχές τρεχούμενων υδάτων. Έτσι, τα μακρόφυτα συμβάλλουν στην εξάπλωση του νερού πάνω στην ξηρά και την ενίσχυση της γονιμότητας του εδάφους, ενώ παρέχουν νέες περιοχές για την αποίκιση σε ψάρια και αμφίβια. Όμως, η αύξηση της εξατμισοδιαπνοής που προκαλείται σε μεγάλες εκτάσεις μακροφύτων μπορεί να συντελέσει στην απώλεια του νερού και γενικότερα στη μεταβολή του ισοζυγίου του.

5) ΠΡΩΤΟΖΩΑ

Πρόκειται για μονοκύτταρους οργανισμούς με μέγεθος που κυμαίνεται από μερικά μικρόμετρα έως και 5 χιλιοστά. Πρωτόζωα συναντώνται σχεδόν σε όλα τα υδάτινα περιβάλλοντα και τείνουν να είναι οι αφθονότεροι οργανισμοί σε νερά όπου υπάρχουν επίσης σε αφθονία οργανικό υλικό, βακτήρια ή φύκη. Τα πρωτόζωα μπορούν να κινούνται με αμοιβαδοειδείς κινήσεις ή μπορεί να κινούνται με τη βοήθεια μαστιγίων ή βλεφαρίδων, η, δε, συστηματική τους κατάταξη βασίζεται στους τρόπους κίνησής τους. Η μελέτη της οικολογίας των πρωτοζώων έχει παραμεληθεί εξαιτίας του ότι οι περισσότεροι από αυτούς τους οργανισμούς έχουν μαλακό σώμα και είναι δύσκολη η διατήρησή τους. Εξαιρέση αποτελούν κάποιες αλμυρές λίμνες και θαλάσσιες περιοχές όπου ο βυθός αποτελείται από τα ασβεστώδη ή πυριτικά υπολείμματα σκελετών που ανήκαν σε Ακτινόζωα ή Τρηματοφόρα. Το πολύ γνωστό μας γένος βλεφαριδοφόρων *Paramecium* είναι κοινό στις λίμνες. Κάποια είδη από αυτό το γένος μπορεί να περιέχουν ζωντανά κελύφη του πράσινου φύκου *Chlorella*, τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι για το μεταβολισμό αυτού του οργανισμού. Το γένος *Vorticella*, το οποίο είναι ένα προσκολλούμενο βλεφαριδοφόρο, είναι ίσως το πιο κοινό πρωτόζωο που συναντά κανείς σε λίμνες και ποτάμια.

Τα πρωτόζωα τρέφονται με υπολείμματα νεκρής οργανικής ύλης, ενώ επίσης κάποια είδη καταναλώνουν και ζωντανούς οργανισμούς, όπως βακτήρια, μύκητες, φύκη ή και άλλα πρωτόζωα. Κάποια από τα πρωτόζωα είναι αποκλειστικά παράσιτα. Παραδείγματα αποτελούν το βλεφαριδοφόρο *Ichthyophthirius*, το οποίο προσβάλλει τα ψάρια του γλυκού νερού, το γένος *Vampyrella*, το οποίο τρέφεται με φύκη και το *Plasmodium*, το οποίο προκαλεί στον άνθρωπο την ελονοσία. Μερικά μαστιγοφόρα πρωτόζωα, όπως τα γένη *Ceratium* και *Peridinium*, μπορούν να φωτοσυνθέτουν και μερικές φορές κατατάσσονται στα φύκη. Πρωτόζωα τα οποία παρασιτούν στο φυτοπλαγκτό των γλυκών νερών μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στη σύνθεση των φυκών που το αποτελούν. Επίσης, επίδραση πρωτοζώων μπορεί να επηρεάσει τη σύνθεση στις βιοκοινωνίες του ζωοπλαγκτού αλλά και των ψαριών σε λίμνες ή ποτάμια. Σε άλλες περιπτώσεις προκαλούν απλώς μερική εξασθένηση στους πληθυσμούς προσβάλλοντας μεμονωμένα άτομα

6) ΤΡΟΧΟΖΩΑ (ROTIFERS)

Τα τροχόζωα (ή rotifers) είναι οργανισμοί μικρού μεγέθους, το μέγεθός τους μπορεί να φτάνει αυτό ενός βλεφαριδοφόρου πρωτόζωου, και συναντώνται σε ποικίλα υδάτινα περιβάλλοντα. Πολλά είναι γνωστά γύρω από τη βιολογία αυτών των οργανισμών εξαιτίας της χρησιμότητάς τους στις ιχθυοκαλλιέργειες, όμως δεν είναι γνωστά πολλά πράγματα για το ρόλο τους στα υδάτινα οικοσυστήματα. Υπάρχουν πάνω από 1800 είδη rotifers, πολλά από τα οποία είναι κοσμοπολίτικα και τα περισσότερα συναντώνται στα γλυκά νερά σε όλο τον κόσμο. Πολλά είδη είναι ζωοπλαγκτονικά και συμμετέχουν σε μεγάλα ποσοστά στο συνολικό ζωοπλαγκτό στις λίμνες, ενώ κυριαρχούν σε αυτό στα ποτάμια.

Τα περισσότερα rotifers φέρουν μία βλεφαριδοφόρο κορώνα στο εμπρόσθιο άκρο τους, η οποία χρησιμεύει τόσο για την κίνηση, όσο και για τη σύλληψη και συλλογή αιωρούμενων σωματιδίων μέσα στο νερό. Η τροφή συλλαμβάνεται και τεμαχίζεται από σκληρούς σχηματισμούς στην περιοχή του στοματικού ανοίγματος. Κάποια rotifers, όπως αυτά που ανήκουν στα *Asplanchna*, είναι ολοπλαγκτονικά, τα περισσότερα όμως βρίσκονται προσκολλημένα σε σταθερά υποστρώματα με το ένα άκρο τους και έρπουν με κινήσεις που θυμίζουν βδέλλα. Το εξωτερικό τμήμα του σώματος προστατεύεται από έναν ιστό ο οποίος μπορεί να παχυνθεί σχηματίζοντας ένα ανθεκτικό περίβλημα που ονομάζεται θώρακας.

7) ΚΑΡΚΙΝΟΕΙΔΗ

Οι περισσότεροι μεγαλόσωμοι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί ανήκουν στην τάξη καρκινοειδή, η οποία συμπεριλαμβάνει επίσης βενθικά είδη, όπως γαρίδες, караβίδες, καβούρια και αστακούς που συναντώνται σε πολλές λιμνοθάλασσες, λίμνες και ποταμούς. Εξαιτίας της αφθονίας τους, του μεγέθους και της εύκολης συλλογής και διατήρησης, δύο μεγάλες ομάδες καρκινοειδών, τα *κλαδοκεραιωτά* και τα *κωπήποδα*, έχουν μελετηθεί εκτεταμένα από τους λιμνολόγους.

Τα καρκινοειδή είναι η κύρια ομοταξία της συνομοταξίας των Αρθροπόδων (που είναι οι πολυπληθέστεροι οργανισμοί του πλανήτη μας). Το σώμα σε όλα τα καρκινοειδή περιβάλλεται από ένα προστατευτικό εξωσκελετό από χιτίνη. Ο εξωσκελετός αυτός μπορεί να σκληρύνεται με αποθέσεις ανθρακικού ασβεστίου ή με μία διαδικασία που μοιάζει με την κατεργασία του δέρματος στα βυρσοδεψεία.

Η συστηματική κατάταξη των καρκινοειδών βασίζεται στο σχήμα του εξωσκελετού καθώς και στον αριθμό των τμημάτων του σώματος και των εξαρτημάτων (Πίνακας 1). Μία μεγάλη υδρόβια ομάδα τέτοιων οργανισμών αποτελούν τα ηθμοφάγα κλαδοκεραιωτά, από τα οποία το γένος *Daphnia* (ή νερόψυλλος), είναι το ποιο αντιπροσωπευτικό. Ένα άλλο πολύ κοινό κλαδοκεραιωτό είναι το γένος *Bosmina*, το οποίο συνήθως συνυπάρχει με το *Daphnia*. Η άλλη μεγάλη ομάδα καρκινοειδών, τα κωπήποδα, διαχωρίζεται στα *καλανοειδή* (κυρίως ηθμοφάγα) και στα *κυκλοποειδή* (ηθμοφάγα, σαρκοφάγα και παρασιτικά είδη). Τα κλαδοκεραιωτά και τα κωπήποδα μαζί με τα rotifers και τα πρωτόζωα είναι οι αφθονότεροι οργανισμοί στο ζωοπλαγκτό των γλυκών υδάτων.

Πίνακας 1. Κατάταξη των καρκινοειδών που συναντώνται συνήθως στα εσωτερικά ύδατα.

	Συστηματική ομάδα	Σύνηθες περιβάλλον διαβίωσης	Μέθοδος διατροφής	Παραδείγματα
1.	ΚΛΑΔΟΚΕΡΑΙΩΤΑ (νερόψυλλοι)	γλ.ν., π γλ.ν., π, β γλ.ν., π γλ.ν., π, β γλ.ν., π γλ.ν., αλ.ν., π	θήρευση ηθμοφαγία ηθμοφαγία ηθμοφαγία ηθμοφαγία θήρευση	<i>Leptodora</i> <i>Sida</i> <i>Daphnia</i> <i>Chydorus</i> <i>Bosmina</i> <i>Polyphemus</i>
2.	ΚΩΠΗΠΟΔΑ Αρπακτικοειδή	γλ.ν., αλ.ν., β	ηθμοφαγία και παρασιτισμός	<i>Nitocra</i>
	Κυκλοποειδή	γλ.ν., αλ.ν., β, π	παρασιτισμός σε ζωικά είδη	<i>Cyclops</i> <i>Megacyclops</i>
	Καλανοειδή	γλ.ν., αλ.ν., π	παρασιτισμός σε φυτικά είδη ηθμοφαγία***	<i>Thermocyclops</i> <i>Eucyclops</i> <i>Limnocalanus</i> <i>Boeckella</i> <i>Diatomus</i>
3.	ΜΥΣΙΔΩΔΗ	γλ.ν., π	θήρευση και σαπροφαγία	<i>Mysis</i>
4.	ΑΜΦΙΠΟΔΑ	αλ.ν., γλ.ν., β	παρασιτισμός και παμφαγία	<i>Gammarus</i>
5.	ΔΕΚΑΠΟΔΑ	αλ.ν., γλ.ν., β	παρασιτισμός και παμφαγία	<i>Astacus</i> <i>Pacifastacus</i> <i>Cancer</i>

* π = πλαγκτονικό, β = βενθικό ή προσκολλημένο, γλ.ν. = γλυκού νερού, αλ.ν. = αλμυρού νερού

*** (μόνο τα τελευταία στάδια ανάπτυξης)

8) ΥΔΡΟΒΙΑ ΕΝΤΟΜΑ

Τα έντομα, που αποτελούν μία ακόμη ομοταξία των Αρθροπόδων, είναι οι οργανισμοί με τη μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα πάνω στον πλανήτη, έχοντας κατακλύσει όλες τις χερσαίες περιοχές εκτός από το θαλάσσιο περιβάλλον. Σε ποτάμια ή τρεχούμενα νερά τα έντομα και οι προνύμφες τους κυριαρχούν στο τροφικό πλέγμα και βρίσκονται ανάμεσα από τους πρωτογενείς παραγωγούς και τα ψάρια. Μια δειγματοληψία σε κάποιο ποτάμι ή ρυάκι θα έχει σαν αποτέλεσμα τη συλλογή αρκετών εκατοντάδων προνυμφών εντόμων ανά 1000 cm² που ανήκουν σε μερικές δεκάδες υδρόβιων ειδών. Τα ενήλικα άτομα αυτής της κατηγορίας εντόμων έχουν συνήθως μικρό χρόνο ζωής σε σύγκριση με ιπτάμενα είδη. Οι υδρόβιες προνύμφες τρέφονται συνήθως με τα οργανικά υπολείμματα που παρασύρονται από το νερό, ή είναι φυτοφάγες ή σαπροφάγες, ενώ υπάρχουν και αρκετά είδη σαρκοφάγων προνυμφών. Οι περισσότερες από αυτές διαθέτουν αγκάθια ή γάντζους για να μην παρασύρονται από το νερό. Το σαρκοφάγο γένος *Chaoborus*, μαζί με τη διαφανή προνύμφη του, είναι ο κύριος αντιπρόσωπος των πλαγκτονικών εντόμων.

Συνήθως σε τρεχούμενα νερά συναντώνται αντιπρόσωποι των τάξεων Εφημερόπτερα, Πλεκόπτερα, Τριχόπτερα και τα γνωστά μας “ελικοπτεράκια” Οδονάτα. Τα έντομα αποτελούν σημαντικό μέρος του βένθους στα ποτάμια και τις λίμνες, ενώ η εκκόλαψη των προνυμφών είναι ένα σημαντικό γεγονός για τη ζωή σε ένα ποτάμι, καθώς αποτελούν σημαντική τροφή για πολλά είδη ψαριών μεταξύ των οποίων και η πέστροφα.

Παρόλα αυτά, πολλά είδη εντόμων όπως τα γιγάντια *Belostomatidae*, είναι ικανά να συλλαμβάνουν και να τρέφονται τα ίδια με μικρά ψάρια. Μεταξύ των βενθικών εντόμων στις λίμνες, οι προνύμφες της οικογένειας *Chironomidae* είναι τα πιο άφθονα έντομα σε όλο τον κόσμο, ενώ, εξαιτίας της μεγάλης αντοχής τους σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου, μπορούν ακόμη να βρεθούν και στο ανοξικό στρώμα του υπολιμνίου κάποιων ευτροφικών λιμνών. Στις αρκτικές περιοχές, τεράστιοι αριθμοί προνυμφών μυγών της οικογένειας *Simuliidae* καταλαμβάνουν την επιφάνεια των βράχων σε ρυάκια και ποτάμια μαζί με μεγάλους αριθμούς ενηλίκων ατόμων αλλά και κουνουπιών. Σε τρεχούμενα νερά που βρίσκονται σε τροπικές περιοχές, ένα είδος μυγών είναι ο φορέας μιας σοβαρής ασθένειας που προκαλεί τύφλωση. Εξάλλου, ο έλεγχος των προνυμφών των μυγών παραμένει από τα μεγαλύτερα προβλήματα σε πολλές περιοχές της Αφρικής.

9) ΜΑΛΑΚΙΑ & ΣΚΩΛΗΚΕΣ

Οι κυριότεροι αντιπρόσωποι αυτής της κατηγορίας που συναντώνται στα γλυκά νερά είναι οι νηματώδεις, οι ολιγόχαιτοι, οι βδέλλες και οι Πλατυέλμινθες σκώληκες, καθώς και τα ελασματοβράγχια (δίθυρα) και τα γαστερόποδα μαλάκια. Οι περισσότεροι από αυτούς τους οργανισμούς, όπως και τα υδρόβια έντομα, μετατρέπουν τη νεκρή οργανική ύλη και τη φυτική βιομάζα σε τροφή για τους εαυτούς τους και για τα ψάρια. Μερικά, όπως για παράδειγμα οι βδέλλες, είναι ενεργοί θηρευτές μεγάλων οργανισμών ή ψαριών, ενώ οι νηματώδεις σκώληκες παρασιτούν σαν εσωτερικά παράσιτα σε πολλούς υδρόβιους οργανισμούς. Ένα δείγμα λάσπης από το βυθό ή την παραλίμνια περιοχή μπορεί να περιέχει εκατοντάδες σκώληκες, οι περισσότεροι από τους οποίους θα είναι μικρού μεγέθους και δύσκολα θα ξεχωρίζουν. Παρόλη την αφθονία τους όμως, ο οικολογικός τους ρόλος δεν έχει πλήρως αποσαφηνιστεί.

Μεγάλου μεγέθους μαλάκια, όπως τα μύδια για παράδειγμα, είναι επιρρεπή στη συσσώρευση ρύπων εξαιτίας του τρόπου διατροφής τους, που βασίζεται στο φιλτράρισμα μεγάλων ποσοτήτων νερού. Για το λόγο αυτό τέτοιοι οργανισμοί δεν βρίσκονται σε ρυπασμένες λίμνες ή ποτάμια. Ο μεγάλος αριθμός σαλιγκαριών (γαστερόποδα μαλάκια) που συναντάται κατά μήκος της παραλίμνιας βλάστησης σε κάθε λίμνη ή ποτάμι, μπορεί να αποδεκατίσει μεγάλους αριθμούς από προσκολλημένα φύκη με τον ίδιο τρόπο που συμβαίνει στην περίπτωση των υδρόβιων προνυμφών των εντόμων. Τα γαστερόποδα γίνονται οι ξενιστές για παρασιτικούς σχιστόσωμους, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση διαφόρων τροπικών νόσων. Λιμναίες εκτάσεις που καλύπτονται από μακρόφυτα είναι ευνοϊκοί βιότοποι για την ανάπτυξη των γαστεροπόδων, τα οποία αποτελούν σημαντικό διαχειριστικό πρόβλημα στις τροπικές περιοχές.

10) ΨΑΡΙΑ

Η ομοταξία των ιχθύων διαχωρίζεται συστηματικά στους Κυκλόστομους, στους Χονδριχθύες και στους Οστεϊχθύες. Στα ποτάμια και τις λίμνες υπάρχουν αντιπρόσωποι από τους κυκλόστομους ιχθύες που ανήκουν στις οικογένειες *Petromyzontidae* και *Myxini*, ενώ ελάχιστα είδη χονδριχθύων συναντώνται στα γλυκά νερά. Οι κυριότεροι αντιπρόσωποι των ψαριών σε λίμνες και ποτάμια ανήκουν στους οστεϊχθύες. Τα περισσότερα είδη αυτής της κατηγορίας φέρουν αεροφόρους

θαλάμους οι οποίοι τους επιτρέπουν να έχουν μικρό ειδικό βάρος μέσα στο γλυκό νερό και να μην καταναλώνουν πολύ ενέργεια για την επίπλευσή τους. Οι οξύρρυγχοι (μουρούνα) είναι πρωτόγονα ψάρια τα οποία μπορούν να ζουν τόσο στο θαλασσίνο, όσο και στο γλυκό νερό και έχουν υψηλή αξία λόγω του ότι παράγουν το χαβιάρι. Αυτό το είδος απειλείται από τη ρύπανση στη θάλασσα, αλλά και από την ανάπτυξη φραγμάτων στα ποτάμια που εμποδίζουν τη μετανάστευσή του προς τις πηγές. Επίσης, η υπερβολική αλιεία αυτού του ψαριού είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση των πληθυσμών του στις μεγάλες λίμνες των ΗΠΑ, αλλά και στην Ευρώπη όπου είναι η πηγή του περίφημου χαβιαριού *beluga*. Το συγγενές γένος *Polyodon*, ήταν κάποτε άφθονο στον ποταμό Μισισσιπή αποτελεί ένα από τα σημαντικά εμπορικά είδη της κεντρικής περιοχής των ΗΠΑ.

Άλλοι αντιπρόσωποι των οστεϊχθών είναι είδη που ανήκουν στην οικογένεια *Clupeidae*, όπου ανήκει και η ρέγγα. Επίσης, πολύ γνωστοί είναι οι αντιπρόσωποι της οικογένειας *Salmonidae*, όπου ανήκει η πέστροφα και ο σολομός, ψάρια με ιδιαίτερα μεγάλη οικονομική σημασία. Ο κοινά επονομαζόμενος λούτσος (*Esocidae*) και η πέρκα (*Percidae*), αποτελούν ψάρια που έχουν μεγάλη εξάπλωση σε λίμνες και ποτάμια εύκρατων και υποπολικών περιοχών. Τα ψάρια αυτά είναι σημαντικά από οικονομικής και διατροφικής άποψης, ενώ αποτελούν σημαντικούς θηρευτές στα λιμναία οικοσυστήματα. Η οικογένεια *Cyprinidae* έχει πολλούς αντιπροσώπους σε όλη την Ευρώπη, στη Βόρεια Αμερική και στην Ασία και κυριαρχεί στα γλυκά ύδατα της Κίνας. Η οικογένεια αυτή περιλαμβάνει γνωστά ψάρια, όπως ο κυπρίνος, ο οποίος έχει ασιατική προέλευση, και αποτελεί ένα είδος που έχει χρησιμοποιηθεί πολύ σε ιχθυοκαλλιέργειες, ενώ αποτελεί σημαντική τροφή σε πολλές χώρες. Η ικανότητα του κυπρίνου να μπορεί να επιβιώνει σε μη ευνοϊκό περιβάλλον τον καθιστά ένα από τα λίγα είδη που επιβιώνουν σε μολυσμένα περιβάλλοντα. Οι χάνοι του γλυκού νερού (*Catostomatidae*), είναι στενοί συγγενείς του κυπρίνου και συναντώνται σε όλη τη Β. Αμερική, και, παρότι έχουν πολλά κόκαλα, θεωρούνται εξαιρετικός μεζές. Η οικογένεια *Centrarchidae*, είναι από τις πλέον επιτυχημένες όσον αφορά στην αντιπροσώπευση με είδη. Μαζί με τα *Percidae* αποτελούν ψάρια που προσελκύουν τους ερασιτέχνες ψαράδες, μερικά είδη όμως αυξάνουν σε υπερβολικούς αριθμούς ιδιαίτερα σε τεχνητές λίμνες. Μία παρόμοια οικογένεια, τα *Cichlidae*, η οποία περιλαμβάνει πολλά είδη από τιλάπιες, αφθονεί και αποτελεί σημαντική πηγή τροφής στην Αφρική, τη νότια και κεντρική Αμερική και την Ινδία.

Ο σολομός είναι από την κατηγορία εκείνη των ψαριών τα οποία μεγαλώνουν μέχρι το ενήλικο στάδιο στη θάλασσα και μεταναστεύουν για να γεννήσουν σε γλυκά νερά. Τα ψάρια αυτά ονομάζονται *κατάδρομοι ιχθύς*. Με την μετανάστευση των ενηλίκων σολομών στα ποτάμια όπου θα γεννήσουν και έπειτα θα πεθάνουν, πραγματοποιείται μία μεταφορά βιομάζας από τη θάλασσα προς τα ποτάμια και τις λίμνες, με αποτέλεσμα αυτά να εμπλουτίζονται με τα οργανικά υπολείμματα της αποσύνθεσης των νεκρών ψαριών. Ψάρια τα οποία ζουν σε γλυκά νερά αλλά για την αναπαραγωγή τους πρέπει να μεταναστεύουν στη θάλασσα, ανήκουν στους *ανάδρομους ιχθύς*. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα χέλια (*Anguillidae*) τα οποία επιστρέφουν από τις λίμνες και τα ποτάμια της Ευρώπης και της βόρειας Αμερικής στον Κόλπο του Μεξικού για να γεννήσουν. Μετά την εκκόλαψη οι νεαρές προνύμφες τους μεταφέρονται και με τη βοήθεια του Ρεύματος του Κόλπου (ή Gulf Stream) στις ακτές της Β. Αμερικής και της Ευρώπης, από όπου ανεβαίνουν στα ποτάμια σαν γυαλόχελα για να μεγαλώσουν στα γλυκά νερά.

Αφού τόσο οι ανάδρομοι όσο και οι κατάδρομοι ιχθύς πρέπει να μετακινούνται μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού, θα πρέπει να είναι κατάλληλα εξοπλισμένοι μεταβολικά για να ρυθμίζουν το ισοζύγιο αλάτων στο σώμα τους, να πραγματοποιούν δηλαδή τη διαδικασία της *ωσμορύθμισης*. Όταν ένα ψάρι του γλυκού νερού μπαίνει σε θαλασσινό νερό πρέπει να έχει τη δυνατότητα να περιορίσει την είσοδο αλάτων ώστε να παραμείνει *υποτονικό* σε σχέση με το περιβάλλον του, ενώ το αντίθετο πρέπει να γίνει με ένα ψάρι της θάλασσας που εισέρχεται σε γλυκό νερό: αυτό θα πρέπει να διατηρήσει στα υγρά του σώματός του τα άλατα ώστε να παραμείνει *υπερτονικό* σε σχέση με το νέο περιβάλλον του. Εκτός από τους καρχαρίες και τα συγγενικά τους είδη, τα οποία διατηρούν υψηλές συγκεντρώσεις ουρίας στο αίμα τους, οι υπόλοιποι οστεϊχθύες ρυθμίζουν την εισροή και την αποβολή της περίσσειας άλατος με τα βράγχια και τους νεφρούς τους, ενώ σε κάποια θαλάσσια είδη πραγματοποιείται απώλεια άλατος με τα κόπρανα.

11) ΑΜΦΙΒΙΑ, ΕΡΠΕΤΑ, ΠΤΗΝΑ & ΘΗΛΑΣΤΙΚΑ

Τα αμφίβια απαιτούν την παρουσία νερού για τα νεαρά στάδια της ζωής τους και για το λόγο αυτό είναι αναπόσπαστα δεμένα με το υγρό στοιχείο. Ακόμη και οι χερσόβιες σαλαμάνδρες, οι οποίες ζουν σε περιβάλλοντα αυξημένης υγρασίας κάτω από πεσμένα ξύλα ή φύλλα, θα πρέπει να γυρίσουν στο υδάτινο στοιχείο για την

αναπαραγωγή τους. Οι βάτραχοι και οι σαλαμάνδρες διαβιούν στην περιοχή που βρίσκεται στα όρια μεταξύ νερού και ξηράς και τα νεαρά τους στάδια περνούν τη ζωή τους κάτω από την επιφάνεια του νερού.

Τα ερπετά είναι σε θέση να εγκαταλείπουν το υγρό στοιχείο, αφού τα αμνιωτικά αυγά τους δεν χρειάζονται το εξωτερικό νερό, ενώ το αδιαπέραστο δέρμα τους μπορεί να διατηρεί τα σωματικά υγρά σε χερσαία περιβάλλοντα ή ακόμη και σε συνθήκες ερήμου. Παρόλα αυτά, πολλά ερπετά παραμένουν στενά συνδεδεμένα με το νερό. Στην κεντρική Αμερική, μία μικρού μεγέθους σαύρα, είναι σε θέση να περπατάει τρέχοντας με μεγάλη ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια του νερού. Μικρού μεγέθους φίδια είναι οι πιο κοινοί θηρευτές ψαριών και αμφιβίων σε λίμνες ή στάσιμα νερά. Φίδια του γένους *Natrix*, τα οποία απαντούν σε αφθονία στην Ευρώπη και στην Αμερική, είναι από τους πλέον κοινούς κατοίκους λιμνών και ποταμών. Μεταξύ των πιο εντυπωσιακών παραδειγμάτων υδρόβιων ερπετών, είναι και τα γιγάντια φίδια *Anaconda*, που ζουν στον Αμαζόνιο. Επίσης, από τους πλέον σημαντικούς θηρευτές σε λίμνες και ποτάμια στην τροπική ζώνη, είναι οι κροκόδειλοι και οι αλιγάτορες. Παρότι τρέφονται κυρίως με ψάρια, τα ερπετά αυτά συχνά επιτίθενται και σε μικρά θηλαστικά ή ακόμη και στον άνθρωπο. Κατά μία έννοια, οι κροκόδειλοι αποτελούν για το λιμναίο οικοσύστημα ότι αποτελούν οι καρχαρίες για το θαλάσσιο. Παρόλη όμως την ισχύ και την αίγλη τους οι κροκόδειλοι αποτελούν ένα από τα είδη που κινδυνεύουν και οι πληθυσμοί τους έχουν υποστεί σημαντικές απώλειες για τον επιπρόσθετο λόγο της οικονομικής τους αξίας.

Οι υγρότοποι αποτελούν παραδοσιακούς τόπους αναπαραγωγής και διατροφής πολλών ειδών υδρόβιων πτηνών. Τα υδρόβια πουλιά έχουν αναπτύξει πολλούς και ποικίλους τρόπους διατροφής δεδομένου ότι τρέφονται από κάθε τροφικό επίπεδο ενός υδάτινου τροφικού πλέγματος. Υδρόβια πουλιά όπως οι πελεκάνοι και οι πελαργοί συλλαμβάνουν την τροφή τους (υδρόβια βλάστηση, ψάρια ή αμφίβια) καθώς περπατούν στα ρηχά νερά μιας υδάτινης έκτασης, ενώ ψαρευτοί, γεράκια και διάφορα είδη γλάρων κυνηγούν ψάρια τα οποία ανεβαίνουν σε πιο επιφανειακά νερά. Επίσης, πολλά είδη πουλιών τρέφονται με υδρόβια φυτά ή με γαστερόποδα και καρκινοειδή που υπάρχουν στο λασπώδη βυθό λιμνών και γενικά στάσιμων υδάτων.

Τα θηλαστικά είναι οργανισμοί που συνήθως συνδέονται με το χερσαίο περιβάλλον. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλοί αντιπρόσωποι αυτής της ομάδας που έχουν στενή σχέση και εξάρτηση με το υδάτινο στοιχείο. Χαρακτηριστικό

παράδειγμα είναι ο κάστορας που ζει σε ποτάμια ή σε λίμνες που δέχονται ποσότητες τρεχούμενων νερών. Εξαιτίας της οικονομικής αξίας της γούνας τους αυτά τα μικρά θηλαστικά εξοντώθηκαν σε μεγάλους αριθμούς από το κυνήγι ιδιαίτερα στην Ευρώπη. Στενοί συγγενείς του κάστορα είναι ο μοσχοπόντικας και η ενυδρίδα (βίδρα ή μίνκ), των οποίων η γούνα έχει επίσης υψηλή αξία. Οι μοσχοπόντικες αφθονούν σε ελώδεις περιοχές κατά μήκος μικρών ρυακιών ή καναλιών σε βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Όπως και ο κάστορας, έτσι και αυτοί, το χειμώνα ζούνε κάτω από τον πάγο σε ειδικά κατασκευασμένα φράγματα που έχουν χτίσει με ξυλεία από το ποτάμι. Οι κάστορες αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη δομή ση λιμναία και ποτάμια οικοσυστήματα καθώς μπορούν να δημιουργούν το δικό τους περιβάλλον αλλάζοντας πολλές φορές τη μορφή ακόμη και το μέγεθος μιας χερσαίας υδάτινης λεκάνης με τα φράγματα που είναι ικανοί να κατασκευάζουν. Παρόλο που οι φώκιες αποτελούν θαλάσσια είδη θηλαστικών, εντούτοις υπάρχει ένα είδος φώκιας (*Phoca sibirica*) που είναι ενδημικό της λίμνης Βαϊκάλης στη Σιβηρία, καθώς και ένα άλλο είδος το οποίο συναντάται στη λίμνη Πιαμνα στην Αλάσκα. Επίσης, οι ενυδρίδες έχουν πολλούς αντιπροσώπους σε λίμνες και ποτάμια της Ευρώπης και της Αμερικής. Ένας άλλος αντιπρόσωπος των θηλαστικών σε εσωτερικά ύδατα στους τροπικούς είναι ο ιπποπόταμος, ο οποίος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τα υδάτινα οικοσυστήματα αυτών των περιοχών. Τα ζώα αυτά καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες χορταριού στην ξηρά γύρω από τη λίμνη, και με τα περιττώματά τους λιπαίνουν τα νερά, ενώ με την κίνησή τους διατηρούν τη μορφή και το βάθος στα ρηχότερα μέρη των περιοχών όπου διαβιούν. Μπορούν να προκαλέσουν κατακρήμνιση στις μαλακές ακτές μιας λίμνης, ενώ πολλές φορές γίνονται ιδιαίτερα επιθετικοί.

3. ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Οι οργανισμοί που συναντώνται στα λιμναία οικοσυστήματα και οι οποίοι αναφέρθηκαν αναλυτικά σε προηγούμενη ενότητα, διακρίνονται με βάση οικολογικά κριτήρια (θρεπτικές απαιτήσεις, θέσεις διαβίωσης) στις εξής κατηγορίες:

- A. Πλαγκτό
- B. Νευστό
- Γ. Βένθος
- Δ. Περίφυτο
- Ε. Νηκτό

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά κάθε μιας από αυτές τις πέντε κατηγορίες αναφέρονται αναλυτικά πιο κάτω.

A. ΠΛΑΓΚΤΟ

Στο πλαγκτό(ν) διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες οργανισμών ανάλογα με τις θρεπτικές απαιτήσεις τους: το *φυτοπλαγκτό* και το *ζωοπλαγκτό*. Στην πρώτη ανήκουν όλοι οι φυτικοί οργανισμοί, όσοι δηλαδή παράγουν την τροφή τους με το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης, ενώ στη δεύτερη ανήκουν όλοι οι ζωικοί οργανισμοί.

ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟ

Το φυτοπλαγκτό αποτελούν μικροσκοπικοί οργανισμοί που βρίσκονται στην κολώνα του νερού από την επιφάνεια μέχρι και το βάθος εκείνο στο οποίο η ένταση του φωτός επαρκεί για τη διατήρησή τους στη ζωή με τη φωτοσυνθετική παραγωγή. Οι κυριότεροι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί είναι τα φύκη που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Παρόλο που οι φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί είναι πολύ μικροί σε μέγεθος (συνήθως δεν είναι ορατοί παρά μονάχα με το μικροσκόπιο), η παρουσία τους γίνεται εμφανής με το πράσινο ή κιτρινοπράσινο χρώμα που προσδίδουν στα νερά των λιμνών και το οποίο οφείλεται στις χρωστικές που διαθέτουν και ιδιαίτερα στη χλωροφύλλη.

Η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού των γλυκών νερών χαρακτηρίζεται, όπως συμβαίνει και στο θαλάσσιο περιβάλλον, από εξάρσεις πληθυσμιακής αφθονίας οι οποίες ονομάζονται *ανθίσεις* ή “*blooms*”. Οι εξάρσεις αυτές οφείλονται στον τύπο της αναπαραγωγής των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών, που συνήθως είναι η απλή

κυτταρική διαίρεση. Το φυτοπλαγκτό αναπαράγεται όταν υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες μέσα στο νερό και αυτές είναι: η υψηλή θερμοκρασία και η ύπαρξη θρεπτικών συστατικών για να “χτιστεί” η καινούρια φυτική βιομάζα. Η πιο απλή περίπτωση έξαρσης της αφθονίας του φυτοπλαγκτού κατά τη διάρκεια ενός ετήσιου κύκλου είναι μία μόνο κορύφωση της αφθονίας του κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η οποία υποκινείται από την ένταση του φωτός και τη μεγαλύτερη διάρκειά του κατά την άνοιξη. Ένα τέτοιο μοντέλο εποχιακής διακύμανσης της αφθονίας μπορεί να συναντάται σε πολικές περιοχές. Αντίθετα, στις περισσότερες εύκρατες λίμνες παρατηρούνται δύο πληθυσμιακές εκρήξεις του φυτοπλαγκτού, μια στο τέλος της άνοιξης και μια μικρότερη το φθινόπωρο. Το “*bloom*” της άνοιξης σε πολλές εύκρατες ευτροφικές λίμνες, αφορά πληθυσμιακή έξαρση των διατόμων (*Asterionella*, *Fragilaria*, *Tabellaria* κ.α.) και συνήθως τερματίζεται με την εξάντληση του πυριτίου. Μπορεί επίσης να υπάρξουν και πληθυσμιακές εξάρσεις χλωροφυκών, τα οποία καθώς τα διάτομα μειώνονται, μπορεί να κυριαρχήσουν αυτά στο φυτοπλαγκτό τα καλοκαίρι (π.χ. *Chlorella*, *Cosmarium* κ.α.). Το καλοκαίρι και το φθινόπωρο μπορεί να υπάρξουν εξάρσεις από κυανοφύκη, όπως *Anabaena* ή *Chroococcus*, τα οποία με τη σειρά τους αντικαθίστανται από τα δινομαστιγωτά *Ceratium* και *Peridinium*. Το χειμώνα και νωρίς την άνοιξη υπερέχουν στο φυτοπλαγκτό οι μικρότερες μορφές, όπως τα κρυπτόφυτα (*Rhodomonas* και *Cryptomonas*).

Στα ποτάμια, εκτός από τις περιοχές με πολύ μικρή ροή νερού, δεν υπάρχει πραγματικό φυτοπλαγκτό, αν και μπορεί να υπάρχει σημαντικός αριθμός από οργανισμούς που παρασύρονται από το ρεύμα, οι οποίοι προέρχονται από λίμνες ή στάσιμα νερά που τροφοδοτούν το ποτάμι. Τα περισσότερα από αυτά εξαφανίζονται πολύ γρήγορα, αλλά μερικά παραμένουν και αναπτύσσονται για αρκετό καιρό και μπορούν να θεωρηθούν ως αληθινό φυτοπλαγκτό. Σε ποτάμια αργής ροής, όπου υπάρχει όντως πραγματικό φυτοπλαγκτό αυτό αποτελείται από μικρά διάτομα, μαστιγωτά και κοκκοειδή πράσινα φύκη (*Ankistrodesmus*, *Pandorina* κ.α.).

Στα διάφορα είδη του φυτοπλαγκτού παρατηρείται πολύ μεγάλη ποικιλία προσαρμογών, οι οποίες σχετίζονται με την αιώρηση αλλά και την πιθανή προστασία τους από τους ηθμοφάγους οργανισμούς του ζωοπλαγκτού. Η παρουσία προσαρμογών που διευκολύνουν την αιώρηση και αποτρέπουν την καταβύθιση του λιμναίου φυτοπλαγκτού, είναι περισσότερο αναγκαία στο λιμναίο περιβάλλον από το θαλάσσιο λόγω της χαμηλής αλατότητας του πρώτου. Ελαιοσταγονίδια, φυσαλίδες

αέρα, ζελατινώδεις θήκες, ακανθώδεις προεκβολές, επιμήκη και ραβδοειδή σχήματα, είναι μερικές από τις προσαρμογές της αιώρησης που συναντώνται πολύ συχνά στα διάφορα είδη του φυτοπλαγκτού. Με τις προσαρμογές αυτές επέρχεται μείωση του ειδικού βάρους και αύξηση της ειδικής επιφάνειας του σώματος. Κατά συνέπεια οι προσαρμογές αυτές είναι πιο απαραίτητες σε θερμές λίμνες παρά σε ψυχρές.

ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟ

Οι κυριότερες κατηγορίες του ζωοπλαγκτού των λιμνών είναι το *μικροζωοπλαγκτό*, το οποίο αποτελείται από πρωτόζωα και rotifers, και το *μεσοζωοπλαγκτό*, το οποίο αποτελείται από τα καρκινοειδή που περιλαμβάνουν τα κλαδοκεραιωτά και τα κωπήποδα. Σε κάποιες λίμνες μπορεί να υπάρχει και τρίτη κατηγορία του ζωοπλαγκτού το *μακροζωοπλαγκτό*, όπως είναι οι προνύμφες των εντόμων *Chaoborus* ή της γαρίδας *Mysis*. Οι περισσότεροι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 0,5 έως 3mm σε μήκος και η πλειοψηφία τους τρέφεται με φύκη ή βακτήρια μεγέθους 1 έως 15μm σε διάμετρο. Τα κυκλοποειδή κωπήποδα και τα rotifers μπορεί να τρέφονται με ζωοπλαγκτό αφού είναι σαρκοφάγοι οργανισμοί.

Οι κυριότερες προσαρμογές των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών που βρίσκονται στα εσωτερικά ύδατα αφορούν: στην ανάπτυξη της ικανότητας μετακίνησης, στους γρήγορους ρυθμούς αναπαραγωγής, στο μικρό μέγεθος, στις ημερονύκτιες κατακόρυφες μεταναστεύσεις και την αποφυγή των ρηχών περιοχών. Συχνά οι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί είναι διαφανείς, προσαρμογή που τους κάνει λιγότερο ευπρόσβλητους στους κύριους θηρευτές τους που είναι τα ψάρια. Κάποια είδη φέρουν ακανθοειδή εξαρτήματα για να είναι λιγότερο ελκυστικοί σε ασπόνδυλους θηρευτές. Η ανάπτυξη του μοντέλου της γρήγορης παρθενογενετικής αναπαραγωγής μειώνει την έκθεση στον κίνδυνο από τους θηρευτές και επιτρέπει την γρήγορη ανταπόκριση στις ανθίσεις του φυτοπλαγκτού. Με αυτόν τον τρόπο τα κλαδοκεραιωτά και τα rotifers είναι πιο άφθονα τα καλοκαίρι όταν υπάρχει αφθονία τροφής. Αντίθετα τα κωπήποδα και οι γαρίδες έχουν σταθερότερη παρουσία σε όλη τη διάρκεια του έτους. Πολλά είδη κλαδοκεραιωτών και rotifers έχουν ανθεκτικά στάδια και αβγά τα οποία αντέχουν στις χειμερινές συνθήκες ή μπορούν να μεταφερθούν με τον άνεμο ή με τα περιττώματα των πουλιών σε άλλες περιοχές τις οποίες θα αποικίσουν.

Το ζωοπλαγκτό αποτελεί τον ενδιάμεσο κρίκο στα λιμναία τροφικά πλέγματα μεταξύ του φυτοπλαγκτού και των μεγαλύτερων σαρκοφάγων, όπως τα ψάρια. Οι εκκρίσεις αλλά και η αποσύνθεση του ζωοπλαγκτού συμβάλλουν στην ανακύκλωση του αζώτου και του φωσφόρου στα νερά των λιμνών κατά τη θερμική στρωμάτωση. Οι περισσότεροι ζωοπλαγκτονικοί οργανισμοί τρέφονται είτε με τη σύλληψη άλλων οργανισμών χρησιμοποιώντας εξαρτήματα σύλληψης, ή φιλτράρουν το νερό με τέτοιο τρόπο ώστε να κατακρατούν φύκη και βακτήρια πάνω στα ειδικά διαμορφωμένα θωρακικά και στοματικά τους εξαρτήματα (ηθμοφαγία). Η κατανομή και η αφθονία του ζωοπλαγκτού μέσα σε μία λίμνη, καθώς και η ποικιλία των ειδών καθορίζονται από πολλούς παράγοντες. Η έκταση, το βάθος και η ηλικία της λίμνης, το γεωγραφικό πλάτος και ο βαθμός ευτροφισμού, είναι μερικοί από τους καθοριστικούς παράγοντες της ποικιλίας και του μεγέθους των πληθυσμών του ζωοπλαγκτού. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζουν η ύπαρξη της τροφής αλλά και ο ανταγωνισμός για την εξεύρεσή της.

B) ΝΕΥΣΤΟ

Το νευστό αποτελεί μία μικρή κατηγορία οργανισμών με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά στη θέση διαβίωσής τους. Πρόκειται για εκείνους τους οργανισμούς οι οποίοι ζουν στο λεπτό στρώμα πάχους λίγων χιλιοστών στη διαχωριστική ζώνη του επιφανειακού νερού με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Σε αυτό το λεπτό στρώμα η οργανική ύλη και τα θρεπτικά συστατικά, όπως τα φωσφορικά θρεπτικά άλατα, συσσωρεύονται και έτσι προκαλούνται μεγάλες αυξήσεις στον αριθμό των βακτηρίων (π.χ. *Pseudomonas*, *Caulobacter*, μαστιγοφόρα, μικρά χλωροφύκη και χρυσοφύκη). Οι ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν σε αυτή την περιοχή συνίστανται κυρίως στις έντονες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, στις μεγάλες εντάσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και στην πολύ καλή οξυγόνωση. Πολύ λίγοι οργανισμοί έχουν κατά συνέπεια προσαρμοστεί σε αυτό το ιδιαίτερο περιβάλλον. Μεταξύ αυτών μπορεί να είναι κάποια είδη εντόμων, κωπηπόδων ή κλαδοκεραιωτών. Ένα μέρος του νευστού αποτελεί το λεγόμενο πλευστό, το οποίο συνίσταται από μεγάλου μεγέθους επιπλέοντα φυτικά είδη που μετακινούνται με τον άνεμο. Σε Αφρικανικές λίμνες το υδρόβιο μακρόφυτο *Pistia* (υδρόβιο λάχανο) μπορεί να αποτελέσει το αφθονότερο είδος στο πλευστό, ενώ πολλές φορές μπορεί να καλύψει εντελώς σημαντικό τμήμα της επιφάνειας της λίμνης. Γενικότερα πάντως, το νευστό δεν έχει μελετηθεί επαρκώς στα λιμναία οικοσυστήματα.

Γ) ΒΕΝΘΟΣ

Οι βενθικοί οργανισμοί διακρίνονται σε *φυτοβένθος* και *ζωοβένθος*. Στο βένθος ανήκουν όλοι εκείνοι οι οργανισμοί που διαβιούν πάνω ή μέσα στο υπόστρωμα του βυθού ή περνούν τον περισσότερο χρόνο τους κοντά στο βυθό. Οι βενθικοί οργανισμοί μπορούν να εποικίζουν επιφάνειες ή να βρίσκονται μέσα σε αυτές δημιουργώντας διάφορους τύπους βιοκοινωνιών, οι οποίες μπορεί να είναι:

α) Επιφυτικές: οι οργανισμοί αναπτύσσονται πάνω στην επιφάνεια κάποιου φυτού που μπορεί να είναι κάποιο μακρόφυτο, ή κάποιο βενθικό αγγειόσπερμο ή ακόμη και άλλα φύκη. Τα επίφυτα εμφανίζονται ως συμπιεσμένες μορφές προσκολλημένες στη φυτική κόλλα ή είναι έμμισχες ή νηματώδεις μορφές. Σχεδόν όλα τα υδρόβια φυτά έχουν ένα επίφυτο το οποίο μπορεί να είναι πολύ πυκνό. Τα πλαγκτονικά φύκη έχουν συχνά πάνω τους προσκολλημένα κάποια είδη βακτηρίων, μυκήτων ή πρωτοζώων. Υπάρχουν και άλλοι οργανισμοί που σχετίζονται με τα επίφυτα, οι οποίοι εμφανίζονται στη μάζα των επιπλεόντων νηματωδών φυκών και βακτηρίων χωρίς να είναι προσκολλημένα.

β) Επιζωικές: οι οργανισμοί αναπτύσσονται πάνω σε άλλους ζωικούς οργανισμούς. Οι επιζωικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν διάφορους άλλους ζωικούς οργανισμούς για την προσκόλλησή τους πάνω τους, όπως ψάρια και καρκινοειδή ή κάποια ασπόνδυλα.

γ) Επιπελικές: αναπτύσσονται πάνω σε λασπώδες υπόστρωμα (ίζημα). Οι επιπελικές βιοκοινωνίες των ποταμών κυριαρχούνται από διάτομα και δινομαστιγωτά. Στις ολιγοτροφικές λίμνες αυτές αποτελούνται από διάτομα και νηματοειδή χλωρόφυτα, ενώ στα ευτροφικά νερά βρίσκονται κυανοφύκη, χλωρόφυτα και ευγληνόφυτα. Στις αρκτικές λίμνες οι επιπελικές βιοκοινωνίες είναι η σημαντικότερη πηγή της ολικής παραγωγικότητας. Τα επιπελικά φύκη εμφανίζουν εποχιακές διακυμάνσεις με μία συνήθως έξαρση. Η λάσπη (ίλύς) στις κοίτες των ποταμών είναι πλούσια σε οργανική ύλη ενώ στην επιφάνεια επικρατούν αερόβιες συνθήκες. Εκεί, στην επιφάνεια, υπάρχουν αποικίες από φύκη και κυανοφύκη, ανάμεσα στα οποία κάποια θειούχα βακτήρια χρώματος βυσσινί ή πράσινου μειώνουν με τη διαδικασία της οξειδωσης τις χημικές ενώσεις του θείου. Αντίθετα, στα αναερόβια ιζήματα τα βακτήρια είναι πολύ σημαντικά στην ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων.

δ) Επιλιθικές: η ανάπτυξη γίνεται πάνω σε σκληρό υπόστρωμα (πέτρες, χαλίκια, άλλα στερεά αντικείμενα). Στις ακτές των λιμνών οι πέτρες είναι καλυμμένες από διάτομα, κυανοφύκη, χλωροφύκη και βακτήρια προσκολλημένα σε φυτική κόλλα. Οι βραχώδεις ακτές είναι ιδιαίτερα αφιλόξενες με τις συνεχείς εναλλαγές υγρασίας λόγω

του κυματισμού, που έχει σαν αποτέλεσμα τις απότομες μεταβολές θερμοκρασίας και υγρασίας. Σε αυτές τις ακραίες συνθήκες συναντώνται συνήθως λειχήνες και κυανοφύκη, διάτομα σε σχισμές ή ρωγμές του υποστρώματος, καθώς και κοινότητες χρυσοφυκών.

ε) **Επιψαμμικές:** οι οργανισμοί διαβιούν πάνω ή μέσα σε αμμώδεις βυθούς. Οι βιοκοινωνίες αυτές αναπτύσσονται εκεί όπου υπάρχει κοκκώδης άμμος, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει έντονη κυκλοφορία νερού. Σε τέτοιες περιοχές η χλωρίδα αποτελείται από βακτήρια, μικρά διάτομα και κυανοφύκη. Όταν υπάρχουν θρεπτικά συστατικά απαντώνται στην περιοχή δινομαστιγωτά και ευγληνόφυτα, καθώς και βλεφαριδοφόρα. Οι επιψαμμικές βιοκοινωνίες των γλυκών νερών εμφανίζουν συνήθως εποχιακές διακυμάνσεις με μέγιστη αύξηση και παραγωγικότητα την άνοιξη.

Οι οργανισμοί του ζωοβένθους περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους πάνω, μέσα ή κοντά στο λιμναίο υπόστρωμα. Συνήθως οι οργανισμοί αυτοί έχουν ποικίλους χρωματισμούς και σώμα μακρόστενο που μοιάζει με σκουλήκι, ενώ ανήκουν σε διάφορες κατηγορίες ζώων: μπορεί να είναι προνύμφες εντόμων, καρκινοειδή, σκώληκες και μαλάκια. Το ζωοβένθος κατανέμεται στο βυθό ακολουθώντας συναθροιστικά πρότυπα και για το λόγο αυτό η ποσοτική δειγματοληψία του είναι αρκετά δύσκολη.

Ο ρόλος του ζωοβένθους στα λιμναία οικοσυστήματα συνίσταται στη μετατροπή των μικρών οργανικών υπολειμμάτων σε ζωική πρωτεΐνη με την έννοια της κατανάλωσής του από ανώτερους θηρευτές όπως τα ψάρια και τα υδρόβια πτηνά. Επίσης, όπως και το ζωοπλαγκτό, οι ζωοβενθικοί οργανισμοί συνεισφέρουν στην ανακύκλωση των θρεπτικά συστατικά με τις εκκρίσεις και την αποσύνθεσή τους. Οι μηχανισμοί πρόσληψης της τροφής ποικίλουν, από τα οστρακοειδή που εφαρμόζουν την ηθμοφαγία (φιλτράρισμα νερού και κατακράτηση φυτοπλαγκτού, βακτηρίων και οργανικών υπολειμμάτων), μέχρι τις προνύμφες των εντόμων οι οποίες συλλαμβάνουν άλλους ζωικούς οργανισμούς, ή τους ολιγόχαιτους σκώληκες που καταπίνουν ποσότητες λάσπης κατακρατώντας τα οργανικά υπολείμματα που αυτή περιέχει (ιλυοφαγία). Οι ολιγόχαιτοι *Tubificidae* που αφθονούν σε λασπώδη υποστρώματα, μεταφέρουν χωρίς διαλογή μεγάλα ποσά ιλύος από τον εντερικό τους σωλήνα. Μετά την κατακράτηση ορισμένων συστατικών, η υπόλοιπη λάσπη μεταφέρεται προς την επιφάνεια του υποστρώματος. Στις προνύμφες *Chironomus* η μεταφορά της ιλύος είναι εντελώς αντίστροφη. Οι προνύμφες αυτές κατοικούν εντός

ατομικών σωλήνων που κατασκευάζουν. Το πρόσθιο μέρος του σώματος προβάλλει και συλλέγει τροφικά σωματίδια από την επιφάνεια του ιλυώδους υποστρώματος. Πρόκειται για ένα συλλεκτικό δίκτυο σιελογόνου εκκρίματος, στο οποίο προσκολλώνται σωματίδια και προωθούνται προς πέψη εντός του σωληνοειδούς περιβλήματος. Εκτός από την προστασία που παρέχει στο ζώο, ο ατομικός σωλήνας χρησιμεύει και για τη λειτουργία της αναπνοής. Η ανανέωση του νερού μέσα στο σωλήνα διευκολύνεται με τις κινήσεις του σώματος της προνύμφης.

Η κατανομή και η αφθονία του ζωοβένθους εξαρτάται πρωτίστως από τη διαθεσιμότητα του διαλυμένου οξυγόνου και από τον τύπο του βενθικού υποστρώματος. Μεγαλύτερη αφθονία αλλά και ποικιλία ζωοβενθικών οργανισμών παρατηρείται στα υποστρώματα που βρίσκονται πάνω από το θερμοκλινές και κατά μήκος των ακτών των λιμνών, όπου η συνεχής ανάδευση παρέχει επάρκεια τροφής και οξυγόνου. Κάτω από το θερμοκλινές οι πληθυσμοί του ζωοβένθους είναι λιγότερο άφθονοι επειδή οι θερμοκρασίες που επικρατούν είναι χαμηλότερες, έχει ελαττωθεί η συγκέντρωση του οξυγόνου και υπάρχει μεγαλύτερη ομοιογένεια του υποστρώματος (άρα και μικρότερη ποικιλότητα οργανισμών). Εξαιτίας των χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου μόνο ελάχιστοι εξειδικευμένοι οργανισμοί, όπως οι προνύμφες των χιρονομιδών, μπορούν να επιζήσουν στα βαθύτερα τμήματα των ευτροφικών λιμνών.

Δ) ΠΕΡΙΦΥΤΟ

Στο περίφυτο ανήκουν βιοκοινωνίες μικροοργανισμών οι οποίες συνήθως αναπτύσσονται ως βλενώδεις επικαλύψεις πάνω στην επιφάνεια διαφόρων υποστρωμάτων. Οι βιοκοινωνίες αυτές αποτελούνται από βακτήρια, μύκητες, φύκη, ασπόνδυλα, όπως και από οργανικό υλικό σε αποσύνθεση. Η διάρθρωση αυτών των βιοκοινωνιών εξαρτάται από τη στάθμη του νερού, το φως και τον κυματισμό, καθώς και από τη χημική σύσταση των νερών και τη φύση του υποστρώματος. Οι βιοκοινωνίες του περίφυτου διακρίνονται σε επιλιθικές, επιπελικές, επιφυτικές, επιψαμμικές και άλλες. Συνήθως πάνω από το περίφυτο αναπτύσσονται χωρίς εμφανή προσκόλληση βιοκοινωνίες φυκών οι οποίες αποτελούν το *μετάφυτο*. Τα μικροφύκη του περίφυτου αντιπροσωπεύουν ένα βασικό μέρος της πρωτογενούς παραγωγικότητας σε φτωχές και με μεγάλη συγκέντρωση φωσφορικών υδατοσυλλογές. Από τους πιο συνηθισμένους οργανισμούς του περίφυτου είναι πεννιοειδή διάτομα, χλωροφύκη και κυανοφύκη. Τα πεννιοειδή διάτομα και τα

κυανοφύκη μετακινούνται γλιστρώντας πάνω στο υπόστρωμα ενώ τα νηματοειδή χλωροφύκη παραμένουν προσκολλημένα. Τα φύκη που αποτελούν το περίφυτο ακολουθούν τους κύκλους ζωής του υποστρώματος πάνω στο οποίο βρίσκονται. Έτσι, μπορεί να υπάρξει μετακίνηση της βλάστησης ή θάνατος σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όπως και μετακίνηση και αναμόχλευση του υποστρώματος, γεγονότα που θα επηρεάσουν τους προσκολλημένους οργανισμούς. Όπως το φυτοπλαγκτό και το περίφυτο εμφανίζει εποχιακές διακυμάνσεις στη αφθονία του, συνήθως όμως υπάρχουν μονοετείς πληθυσμοί. Η βόσκηση του περιφύτου ιδιαίτερα από τις προνύμφες υδρόβιων εντόμων είναι σημαντικός παράγοντας που ρυθμίζει τη βιομάζα του.

Ε) ΝΗΚΤΟ

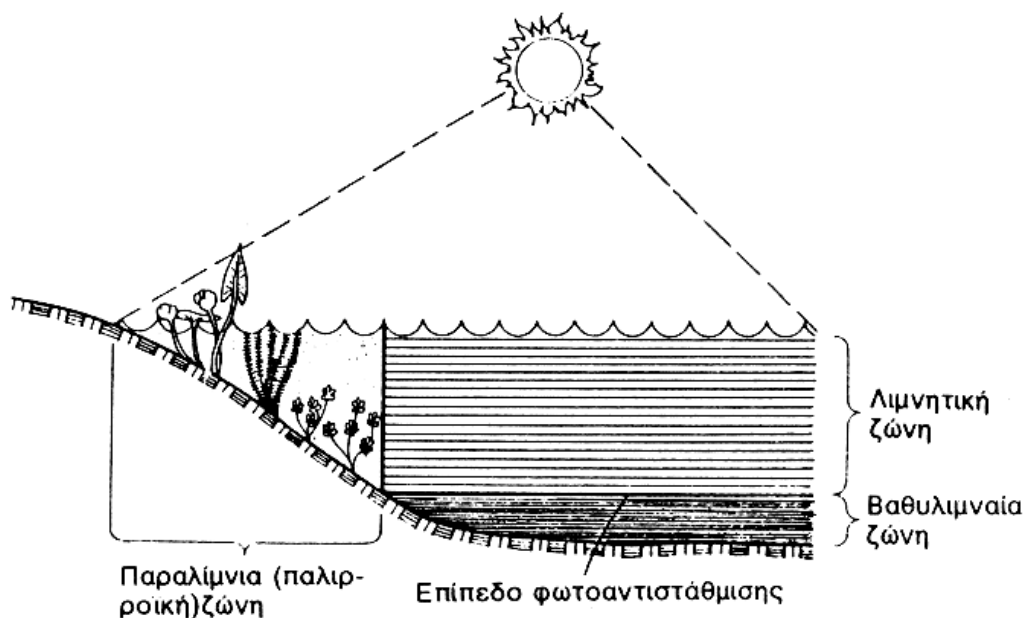
Στο νηκτό ανήκουν όλοι εκείνοι οι οργανισμοί που ζουν στο νερό και έχουν μεγάλη ικανότητα μετακίνησης σε αυτό κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην παρασύρονται ανεξέλεγκτα. Στις λίμνες και στα ποτάμια οι κυριότεροι νηκτικοί οργανισμοί είναι τα ψάρια. Το μέγεθος αυτών των οργανισμών καθώς και η θηρευτική τους ικανότητα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη βιολογική δομή των οικοσυστημάτων των εσωτερικών υδάτων. Σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος του ανταγωνισμού για τροφή μεταξύ των διαφόρων ειδών ψαριών και των σταδίων ανάπτυξής τους. Εξειδικευμένοι τρόποι διατροφής επιτρέπουν στους οργανισμούς αυτούς να εκμεταλλεύονται διαφορετικούς πόρους. Έτσι, κάποια είδη τρέφονται με πλαγκτονικούς οργανισμούς, κάποια άλλα έχουν προσαρμοστεί ώστε να τρέφονται με μικρά βενθικά ζώα ή ακόμη και να βόσκουν την υδρόβια βλάστηση. Σχεδόν όλα τα ψάρια που συναντώνται στις λίμνες είναι πλαγκτονικά στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξής τους και τρέφονται με μικρούς πλαγκτονικούς ή βενθικούς οργανισμούς. Τα περισσότερα *πλαγκτονοφάγα* ψάρια τρέφονται αποκλειστικά με ζωοπλαγκτό, ενώ ελάχιστα είδη μπορούν να διατραφούν μόνο με φυτοπλαγκτό. Η διαίτα των μεγαλύτερου μεγέθους *σαρκοφάγων* ψαριών αποτελείται από άλλα ψάρια συμπεριλαμβανομένων και αντιπροσώπων του ίδιου είδους. Μία άλλη κατηγορία ψαριών, όσον αφορά στη διατροφή τους, είναι τα *σαπροφάγα* τα οποία τρέφονται προσλαμβάνοντας βακτήρια, μύκητες και πρωτόζωα που ζουν πάνω στα μικρά χαλίκια ή στη λάσπη του βυθού, ενώ μαζί με αυτά μπορούν να προσλαμβάνουν και προνύμφες εντόμων ή σκόληκες. Στα τρεχούμενα νερά τα ασπόνδυλα είναι η κυριότερη πηγή τροφής. Η διατροφή των περισσότερων ψαριών είναι καιροσκοπική,

με την έννοια ότι μερικές φορές ακόμη και τα μεγαλύτερου μεγέθους σαρκοφάγα μπορεί να τραφούν με φύκη ή οργανικά υπολείμματα.

Η μεγάλη ικανότητα μετακίνησης των ψαριών τους επιτρέπει να διανύουν μεγάλες αποστάσεις αντιδρώντας σε ποικίλα περιβαλλοντικά ή βιολογικά ερεθίσματα. Τα ψάρια έχουν συγκεκριμένες προτιμήσεις όσον αφορά στην απόσταση που βρίσκονται οι περιοχές διατροφής και αναπαραγωγής. Αυτές οι τοποθεσίες μπορεί να μεταβάλλονται εποχιακά ή ανάλογα με την ώρα της ημέρας και έχουν να κάνουν με την παρουσία της υδρόβιας βλάστησης, τη θερμοκρασία, το φωτισμό ή κάποιες χημικές παραμέτρους. Είδη όπως ο λούτσος, η πέρκα, η πέστροφα ή ο κυπρίνος συνήθως ζουν σε μία περιοχή της λίμνης ή του ποταμού και αναπαράγονται σε κάποια άλλη, ενώ άλλα είδη μπορεί να μεταναστεύσουν σε μεγάλες αποστάσεις. Οι εποχιακές διακυμάνσεις της αφθονίας των ψαριών δεν είναι ιδιαίτερα έντονες στο λιμναίο περιβάλλον, αφού τα περισσότερα είναι είδη που ζουν περισσότερο από ένα έτος. Αυτό που μπορεί να παρουσιάζει διακυμάνσεις είναι η μεταβολή των κλάσεων του μεγέθους τους, κάτι που μπορεί να οφείλεται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες ή στη θήρευση. Η υπεραλιεία είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τη μεταβολή της αφθονίας κάποιων ειδών σε ένα λιμναίο οικοσύστημα, ενώ επίσης προβλήματα δημιουργούνται από της εισαγωγή νέων ειδών ψαριών από τον άνθρωπο. Κατασκευές του ανθρώπου όπως φράγματα ή εκτροπές υδάτων μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά τους ιχθυοπληθυσμούς των εσωτερικών υδάτων.

4. ΛΙΜΝΑΙΕΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Στις τυπικές λίμνες διακρίνονται τουλάχιστον τρεις επί μέρους βιότοποι, στους οποίους κατοικούν βιοκοινωνίες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (Εικόνα 5). Συγκεκριμένα, διακρίνεται μια *παραλίμνια ζώνη* αντίστοιχη της παλιρροϊκής των θαλασσών. Πρόκειται για την αβαθή παρόχθια περιοχή της λίμνης στην οποία το φως φθάνει μέχρι τον πυθμένα όπου και φύονται έρριζα υδρόβια φυτά. Η *λιμνητική ζώνη* περιλαμβάνει την ανοικτή περιοχή της λίμνης πέρα από την παραλίμνια περιοχή. Η λιμνητική ζώνη φθάνει μέχρι το βάθος του επιπέδου της φωτοαντιστάθμισης, δηλαδή μέχρι το βάθος εκείνο όπου η ένταση του φωτός αντιστοιχεί περίπου στο 1% της επιφανειακής ηλιακής έντασης. Η τρίτη περιοχή μιας τυπικής λίμνης είναι η *βαθυλιμναία ζώνη*, δηλαδή η περιοχή κάτω από την παραλίμνια και τη λιμνητική περιοχή. Περιλαμβάνει ένα μέρος των ανοικτών υδάτων και ένα μέρος του βυθού. Φυσικά, σε αβαθείς λίμνες δεν διακρίνεται ιδιαίτερη βαθυλιμναία περιοχή. Στην Εικόνα 10 φαίνονται παραστατικά οι τρεις περιοχές που αναφέρονται πιο πάνω, ενώ λεπτομερής περιγραφή των λιμναίων βιοκοινωνιών κατά περιοχές γίνεται αμέσως πιο κάτω.



Εικόνα 10. Σχηματική απεικόνιση των τριών επιμέρους περιοχών μιας τυπικής βαθιάς λίμνης.

A. ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΑ ΠΑΡΑΛΙΜΝΙΑΣ ΖΩΝΗΣ

Η παραλίμνια ζώνη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ποικιλία μικροβιοτόπων και φιλοξενεί την πλουσιότερη χλωρίδα και πανίδα συγκριτικά με τις άλλες περιοχές μιας τυπικής βαθιάς λίμνης. Τους παραγωγούς αποτελούν πολλά είδη σπερματοφύτων, τα οποία διατάσσονται σε χαρακτηριστικές συγκεντρικές ζώνες. Εκτός από τα έρριζα φυτά, στην παραλίμνια περιοχή υπάρχει και φυτοπλαγκτό, του οποίου πολλά είδη είναι κοινά με το φυτοπλαγκτό της λιμνητικής ζώνης. Σε πολύ αβαθείς λίμνες, ολόκληρος ο βυθός καλύπτεται με υδρόβια έρριζα φυτά.

Η πανίδα της παλίμνιας περιοχής είναι εξαιρετικά πλούσια σε βενθικούς, νηκτικούς και ζωοπλακτονικούς τύπους. Οι ζωικοί οργανισμοί που ζουν προσκολλημένοι στους μίσχους ή τα φύλλα φυτών αποτελούν μέρος του περίφυτου. Τέτοιοι οργανισμοί ανήκουν στα γαστερόποδα, οδοντόγναθα έντομα, τροχόζωα, υδρόζωα κ.λ.π. Στα μεγαλύτερα βάθη ζουν διάφορα σκαπτικά ζώα, τα οποία είναι βυθισμένα στη λάσπη εκτός από ένα μέρος του σώματός τους που παραμένει ελεύθερο στο νερό για τις λειτουργίες της αναπνοής και της πρόσληψης τροφής. Τα βενθικά ζώα της παραλίμνιας ζώνης είναι γαστερόποδα, ελασματοβράγχια, νύμφες Εφημερόπτερον και Οδοντόγναθων εντόμων, προνύμφες Δίπτερον εντόμων (κυρίως των *Chironomus*), δακτυλιοσκώληκες κ.λ.π. Τα περισσότερα από τα ζώα αυτά είναι σαπροφάγα και τρέφονται με την πλούσια νεκρή οργανική ύλη, η οποία αφθονεί σε αυτή τη ζώνη. Ορισμένοι βενθικοί τύποι δεν βυθίζονται στο μαλακό υπόστρωμα αλλά παραμένουν ελεύθεροι στο βυθό και συνιστούν το επιβένθος. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν διάφορες προνύμφες εντόμων, ισόποδα και μακρόουρα καρκινοειδή (όπως караβίδες), γαστερόποδα, βδέλλες, ακάρεα κ.λ.π.

Το νηκτό της παραλίμνιας περιοχής είναι πλούσιο και περιλαμβάνει προνύμφες και ενήλικα Κολεόπτερα και Ημίπτερα (*Dytiscus*, *Notonecta* κ.λ.π.), ψάρια διαφόρων μεγεθών, πολλά αμφίβια, ερπετά και θηλαστικά (βατράχους, χελώνες, φίδια, κάστορες, βίδρες κ.λ.π.). Όσον αφορά στο ζωοπλαγκτό αυτής της περιοχής, αυτό είναι χαρακτηριστικό για το συγκεκριμένο βιότοπο και διαφέρει από το ζωοπλαγκτό της λιμνητικής ζώνης. Τα πλακτονικά καρκινοειδή έχουν ασθενέστερους μηχανισμούς αιώρησης και συχνά παραμένουν προσκολλημένα σε φυτά εφόσον δεν κολυμπούν ελεύθερα. Σημαντικοί αντιπρόσωποι του ζωοπλαγκτού της παραλίμνιας περιοχής είναι μεγαλόσωμα και δυσκίνητα κλαδοκεραιωτά (*Daphnia*, *Simocephalus* κ.λ.π.), κυκλοποειδή και αρπακτικοειδή κωπήποδα,

οστρακώδη, μερικά τροχόζωα και αμφίποδα. Το νευστό της ζώνης αυτής είναι γνωστό κυρίως από έντομα των οικογενειών *Gerridae*, *Gyrinidae* και *Vellidae*.

Οι βάτραχοι, τα ουροδελή βατράχια (σαλαμάνδρες) και οι προνύμφες τους είναι σημαντικοί καταναλωτές. Ορισμένα ερπετά *Emys*, *Clemmys* και *Natrix* εξασκούν μεγάλη θηρευτική δράση στην παραλίμνια περιοχή. Τα πτηνά εκμεταλλεύονται με εξαιρετική επιτυχία όλους τους υγρότοπους. Στη χώρα μας υπάρχουν πολλοί υγρότοποι, οι οποίοι έχουν τεράστιο ορνιθολογικό ενδιαφέρον επειδή συντηρούν μεγάλους πληθυσμούς υδρόβιων πτηνών του Ευρωπαϊκού χώρου (πελεκάνους, ερωδιούς, πάπιες και πολλούς άλλους τύπους πτηνών). Εκτός από υδρόβια πτηνά, οι υγρότοποι προσελκύουν μεγάλη ποικιλία θηλαστικών. Ορισμένα εντομοφάγα τρωκτικά *Soricidae* (*Neomys*) και *Talpidae* (*Desmana* και *Glemys*) τρέφονται με σκώληκες, έντομα και καρκινοειδή. Φυτοφάγα θηλαστικά όπως οι κάστορες, τρωκτικά *Microtidae* (*Arvicola* και *Pitymys*) *Muridae* (*Microtus* και *Apodemus*) τα μεγάλα ελαφοειδή *Alces alces*, είναι χαρακτηριστικοί τύποι των Ευρωπαϊκών υγροτόπων. Οι ενυδρίδες (*Lutra lutra*) καθώς και άλλοι αντιπρόσωποι της οικογένειας *Mustelidae*, είναι τυπικά ανώτερα σαρκοφάγα των υγροτόπων, τα οποία έχουν ανταγωνιστές τα ιχθυοφάγα πτηνά και ερπετά και τους μεγάλους ιχθύες.

B. ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΑ ΛΙΜΝΗΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Το φυτοπλαγκτό της λιμνητικής ζώνης αποτελείται από μια μεγάλη ποικιλία διατόμων, δινομαστιγωτών και άλλων τύπων φυκών. Οι κύριοι αντιπρόσωποι του φυτοπλαγκτού είναι τα διάτομα και τα δινομαστιγωτά. Στα γλυκά νερά υπάρχει μεγάλη ποικιλία από διάτομα, όπως τα *Fragilaria* και *Melosira* που κυριαρχούν στα ουδέτερα και στα ελαφρώς αλκαλικά νερά, μαζί με τα δινομαστιγωτά *Ceratium* και *Peridinium*. Εκεί που τα οργανικά υλικά βρίσκονται σε μεγάλη αφθονία μπορεί να σημειωθεί υπεροχή των ευγληνοφύτων και των χλωροφυκών. Τα κυανοφύκη μπορούν επίσης να αποτελέσουν σημαντικά στοιχεία του ευτροφικού πλαγκτού των γλυκών νερών, τόσο σε κοκκοειδείς, όσο και σε νηματοειδείς μορφές. Σε αρκτικές και αλπικές λίμνες, η χλωρίδα του χειμώνα κυριαρχείται από μικρά μαστιγωτά (*Chromulina*, *Mallomonas*, *Dinobryon* κ.α.), τα οποία παραμένουν στο νερό καθ' όλη τη σύντομη καλοκαιρινή περίοδο.

Το ζωοπλαγκτό της λιμνητικής ζώνης αποτελείται από λίγα είδη, τα οποία όμως συγκροτούν μεγάλους πληθυσμούς. Μεταξύ των ζωοπλαγκτονικών οργανισμών στην πρώτη θέση από πλευράς αφθονίας βρίσκονται τα κλαδοκεραιωτά, τα κωπήποδα και τα τροχόζωα.

Τα είδη που αποτελούν το ζωοπλαγκτό της λιμνητικής ζώνης διαφέρουν σε μικρό ή μεγάλο βαθμό από το ζωοπλαγκτό της παραλίμνιας ζώνης. Τα πλαγκτονικά πρωτόζωα είναι κυρίως πολύ μικρού μεγέθους και εντάσσονται στην κατηγορία του νανοπλαγκτού. Τα ριζόποδα περιλαμβάνουν θηκοφόρους αντιπροσώπους (*Diffugia*, *Actinophrys* κ.λ.π.), οι οποίοι αφθονούν κατά καιρούς στα λιμνητικά ύδατα ή στην επιφάνεια του βυθού. Τα βλεφαριδοφόρα περιλαμβάνουν είδη που είναι συχνά στα λιμναία συστήματα, όπως π.χ. το *Codonella cratera* και το αποικιακό *Zoothamnium limneticum*. Από τα τροχόζωα λίγα γένη έχουν γνήσιους πλαγκτονικούς τύπους, όπως το *Synchaeta*, *Asplanchna*, *Keratella*, *Brachionus* και *Polyarthra*. Το γένος *Asplanchna* περιλαμβάνει ευμεγέθεις σαρκοφάγους αντιπροσώπους (0,5-1,2 mm). Το *Synchaeta* είναι ένα άλλο διαφανές αρπακτικό τροχόζωο. Ορισμένα τροχόζωα σχηματίζουν σφαιρικές αποικίες, όπως π.χ. το *Conochilus*. Τα περισσότερα πλαγκτονικά τροχόζωα στερούνται οργάνων προσκόλλησης. Τα κελύφη ορισμένων κοινών τροχοζώων, όπως του *Keratella* φέρουν επιμήκεις άκανθες. Τα κλαδοκεραιωτά είναι μια μεγάλη κατηγορία του λιμναίου ζωοπλαγκτού και αποτελείται από διάφορα είδη των γενών *Daphnia*, *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Ceriodaphnia*, *Polyphemus* κ.λ.π. Συνήθως, παρατηρείται ένας χαρακτηριστικός κύκλος εναλλαγής παρθενογενετικών και αμφιγονικών γενεών. Κατά τη θερινή περίοδο πολλαπλασιάζονται παρθενογενετικώς. Αρσενικά άτομα εμφανίζονται στο τέλος του φθινοπώρου και τα γονιμοποιημένα αβγά διαχειμάζουν. Την άνοιξη, τα αμφιγονικά αβγά παράγουν ναυπλίους.

Τα κωπήποδα αντιπροσωπεύονται στο ζωοπλαγκτό των λιμνών από πολλά είδη. Επικρατούν τα καλανοειδή και από αυτά τα *Diaptomidae* περιλαμβάνουν είδη που κατοικούν μόνο σε γλυκά νερά. Τα κυκλοποειδή είναι σπανιότερα στη λιμνητική ζώνη. Μεταξύ των κωπήπόδων συναντώνται ηθμοφάγα και αρπακτικά είδη. Τα κωπήποδα *Diaptomus* είναι ηθμοφάγα ενώ τα *Heterocope* και *Epischura* είναι αρπακτικά. Σε μερικές περιπτώσεις παρατηρείται κανιβαλισμός. Η συμμετοχή των εντόμων στο λιμναίο ζωοπλαγκτό είναι πολύ περιορισμένη. Η μοναδική περίπτωση λιμνοπλαγκτονικών εντόμων περιλαμβάνει τις προνύμφες διαφόρων ειδών του γένους *Chaoborus*. Πρόκειται για βενθοπλαγκτονικούς τύπους, οι οποίοι κατά τη διάρκεια

της νύχτας εγκαταλείπουν το βυθό και ανέρχονται προς τις περιοχές του υπολιμνίου και επιλιμνίου με τη βοήθεια ειδικών υδροστατικών οργάνων. Τα υδροστατικά όργανα των προνυμφών *Chaoborus* αποτελούνται από δύο ζεύγη νεφροειδών αερόσακων που προέρχονται από τους βασικούς τραχειακούς βραχίονες. Περιέχουν αέρια, τα οποία βρίσκονται σε ισορροπία με το μίγμα των αερίων του υδάτινου περιβάλλοντος. Ο όγκος των αερόσακων μεταβάλλεται πολύ με συνέπεια η ειδική πυκνότητα του σώματος των προνυμφών αυτών να εξισώνεται με την υφισταμένη πυκνότητα του υδάτινου περιβάλλοντος. Ο μηχανισμός με τον οποίο μεταβάλλεται ο όγκος των αερόσακων συνίσταται στην πρόσληψη ή αποβολή ύδατος δια μέσου των τοιχωμάτων τους.

Γ. ΒΑΘΥΛΙΜΝΑΙΑ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΑ

Σε βάθη μεγαλύτερα από το επίπεδο της φωτοαντιστάθμισης δεν υπάρχουν αυτότροφοι οργανισμοί. Σε αυτά τα βάθη των λιμνών κατοικούν μόνο ζωικοί οργανισμοί και μικροοργανισμοί. Η βασική πηγή τροφής των ζωικών τύπων είναι τα νεκρά υλικά που κατακρημνίζονται από την υπερκείμενη λιμνητική ζώνη και άλλοι ζωικοί οργανισμοί. Συνεπώς, όλοι οι οργανισμοί της βαθυλιμναίας ζώνης είναι κυρίως σαπροφάγοι και σαρκοφάγοι. Η ποικιλία από πλευράς ειδών είναι μικρότερη συγκριτικά με την ποικιλία της βιοκοινωνίας της λιμνητικής περιοχής. Οι βενθικοί οργανισμοί είναι συνυφασμένοι με τη σύσταση των ιζημάτων. Γενικά, ο βυθός των νεαρών λιμνών αποτελείται από τα αρχικά πετρώματα της περιοχής με μικρή παρουσία αλλογενών ιζημάτων, ενώ όσο ενηλικιώνονται οι λίμνες τόσο αυξάνει το μαλακό υπόστρωμα, το οποίο συνίσταται από αμμώδη και ιλυώδη συστατικά.

Το βένθος της βαθυλιμναία περιοχής αποτελείται κυρίως από προνύμφες εντόμων, μικρά δίθυρα και γαστερόποδα μαλάκια, και δακτυλιοσκώληκες. Πολύ μεγάλη οικολογική σημασία έχουν οι προνύμφες των Δίπτερων εντόμων *Chaoborus*, οι δακτυλιοσκώληκες *Tubificidae*, τα δίθυρα μαλάκια *Sphaeriidae* και οι προνύμφες των Δίπτερων εντόμων *Chironomus*, επειδή σχηματίζουν πολύ πυκνούς πληθυσμούς. Όλοι οι κάτοικοι του βυθού (ιδιαίτερα τα βενθικά ασπόνδυλα) είναι προσαρμοσμένα να ανέχονται πολύ μικρές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Η μικρή συγκέντρωση οξυγόνου ιδιαίτερα στους βυθούς των ευτροφικών λιμνών κατά τους θερινούς μήνες οδηγεί σε ποικιλία ειδικών προσαρμογών. Π.χ., στην αποθήκευση οξυγόνου εντός των

αεροσάκκων των προνυμφών *Chaoborus* και στην υψηλή οξυγονοδεσμευτική ικανότητα των αιμοσφαιρινών των δακτυλιοσκολήκων *Tubifex*. Οι μύκητες και τα βακτήρια που προκαλούν την αποσύνθεση της νεκρής ύλης αν και υπάρχουν σε όλα τα βάθη, η παρουσία τους είναι ιδιαίτερα υψηλή στα όρια του νερού και λάσπης όπου αφθονούν τα νεκρά συστατικά. Πολλά βακτήρια είναι αναερόβια.

5. ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΡΕΟΝΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Τα σημαντικότερα συστήματα ρεόντων υδάτων είναι οι μεγάλοι ποταμοί. Ένα τυπικό ποτάμιο σύστημα διακρίνεται σε επί μέρους ζώνες ανάλογα με την ταχύτητα ροής του νερού. Οι πηγές, το σύστημα ταχυρρόων ρευμάτων ή ρυακιών, η ώριμη ή βραδύρροη ζώνη και οι εκβολές ενός ποταμού διακρίνονται μεταξύ τους όχι μόνο από την ταχύτητα ροής του νερού, αλλά και από πολλά άλλα χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη σύνθεση των επί μέρους βιοκοινωνιών, από τις πηγές προς τις εκβολές. Η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του οξυγόνου και η σύσταση του πυθμένα, είναι χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται με την ταχύτητα ροής και επιβάλλουν ειδικές προσαρμογές στους οργανισμούς που κατοικούν στις διάφορες ζώνες του ποταμού. Η κλίση του εδάφους είναι ο κύριος καθοριστικός παράγοντας της ταχύτητας του νερού. Σε συνήθεις καταστάσεις, η κλίση του εδάφους και η ταχύτητα του νερού μειώνονται ομαλά από τις πηγές προς τις εκβολές του ποταμού. Παράλληλα με τη μείωση της ροής του νερού αυξάνει η απόθεση υλικών στον πυθμένα του ποταμού. Στα ταχύρροα ρεύματα ο βυθός συνίσταται από γυμνούς βράχους και μεγάλες κροκάλες. Σε ενδιάμεσες ζώνες υπάρχουν μικρές κροκάλες και χαλίκια, ενώ στο ώριμο τμήμα του ποταμού επικρατούν οι αμμώδεις και λασπώδεις αποθέσεις. Η μέση θερμοκρασία και οι εποχικές διακυμάνσεις της αυξάνουν από τις πηγές προς τις εκβολές του ποταμού. Πολύ χαρακτηριστική είναι και η μείωση του διαλυμένου οξυγόνου προς την ίδια κατεύθυνση. Λόγω της μεγάλης αναταραχής των υδάτων και της μεγάλης επιφάνειας που αναπτύσσεται λόγω των αναταράξεων, και της χαμηλής θερμοκρασίας, τα νερά των ταχυρρόων ζωνών του ποταμού περιέχουν μεγάλες ποσότητες διαλυμένου οξυγόνου. Κατά συνέπεια, οι ζωϊκοί οργανισμοί των περιοχών αυτών είναι στενόθερμοι και ψυχρόφιλοι, έχουν υψηλές απαιτήσεις σε

οξυγόνο και είναι πολύ ευαίσθητοι σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου (Πίνακας 2). Είναι φυσικό η οργανική και θερμική ρύπανση να επηρεάζουν ριζικά τη σύνθεση των βιοκοινωνιών των ταχυρρόων ρευμάτων, επειδή προκαλούν αντιστοίχως μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου και αύξηση της θερμοκρασίας.

Πίνακας 2. Συγκεντρώσεις οξυγόνου σε βιότοπους γλυκών υδάτων και ορισμένα είδη ιχθύων, οι οποίοι κατοικούν εκεί.

ΕΥΡΟΣ ΑΝΟΧΗΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (ppm)	ΙΧΘΥΕΣ
7-10	<i>Salmo trutta, Phoxinus phoxinus, Cottus cobio</i>
5-7	<i>Thymallus thymallus, Leuciscus cephalus, Lota lota</i>
4	<i>Rutilus rutilus, Acerina cernua</i>
0,5	<i>Cyprinus caprio, Tinca tinca</i>

Οι διάφοροι φυσικοχημικοί παράγοντες που αναφέρθηκαν πιο πάνω μεταβάλλονται γρηγορότερα στις αρχικές περιοχές των ποταμών σε σύγκριση με το ώριμο τμήμα τους. Επομένως, και οι αλλαγές των βιοκοινωνιών είναι πιο ευκρινείς στην περιοχή των ταχυρρόων παρά στη ζώνη των βραδυρρόων υδάτων. Η ζώνωση των οργανισμών είναι ιδιαίτερα εμφανής σε ορισμένους ζωικούς τύπους, όπως π.χ. στα ψάρια όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Χαρακτηριστική ζώνωση και ειδικές προσαρμογές στις επί μέρους ζώνες έχουν τα διάφορα ασπόνδυλα που κατοικούν εκεί. Οι προσαρμογές αυτές είναι ιδιαίτερα εμφανείς στα υδρόβια νυμφικά στάδια των εντόμων. Άγκιστρα, μυζητήρες, κολλώδεις επιφάνειες και άλλα όργανα προσκόλλησης χαρακτηρίζουν τις νύμφες των Εφημερόπτερων, Τριχόπτερων και άλλων εντόμων, τα γαστερόποδα και τις πλανάρειες και πλήθος άλλων ασπόνδυλων της ζώνης των ταχυρρόων υδάτων. Χαρακτηριστικό είναι επίσης και το υδροδυναμικό σχήμα του σώματος. Οι υδρόβιες προνύμφες των εντόμων έχουν στρογγυλή κεφαλή με νωτοκοιλιακή πλάτυνση, οξύληκτο ουραίο σχήμα. Η νωτοκοιλιακή πλάτυνση του σώματος επιτρέπει στους οργανισμούς αυτούς να καταφεύγουν κάτω από πέτρες, μέσα σε σχισμές και άλλους μικροβιότοπους, στους οποίους μειώνεται η ροή του νερού. Το σώμα προσανατολίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η κεφαλή κατευθύνεται προς την κατεύθυνση του ρεύματος και η ουρά σε

αντίθετη κατεύθυνση. Η κολύμβηση γίνεται αντίθετα προς τη ροή του νερού. Τέτοιες προσαρμογές είναι ανύπαρκτες σε ασπόνδυλα που κατοικούν στις περιοχές των βραδυρρών υδάτων.

Με εξαίρεση τις ώριμες περιοχές των μεγάλων ποταμών, οι φυτικοί οργανισμοί που συντηρούν την πανίδα των λοιπών περιοχών των ποταμών μεταφέρονται με τη ροή του νερού. Το φυτοπλαγκτό παίζει πολύ μικρό ρόλο ενώ τα ινώδη φύκη και τα υδρόβια βρύα δεν αποτελούν παρά ένα μικρό κλάσμα της τροφής των ζωικών οργανισμών. Η νεκρή οργανική ύλη, που προέρχεται κυρίως από τη χερσαία βλάστηση, αποτελεί τη σπουδαιότερη πηγή τροφής των ζωικών οργανισμών ιδιαίτερα στις περιοχές ταχυρρών υδάτων. Κατά συνέπεια, τα περισσότερα ζώα που βρίσκονται στο δεύτερο τροφικό επίπεδο είναι σαπροφάγα, ενώ τα κορυφαία σαρκοφάγα είναι κυρίως ιχθύες της οικογένειας *Salmonidae*.

Γ' ΜΕΡΟΣ

ΤΡΟΦΙΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Γενικά

Όταν σχηματίζεται μια λεκάνη με νερό, όσο μεγάλη και αν είναι, στερείται για ένα χρονικό διάστημα ορισμένα στοιχεία: γεωγραφικά (πλευρές πρόσχωσης, αμμουδιές κτλ.), χημικά (μεταφερόμενα από τα νερά των χειμάρρων και των ποταμών που ξεπλένουν τις γύρω περιοχές κτλ.), βιολογικά (ριζωμένη χλωρίδα, χλωρίδα και πανίδα των στάσιμων νερών). Στη συνέχεια δημιουργούνται οι κανονικές συνθήκες ύπαρξης και μια κατάσταση της οποίας η σταθερότητα θα εξαρτηθεί από τη φύση και την ταχύτητα εξέλιξης των παραγόντων που την προσδιορίζουν. Έχει αναφερθεί, ότι μέχρις ορισμένες τιμές θεωρούμενες όρια, οι οργανισμοί μπορούν να ζήσουν και να αναπτυχθούν κανονικά. Γενικά, θα υπάρχει συνδυασμένη αύξηση βιομάζας και μεγαλύτερη ταχύτητα πλήρωσης της λεκάνης από τα άμεσα ή έμμεσα προϊόντα του μεταβολισμού.

Ολιγοτροφισμός

Όποια και αν είναι η ταχύτητα εξέλιξης ενός υδάτινου συστήματος αυτό περνά, στην αρχή της ζωής του, από μια κατάσταση που χαρακτηρίζεται από υπερχρή των φυσικών και χημικών παραγόντων και από τον σχετικά ασήμαντο ρόλο που παίζουν γι' αυτό οι οργανισμοί. Είναι η φάση που ονομάζεται ολιγοτροφισμός. Ο ολιγοτροφισμός εκδηλώνεται με πολλούς τρόπους.

Οι πραγματικά ολιγότροφες λίμνες έχουν χαρακτηριστικά σχετικά απλά, τα οποία ο Thienemann (1925) συνόψισε παίρνοντας τα παραδείγματά του από την περιοχή της Σκανδιναβίας ή έχοντας επηρεαστεί από τους τεταρτογενείς παγετώνες. Είναι οι νέες λίμνες ή εκείνες των οποίων η παραγωγή παραμένει ασήμαντη, εξαιτίας της πραγματικής φτώχειας σε θρεπτικές ουσίες που έχει ως αποτέλεσμα μια ασήμαντη βιομάζα και μια ασήμαντη δυνατότητα αύξησης. Είναι γενικά οι βαθιές λίμνες που έχουν μια αναλογία: όγκος υπολίμνιου προς όγκος επιλίμνιου (Υ/Ε) σχετικά υψηλή. Τα νερά τους είναι διαφανή, έχουν χρώμα που μοιάζει με αυτό του καθαρού νερού και βρίσκεται μεταξύ του γαλάζι-

ου και ενός πράσινου λίγο έντονου. Στην ανάλυση δίνουν λίγο ξηρό υπόλειμμα, μια λογική περιεκτικότητα σε θρεπτικές ύλες και μια μεταβλητή αφθονία σε άλατα ασβεστίου. Η κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου είναι ορθοβαθμική το καλοκαίρι όπως και το χειμώνα. Τα νερά τους είναι φτωχά σε οργανικές αποσυντιθεμένες ουσίες.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των πραγματικά oligότροφων λιμνών είναι να περιέχουν βιομάζα με ασήμαντη δυνατότητα αύξησης. Η παραλιακή χλωρίδα είναι γενικά μηδαμινή. Το φυτοπλαγκτό έχει μειωμένο μεταβολισμό και δεν προκαλεί παρά ένα ανάλογο έλλειμμα σε οξυγόνο λιγότερο από 0,5 mg/cm² και ανά μήνα. Η πρωτογενής παραγωγή είναι εξίσου ασήμαντη, αν και η πλαγκτική βιομάζα είναι κατανεμημένη σε αρκετά μεγάλο πάχος και υπόκειται σε κατακόρυφες καθημερινές μετακινήσεις σχετικά σημαντικές. Δεν υπάρχει ποτέ επικράτηση ενός είδους (άνθη νερού). Τα βακτήρια και τα χλωροφύκη είναι τα κυριότερα που επικρατούν.

Ο Rawson (1956) θεώρησε ως τυπικά είδη των καναδικών oligότροφων νερών τα παρακάτω:

<i>Asterionella formosa</i>	Διάτομο
<i>Melosira islandica</i>	Διάτομο
<i>Tabellaria fenestrata</i>	Διάτομο
<i>Tabellaria flocculosa</i>	Διάτομο
<i>Fragilaria capucina</i>	Διάτομο
<i>Stephanodiscus niagarae</i>	Διάτομο
<i>Melosira granulata</i>	Διάτομο
<i>Dinobryon divergens</i>	Χρυσοφύκος
<i>Staurastrum</i> sp.	Χλωροφύκος

Η αερόβια φύση των ιζημάτων του πυθμένα επιτρέπει σε μια βενθική πανίδα πλούσια σε στενοξυβιοτικές μορφές να αναπτυχθεί σε όλα τα βάθη και σε 500 με 1000 άτομα ανά τετραγωνικό μέτρο (1 με 4 g ζωντανής ύλης). Είναι κυρίως οι προνύμφες των διπτέρων του γένους *Tanytarsus*. Στην περίπτωση των πιο φτωχών λιμνών [υπερολιγότροφες λίμνες του Naumann (1924), των πανολιγότροφων λιμνών του Pesta (1929)] η πιο χαρακτηριστική είναι η προνύμφη του γένους *Orthocladus*.

Ο Brundin (1958) πιστεύει ότι στο βόρειο ημισφαίριο οι αρμονικές υπερολιγότροφες λίμνες χαρακτηρίζονται από το είδος *Heterotrissocladus subpilosus* και οι μέσες oligότροφες από το *Tanytarsus lugens*.

Η παρουσία του διαλυμένου οξυγόνου στο σύνολο της μάζας του νερού όλες τις εποχές επιτρέπει στους πιο απαιτητικούς οργανισμούς να ζήσουν μέσα σε αυτό. Είναι η περίπτωση των ψαριών των οικογενειών Salmonidae και Coregonidae.

Πολυάριθμες είναι ακόμη οι oligότροφες λίμνες στις νέες περιοχές, τις πρόσφατα αποκαλυπτόμενες από τους τεταρτογενείς παγετώνες, όπως στον Καναδά, στη Σκανδιναβία, στις αλπικές ζώνες. Στη Γαλλία οι πολυάριθμες μικρές λίμνες των Άλπεων και των Πυρηναίων είναι επίσης oligότροφες.

Δυστροφισμός

Στην πραγματικότητα, ο αληθινός oligοτροφισμός είναι σχετικά σπάνιος. Πιο συχνά οι υδατοσυλλογές παρουσιάζουν έναν ορισμένο αριθμό χαρακτηριστικών, στενά συνδεδεμένων με τον oligοτροφισμό και πολλά άλλα (χαρακτηριστικά) που θα έπρεπε να τα κατατάξουμε σε μια άλλη κατηγορία (κατάσταση, διαφορετική σχετική ηλικία).

Υπάρχει, πράγματι, μια πρωτογενής oligοτροφία ή θεμελιώδης εδαφική oligοτροφία που θα την ονομάσουμε εδώ πιο απλά πραγματική (αληθινή) oligοτροφία και μια δευτερογενής oligοτροφία ή μορφομετρική. Στις κλιματικά ευνοϊκές περιοχές τα νερά μιας λίμνης μπορούν πράγματι να είναι ικανά να καλύπτουν τις ανάγκες μιας μεγάλης ποσότητας πλαγκτού (σημαντικής βιομάζας), έτσι ώστε η παρουσία υψηλής αναλογίας Y/E να μην επιτρέπει να φαίνεται ότι δημιουργείται ένα σημαντικό έλλειμμα σε οξυγόνο. Θα υπάρξει, λοιπόν, υπερεπίθεση μιας στατικής μορφομετρικής oligοτροφίας σε μια πρωτογενή ευτροφία. Μερικές φορές έρχεται να προστεθεί μια δυναμική μορφομετρική oligοτροφία, όταν σημαντικές εισροές φτάνουν στο βάθος των φτωχών και οξυγονωμένων νερών σε περίοδο θερμικής στρωμάτωσης: είναι η περίπτωση των λιμνών που τροφοδοτούνται από τα νερά της τήξης των πάγων.

Αυτή η περίπτωση ενδιαφέρει τόσο πιο πολύ, όσο πιο συχνά συνοδεύεται από μια παραγωγικότητα σχετικά υψηλή, εξαιτίας της βραδύτητας της συσσώρευσης των θρεπτικών αλάτων, τα οποία παραμένοντας πάντοτε διαθέσιμα στο νερό, επιτρέπουν την ισορροπημένη ανάπτυξη των οργανισμών όλο το χρόνο. Αυτά ανταποκρίνονται κυρίως στις εδαφικές επιδράσεις και μπορούν να μην εμφανιστούν σε λίμνες με oligοτροφία μορφομετρικής, υδρολογικής ή κλιματικής προέλευσης. Είναι μια από τις αιτίες για τις οποίες ο αριθμός των ειδών ορισμένων ομάδων του πλαγκτού που υπάρχουν είναι λιγότερο σημαντικός οικολογικά, απ' ό,τι ο αριθμός των ατόμων του είδους που επικρατεί.

Όλες οι υδατοσυλλογές δεν έχουν την ίδια εξέλιξη. Μερικές, χάρη στην παρουσία μιας αξιόλογης ποσότητας ασβεστίου, θα εξελιχθούν πιο γρήγορα από άλλες. Οι τελευταίες θα έχουν το μεταβολισμό τους λίγο-πολύ στιγμιαίο, αποκλεισμένο από προϊόντα ορυκτής ή οργανικής προέλευσης. Είναι η περίπτωση των νερών που βρίσκονται κάτω από τη διαρκή δράση των αλλόχθονων προϊόντων φυτικής προέλευσης, τέτοιων όπως τα χουμολιμνικά οξέα. Αυτά τα νερά

είναι φαιά, πολύ συχνά αρκετά όξινα, λίγο διαφανή, πλούσια σε μόρια κολλοειδούς φύσης, φτωχά σε ηλεκτρολύτες, κυρίως σε ασβέστιο. Οι χουμικές ύλες που τα χαρακτηρίζουν, καταπίπτουν στον πυθμένα. Η φύση αυτών των χουμικών υλικών και των αντίστοιχων ιζημάτων παρέχει στο νερό ειδικές βιολογικές ιδιότητες. Η διανομή του οξυγόνου είναι πολύ συχνά κλινοβαθμική με ολική απουσία αυτού κοντά στο βυθό. Η παραλιακή χλωρίδα είναι συχνά μειωμένη, αν και τα ριζωμένα είδη (*Carex*, *Littorella*, *Scirpus* κ.ά.) μπορούν να διατηρηθούν σε αυτήν και να αποτελέσουν τοπικά μια αρχή. Η πλαγκτική χλωρίδα είναι ποσοτικά φτωχή και δεν παρουσιάζει είδη που να επικρατούν πραγματικά (άνθη νερού): αποτελείται κυρίως από χλωροφύκη, δινομαστιγωτά, χρυσομανάδες. Η πανίδα του βυθού περιλαμβάνει σπάνιες ευροξυβιοτικές μορφές (0-20 άτομα στο τετραγωνικό μέτρο) κυρίως δίπτερα της οικογένειας Chironomidae, τέτοια όπως το *Chironomus plumosus* και το *Chironomus tenuistylus*. Στη βαθιά πλαγκτική πανίδα υπάρχει μερικές φορές σε αφθονία η διαφανής προνύμφη του *Chaoborus*. Το ζωοπλαγκτό, συχνά πλούσιο, περιλαμβάνει τα πρώτιστα, τα τροχόζωα, τα κλαδοκερωτά και μερικά είδη κωπηπόδων. Τα ψάρια δεν αντιπροσωπεύονται καλά. Αυτός ο πολύ ιδιαίτερος τύπος της λίμνης με βραδεία και χαρακτηριστική εξέλιξη ονομάστηκε δύστροφος. Πολύ συχνά είναι λίμνες πάνω σε όξινα εδάφη ή σε κωνοφόρα δάση. Η μελέτη αυτών των δύστροφων νερών ανήκει περισσότερο στη Βιοχημεία παρά στην παραδοσιακή Λιμνολογία. Μια τυπική δύστροφη λίμνη είναι η λίμνη Luitel κοντά στη Γκρενόμπλ της Γαλλίας.

Όταν η περιεκτικότητα σε ασβέστιο μεγαλώνει, δίχως να εξασθενεί ωστόσο το φαιό χρώμα των νερών που οφείλεται στα χουμικά οξέα, υπάρχει πέρασμα σε ένα πολύ ιδιαίτερο τύπο λίμνης, μελετημένο από το Jarnefelt (1925) και ονομαζόμενο από τον ίδιο μιξότροφο τύπο που απαντά κυρίως στη Φινλανδία και στη Νορβηγία.

Μεσοτροφισμός

Μια πραγματικά oligότροφη λίμνη εξελίσσεται με το πέρασμα του χρόνου. Κάτω από τη σταθερή επίδραση των εξωτερικών μεταφορών τελειοποιείται, με το να εμπλουτίζεται σε θρεπτικές ουσίες που επιτρέπουν μια πιο σημαντική αύξηση των πληθυσμών και ύστερα μια μεταβολή αυτών που επιτρέπει επιτάχυνση της προόδου. Μετά από μια μακρά φάση βραδείας εξέλιξης δημιουργείται μια περίοδος επιταχυνόμενης εξέλιξης που επιτρέπει να φτάσει την επόμενη φάση βραδείας εξέλιξης. Η διαφορετική ηλικία των περισσότερων λιμνών της γήινης σφαίρας έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν όλα τα ενδιάμεσα στάδια εξέλιξης ανάμεσα στις πραγματικά oligότροφες λίμνες και αυτές που επονομάστηκαν από το Naumann (1921) εύτροφες. Αυτές φτάνουν στο τελευταίο

στάδιο εξέλιξης που θα τις οδηγήσει ανεπανόρθωτα στην πλήρωσή τους, στο θάνατό τους, στην εξαφάνισή τους.

Ανάμεσα στις πραγματικά oligότροφες λίμνες και στις πραγματικά εύτροφες μπορεί να προσδιοριστεί ένα ενδιάμεσο στάδιο. Η σταθερότητά του εξαρτάται από την ταχύτητα εξέλιξης της μάζας του εξεταζόμενου νερού. Θεωρούμενος ως ένας υποβαθμισμένος oligότροφος τύπος ο μεσότροφος, χαρακτηρίζεται από ένα σχετικό έλλειμμα σε οξυγόνο που κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1 mg/cm² και ανά μήνα. Η κατανομή του οξυγόνου είναι τώρα λίγο-πολύ κλινοβαθμική. Τα ιζήματα εμπλουτίζονται σε οργανικές ύλες υποκείμενες σε σήψη. Η πλαγκτική χλωρίδα χαρακτηρίζεται κυρίως από τα παρακάτω είδη:

<i>Fragilaria crotonensis</i>	Διάτομο
<i>Ceratium hirundinella</i>	Δινομαστιγωτό
<i>Pediastrum boryanum</i>	Χλωροφύκος
<i>Pediastrum duplex</i>	Χλωροφύκος
<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	Χλωροφύκος
<i>Anabaena</i> spp.	Κυανοφύκος
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Κυανοφύκος
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Κυανοφύκος

Τα ψάρια με μικρό στόμα (κορήγωνοι) έχουν την τάση να εξαφανίζονται, ενώ αυτά με μεγάλο στόμα (πέστροφες) να αναπτύσσονται καλά. Ο μεσότροφος τύπος που ενδιαφέρει πολύ την εφαρμοσμένη Οικολογία, είναι μια παροδική κατάσταση που χαρακτηρίζει τις λίμνες των οποίων η βιολογική ισορροπία βρίσκεται στο δρόμο της μεταβολής. Αυτός ο τύπος δηλαδή χαρακτηρίζεται από μια διαδοχή μεταβολών.

Ευτροφισμός

Μια καλά στοιχειοθετημένη ανθρώπινη επίδραση πάνω στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι ο ευτροφισμός. Ένας πολυσύνθετος όρος που γενικά συνδέεται με την αυξανόμενη παραγωγικότητα, τη δομική απλοποίηση των βιοτικών συστατικών και τη μείωση της ικανότητας του μεταβολισμού των οργανισμών να προσαρμόζονται στις επιβαλλόμενες μεταβολές των συνθηκών. Σε συνθήκες ευτροφισμού, η περίσσεια συντελεστών παραγωγής συχνά τείνουν να ξεπεράσουν τη δυνατότητα του οικοσυστήματος να είναι σε ισορροπία. Στην πραγματικότητα, πάντως, τα οικοσυστήματα είναι εκτός ισορροπίας, μόνο σε ότι αφορά τα χημικά και βιοτικά χαρακτηριστικά των γλυκών νερών που επιθυμεί ο άνθρωπος να είναι σε κάποια σταθερά επίπεδα για συγκεκριμένους λόγους.

Ο ευτροφισμός, ή τροφικός εμπλουτισμός και οι συνέπειές του, αναγνωρίζονται

στηκε γενικά ως πρόβλημα κατά τα μέσα και τέλη του 20^{ου} αιώνα. Πρόκειται για ένα τεχνητό ευτροφισμό, ο οποίος προέρχεται από την αστική, τη βιομηχανική και την αγροτική δραστηριότητα του ανθρώπου. Παρ' όλα αυτά, ο ευτροφισμός δεν είναι μόνο ένα ανθρωπογενές πρόβλημα, αφού οποιαδήποτε μεταβολή μέσα σε μια φυσική ή μη λεκάνη απορροής θα επηρεάσει τη βιολογική κατάσταση των λιμνών και των ποταμών της. Πολύ περισσότερο δεν είναι κάτι καινούργιο· σε μερικά μέρη του κόσμου ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε τα οφέλη του τεχνητού εμπλουτισμού, επαυξάνοντας την αλιευτική παραγωγή σε υδατοσυλλογές και λίμνες για πολλούς αιώνες. Αυτό που είναι νέο στον 20^ο αιώνα είναι ο βαθμός επέκτασης του εμπλουτισμού των λιμνών και των ποταμών, απανταχού στον κόσμο και η σχετική έλλειψη ελέγχου στις πηγές των θρεπτικών συστατικών ή στις επιδράσεις αυτών στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Ευτροφισμός είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των βιολογικών αποτελεσμάτων μιας αυξανόμενης συγκέντρωσης λιπασμάτων (συνήθως αζωτούχων και φωσφορικών, αλλά μερικές φορές και άλλων, όπως πυριτίου, καλίου, ασβεστίου, σιδήρου ή μαγγανίου) σε υδάτινα οικοσυστήματα. Είναι δύσκολο να οριστεί επακριβώς, γιατί η περιγραφή της τροφικής φύσης οποιασδήποτε λίμνης, ποταμού ή εκβολής, συνήθως συσχετίζεται με μια προηγούμενη κατάσταση ή με μια κατάσταση αναφοράς με χαμηλότερη συγκέντρωση θρεπτικών, ονομαζόμενη ως μεσότροφη (ενδιάμεση) ή ολιγότροφη (χαμηλής περιεκτικότητας σε θρεπτικά).

Το επίθετο εύτροφος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από το Γερμανό βοτανολόγο Weber το 1907, για να περιγράψει τις τροφικές συνθήκες οι οποίες καθορίζουν τη φυτική κοινότητα στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης σε έλη με αυξημένη τύρφη. Αυτές (οι φυτικές κοινότητες) ξεκινούν μια ζωή πλούσια σε θρεπτικές ουσίες, αλλά καθώς συσσωρεύεται οργανική ύλη και το έλος ανυψώνεται, αποστραγγίζονται με τις βροχοπτώσεις. Ο Weber περιέγραψε τα τροφικά στάδια που ακολούθως ελέγχουν τις αλλαγές της βλάστησης και οδηγούν από τον εύτροφο στο μεσότροφο και έπειτα στον ολιγότροφο τύπο.

Οι τρεις όροι χρησιμοποιήθηκαν στη Λιμνολογία περίπου δώδεκα χρόνια αργότερα από το Σουηδό βοτανολόγο Naumann, για να περιγράψει τύπους λιμνών γλυκού νερού με χαμηλή, μέση ή υψηλή συγκέντρωση φωσφόρου, αζώτου και ασβεστίου. Οι περιεκτικότητες σε κάθε κατηγορία δεν καθορίστηκαν. Αντί αυτού ο Naumann ομαδοποίησε τα αποτελέσματα που είχαν στο φυτοπλαγκτό και στη διαφάνεια της λίμνης. Έτσι, μια ολιγότροφη λίμνη ήταν καθαρή, γαλάζια και περιείχε λίγο φυτοπλαγκτό· μια εύτροφη ήταν περισσότερο θολή και πράσινη από την έντονη αύξηση του φυτοπλαγκτού και μια μεσότροφη ήταν σε ενδιάμεση κατάσταση.

Οι έννοιες αυτές εμπλουτίστηκαν με άλλες σύγχρονες προσεγγίσεις της ταξινόμησης των λιμνών που αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη την εποχή εκείνη. Ο Teiling (1916) συνεχίζοντας την εργασία των West και West (1909), ανέπτυξε μια ταξινόμηση των ευρωπαϊκών λιμνών από τις ομάδες των επικρατέστερων φυτοπλαγκτικών ειδών. Οι δυο ακραίες περιπτώσεις ήταν οι βαθιές λίμνες των υψιπέδων της Βρετανίας και της Σκανδιναβίας, όπου επικρατούσαν είδη πράσινων φυκών και οι ρηχές λίμνες της Βαλτικής όπου επικρατούσαν είδη κυανοπράσινων φυκών, ονομάζονται πλέον ορθότερα κυανοβακτήρια. Ο Thienemann (1918) κατέταξε λίμνες της γερμανικής περιοχής του Eifel με βάση τις εποχικές μεταβολές τους σε οξυγόνο και τις διαφορές τους στη βενθική πανίδα. Βρήκε ότι οι βαθύτερες, μη παραγωγικές λίμνες, των οποίων τα νερά του βυθού τους δεν είχαν εξαντλήσει το οξυγόνο κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, εξαιτίας της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης που κατακρημνιζόταν από τα ανώτερα στρώματα, είχαν ποικίλη πανίδα. Αυτό ερχόταν σε αντίθεση με τις ρηχότερες λίμνες, των οποίων η παραγωγή οργανικής ύλης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ήταν υψηλή. Η αποσύνθεση αυτής της οργανικής ύλης ήταν η αιτία μείωσης του οξυγόνου στα χαμηλότερα στρώματα. Η πανίδα αυτών των λιμνών χαρακτηριστικά αποτελούνταν από λίγα είδη ανθεκτικά σε συνθήκες χαμηλής συγκέντρωσης οξυγόνου.

Ο Mortimer (1941, 1942) εργαζόμενος στην ίδια κατηγορία λιμνών, προήγαγε την κατανόησή μας στις εξελικτικές αλλαγές των λιμνών, με την εξήγηση των διαδικασιών που ελέγχουν τις ανταλλαγές των διαλυμένων ουσιών μεταξύ νερού και ιζήματος της λίμνης. Βρήκε ότι ο βαθμός οξειδωσης-αναγωγής στην επιφάνεια του ιζήματος είναι συνέπεια της αποξυγόνωσης του υπερκείμενου νερού και καθορίζει τη μετακίνηση των διαλυμένων ουσιών μεταξύ ιζήματος και νερού (από τις οποίες ο φωσφόρος είναι ο πλέον σημαντικός). Αν η επιφάνεια της λάσπης είναι οξειδωμένη, ανευρίσκεται ο τρισθενής σίδηρος σε μια σύνθετη κολλοειδή δομή που εμποδίζει την ανταλλαγή φωσφόρου. Αν η επιφάνεια της λάσπης γίνει περισσότερο αναερόβια, ο σίδηρος μετατρέπεται σε δισθενή, η σύνθετη δομή καταστρέφεται και ο φωσφόρος μετακινείται από το ιζημα στο υπερκείμενο νερό. Ο Mortimer διέκρινε τρία στάδια στην εξέλιξη των λιμνών: το στάδιο 1 είναι μια μακρά περίοδος, όπου η επιφάνεια της λάσπης μένει μόνιμα οξειδωμένη και το ιζημα συσσωρεύει θρεπτικά: το στάδιο 2 είναι μια περίοδος όπου η επιφάνεια της λάσπης ανάγεται αρχικά περιοδικά, ελευθερώνοντας θρεπτικά και άλλα ιόντα στον υδάτινο όγκο και το στάδιο 3 είναι μια περίοδος μόνιμης αποξυγόνωσης, όπου ο σίδηρος κατακρημνίζεται ως θειούχος.

Οι ιδέες για την εξέλιξη των λιμνών αναπτύχθηκαν διεξοδικότερα στις Η.Π.Α., όπου εξελίχθηκαν περισσότερο ποσοτικές και δυναμικές ιδέες για τα οικοσυστήματα σε θέματα μεταφοράς ενέργειας. Ο Lindeman (1942), σε μια

σημερινή κλασική εργασία, ανέπτυξε τις αρχές της ροής ενέργειας μέσα από διαφορετικά υδάτινα τροφικά επίπεδα, υποθέτοντας ότι ο ευτροφισμός ήταν ένα φυσικό στάδιο στη ζωή μιας λίμνης, καθώς βαθμιαία γέμιζε με ιζημα ως αποτέλεσμα της διάβρωσης της λεκάνης απορροής και με οργανική ύλη από τον ίδιο το μεταβολισμό της. Εκκινώντας από ένα oligότροφο σταδιο με χαμηλή παραγωγικότητα, μια τυπική εύκρατη λίμνη σε παγετωνική περιοχή θα ανέβαζε την παραγωγικότητά της σχετικά γρήγορα, καθώς τα θρεπτικά συσσωρεύονται, μέχρις ότου φτάσει σε μια κατάσταση διαρκούς ευτροφίας. Αυτό μπορεί να διαρκέσει για πολύ χρόνο, χιλιάδες χρόνια, μέχρις ότου η λίμνη γίνει πολύ ρηχή για επιτυχή αύξηση του φυτοπλαγκτού ή ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών και αναπτυχθεί σε ένα κλειστό έλος ή βάλτο.

Για τον Thienemann (1925), μια πραγματικά εύτροφη λίμνη είναι μια πεδινή λίμνη λίγο βαθιά, με αναλογία Υ/Ε μικρή, με νερά πράσινα προς υπόφαια, λίγο ή πολύ λίγο διαφανή και πλούσια σε θρεπτικές ουσίες και σε ασβέστιο. Τα ιζήματα του πυθμένα περιέχουν αποσυντιθεμένες ουσίες σε μεγάλη ποσότητα. Η κατανομή του οξυγόνου είναι είτε κλινοβαθμική είτε θετική ετεροβαθμική σε θερμή εποχή· δεν υπάρχει ποτέ περισσότερο από 40 % διαλυμένο οξυγόνο στη βαθιά ζώνη. Εδώ πρέπει να υπάρχει στην περίοδο της κυκλοφορίας στιγμιαία οξυγόνωση της βαθιάς ζώνης (λίμνες σχετικά βαθιές), αλλά το σχετικό έλλειμμα οξυγόνου σε αυτήν είναι πάντοτε ανώτερο από 1 mg/cm² και ανά μήνα. Το πλαγκτό είναι άφθονο, κυρίως στα επιφανειακά στρώματα και υποκείμενο σε σχετικά ασήμαντες κατακόρυφες καθημερινές μετακινήσεις. Τα κυανοφύκη αντιπροσωπεύονται γενικά καλύτερα από τα χλωροφύκη και μπορούν να σχηματίσουν “άνθη νερού”, αν ένα είδος πολλαπλασιάζεται σε σημείο που να επικρατήσει σαφώς. Η πανίδα του πυθμένα είναι φτωχή σε είδη, αποτελούμενη από μορφές ευροξυβιοτικές και κυρίως oligόχαιτους και προνύμφες διπτέρων (*Chironomus plumosus* και στο ζωοπλαγκτό του βυθού *Chaoborus*). Ποσοτικά, αντίθετα, αυτή η πανίδα είναι πλούσια και μπορεί να υπολογιστεί σε 2.000 με 10.000 οργανισμούς στο τετραγωνικό μέτρο (20 με 100 g)· είναι ακανόνιστα διανεμημένα στο βυθό και χρησιμοποιείται λίγο από τα ψάρια, τα οποία δεν εκτίθενται καθόλου σε αυτήν τη ζώνη, όπου οι συνθήκες ζωής είναι δύσκολες για τα αερόβια ζώα για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.

Πολυάριθμες ευρωπαϊκές λίμνες, ιδίως στην περιοχή της Βαλτικής, είναι εύτροφες, καθώς και οι περισσότερες ελληνικές.

Άμεσες και έμμεσες βιολογικές αλλαγές

Οι βιολογικές αλλαγές που συμβαίνουν σε μια λίμνη, ως αποτέλεσμα του ευτροφισμού, είναι δυνατόν να διαχωριστούν σε αυτές που είναι τα άμεσα αποτελέσματα της εισροής θρεπτικών, όπως είναι η διέγερση της αύξησης των φυ-

κών, και σε αυτές που είναι τα έμμεσα αποτελέσματα, όπως οι αλλαγές στην κοινότητα των ψαριών ως συνέπεια της μείωσης της συγκέντρωσης του οξυγόνου.

Τα άμεσα αποτελέσματα συμβαίνουν όταν η αύξηση των οργανισμών, συνήθως των πλαγκτικών φυκών, απελευθερώνεται από τον τροφικό περιορισμό. Σε κάθε οικοσύστημα η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε παραγωγή οργανικής ύλης σπάνια φτάνει τη μέγιστη φυσιολογική ικανότητα των φυτών που ζουν εκεί. Κάθε είδος θα περιορίζεται από τους περιβαλλοντικούς πόρους, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι σε μικρότερη ποσότητα τη στιγμή εκείνη, ακόμη και αν άλλοι βρίσκονται σε αφθονία σε σχέση με τις ανάγκες ενός οργανισμού. Οι πλέον συνήθεις περιβαλλοντικοί πόροι που περιορίζουν την παραγωγή είναι το φως και τα τροφικά αποθέματα (ή η τροφή στην περίπτωση των ζώων). Όποιος από αυτούς πέσει κάτω από το ελάχιστο επίπεδο στήριξης της αύξησης, θα ρυθμίσει τον πληθυσμό αυτών των ειδών. Αυτό ονομάζεται συχνά νόμος του ελαχίστου και αποτελεί σημαντική οικολογική έννοια, ακόμη και αν είναι μια απλοποιημένη άποψη γι' αυτό που πράγματι συμβαίνει. Πιθανώς υπάρχουν περιορισμοί στο ρυθμό αύξησης παρά στο ανώτερο όριο της πληθυσμιακής βιομάζας. Στις λίμνες οι περιοριστικοί παράγοντες είναι συνήθως ο φωσφόρος και το φως για τα φύκη, τα τροφικά διαθέσιμα και η θερμοκρασία για τα ζώα.

Υπάρχουν, επίσης, έμμεσα βιολογικά αποτελέσματα στην απελευθέρωση ενός πληθυσμού από τη φάση περιορισμού, με ένα κατάλληλο απόθεμα όλων των πόρων. Ο ρυθμός αύξησης αυξάνει και μπορεί να φτάσει σε σημείο όπου ο πληθυσμός έρχεται σε ανταγωνισμό για έναν ή περισσότερους πόρους με γειτονικά είδη. Μια συνέπεια αυτού μπορεί να είναι η αντικατάσταση ενός μικρότερου ανταγωνιστή με έναν άλλο που να είναι πιο αποτελεσματικός στη χρήση των πόρων. Έτσι, σε μια λίμνη με μια αύξηση των αποθεμάτων του φωσφόρου θα αυξηθεί η βιομάζα των φυκών και θα αλλάξουν τα είδη που συνιστούν τη βιομάζα αυτή.

Άλλα έμμεσα αποτελέσματα του ευτροφισμού μπορεί να εμφανιστούν, όταν μια αύξηση στην παραγωγή του πληθυσμού οποιουδήποτε είδους έχει επιδράσεις πάνω στο φυσικοχημικό περιβάλλον όπου ζει (όπως η συγκέντρωση οξυγόνου ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης από την αναπνοή του βακτηριακού πληθυσμού ή η ποσότητα του φωτός ως αποτέλεσμα της πυκνότητας του πληθυσμού των φυκών). Αυτό μπορεί να επηρεάσει άλλα είδη που μοιράζονται το ίδιο περιβάλλον, αλλά δεν ανταγωνίζονται άμεσα για πόρους μέσα σε αυτό.

Η διαδοχή των αλλαγών με τον ευτροφισμό

Η διαδοχή των αλλαγών που συμβαίνουν συνήθως σε λίμνες υποκείμενες σε ευτροφισμό είναι μια άμεση και έμμεση συνέπεια της αύξησης της συγκέντρωσης των θρεπτικών, τα οποία εμπεριέχονται σε κάθε συστατικό του λι-

μναίου οικοσυστήματος. Αρχικά μπορεί να ανιχνευτεί μια αύξηση στην εισροή αζωτούχων και φωσφορικών αλάτων, μερικές φορές μαζί με άλλα ιόντα, όπως: σβεστίου, καλίου, σιδήρου, μαγγανίου, θεικών και χλωριούχων, που εξαρτώνται από την πηγή προέλευσης. Αυτές οι θρεπτικές ουσίες προσλαμβάνονται από επίφυτα (προσκολλημένα) και πλαγκτικά φύκη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της βιομάζας και της παραγωγικότητας και αλλαγές στο εποχικό πρότυπό τους. Παρουσιάζονται αλλαγές στα είδη, για παράδειγμα επικρατούν στο πλαγκτό λίγα είδη, όπως διάτομα, κυανοβακτήρια και μονοκύτταρα πράσινα φύκη. Μπορεί επίσης, να παρουσιαστούν μικρότερες μετατοπίσεις, όπως αλλαγές στα είδη των διατόμων μέσα σε ένα γένος. Βυθισμένα μακρόφυτα μπορεί να αυξηθούν επίσης σε βιομάζα, ιδιαίτερα σε ασβεστούχα νερά, αλλά συχνότερα η μακροφυτική βιομάζα μειώνεται με την αύξηση του εμπλουτισμού, ως αποτέλεσμα του ανταγωνισμού για το φως με το φυτοπλαγκτό ή τα επίφυτα. Υπάρχει ακόμη μια μείωση της ποικιλότητας, καθώς εξαφανίζονται είδη μη ανθεκτικά σε χαμηλό φως, σε υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων στερεών ή στον ανταγωνισμό.

Αλλαγές εμφανίζονται στο καθεστώς οξυγόνου του υδάτινου όγκου ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης και αποσύνθεσης των φυτικών θρυμμάτων του φυτοπλαγκτού και των μακροφύτων στη λάσπη του βυθού της λίμνης. Η έκταση των αλλαγών αυτών εξαρτάται πάρα πολύ από την έκταση της λεκάνης της λίμνης, ιδιαίτερα αν είναι βαθιά. Οι περισσότερες λίμνες με βάθος πάνω από 10 μέτρα είναι ενδεχομένως ικανές να σχηματίζουν στρώματα. Αυτό σημαίνει ότι σε συνθήκες νηνεμίας και ζέστης, το πάνω στρώμα του νερού, πάχους λίγων μέτρων, συγκεντρώνει τη θερμότητα, γίνεται ελαφρότερο και επιπλέει στο ψυχρότερο και πυκνότερο νερό του βυθού. Αυτό μπορεί να συμβαίνει σε καθημερινή βάση, όπως σε πολλές τροπικές λίμνες ή σε εποχική βάση κατά τους θερινούς μήνες των εύκρατων περιοχών.

Αν η στρωμάτωση διαρκεί για περισσότερο από μερικές ημέρες, τα στρώματα βαθμηδόν διαχωρίζονται χημικά και βιολογικά. Το πάνω στρώμα που ονομάζεται επιλίμνιο, φωτίζεται και περιέχει τους περισσότερους φυτοπλαγκτικούς πρωτογενείς παραγωγούς και το ζωοπλαγκτό που τρέφεται από αυτό. Αυτό παραμένει εμπλουτισμένο με οξυγόνο, ως αποτέλεσμα της δραστηριότητας των πρωτογενών παραγωγών και της διάχυσης από την ατμόσφαιρα, αλλά γίνεται φτωχό σε θρεπτικά, εξαιτίας της απορρόφησής τους από τους φυτικούς και ζωικούς ιστούς. Νεκροί οργανισμοί και περιττώματα βυθίζονται στο χαμηλότερο στρώμα που ονομάζεται υπολίμνιο, όπου αποσυντίθενται από βακτήρια ταυτόχρονα στη στήλη του νερού και στο ίζημα, και εξασφαλίζουν τροφή για τα ασπόνδυλα που διαβιούν στο ίζημα. Το οξυγόνο εδώ είναι μειωμένο ως απο-

τέλεσμα της αναπνοής και της απουσίας αναπλήρωσής του από την επιφάνεια. Ορισμένα διαλυτά θρεπτικά, όπως τα φωσφορικά και τα διαλυτά ιόντα (δισθενής σίδηρος και δισθενές μαγγάνιο) ελευθερώνονται από ανοξική βακτηριακή δραστηριότητα και συγκεντρώνονται μέχρις ότου προσληφθούν από πρωτογενείς παραγωγούς ή μέχρις ότου αναμειχθούν.

Σε πολλές λίμνες η στρωμάτωση καταστρέφεται κατά τη διάρκεια της νύχτας (στις τροπικές περιοχές) ή από φθινοπωρινούς ανέμους (στις εύκρατες περιοχές) που ανατρέπουν τη στρωμάτωση και προκαλούν ανάμειξη των νερών της λίμνης. Μερικές βαθιές λίμνες παρουσιάζουν μόνιμη στρωμάτωση και το υπολίμνιο είναι μόνιμο, ανοξικό και με βυθισμένα θρεπτικά. Η μέγιστη έκταση της μείωσης του οξυγόνου εξαρτάται από την αλληλεπίδραση των παρακάτω παραγόντων:

- **Όγκος του υπολίμνιου.** Ένα μεγαλύτερο υπολίμνιο συγκρατεί περισσότερο οξυγόνο, έτσι ώστε η μείωσή του θα συμβεί αργότερα απ' ό,τι σε ένα υπολίμνιο με μικρότερο όγκο.
- **Βάθος της λίμνης.** Το υπολίμνιο μιας βαθύτερης λίμνης θα παραμείνει σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτό μιας ρηχότερης λίμνης της ίδιας περιοχής, γιατί μπορεί να απορροφηθεί από το επιλίμνιο λιγότερη θερμότητα ανά μονάδα όγκου. Κατά συνέπεια θα μειωθεί η αναπνοή της κοινότητας και η μείωση του οξυγόνου θα είναι βραδύτερη. Μια βαθύτερη λίμνη θα έχει επίσης ένα υπολίμνιο με μεγαλύτερο όγκο.
- **Ποσότητα των οργανικών κατακρημνισμάτων από το επιλίμνιο.** Αυτή αυξάνει καθώς αυξάνεται η παραγωγή στο επιλίμνιο. Για το λόγο αυτό θα αυξηθεί ο μεταβολισμός της κοινότητας στο υπολίμνιο και κατά συνέπεια ο βαθμός μείωσης του οξυγόνου.
- **Διάρκεια του χρόνου διατήρησης της στρωμάτωσης.** Διαφορές, όπως μια πιο προφυλαγμένη θέση ή ένα μακρύ ζεστό καλοκαίρι, θα παρατείνουν τη στρωμάτωση και θα επαυξήσουν τη μείωση του οξυγόνου.

Η βακτηριακή βιομάζα και παραγωγή ακολουθεί ως αποτέλεσμα της αύξησης των θρεπτικών και των οργανικών θρυμμάτων (τα οποία, τα βακτήρια μπορούν άμεσα να απορροφήσουν σε ανταγωνισμό με τα φύκη). Η αναπνοή της βακτηριακής βιομάζας στην υπολίμνια στήλη νερού και στο ίζημα είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας της απορρόφησης οξυγόνου.

Τα βακτήρια και τα φύκη καταναλώνονται από τη βόσκηση χορτοφάγων/θρυμματοφάγων που ανευρίσκονται στο πλαγκτό και στο ίζημα. Μια αύξηση στην πυκνότητα του ζωπλαγκτού ακολουθεί μια αύξηση στη βιομάζα των φυκών, των βακτηρίων και των θρυμμάτων. Παρ' όλα αυτά, αλλαγές στη σύνθεση των ειδών μπορούν να συμβούν σαν συνέπεια των διαφορετικών ικανοτήτων

που χρησιμοποιεί το ζωοπλαγκτό για να προσλάβει τμήματα τροφής διαφορετικών μεγεθών (τα μεγαλόσωμα είδη τρέφονται πιο αποτελεσματικά) και διαμέσου της επίδρασης της επιλογής μεγέθους των αρπακτικών ψαριών (μεγαλόσωμα είδη είναι πιο ευάλωτα στα ψάρια που αναζητούν την τροφή τους οπτικά).

Ποιοτικές και ποσοτικές αλλαγές συμβαίνουν στη βενθική πανίδα ως αποτέλεσμα των αλλαγών στο καθεστώς οξυγόνωσης και του τροφικού αποθέματος από το επιλίμνιο. Είδη λιγότερο ανθεκτικά στη μείωση του οξυγόνου λιγοστεύουν και αυτά που απομένουν μπορεί να φτάσουν σε πολύ υψηλές πυκνότητες, με επικράτηση ειδών προνυμφών Chironomidae και ολιγόχαιτων σκωλήκων (συνά με προσαρμογές, όπως η αιμογλοβίνη στο αίμα τους).

Η σύνθεση των ειδών των ψαριών μπορεί να αλλάζει, αρχικά ως αποτέλεσμα της έντασης μείωσης του οξυγόνου στο υπολίμνιο που ωθεί είδη ευαίσθητα στο οξυγόνο σε πιο θερμά, ανώτερα, στρώματα της λίμης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε θερμικό στρες τα είδη που ζουν σε κρύα νερά, όπως τα σαλμονοειδή και στην πιθανή αντικαταστασή τους από είδη ανθεκτικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες και μειωμένη περιεκτικότητα οξυγόνου, όπως τα κυπρινοειδή. Παρ' όλα αυτά, η βιομάζα των ψαριών μπορεί συχνά να αυξηθεί ή το λιγότερο να διατηρηθεί ως επακόλουθο της αύξησης των αποθεμάτων τροφής, ακόμη και αν οι αλλαγές στα είδη μειώνουν την οικονομική αξία του ιχθυαποθέματος.

Τα μη αποσυνθεμένα σκληρά τμήματα πολλών ειδών υδρόβιων ζώων και φυτών συσσωρεύονται στα ιζήματα των λιμνών, προσφέροντας τη δυνατότητα ιστορικής καταγραφής των διαδικασιών της αλλαγής. Κατάλληλα υπολείμματα είναι τα πυριτικά κελύφη των διατόμων και ορισμένων ομάδων φυκών, ψευδοαπολιθώματα ασπόνδυλων ζώων, όπως τα κλαδοκερωτά (το περίβλημα παραμένει) και τα Chironomidae (παραμένει η κεφαλική κάψα) και τα λέπια των ψαριών. Αυτά, μαζί με τα ορυκτά ιζήματα και τους χερσαίους κόκκους γύρης της λεκάνης απορροής και με ποικίλες τεχνικές χρονολόγησης επιτρέπουν να δημιουργηθούν επακριβείς εικόνες της ιστορίας του παρελθόντος μιας λίμνης από γεωτροπητικούς πυρήνες.