



Κεφάλαιο 2

ΑΝΘΡΩΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

«Τη γη δεν την
κληρονομήσαμε από τους
γονείς μας, τη
δανειστήκαμε από τα παιδιά
μας».

2. ΑΝΘΡΩΠΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ο άνθρωπος, από την εμφάνισή του στη Γη, βρίσκεται σε διαρκή αλληλεπίδραση με το περιβάλλον του. Το περιβάλλον του ανθρώπου, είτε φυσικό είτε τεχνητό, καθορίζει τις συνθήκες μέσα στις οποίες ο άνθρωπος ζει και αναπαράγεται, ταυτόχρονα όμως διαμορφώνεται από αυτόν, ώστε να ανταποκρίνεται περισσότερο στις ανάγκες του.

Οικολογία είναι η επιστήμη που μελετά τις σχέσεις των οργανισμών – και φυσικά του ανθρώπου – με:

- τους αβιοτικούς παράγοντες του περιβάλλοντός τους, δηλαδή το κλίμα (υγρασία, θερμοκρασία, ηλιοφάνεια), τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, τη σύσταση του εδάφους, την αλατότητα του νερού κ.ά.
- τους άλλους οργανισμούς που ανήκουν στο ίδιο ή σε διαφορετικό είδος από αυτούς.

2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Συστατικά του οικοσυστήματος

Η έννοια του οικοσυστήματος αποτελεί θεμελιώδη έννοια για την Οικολογία. Το οικοσύστημα είναι ένα σύστημα μελέτης που περιλαμβάνει τους **βιοτικούς παράγοντες** μιας περιοχής, δηλαδή το σύνολο των οργανισμών που ζουν σ' αυτήν, τους **αβιοτικούς παράγοντες** της περιοχής, καθώς και το **σύνολο των αλληλεπιδράσεων** που αναπτύσσονται μεταξύ τους.



Οι οργανισμοί που ζουν σε ένα οικοσύστημα διακρίνονται, ανάλογα με τον τρόπο που εξασφαλίζουν την τροφή τους, σε παραγωγούς, καταναλωτές και αποικοδομητές.

Οι **παραγωγοί** είναι οι οργανισμοί που φωτοσυνθέτουν, έχουν δηλαδή την ικανότητα να δεσμεύουν την ηλιακή ενέργεια και να την αξιοποιούν για την παραγωγή γλυκόζης και άλλων υδατανθράκων από απλά ανόργανα μόρια (διοξείδιο του άνθρακα και νερό). Στους παραγωγούς, που χαρακτηρίζονται και ως **αυτότροφοι** οργανισμοί, διότι παράγουν οι ίδιοι τις χημικές ουσίες από τις οποίες εξασφαλίζεται η απαραίτητη ενέργεια για την επιβίωσή τους, υπάγονται οι πολυκύτταροι φυτικοί οργανισμοί, τα φύκη και τα κυανοβακτήρια.

Όλοι οι άλλοι οργανισμοί των οικοσυστημάτων, οι οποίοι δε φωτοσυνθέτουν, χαρακτηρίζονται ως **ετερότροφοι**, γιατί παραλαμβάνουν με την τροφή τους τις χημικές ουσίες που είναι απαραίτητες για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους.

Οι ετερότροφοι οργανισμοί διακρίνονται σε καταναλωτές και αποικοδομητές. Στους **καταναλωτές**, τους οργανισμούς δηλαδή που τρέφονται με φυτικούς ή άλλους ζωικούς οργανισμούς, ανήκουν οι μονοκύτταροι και οι πολυκύτταροι ζωικοί οργανισμοί. Οι καταναλωτές, ανάλογα με «τον αριθμό των βημάτων» που τους χωρίζουν από τους παραγωγούς, διακρίνονται σε:

- **καταναλωτές πρώτης τάξης**, που είναι τα φυτοφάγα ζώα,
- **καταναλωτές δεύτερης τάξης**, που είναι τα σαρκοφάγα ζώα τα οποία τρέφονται με φυτοφάγα,
- **καταναλωτές τρίτης τάξης**, που είναι τα σαρκοφάγα τα οποία τρέφονται με άλλα σαρκοφάγα.



α



β



γ



δ

Εικόνα 2.1:

α) Παραγωγοί, β) καταναλωτής πρώτης τάξης, γ) καταναλωτής δεύτερης τάξης, δ) αποικοδόμηση (μύκητες πάνω σε πεσμένα φύλλα)

Στους **αποικοδομητές** ανήκουν τα βακτήρια του εδάφους και οι μύκητες που τρέφονται με τη νεκρή οργανική ύλη (φύλλα, καρπούς, απεκκρίσεις, τρίχες, σώματα νεκρών οργανισμών). Οι αποικοδομητές παίζουν σπουδαίο ρόλο στη λειτουργία του οικοσυστήματος, καθώς μετατρέπουν την οργανική ύλη σε ανόργανη, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ νέου από τους φυτικούς οργανισμούς.

Οι οργανισμοί ενός οικοσυστήματος οι οποίοι ανήκουν στο ίδιο είδος αποτελούν έναν **πληθυσμό**. Το σύνολο των διαφορετικών πληθυσμών που ζουν σε ένα οικοσύστημα, αλλά και οι σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους αποτελούν τη **βιοκοινότητα** του οικοσυστήματος, ενώ **βιότοπος** είναι η περιοχή στην οποία ζει ένας πληθυσμός ή μια βιοκοινότητα.

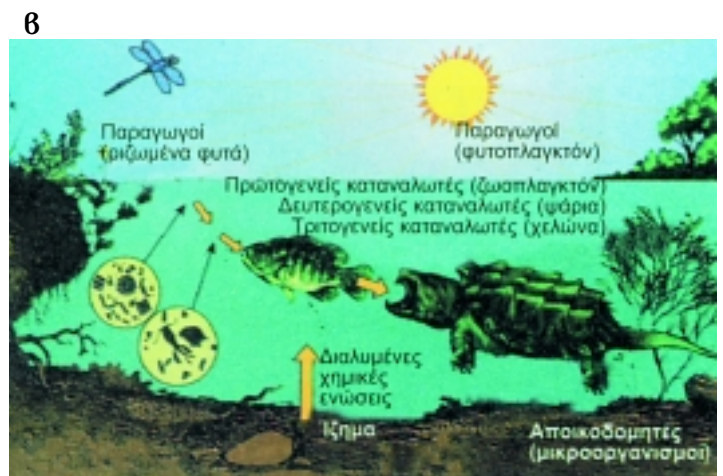
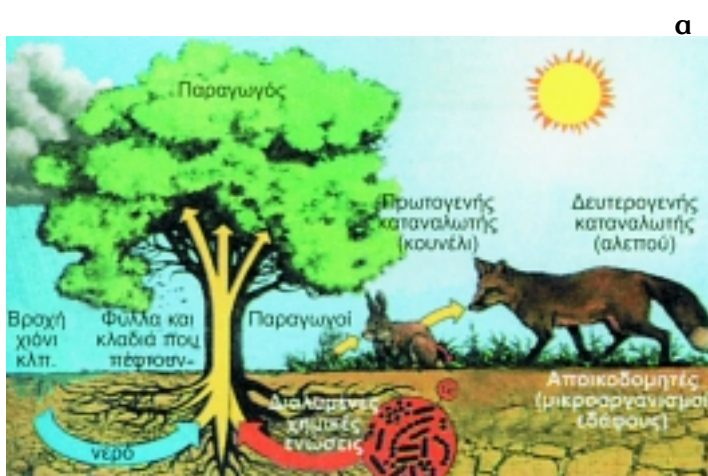
Οι αβιοτικοί παράγοντες ενός οικοσυστήματος βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση με τους βιοτικούς και καθορίζουν τη φύση του αλλά και τη λειτουργία του. Για παράδειγμα, το πόσο διαθέσιμο είναι το νερό σε ένα οικοσύστημα καθορίζει την ποικιλία των οργανισμών που ζουν σ' αυτό αλλά και τις μεταξύ τους σχέσεις. Αν, για παράδειγμα, η βροχόπτωση σε μια περιοχή είναι μεγάλη, ευνοείται η αύξηση του πληθυσμού των διαφορετικών φυτικών ειδών και



Εικόνα 2.2: Μεσογειακό οικοσύστημα

κατ' επέκταση η αύξηση του πληθυσμού των φυτοφάγων ζώων.

Η διατήρηση των οικοσυστημάτων, όπως και κάθε άλλης οργανωμένης δομής, απαιτεί συνεχή προσφορά ενέργειας. Τα οικοσυστήματα που υπάρχουν στον πλανήτη μας, στην πλειονότητά τους, εισάγουν την ενέργεια που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της δομής τους με τη μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα οικοσυστήματα αυτά χαρακτηρίζονται ως **αυτότροφα** και διακρίνονται από τα **ετερότροφα**, στα οποία η εισαγωγή ενέργειας γίνεται με τη μορφή χημικών ενώσεων. Ένα παράδειγμα ετερότροφου οικοσυστήματος είναι μια πόλη, η οποία εισάγει την ενέργεια που χρειάζεται



Εικόνα 2.3: α) Χερσαίο οικοσύστημα, β) οικοσύστημα μιας λίμνης

για την επιβίωση των κατοίκων της με τη μορφή των τροφίμων που δεν έχουν παραχθεί σ' αυτήν αλλά σε άλλα αυτότροφα οικοσυστήματα.

Βέβαια όσο αναγκαία είναι η τροφοδότηση ενός οικοσυστήματος με ενέργεια άλλο τόσο αναγκαία είναι και η διανομή της στους οργανισμούς του, ώστε να καλύπτουν αυτοί τις ανάγκες τους. Η διανομή ενέργειας γίνεται μέσω των τροφικών σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των οργανισμών του οικοσυστήματος (ροή ενέργειας).

Τέλος, απαραίτητη προϋπόθεση για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων είναι η ανακύκλωση των διάφορων χημικών στοιχείων, ώστε να είναι αυτά συνεχώς διαθέσιμα στους οργανισμούς ενός οικοσυστήματος.

2.1.1 Χαρακτηριστικά οικοσυστημάτων

Μέγεθος και όρια

Επειδή το οικοσύστημα είναι ένα σύστημα μελέτης, δηλαδή ένα σύνολο από αντικείμενα που δεν εξετάζονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο αλλά στην αλληλεπίδρασή τους, το μέγεθος και τα όριά του καθορίζονται κάθε φορά από τον ερευνητή που το μελετά.

Πράγματι, ένα οικοσύστημα μπορεί να είναι τόσο μεγάλο όσο ολόκληρη η βιόσφαιρα, δηλαδή το τμήμα του φλοιού της Γης και της ατμόσφαιρας που επιτρέπει την ύπαρξη ζωής, αλλά και τόσο πολύ μικρό όσο μια γλάστρα με ένα φυτό στα φύλλα του οποίου επιβιώνει ένας μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών. Αναφορικά με τα όρια, αν και καθορίζονται αυθαίρετα από τον ερευνητή, σε μερικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στο οικοσύστημα ενός νησιού, μπορούν να καθοριστούν με σχετική ακρίβεια.



Εικόνα 2.4: Βιόσφαιρα, το μεγαλύτερο γνωστό οικοσύστημα

Ισορροπία - Ποικιλότητα

Τα οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από την τάση να διατηρούν σε ισορροπία τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των διάφορων βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων τους. Η ισορροπία όμως αυτή των οικοσυστημάτων δεν αντιπροσωπεύει μια στατική κατάσταση. Αντίθετα, οι σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των παραγόντων ενός οικοσυστήματος μεταβάλλονται συνεχώς και ποσοτικά και ποιοτικά. Οι μηχανισμοί όμως αυτορρύθμισης που διαθέτει κάθε οικοσύστημα το κάνουν ικανό να επαναφέρει την ισορροπία στις σχέσεις μεταξύ βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, οπότε μια μεταβολή τείνει να τις απορρυθμίσει. Ένα λιβάδι, για παράδειγμα, μπορεί να φιλοξενήσει ένα συγκεκριμένο αριθμό φυτοφάγων ζώων που είναι ανάλογος με την ποσότητα της διαθέσιμης τροφής (χορτάρι). Αν όμως για κάποιο λόγο, όπως για παράδειγμα εξαιτίας μιας περιορισμένης πυρκαγιάς, μειωθεί η ποσότητα της διαθέσιμης τροφής, θα μειωθεί αναλογικά και ο πληθυσμός των φυτοφάγων ζώων για τα οποία μπορεί να εξασφαλιστεί τροφή από το οικοσύστημα.

Ο όρος «ποικιλότητα» αναφέρεται στα διαφορετικά είδη οργανισμών που υπάρ-

χουν σε ένα οικοσύστημα. Η ποικιλότητα των οικοσυστημάτων, αν και φαινομενικά αντιβαίνει στην ισορροπία τους, καθώς θα ήταν αναμενόμενο οι πιο απλές δομές να είναι και πιο σταθερές, αντίθετα την ενισχύει. Πράγματι, όσο μεγαλύτερη ποικιλότητα έχει ένα οικοσύστημα, τόσο πιο ισορροπημένο είναι. Αυτό συμβαίνει, γιατί τα οικοσυστήματα με μεγαλύτερη ποικιλότητα παρουσιάζουν και μεγαλύτερη ποικιλία σχέσεων μεταξύ των βιοτικών παραγόντων τους. Έτσι, όποτε μια μεταβολή διαταράσσει την ισορροπία τους, υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι μηχανισμοί αυτορρύθμισης που την αποκαθιστούν. Αν, για παράδειγμα, σε ένα οικοσύστημα είναι περιορισμένος ο αριθμός των διαφορετικών ειδών που ζουν σ' αυτό, περιορίζεται αναλογικά και το πλή-

θος των τροφικών σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Έτσι κάθε διαταραχή της ισορροπίας του οικοσυστήματος που θα προκαλούσε την εξαφάνιση ενός είδους θα απειλούσε άμεσα και την εξαφάνιση του είδους που εξαρτάται τροφικά από αυτό. Αν αντίθετα υπάρχει μεγάλη ποικιλία οργανισμών, οι εναλλακτικές λύσεις στη διατροφή τους είναι περισσότερες και επομένως η εξαφάνιση ή η μείωση του πληθυσμού ενός είδους δεν απειλεί άμεσα τα είδη που τρέφονται από αυτό. Για το λόγο αυτό τα φυσικά οικοσυστήματα (δάση, λίμνες κτλ.), που έχουν μεγαλύτερη ποικιλότητα από τα τεχνητά (καλλιεργούμενοι αγροί, τεχνητές λίμνες κτλ.), είναι και περισσότερο σταθερά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιστήμη που μελετά τις σχέσεις των οργανισμών – και φυσικά του ανθρώπου – με τους αβιοτικούς παράγοντες του περιβάλλοντός τους, δηλαδή το κλίμα (υγρασία, θερμοκρασία, ηλιοφάνεια), τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων, τη σύσταση του εδάφους, την αλατότητα του νερού κτλ., καθώς και με τους άλλους οργανισμούς που ανήκουν στο ίδιο ή σε διαφορετικό είδος από αυτούς ονομάζεται Οικολογία.

Το οικοσύστημα είναι ένα σύστημα μελέτης που περιλαμβάνει τους βιοτικούς και τους αβιοτικούς παράγοντες μιας περιοχής, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Οι οργανισμοί που ζουν σε ένα οικοσύστημα διακρίνονται, ανάλογα με τον τρόπο που εξασφαλίζουν την τροφή τους, σε παραγωγούς, καταναλωτές και αποικοδομητές. Οι παραγωγοί είναι οι οργανισμοί που φωτοσυνθέτουν και χαρακτηρίζονται ως αυτότροφοι οργανισμοί. Όλοι οι άλλοι οργανισμοί των οικοσυστημάτων οι οποίοι δε φωτοσυνθέτουν χαρακτηρίζονται ως ετερότροφοι. Οι καταναλωτές τρέφονται με φυτικούς ή άλλους ζωικούς οργανισμούς. Στους αποικοδομητές ανήκουν τα βακτήρια του εδάφους και οι μύκητες που τρέφονται με τη νεκρή οργανική ύλη (φύλλα, καρπούς, απεκρίσεις, τρίχες, σώματα νεκρών οργανισμών).

Οι οργανισμοί ενός οικοσυστήματος οι οποίοι ανήκουν στο ίδιο είδος αποτελούν έναν πληθυσμό. Το σύνολο των διαφορετικών πληθυσμών ενός οικοσυστήματος, αλλά και οι σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους αποτελούν τη βιοκοινότητα του οικοσυστήματος.

Επειδή το οικοσύστημα είναι ένα σύστημα μελέτης, το μέγεθος και τα όριά του καθορίζονται κάθε φορά από τον ερευνητή που το μελετά.

Τα οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από την τάση να διατηρούν σε ισορροπία τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των διάφορων βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων τους.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Οικολογία	Καταναλωτές
Οικοσύστημα	Αποικοδομητές
Βιοτικοί παράγοντες	Πληθυσμός
Αβιοτικοί παράγοντες	Βιοκοινότητα
Αυτότροφοι οργανισμοί	Βιότοπος
Ετερότροφοι οργανισμοί	Βιόσφαιρα
Παραγωγοί	

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ποια είναι τα συστατικά από τα οποία αποτελείται ένα οικοσύστημα; Για ποιο λόγο είναι απαραίτητο να τα μελετούμε στην αλληλεπίδρασή τους και όχι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο;
2. Η πόλη στην οποία ζείτε, όπως και κάθε άλλη πόλη, αποτελεί ένα ετερότροφο οικοσύστημα. Να προσδιορίσετε ποιες είναι οι εισροές και ποιες οι εκροές της, ώστε να εξασφαλίζεται η επιβίωση των οργανισμών που ζουν σ' αυτήν και η ισορροπία του οικοσυστήματος.
3. Ποιοι από τους οργανισμούς (παραγωγούς, καταναλωτές, αποικοδομητές) ενός οικοσυστήματος δεν είναι απολύτως απαραίτητοι για την ύπαρξή του; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
4. Οι γεωργικές καλλιέργειες αποτελούν συνήθως λιγότερο σταθερά οικοσυστήματα από τα φυσικά. Για ποιους κατά τη γνώμη σας λόγους συμβαίνει αυτό;

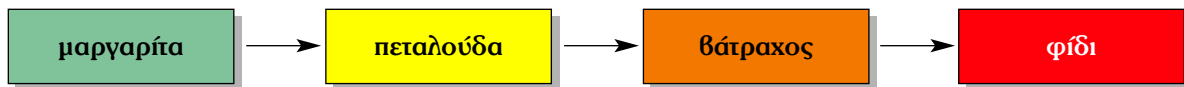
2.2 ΡΟΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι οργανισμοί έχουν ανάγκη από ενέργεια την οποία εξασφαλίζουν με την τροφή τους. Οι τροφικές σχέσεις μεταξύ των οργανισμών διαφορετικών ειδών είναι ποιοτικές (ποιος τρώει ποιον) και ποσοτικές (τι ποσότητα τρώει).

Η απεικόνιση των ποιοτικών τροφικών σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των οργανισμών ενός οικοσυστήματος γίνεται με τις **τροφικές αλυσίδες** και τα τροφικά πλέγματα, ενώ η απεικόνιση των ποσοτικών τροφικών σχέσεων γίνεται με τις τροφικές πυραμίδες.

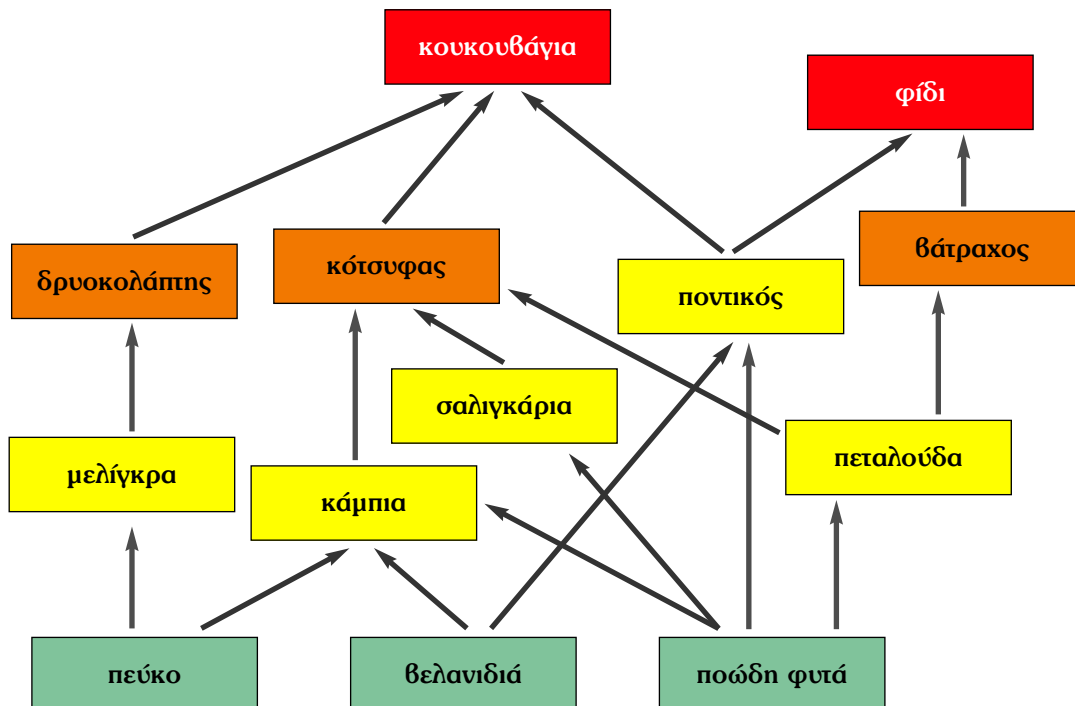
2.2.1 Τροφικές αλυσίδες και τροφικά πλέγματα

Γνωρίζουμε ότι τα φίδια τρώνε βατράχια, ότι τα βατράχια τρέφονται με πεταλούδες και ότι οι πεταλούδες πίνουν το νέκταρ των λουλουδιών. Για την απεικόνιση αυτής της τροφικής αλληλεξάρτησης μπορούμε να κατασκευάσουμε μια αλυσίδα της οποίας τα βέλη θα δείχνουν τη ροή ενέργειας ανάμεσα στους οργανισμούς που έχουν σχέση καταναλισκόμενου - καταναλωτή. Τέτοιες σχέσεις μεταξύ των οργανισμών ενός οικοσυστήματος χαρακτηρίζονται ως τροφικές αλυσίδες.



Εικόνα 2.5: Τροφική αλυσίδα

Γνωρίζουμε όμως ότι τα φίδια τρώνε και ποντίκια και ότι οι πεταλούδες τρώγονται και από τα πουλιά. Στην πραγματικότητα λοιπόν οι τροφικές σχέσεις μεταξύ των οργανισμών είναι περισσότερο πολύπλοκες. Αν θέλαμε να τις απεικονίσουμε πιο ρεαλιστικά, θα καταφεύγαμε στη δημιουργία ενός δικτύου με το οποίο θα δηλώνονταν οι διαφορετικές πηγές από τις οποίες τρέφεται κάθε οργανισμός σε ένα συγκεκριμένο οικοσύστημα.



Εικόνα 2.6: Τροφικό πλέγμα

Το δίκτυο αυτό, που απεικονίζει το σύνολο των τροφικών σχέσεων μεταξύ των οργανισμών ενός οικοσυστήματος, ονομάζεται **τροφικό πλέγμα**. Φαίνεται έτσι ότι οι τροφικές αλυσίδες αποτελούν μέρος των πολύπλοκων τροφικών σχέσεων που παρουσιάζει ένα τροφικό πλέγμα.

Ποιες άλλες όμως πληροφορίες μπορούμε να αντλήσουμε μελετώντας ένα τροφικό πλέγμα; Ας πάρουμε, για παράδειγμα, το τροφικό πλέγμα της εικόνας 2.6. Τι θα συμβεί στο οικοσύστημα, αν το ραντίσουμε με εντομοκτόνο;

- Θα εξαφανιστούν ή θα μειωθούν τα έντομα (πεταλούδες, κάμπιες, μελίγκρες).
- Οι δρυοκολάπτες και οι βάτραχοι δε θα έχουν να φάνε και θα μεταναστεύσουν ή θα μειωθεί ο πληθυσμός τους.
- Τα κοτσύφια θα τρώνε μόνο σαλιγκάρια, των οποίων ο αριθμός θα μειωθεί.
- Τα πώδη φυτά θα αυξηθούν.
- Οι πληθυσμοί των φιδιών και της κουκουβάγιας θα μειωθούν κ.ο.κ.

2.2.2 Τροφικές πυραμίδες και τροφικά επίπεδα

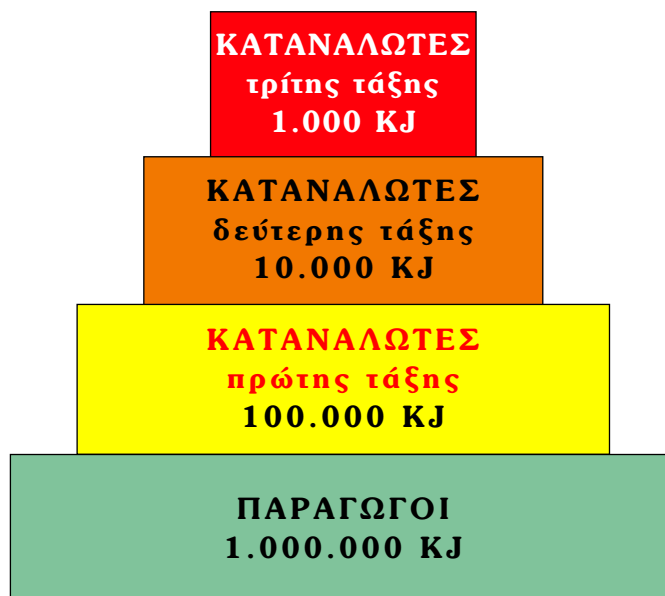
Οι τροφικές πυραμίδες αποτελούν απεικονίσεις των ποσοτικών σχέσεων που υπάρχουν μεταξύ των οργανισμών ενός οικοσυστήματος. Μια τροφική πυραμίδα αποτελείται από τροφικά επίπεδα (επάλληλα ορθογώνια), σε καθένα από τα οποία περιλαμβάνονται όλοι οι οργανισμοί που τρέφονται απέχοντας «ίδιο αριθμό βημάτων» από τον ήλιο. Πιο συγκεκριμένα:

- Το πρώτο τροφικό επίπεδο, που βρίσκεται στη βάση της τροφικής πυραμίδας, είναι αυτό των παραγωγών.
- Το δεύτερο τροφικό επίπεδο είναι αυτό των καταναλωτών πρώτης τάξης.
- Το τρίτο τροφικό επίπεδο είναι αυτό των καταναλωτών δεύτερης τάξης κ.ο.κ.

Μια τροφική πυραμίδα, ανάλογα με το αν

απεικονίζει τη μεταβολή της δεσμευμένης ενέργειας ή τη μεταβολή της βιομάζας (δηλαδή της ξηρής μάζας των οργανισμών ανά μονάδα επιφάνειας) ή τη μεταβολή του πληθυσμού από το ένα τροφικό επίπεδο ενός οικοσυστήματος στο άλλο, χαρακτηρίζεται ως πυραμίδα **ενέργειας**, **βιομάζας** ή **πληθυσμού** αντίστοιχα. Το εμβαδόν που δίνεται σε κάθε ορθογώνιο είναι ανάλογο με το μέγεθος της μεταβλητής που απεικονίζεται στο συγκεκριμένο τροφικό επίπεδο.

Αν θέλαμε να απεικονίσουμε την ενέργεια που περικλείεται στα διάφορα τροφικά επίπεδα του προηγούμενου παραδείγματος, η οποία προσδιορίζεται θερμοδομετρικά, θα παίρναμε την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2.7: Τροφική πυραμίδα ενέργειας

Στο τροφικό επίπεδο των παραγωγών απεικονίζεται το ποσό της ενέργειας που είναι δεσμευμένο στις βελανιδιές, στα πεύκα και στα πώδη φυτά. Στο τροφικό επίπεδο των καταναλωτών πρώτης τάξης απεικονίζεται το ποσό της ενέργειας που είναι δεσμευμένο στους ποντικούς, στα σαλιγκάρια και στα έντομα. Στο τροφικό επίπεδο των καταναλωτών δεύτερης τάξης απεικονίζεται το ποσό της ενέργειας που είναι δεσμευμένο στους δρυοκολάπτες, στα κο-

τύφια και στα βατράχια. Τέλος, το ποσό της ενέργειας που είναι δεσμευμένο στα φίδια και στην κουκουβάγια απεικονίζεται στο επίπεδο των κορυφαίων καταναλωτών.

Η ενέργεια, με τη μορφή της χημικής ενέργειας που εμπεριέχεται στην τροφή των οργανισμών, περνάει από το κατώτερο τροφικό επίπεδο (των παραγωγών) στο ανώτερο.

Έχει υπολογιστεί ότι μόνο το 10% περίπου της ενέργειας ενός τροφικού επιπέδου περνάει στο επόμενο, καθώς το 90% της ενέργειας χάνεται. Αυτό οφείλεται στο ότι:

- Ένα μέρος της χημικής ενέργειας μετατρέπεται με την κυτταρική αναπνοή σε μη αξιοποιήσιμες μορφές ενέργειας (π.χ. θερμότητα).
- Δεν τρώγονται όλοι οι οργανισμοί.
- Ορισμένοι οργανισμοί πεθαίνουν.
- Ένα μέρος της οργανικής ύλης αποβάλλεται με τα κόπρανα, τα οποία αποικοδομούνται.

Σε γενικές γραμμές, η ίδια πτωτική τάση (της τάξης του 90%) που παρουσιάζεται στις τροφικές πυραμίδες ενέργειας εμφανίζεται και στις τροφικές πυραμίδες βιομάζας, καθώς, όταν μειώνεται η ενέργεια που προσλαμβάνει κάθε τροφικό επίπεδο από το προηγούμενό του, είναι λογικό να μειώνεται και η ποσότητα της οργανικής ύλης που μπορούν να συνθέσουν οι οργανισμοί του και συνεπώς μειώνεται η βιομάζα του.

Οι τροφικές πυραμίδες πληθυσμού εμφανίζουν και αυτές πτωτική τάση από τροφικό επίπεδο σε τροφικό επίπεδο. Εδώ όμως παρατηρείται μια ενδιαφέρουσα εξαίρεση. Όταν σε ένα οικοσύστημα υπάρχουν παρασιτικές τροφικές σχέσεις, ο πληθυσμός των ανώτερων επιπέδων γίνεται ολοένα μεγαλύτερος από τον πληθυσμό των κατώτερων. Αν, για παράδειγμα, μια βελανιδιά, που μπορεί να θεωρηθεί ως ένα οικοσύστημα, φιλοξενεί 1.000 κάμπιες, σε καθεμία από τις οποίες παρασιτούν 100 πρωτό-

ζωα, η τροφική πυραμίδα του πληθυσμού θα έχει τη μορφή:



Εικόνα 2.8: Ανεστραμμένη τροφική πυραμίδα πληθυσμού

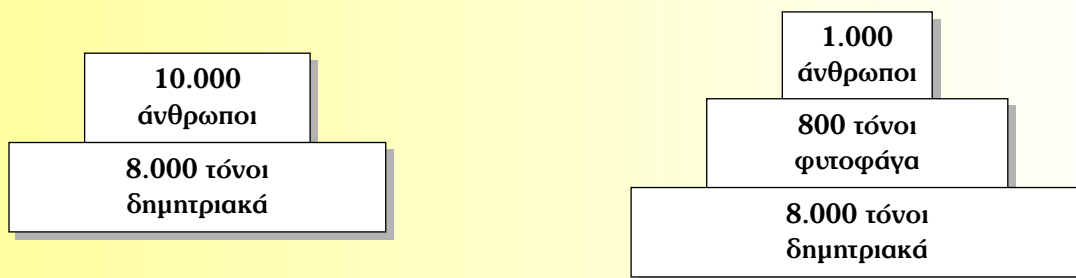
Μια τέτοια τροφική πυραμίδα χαρακτηρίζεται ως **ανεστραμμένη**.

Η κατάταξη των καταναλωτών στα τροφικά επίπεδα δεν είναι πάντοτε εύκολη, επειδή:

- Υπάρχουν οργανισμοί που είναι ταυτόχρονα φυτοφάγοι και σαρκοφάγοι (π.χ. άνθρωπος).
- Υπάρχουν οργανισμοί που μπορούν να αλλάζουν τις διατροφικές τους συνήθειες ανάλογα με την εποχή (π.χ. αλεπού).
- Οι διατροφικές προτιμήσεις κάποιων οργανισμών αλλάζουν ανάλογα με το στάδιο της ζωής τους. Για παράδειγμα, ο βάτραχος στο στάδιο του γυρίνου είναι φυτοφάγος, ενώ, όταν μεταμορφωθεί σε ώριμο βάτραχο, γίνεται εντομοφάγος.

Οι τροφικές πυραμίδες μάς βοηθούν να κατανοήσουμε έναν από τους λόγους για τους οποίους οι κάτοικοι των χωρών με υπερπληθυσμό είναι κυρίως χορτοφάγοι, ενώ των οικονομικά αναπτυσσόμενων χωρών είναι παμφάγοι.

Εκτάσεις καλλιεργημένες με σιτηρά θα μπορούσαν να θρέψουν 10.000 ανθρώπους. Εάν οι ίδιες εκτάσεις μετατραπούν σε βοσκότοπους, θα μπορέσουν να θρέψουν μόνο 1.000 ανθρώπους, αφού έτσι ο άνθρωπος θα περάσει από το τροφικό επίπεδο του πρωτογενούς καταναλωτή σ' αυτό του δευτερογενούς, γεγονός που συνδέεται με απώλειες κατά 90% της διαθέσιμης ενέργειας των παραγωγών.



2.2.3 Η έννοια της παραγωγικότητας

Καθημερινά ο πλανήτης μας «βομβαρδίζεται» με 10^{22} Joules ηλιακής ενέργειας, τα οποία ισοδυναμούν με την ενέργεια που περικλείεται σε 1.000 ατομικές βόμβες όμοιες με αυτήν που έπεσε στη Χιροσίμα. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας απορροφάται, ανακλάται ή σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια του πλανήτη. Ένα μικρό μόνο μέρος, που δεν ξεπερνά το 1%, δεσμεύεται από τους παραγωγούς προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στη φωτοσύνθεση. Αυτό όμως το μικρό ποσοστό επαρκεί για την παραγωγή 170 περίπου δισεκατομμυρίων τόνων οργανικής ύλης παγκοσμίως.

Ο ρυθμός με τον οποίο οι οργανισμοί ενός οικοσυστήματος παράγουν οργανική ύλη αποτελεί την **παραγωγικότητα** του οικοσυστήματος, που διακρίνεται σε πρωτογενή και σε δευτερογενή.

Πρωτογενής παραγωγικότητα είναι ο ρυθμός με τον οποίο οι παραγωγοί ενός οικοσυστήματος δεσμεύουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε χημική (οργανική ύλη).

Δευτερογενής παραγωγικότητα είναι ο

ρυθμός με τον οποίο οι καταναλωτές ενός οικοσυστήματος, αξιοποιώντας τη χημική ενέργεια που παραλαμβάνουν με την τροφή τους, παράγουν οργανική ύλη.

Επειδή όμως από την οργανική ύλη που παράγεται είτε στο επίπεδο των παραγωγών είτε στο επίπεδο των καταναλωτών ένα μέρος μόνο δεσμεύεται στους ιστούς τους (γιατί το μεγαλύτερο χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους), είναι απαραίτητο τόσο η πρωτογενής όσο και η δευτερογενής παραγωγικότητα να διακρίνονται σε **μεικτή** και σε **καθαρή παραγωγικότητα**. Και στις δύο περιπτώσεις η μεικτή παραγωγικότητα αποτελεί το ποσό της συνολικής οργανικής ύλης που παράγεται, ενώ η καθαρή παραγωγικότητα αποτελεί το ποσό της οργανικής ύλης που απομένει, μετά την αφαίρεση της οργανικής ύλης που οξειδώθηκε, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των οργανισμών.

Μια απλή μέθοδος για τον υπολογισμό της καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας ενός οικοσυστήματος είναι ο θερισμός. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι θέλουμε να μετρήσουμε την καθαρή πρωτο-



Εικόνα 2.9: Χαρακτηριστικά φυτά φρυγανικού οικοσυστήματος (λαδανιά, θυμάρι, ασφάκα, γαλαστοιβή)

γενή παραγωγικότητα ενός **φρυγανικού οικοσυστήματος**, ενός δηλαδή οικοσυστήματος στο οποίο αφθονούν φυτά όπως το θυμάρι, η λαδανιά, η ρίγανη, η λεβάντα κ.ά. Τα φυτά αυτά είναι ικανά να επιβιώνουν στο άνυδρο και μακρύ καλοκαίρι της πατρίδας μας. Επισκεπτόμαστε λοιπόν το οικοσύστημα και θερίζουμε το Νοέμβριο δέκα τυχαία τεμάχια εμβαδού 1 m² το καθένα. Το υλικό που συγκεντρώνουμε (θάμνοι, μικρά πόωδη φυτά κ.ά.) το θερμαίνουμε σε θερμοκρασία 80-90°C, ώστε να χάσει το νερό που περιέχει, το ζυγίζουμε και υπολογίζου-



Εικόνα 2.10: Υπολογισμός της καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας ενός οικοσυστήματος

με το μέσο όρο της ξηρής μάζας που αντιστοιχεί σε 1 m² επιφάνειας (βιομάζα). Έστω ότι βρήκαμε πως η βιομάζα των παραγωγών του οικοσυστήματος είναι 800 gr ανά m². Αν επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία τον Απρίλιο σε δέκα διαφορετικά τεμάχια, θα διαπιστώσουμε ότι η βιομάζα του οικοσυστήματος αυξήθηκε στα 1.200 gr/m². Η μεταβολή της βιομάζας στο διάστημα που έχει μεσολαβήσει (5 μήνες), δηλαδή τα 400 gr/m², αντιπροσωπεύει την οργανική ύλη που ενσωματώθηκε στους παραγωγούς του οικοσυστήματος ή, με άλλα λόγια, την καθαρή πρωτογενή παραγωγικότητα.

Η παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων διαφέρει έντονα. Στο ένα άκρο βρίσκονται οι έρημοι, οι βαθιές λίμνες με μικρή πρωτογενή παραγωγικότητα, ενώ στο άλλο άκρο βρίσκονται τα δέλτα των ποταμών, οι κοραλλιογενείς ύφαλοι με μεγάλη μεικτή πρωτογενή παραγωγικότητα.

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος της πρωτογενούς παραγωγικότητας των οικοσυστημάτων είναι η ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία, η διαθεσιμότητα των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων, η διαθεσιμότητα νερού (μόνο για χερσαία οικοσυστήματα) και το βάθος στο οποίο μπορεί να διεισδύσει το φως (στα υδάτινα οικοσυστήματα).



Εικόνα 2.11: Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι έχουν μεγάλη μεικτή πρωτογενή παραγωγικότητα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι οργανισμοί έχουν ανάγκη από ενέργεια την οποία εξασφαλίζουν με την τροφή τους. Οι τροφικές σχέσεις μεταξύ των οργανισμών διαφορετικών ειδών είναι ποιοτικές και ποσοτικές. Η απεικόνιση των ποιοτικών τροφικών σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των οργανισμών ενός οικοσυστήματος γίνεται με τις τροφικές αλυσίδες και τα τροφικά πλέγματα, ενώ η απεικόνιση των ποσοτικών τροφικών σχέσεων γίνεται με τις τροφικές πυραμίδες.

Μια τροφική πυραμίδα αποτελείται από τροφικά επίπεδα (επάλληλα ορθογώνια), σε καθένα από τα οποία περιλαμβάνονται όλοι οι οργανισμοί που τρέφονται απέχοντας «ίδιο αριθμό βημάτων» από τον ήλιο. Το πρώτο τροφικό επίπεδο, που βρίσκεται στη βάση της τροφικής πυραμίδας, είναι αυτό των παραγωγών, το δεύτερο τροφικό επίπεδο είναι αυτό των καταναλωτών πρώτης τάξης, το τρίτο τροφικό επίπεδο είναι αυτό των καταναλωτών δεύτερης τάξης κ.ο.κ.

Μια τροφική πυραμίδα, ανάλογα με το αν απεικονίζει τη μεταβολή της δεσμευμένης ενέργειας ή τη μεταβολή της βιομάζας ή τη μεταβολή του πληθυσμού από το ένα τροφικό επίπεδο ενός οικοσυστήματος στο άλλο, χαρακτηρίζεται ως πυραμίδα ενέργειας, βιομάζας ή πληθυσμού αντίστοιχα.

Έχει υπολογιστεί ότι μόνο το 10% περίπου της ενέργειας ενός τροφικού επιπέδου περνάει στο επόμενο, καθώς το 90% της ενέργειας χάνεται. Σε γενικές γραμμές, η ίδια πτωτική τάση (της τάξης του 90%) εμφανίζεται και στις τροφικές πυραμίδες βιομάζας. Οι τροφικές πυραμίδες πληθυσμού εμφανίζουν συνήθως πτωτική τάση από το ένα τροφικό επίπεδο στο άλλο, με εξαίρεση την τροφική πυραμίδα πληθυσμού που χαρακτηρίζεται ως ανεστραμμένη.

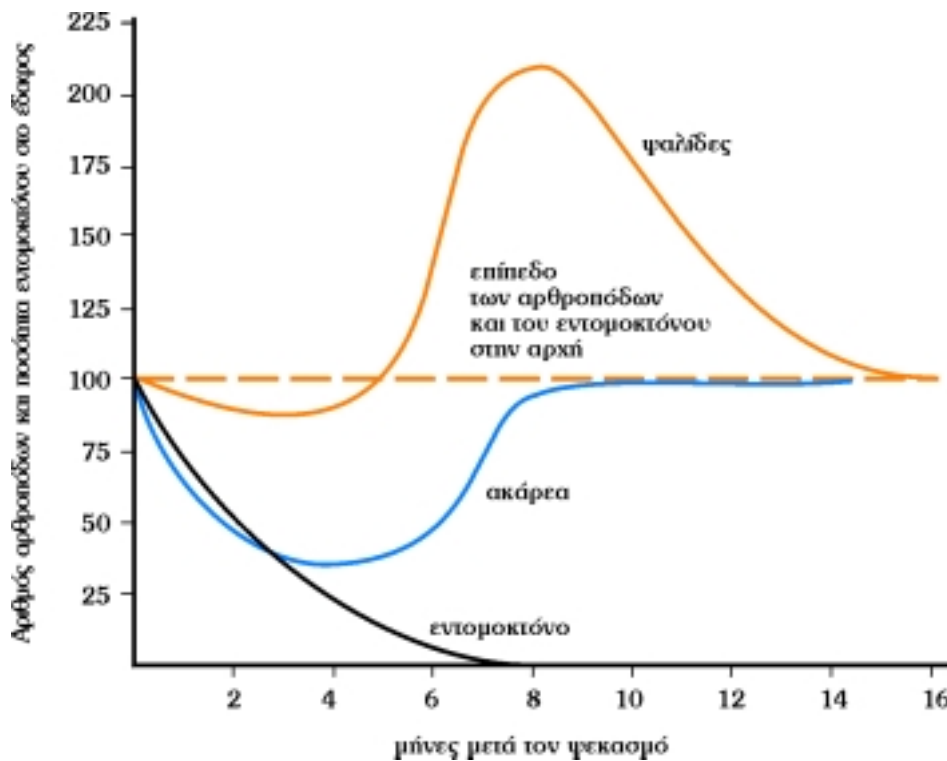
Ο ρυθμός με τον οποίο οι οργανισμοί ενός οικοσυστήματος παράγουν οργανική ύλη αποτελεί την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος, που διακρίνεται σε πρωτογενή και σε δευτερογενή. Τόσο η πρωτογενής όσο και η δευτερογενής παραγωγικότητα διακρίνονται σε μεικτή και σε καθαρή παραγωγικότητα.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Τροφικές σχέσεις	Πυραμίδα πληθυσμού
Τροφικό επίπεδο	Ανεστραμμένη πυραμίδα
Τροφική αλυσίδα	Παραγωγικότητα
Τροφικό πλέγμα	Πρωτογενής παραγωγικότητα
Τροφική πυραμίδα	Δευτερογενής παραγωγικότητα
Πυραμίδα βιομάζας	Μεικτή παραγωγικότητα
Πυραμίδα ενέργειας	Καθαρή παραγωγικότητα
Βιομάζα	Φρυγανικό οικοσύστημα

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Το διάγραμμα δείχνει τις μεταβολές του αριθμού των ακάρεων και των ψαλίδων (κατηγορίες αρθροπόδων στο έδαφος) μετά τον ψεκάσμο τους με εντομοκτόνο. Το εντομοκτόνο αυτό αποικοδομείται μέσα σε 6-8 μήνες. Αφού μελετήσετε το διάγραμμα, να δώσετε μια εξήγηση για τις μεταβολές του αριθμού των ατόμων των δύο πληθυσμών σε μια χρονική περίοδο 16 μηνών.



2. Έστω ότι σε μια λίμνη ισχύει η τροφική αλυσίδα:

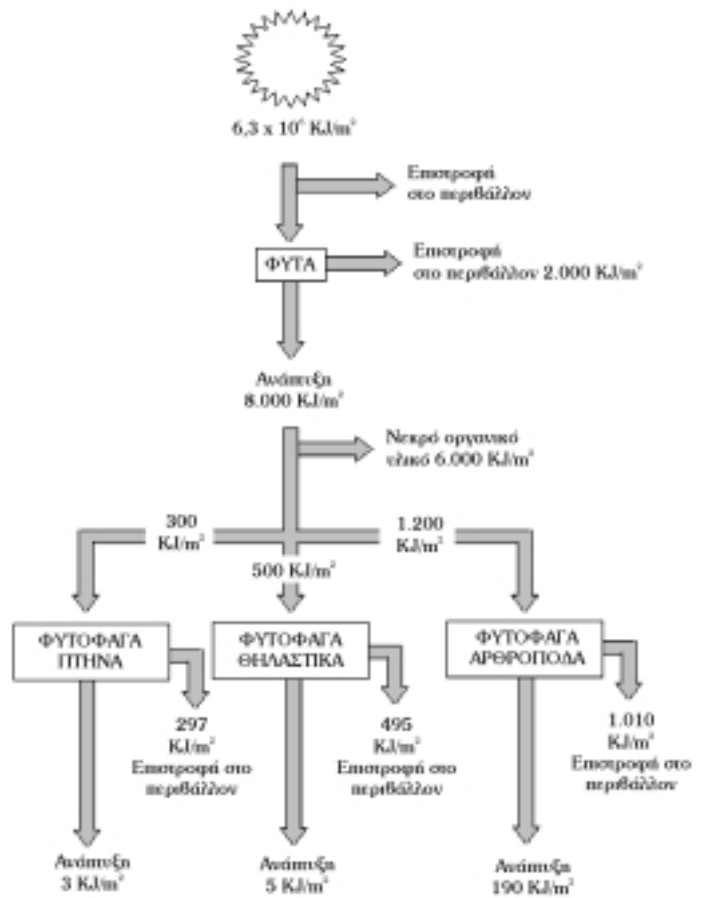
φυτοπλαγκτόν → ζωοπλαγκτόν → μικρά ψάρια → μεγάλα ψάρια → υδρόβια πτηνά.

Όλοι οι οργανισμοί κάθε τροφικού επιπέδου τρέφονται αποκλειστικά με οργανισμούς του προηγούμενου τροφικού επιπέδου. Εάν η βιομάζα των μικρών ψαριών είναι 5×10^4 Kg και η ενέργεια που εμπεριέχεται στο φυτοπλαγκτόν είναι 40 KJoules/Kg φυτοπλαγκτού:

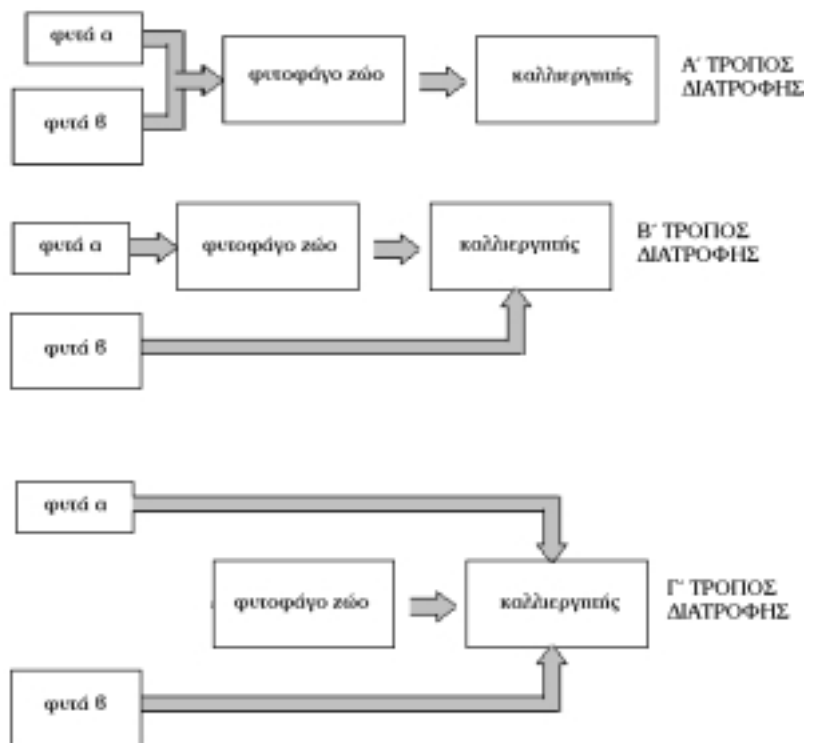
- Να υπολογιστεί η βιομάζα των υπόλοιπων τροφικών επιπέδων και να σχεδιαστεί η αντίστοιχη τροφική πυραμίδα.
- Να υπολογιστεί η ενέργεια που εμπεριέχεται σε κάθε τροφικό επίπεδο και να σχεδιαστεί η αντίστοιχη τροφική πυραμίδα.
- Με δεδομένο ότι το μέσο βάρος ενός πτηνού είναι 2,5 Kg, να υπολογιστεί ο αριθμός των υδρόβιων πτηνών που μπορούν να εξασφαλίσουν την τροφή τους μέσω αυτής της τροφικής αλυσίδας.

3. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες του διαγράμματος να απαντήσετε στις ερωτήσεις:

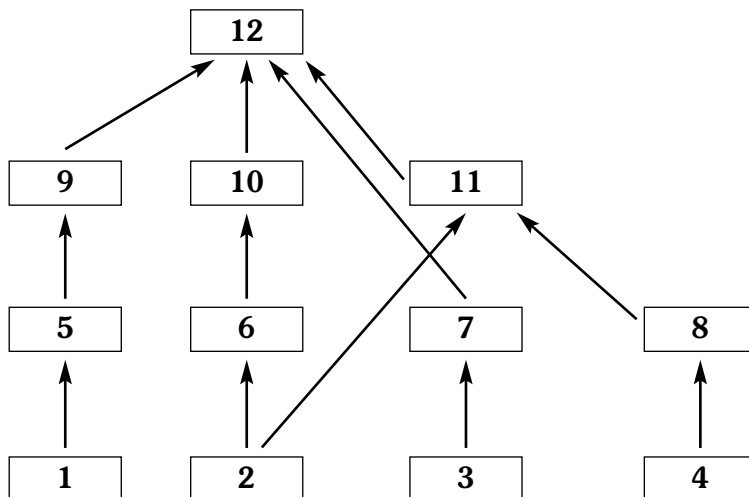
- α. Τι ποσοστό της ενέργειας που παίρνουν τα φυτά από τον ήλιο το δεσμεύουν με τη φωτοσύνθεση;
- β. Ποια είναι η διαδικασία με την οποία τα φυτά επιστρέφουν στο περιβάλλον τους 2.000 KJ/m²;
- γ. Τι ποσοστό της ενέργειας που παίρνουν τα φυτοφάγα πτηνά από τα φυτά το επιστρέφουν στο περιβάλλον τους;
- δ. Τι ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο ενσωματώνεται στους ιστούς των φυτοφάγων πτηνών;
- ε. Τι ποσοστό της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο τα φυτοφάγα αρθρόποδα το επιστρέφουν στο περιβάλλον;
- στ. Πώς μπορεί να εξηγηθεί η διαφορά του ποσοστού της επιστρεφόμενης ενέργειας ανάμεσα στα πτηνά και τα αρθρόποδα;



4. Ο καλλιεργητής ενός αγροκτήματος ασχολείται με την καλλιέργεια δύο φυτικών ειδών και την εκτροφή ενός ζωικού είδους που είναι φυτοφάγο. Ποιος από τους εικονιζόμενους τρόπους διατροφής είναι ο λιγότερο και ποιος ο περισσότερο αποδοτικός από ενεργειακή άποψη και γιατί;



5. Στην εικόνα παρουσιάζονται οι τροφικές σχέσεις σε ένα οικοσύστημα. Αν οι οργανισμοί 1, 2, 3, 4 αντιπροσωπεύουν παραγωγούς και όλοι οι υπόλοιποι καταναλωτές, να απαντήσετε στις ερωτήσεις:



- α. Τι ονομάζουμε τροφική αλυσίδα, τι τροφικό πλέγμα και τι τροφικό επίπεδο;
- β. Πόσες διαφορετικές τροφικές αλυσίδες διαπιστώνετε ότι υπάρχουν στο οικοσύστημα;
- γ. Ποιος είναι ο κορυφαίος καταναλωτής του οικοσυστήματος;
- δ. Ποιος από τους οργανισμούς του οικοσυστήματος συμπεριφέρεται ταυτόχρονα και ως καταναλωτής 2ης και ως καταναλωτής 1ης τάξης; Ποιος οργανισμός είναι η τροφή του σε κάθε περίπτωση;
- ε. Ποιοι από τους καταναλωτές του οικοσυστήματος αναμένετε να είναι οι μεγαλύτεροι σε βιομάζα και γιατί;
- στ. Ποιος από τους οργανισμούς του οικοσυστήματος συμπεριφέρεται ταυτόχρονα και ως καταναλωτής 3ης και ως καταναλωτής 2ης τάξης; Ποιος οργανισμός είναι η τροφή του σε κάθε περίπτωση;
- ζ. Με ποιους άλλους οργανισμούς ο οργανισμός της ερώτησης (στ) ανήκει στο ίδιο τροφικό επίπεδο, όταν συμπεριφέρεται ως καταναλωτής 2ης τάξης;
- η. Ποια από τις έννοιες, η τροφική αλυσίδα ή το τροφικό πλέγμα, είναι πλησιέστερη προς την πραγματικότητα που υπάρχει στα φυσικά οικοσυστήματα και γιατί;
- θ. Αν εξαφανιστεί ο οργανισμός 2, ποιοι οργανισμοί θα επηρεαστούν τροφικά και γιατί;
- ι. Ποιοι από τους οργανισμούς της ερώτησης (θ) θα επηρεαστούν περισσότερο και γιατί;

2.3 ΒΙΟΓΕΩΧΗΜΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ

Τα οικοσυστήματα τροφοδοτούνται συνεχώς με ενέργεια από τον ήλιο. Η ενέργεια που δεσμεύεται από τους παραγωγούς, αφού μετατραπεί σε χημική, «ρέει» μονόδρομα, μέσω των τροφικών αλυσίδων, στα διάφορα επίπεδα καταναλωτών και στους αποικοδομητές. Αντίθετα όμως με την ενέργεια, η ύλη που υπάρχει διαθέσιμη στη βιόσφαιρα είναι περιορισμένη, καθώς ο πλανήτης δέχεται ελάχιστα ποσά ύλης από το Διάστημα (μετεωρίτες κτλ.). Για το λόγο αυτό τα χημικά στοιχεία (C, H, O, N, S, P κ.ά.) που είναι απαραίτητα για τη σύνθεση των χημικών ενώσεων, από τις οποίες εξαρτώνται οι δομές και οι λειτουργίες των οργανισμών, πρέπει να κυκλοφορούν, ώστε να γίνονται εκ νέου διαθέσιμα. Οι επαναλαμβανόμενες κυκλικές πορείες των χημικών στοιχείων στα οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται ως **βιογεωχημικοί κύκλοι**, διότι διεκπεραιώνονται με τη συμμετοχή βιολογικών, γεωλογικών και χημικών διαδικασιών.

2.3.1 Ο κύκλος του άνθρακα

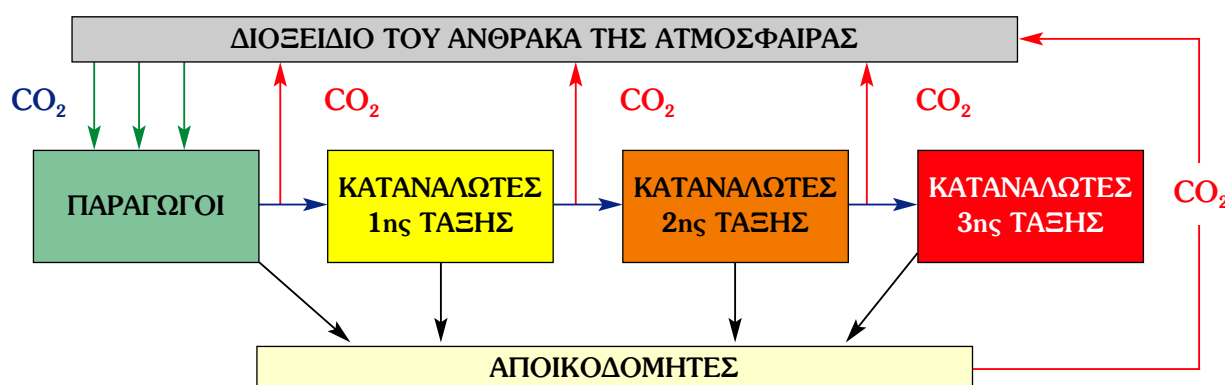
Ο άνθρακας είναι το χημικό στοιχείο με βάση το οποίο δομούνται όλες οι οργανικές ενώσεις και συνεπώς όλα τα βιολογικά μακρομόρια. Η πορεία του άνθρακα στα οι-

κοσυστήματα ακολουθεί τη ροή της ενέργειας σ' αυτά, για τον απλό λόγο ότι η χημική ενέργεια που μεταβιβάζεται από το ένα τροφικό επίπεδο στο άλλο είναι δεσμευμένη στις οργανικές ενώσεις.

Ο άνθρακας εισέρχεται στα οικοσυστήματα με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο βρίσκεται στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα παραλαμβάνεται από τους παραγωγούς προκειμένου να μετατραπεί, με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, σε γλυκόζη.

Ένα μέρος της γλυκόζης, αλλά και άλλων ενώσεων που συντίθενται από τους παραγωγούς, χρησιμοποιείται κατά την κυτταρική αναπνοή προκειμένου να απελευθερωθεί ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών των παραγωγών. Επειδή όμως κατά την κυτταρική αναπνοή παράγεται και διοξείδιο του άνθρακα, το αέριο αυτό επιστρέφει στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να ολοκληρώνεται ένας κύκλος πρόσληψης και επαναφοράς από και προς την ατμόσφαιρα.

Από το υπόλοιπο μέρος της οργανικής ύλης που έχει παραχθεί από τους παραγωγούς ένα μέρος μεταβιβάζεται, ως τροφή, στους καταναλωτές, ενώ ένα άλλο καταλήγει ως νεκρή οργανική ύλη (φύλλα, καρποί, κλαδιά κ.ά.) στο έδαφος και γίνεται τροφή



Εικόνα 2.12: Ο κύκλος του άνθρακα

Τα πράσινα βέλη αντιπροσωπεύουν τη φωτοσύνθεση, τα κόκκινα την κυτταρική αναπνοή, τα κυανά την κατανάλωση και τα μαύρα την αποικοδόμηση.

για τους αποικοδομητές (βακτήρια και μύκητες) μαζί με τη νεκρή οργανική ύλη ζωικής προέλευσης (σώματα νεκρών οργανισμών, απεκκρίσεις, περιττώματα κ.ά.).

Και στην περίπτωση των καταναλωτών και στην περίπτωση των αποικοδομητών η οργανική ύλη οξειδώνεται, με αποτέλεσμα αφ' ενός την απελευθέρωση ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών και αφ' ετέρου την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι στη βάση της ανταλλαγής του διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ της ατμόσφαιρας και των βιοτικών παραγόντων των οικοσυστημάτων βρίσκεται η εναλλαγή δύο διαδικασιών: με τη φωτοσύνθεση προσλαμβάνεται το διοξείδιο του άνθρακα προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή γλυκόζης, ενώ με την κυτταρική αναπνοή οξειδώνεται η γλυκόζη και επιστρέφει το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Παρέμβαση του ανθρώπου στον κύκλο του άνθρακα

Με τη Βιομηχανική Επανάσταση (αρχές του 19ου αιώνα) άρχισε η συστηματική



Εικόνα 2.13: Άντληση πετρελαίου



Εικόνα 2.14: Απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από βιομηχανία

χρήση ορυκτών καυσίμων (γαιανθράκων αρχικά, πετρελαίου και φυσικού αερίου στη συνέχεια).

Αυτά τα καύσιμα, τα οποία προέρχονται από το μετασχηματισμό οργανικής ύλης φυτικών και ζωικών οργανισμών του παρελθόντος, παρέμεναν για εκατομμύρια χρόνια στα έγκατα της Γης, αποτελώντας μια μεγάλη αποθήκη άνθρακα που έμεινε αχρησιμοποίητη. Στη συνέχεια όμως οι αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες της βιομηχανίας και των μεταφορών επέβαλαν την εντατική εξόρυξη του άνθρακα, η καύση του οποίου οδήγησε στην απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Βέβαια το διοξείδιο του άνθρακα δεσμεύεται από τους παραγωγούς και χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση. Η καταστροφή ωστόσο των δασών, είτε λόγω της υλοτόμησης, που γίνεται με σκοπό την εκμετάλλευση των προϊόντων της ξυλείας, είτε λόγω των εκχερσώσεων, που αποσκοπούν στην εξεύρεση νέων χώρων κατοικίας και καλλιέργειας, περιορίζει το συνολικό αριθμό των φωτοσυνθετικών οργανισμών του πλανήτη. Υπάρχει δηλαδή μια τάση για βαθμιαία αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, μια εξέλιξη που μπορεί να έχει δυσάρεστες συνέπειες για το κλίμα του πλανήτη.

2.3.2 Ο κύκλος του αζώτου

Το άζωτο αποτελεί ένα σημαντικό χημικό στοιχείο για τη ζωή, καθώς είναι συστατικό πολλών βιομορίων όπως των νουκλεϊκών οξέων και των πρωτεϊνών. Αν και το άζωτο αφθονεί στην ατμόσφαιρα, όπου αποτελεί το 78% κ.ό., δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από τους παραγωγούς στη μορφή με την οποία βρίσκεται σ' αυτή (μοριακό άζωτο). Για το λόγο αυτό η εισαγωγή του ατμοσφαιρικού αζώτου στις τροφικές αλυσίδες των οικοσυστημάτων γίνεται με τη διαδικασία της **αζωτοδέσμευσης**, η οποία μετατρέπει το ατμοσφαιρικό άζωτο σε μορφές αξιοποιήσιμες από τους παραγωγούς.

Η αζωτοδέσμευση διακρίνεται σε ατμοσφαιρική και βιολογική. Κατά την **ατμοσφαιρική αζωτοδέσμευση** το άζωτο της ατμόσφαιρας αντιδρά είτε με τους υδρατμούς, σχηματίζοντας αμμωνία, είτε με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, σχηματίζοντας νιτρικά ιόντα. Η απαραίτητη ενέργεια προσφέρεται από τις ηλεκτρικές εκκενώσεις (αστραπές, κεραυνοί). Η αμμωνία και τα νιτρικά ιόντα μεταφέρονται με τη βροχή στο έδαφος. Η ατμοσφαιρική αζωτοδέσμευση κατέχει το 10% της συνολικής αζωτοδέσμευσης.

Η **βιολογική αζωτοδέσμευση** πραγματοποιείται από ελεύθερους ή συμβιωτικούς μικροοργανισμούς. Σημαντικότερα **αζωτοδεσμευτικά βακτήρια** είναι αυτά που ζουν συμβιωτικά στις ρίζες των ψυχανθών (όπως είναι το τριφύλλι, η μπιζελιά, η φασολιά, η φακή, η σόγια) σε ειδικά εξογκώματα (**φυμάτια**). Αυτά τα βακτήρια έ-



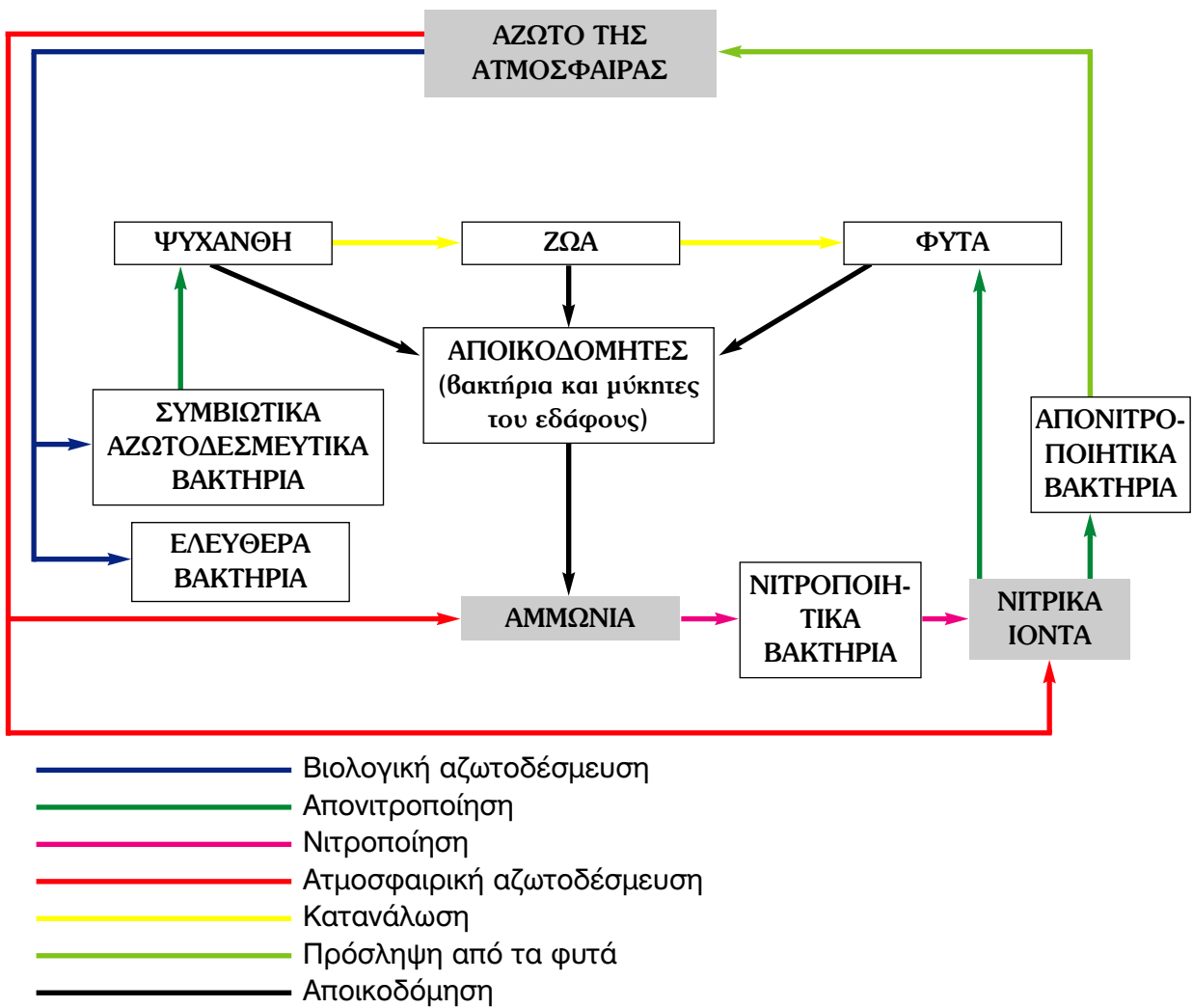
Εικόνα 2.15: Φυμάτια αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στις ρίζες των ψυχανθών

χουν την ικανότητα να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο και να το μετατρέπουν σε νιτρικά ιόντα, τα οποία μπορούν να απορροφηθούν από τα ψυχανθή. Γι' αυτό το λόγο άλλωστε τα όσπρια είναι πλούσια σε πρωτεΐνες. Η βιολογική αζωτοδέσμευση κατέχει το 90% της συνολικής αζωτοδέσμευσης.

Τα φυτά χρησιμοποιούν τα νιτρικά ιόντα που προσλαμβάνουν από το έδαφος (είτε με τη διαδικασία της ατμοσφαιρικής είτε με αυτήν της βιολογικής αζωτοδέσμευσης) προκειμένου να συνθέσουν τις αζωτούχες ενώσεις τους όπως τις πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα. Το άζωτο που περιέχεται στις ουσίες αυτές διακινείται μέσω των τροφικών αλυσίδων στις διάφορες τάξεις των καταναλωτών προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πρωτεϊνών.

Όμως τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα εγκαταλείπουν στο έδαφος νεκρή οργανική ύλη (καρπούς, φύλλα, νεκρά σώματα, τρίχωμα κτλ.) που φυσικά περιέχει άζωτο. Τα ζώα επιπροσθέτως αποβάλλουν αζωτούχα προϊόντα του μεταβολισμού τους, όπως είναι η ουρία, το ουρικό οξύ και τα περιττώματα. Όλες αυτές οι ουσίες διασπώνται από τους αποικοδομητές του εδάφους μέσα από μια διαδικασία που καταλήγει στην παραγωγή αμμωνίας. Η αμμωνία που συγκεντρώνεται στο έδαφος, υφιστάμενη τη δράση των **νιτροποιητικών** βακτηρίων του εδάφους, μετατρέπεται τελικά σε νιτρικά ιόντα τα οποία παραλαμβάνονται από τα φυτά. Έτσι κλείνει ένας κύκλος αζώτου στο εσωτερικό του οικοσυστήματος.

Πώς όμως επανέρχεται το άζωτο που έχει απομακρυνθεί από την ατμόσφαιρα πίσω σ' αυτήν; Την εργασία αυτή την αναλαμβάνουν τα **απονιτροποιητικά** βακτήρια του εδάφους με τη μετατροπή των νιτρικών ιόντων σε μοριακό άζωτο, το οποίο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 2.16: Ο κύκλος του αζώτου

Παρέμβαση του ανθρώπου στον κύκλο του αζώτου

Ο άνθρωπος επηρεάζει τον κύκλο του αζώτου εισάγοντας αζωτούχα λιπάσματα στα αγροτικά οικοσυστήματα προκειμένου να αυξήσει την παραγωγικότητά τους. Στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν για το σκοπό αυτό περιττώματα ζώων (κοπριά). Για παράδειγμα, στην Τήνο με τους υπέροχους περισσότεριώνες χρησιμοποιούσαν τις κουτσουλιές των περιστεριών ως κύριο λίπασμα, ενώ στη Χιλή χρησιμοποιούνταν ευρέως τα περιττώματα των ψαροφάγων πουλιών (γκουανό).



Εικόνα 2.17: Περιστεριώνας στην Τήνο

Μετά την ανακάλυψη της μεθόδου παραγωγής αζωτούχων λιπασμάτων από το ατμοσφαιρικό άζωτο, τα οργανικά φυσικά λιπάσματα αντικαταστάθηκαν από τα βιομηχανικά, που μάλιστα χρησιμοποιούνται σε τεράστιες ποσότητες. Ωστόσο λιγότερο από το ένα τρίτο της εκάστοτε προστιθέμενης στο έδαφος ποσότητας προσλαμβάνεται από τα καλλιεργούμενα φυτά. Το υπόλοιπο παρασύρεται από τη βροχή και καταλήγει στα γλυκά ή στα θαλασσινά νερά οδηγώντας στο φαινόμενο του **ευτροφισμού**, που θα γνωρίσουμε στη συνέχεια. Ο ευτροφισμός βέβαια προκαλείται και με την απόρριψη στα υδάτινα οικοσυστήματα τεραστίων ποσοτήτων αστικών λυμάτων.

Οι δύο πιο οικολογικοί τρόποι εμπλουτισμού του εδάφους σε άζωτο είναι η αγρανάπαυση και η αμειψισπορά. Την ιδιότητα των ψυχανθών να φέρουν στις ρίζες τους αζωτοδεσμευτικά βακτήρια αξιοποιεί η παραδοσιακή γεωργική πρακτική της αμειψισποράς. **Αμειψισπορά** είναι η εναλλαγή στην καλλιέργεια σιτηρών και ψυχανθών, έτσι ώστε το έδαφος να εμπλουτίζεται με άζωτο και να μην εξασθενεί.

2.3.3 Ο κύκλος του νερού

Το νερό καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Γης, οριοθετεί τα υδάτινα οικοσυστήματα και καθορίζει τις ιδιότητές τους. Είναι το μέσο με το οποίο τα θρεπτικά συστατικά εισέρχονται και κυκλοφορούν στο εσωτερικό των αυτότροφων οργανισμών. Το νερό αποτελεί σημαντικό τμήμα των ζωντανών ιστών (το 75% του νωπού βάρους τους) και συμβάλλει στη θερμορρύθμιση τόσο των φυτικών όσο και των ζωικών οργανισμών. Χρησιμοποιείται επίσης στη φωτοσύνθεση των φυτικών οργανισμών.

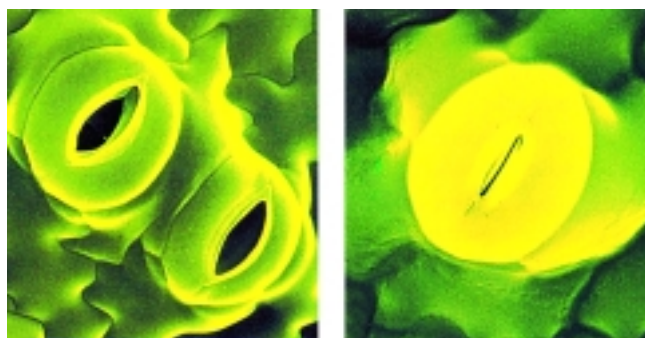
Αν και η ποσότητα του νερού που υπάρχει στην ατμόσφαιρα δεν είναι μεγάλη, εντούτοις το νερό, χάρη στην κινητικότητά του, κυκλοφορεί συνεχώς στον υδρολογικό

κύκλο (ή κύκλο του νερού) και έτσι γίνεται διαθέσιμο στα οικοσυστήματα και στους οργανισμούς. Η κυκλοφορία του νερού στηρίζεται κυρίως στην εξάτμιση, στη διαπνοή των φυτών και στις κατακρημνίσεις.

Με την **εξάτμιση** το νερό απομακρύνεται με τη μορφή υδρατμών από οποιαδήποτε επιφάνεια. Η εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια των φύλλων ονομάζεται **επιδερμική εξάτμιση** και διακρίνεται από τη **διαπνοή**, που είναι η απομάκρυνση του νερού μέσω των στομάτων, των πόρων δηλαδή της επιδερμίδας των φύλλων.

Το νερό του εδάφους, που είναι πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία, απορροφάται από τις ρίζες των φυτών και κυκλοφορεί στο εσωτερικό τους. Φθάνοντας το νερό στα φύλλα απομακρύνεται με τη διαπνοή από τα στόματά τους, μέσω των οποίων γίνεται επίσης η ανταλλαγή των αερίων μεταξύ των φυτών και της ατμόσφαιρας (είσοδος διοξειδίου του άνθρακα και αποβολή οξυγόνου κατά τη φωτοσύνθεση, αντίστροφα κατά την αναπνοή). Η διαπνοή, αποτελώντας την «κινητήρια δύναμη» για τη μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων στο εσωτερικό των φυτικών οργανισμών, συνδέεται αναπόσπαστα με τους βιογεωχημικούς κύκλους των στοιχείων που εισέρχονται στις τροφικές αλυσίδες των οικοσυστημάτων με πύλη εισόδου τα φυτά.

Με τις **κατακρημνίσεις** (δηλαδή τη βροχή, το χιόνι, το χαλάζι) το νερό απομακρύ-



Εικόνα 2.18: Ανοικτά και κλειστά στόματα φύλλου φυτού

νεται από την ατμόσφαιρα και γίνεται διαθέσιμο στα υδάτινα και στα χερσαία οικοσυστήματα.

Η ανταλλαγή του νερού μεταξύ των ωκεανών και της ατμόσφαιρας αποτελεί ένα σχετικά απλό μηχανισμό, καθώς περιλαμβάνει μόνο τις διαδικασίες της εξάτμισης και των κατακρημνίσεων. Αντιθέτως, το τμήμα του κύκλου που αφορά την ξηρά είναι περισσότερο πολύπλοκο, διότι σ' αυτήν οι πιθανές πορείες του νερού είναι περισσότερες. Το νερό που πέφτει στην ξηρά μπορεί:

- Να εξατμιστεί.
- Να εισχωρήσει στο υπέδαφος και στο σύστημα των υπόγειων υδάτων.
- Να προσληφθεί από τα φυτά και να απομακρυνθεί με τη διαπνοή.
- Να απομακρυνθεί με την επιφανειακή απορροή από το χερσαίο περιβάλλον.

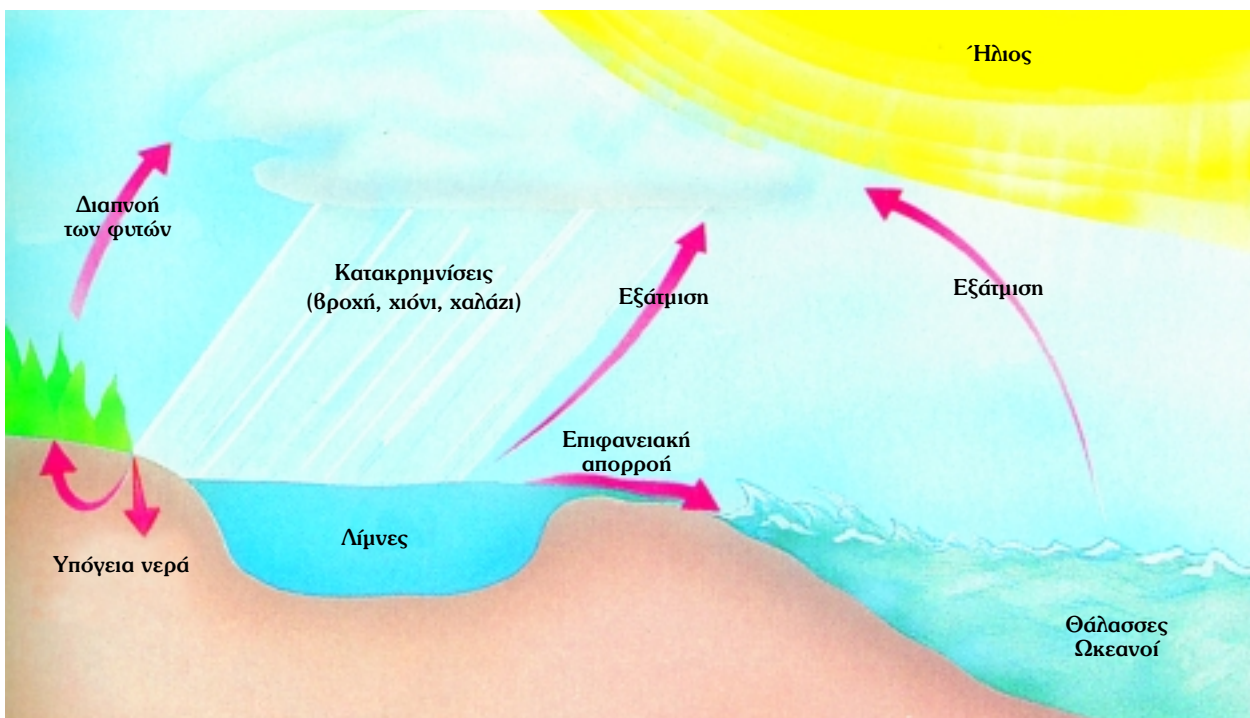
Τα φυτά παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απορρόφηση του νερού από το έδαφος. Σε μικρές λεκάνες απορροής, όπου αφαιρέθηκαν όλα τα δέντρα, ο όγκος του επιφανεια-

κού νερού αυξήθηκε πάνω από 200%. Το νερό αυτό κατέληξε στη θάλασσα, ενώ, αν είχε διεισδύσει στο έδαφος, θα είχε αποδοθεί πίσω στην ατμόσφαιρα με τη διαπνοή.

Τα επιφανειακά ρέοντα ύδατα απομακρύνουν και τα θρεπτικά συστατικά τα οποία με μακροχρόνιες διαδικασίες γίνονται διαθέσιμα στους οργανισμούς. Αυτά τα συστατικά θα καταλήξουν τελικά στους υδάτινους αποδέκτες. Γι' αυτό το λόγο τα δέλτα των ποταμών εμφανίζουν πολύ υψηλή παραγωγικότητα.



Εικόνα 2.19: Καλλιέργειες στο δέλτα του Νέστου



Εικόνα 2.20: Ο κύκλος του νερού

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα οικοσυστήματα τροφοδοτούνται συνεχώς με ενέργεια από τον ήλιο. Η ενέργεια που δεσμεύεται από τους παραγωγούς, αφού μετατραπεί σε χημική, «ρέει» μονόδρομα, μέσω των τροφικών αλυσίδων, στα διάφορα επίπεδα καταναλωτών και στους αποικοδομητές. Αντίθετα όμως με την ενέργεια, η ύλη που υπάρχει διαθέσιμη στη βιόσφαιρα είναι περιορισμένη, καθώς ο πλανήτης δέχεται ελάχιστα ποσά ύλης από το Διάστημα (μετεωρίτες κτλ.). Για το λόγο αυτό τα χημικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη σύνθεση των χημικών ενώσεων πρέπει να κυκλοφορούν, ώστε να γίνονται εκ νέου διαθέσιμα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των βιογεωχημικών κύκλων.

Ο άνθρακας εισέρχεται στα οικοσυστήματα με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο βρίσκεται στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα παραλαμβάνεται από τους παραγωγούς προκειμένου να μετατραπεί, με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, σε γλυκόζη. Ένα μέρος της γλυκόζης, αλλά και άλλων ενώσεων που συντίθενται από τους παραγωγούς, χρησιμοποιείται κατά την κυτταρική αναπνοή προκειμένου να απελευθερωθεί ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών των παραγωγών. Από το υπόλοιπο μέρος της οργανικής ύλης που έχει παραχθεί από τους παραγωγούς ένα μέρος μεταβιβάζεται, ως τροφή, στους καταναλωτές, ενώ ένα άλλο καταλήγει ως νεκρή οργανική ύλη στο έδαφος και γίνεται τροφή για τους αποικοδομητές μαζί με τη νεκρή οργανική ύλη ζωικής προέλευσης. Στους παραγωγούς, στους καταναλωτές και στους αποικοδομητές η οργανική ύλη οξειδώνεται, με αποτέλεσμα αφ' ενός την απελευθέρωση ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών και αφ' ετέρου την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Η καύση των ορυκτών καυσίμων και η καταστροφή των δασών αυξάνουν τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, γεγονός που οδηγεί σε δυσμενείς κλιματικές μεταβολές.

Το άζωτο αφθονεί στην ατμόσφαιρα, όπου αποτελεί το 78% κ.ό., αλλά δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από τους παραγωγούς στη μορφή με την οποία βρίσκεται σ' αυτή. Για το λόγο αυτό η εισαγωγή του ατμοσφαιρικού αζώτου στις τροφικές αλυσίδες των οικοσυστημάτων γίνεται με τη διαδικασία της αζωτοδέσμευσης, η οποία μετατρέπει το ατμοσφαιρικό άζωτο σε μορφές αξιοποιήσιμες από τους παραγωγούς. Η αζωτοδέσμευση διακρίνεται σε ατμοσφαιρική και βιολογική. Κατά την ατμοσφαιρική αζωτοδέσμευση το άζωτο της ατμόσφαιρας αντιδρά είτε με τους υδρατμούς, σχηματίζοντας αμμωνία, είτε με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, σχηματίζοντας νιτρικά ιόντα. Η βιολογική αζωτοδέσμευση πραγματοποιείται από ελεύθερους ή συμβιωτικούς μικροοργανισμούς. Σημαντικότερα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια είναι αυτά που ζουν συμβιωτικά στις ρίζες των ψυχανθών.

Τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα εγκαταλείπουν στο έδαφος νεκρή οργανική ύλη και απεκκρίσεις που περιέχουν άζωτο. Όλες αυτές οι ουσίες διασπώνται από τους αποικοδομητές του εδάφους μέσα από μια διαδικασία που καταλήγει στην παραγωγή αμμωνίας. Η αμμωνία που συγκεντρώνεται στο έδαφος, υφιστάμενη τη δράση των νιτροποιητικών βακτηρίων του εδάφους, μετατρέπεται τελικά σε νιτρικά ιόντα, τα οποία παραλαμβάνονται από τα φυτά. Τα απονιτροποιητικά βακτήρια του εδάφους με τη μετατροπή των νιτρικών ιόντων σε μοριακό άζωτο, το οποίο επιστρέφει στην ατμόσφαιρα, κλείνουν τον κύκλο του αζώτου. Ο άνθρωπος επηρεάζει τον κύκλο του αζώτου εισάγοντας

αζωτούχα λιπάσματα στα αγροτικά οικοσυστήματα προκειμένου να αυξήσει την παραγωγικότητά τους. Μεγάλες ποσότητες όμως από αυτά τα λιπάσματα καταλήγουν στα υδάτινα οικοσυστήματα προκαλώντας το φαινόμενο του ευτροφισμού.

Το νερό καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Γης, οριοθετεί τα υδάτινα οικοσυστήματα και καθορίζει τις ιδιότητές τους. Είναι το μέσο με το οποίο τα θρεπτικά συστατικά εισέρχονται και κυκλοφορούν στο εσωτερικό των αυτότροφων οργανισμών. Το νερό αποτελεί σημαντικό τμήμα των ζωντανών ιστών και συμβάλλει στη θερμορρύθμιση τόσο των φυτικών όσο και των ζωικών οργανισμών. Χρησιμοποιείται επίσης στη φωτοσύνθεση των οργανισμών. Η κυκλοφορία του νερού στηρίζεται κυρίως στην εξάτμιση, στη διαπνοή των φυτών και στις κατακρημνίσεις. Ο κύκλος του νερού είναι πιο πολύπλοκος στα χερσαία από ό,τι στα υδάτινα οικοσυστήματα.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Βιογεωχημικοί κύκλοι	Αζωτοδεσμευτικά βακτήρια
Φωτοσύνθεση	Νιτροποιητικά βακτήρια
Γλυκόζη	Απονιτροποιητικά βακτήρια
Κυτταρική αναπνοή	Νιτρικά ιόντα
Αζωτοδέσμευση	Εξάτμιση
Βιολογική αζωτοδέσμευση	Διαπνοή
Ατμοσφαιρική αζωτοδέσμευση	Κατακρημνίσεις

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Το άζωτο βρίσκεται σε τεράστια ποσότητα στην ατμόσφαιρα (78%). Καθώς η μεγάλη πλειονότητα των αυτότροφων οργανισμών είναι ανίκανη να το χρησιμοποιήσει σ' αυτή την αέρια μοριακή μορφή (N_2), απαιτείται η μετατροπή του σε εύληπτη μορφή. Να περιγράψετε τη διαδικασία με την οποία γίνεται αυτή η μετατροπή.
2. Περιγράψτε συνοπτικά τον κύκλο του νερού. Είναι πιο πολύπλοκος επάνω από τους ωκεανούς ή επάνω από την ξηρά και γιατί;
3. Η βόσκηση αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα της αναγεννητικής διαδικασίας που συμβαίνει στα μεσογειακά οικοσυστήματα μετά το κάψιμό τους. Για ποιο λόγο προτιμούνται για βόσκηση τα καμένα οικοσυστήματα;

2.4 Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ

Ο ανθρώπινος πληθυσμός, από την εμφάνισή του στη Γη μέχρι πριν από 10.000 χρόνια περίπου, αυξανόταν με εξαιρετικά χαμηλούς ρυθμούς. Η Γεωργική Επανάσταση έδωσε την πρώτη μεγάλη ώθηση στην αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού. Το πέρασμα του ανθρώπου από την ιδιότητα του τροφosuλλέκτη - κυνηγού σ' αυτήν του γεωργού - κτηνοτρόφου αύξησε την ποσότητα των παραγόμενων τροφίμων. Έτσι μειώθηκε ο έλεγχος που ασκούσε η ανεπάρκεια της τροφής στο μέγεθος του πληθυσμού, επιτρέποντας την αύξησή του για πρώτη φορά στην ιστορία της ανθρωπότητας.

Η δεύτερη και πολύ μεγαλύτερη ώθηση δόθηκε πριν από 200 περίπου χρόνια και υπήρξε αποτέλεσμα της Βιομηχανικής Επανάστασης. Η εποίκηση α-

ραιοκατοικημένων ηπείρων, η βελτίωση των συνθηκών υγιεινής, οι εξελίξεις στην Ιατρική και στη Βιολογία (εμβόλια, αντιβιοτικά), που πέτυχαν τη μείωση της παιδικής θνησιμότητας και την αύξηση της διάρκειας ζωής, ήταν οι κύριοι λόγοι που απογείωσαν αριθμητικά τον ανθρώπινο πληθυσμό στα 6.000.000.000 το

1999. Αυτή όμως η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού προκαλεί προβλήματα που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων, τη διανομή τους και βέβαια τις καταστροφές στο περιβάλλον.

Οι σημερινές τάσεις δείχνουν μια σχετική επιβράδυνση του ρυθμού αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού (ίσως για πρώτη φορά μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση) και

οι πλέον αισιόδοξοι προβλέπουν σταθεροποίησή του στα 9 με 14 δισεκατομμύρια κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα.

Σήμερα, σε παγκόσμιο επίπεδο, ο ανθρώπινος πληθυσμός αυξάνεται ετησίως κατά 1,8% περίπου. Επειδή όμως οι άνθρωποι που προστίθενται σε έναν πληθυσμό θα αποκτήσουν με τη σειρά τους κάποιους απογόνους, μια αύξηση της τάξης του 2% δεν ισοδυναμεί με απλή πρόσθεση 2 ατόμων στα 100. Στην πραγματικότητα, οι πληθυσμοί αυξάνονται με τρόπο ανάλογο μ' αυτόν που αυξάνονται οι καταθέσεις μας σε μια Τράπεζα. Ο ρυθμός της πληθυσμιακής αύξησης αντιστοιχεί στο επιτόκιο των καταθέσεων. Όπως οι τόκοι προστίθενται στο αρχικό κεφάλαιο, το οποίο ανατοκίζεται, έτσι και τα 2 νέα άτομα προστίθενται στα 100 του αρχικού πληθυσμού και επομένως τα 102 πλέον άτομα αυξάνονται με τη σειρά τους με ρυθμό 2%.

Είναι πιθανόν ο ρυθμός αυτού του μεγέθους να φαίνεται μικρός. Όμως μ' αυτό το ρυθμό ένας πληθυσμός θα διπλασιαστεί μέσα σε 35 χρόνια. Για παράδειγμα, αν η Αθήνα έχει τώρα 4 εκατομμύρια κατοίκους,



Εικόνα 2.21: Οι άνθρωποι συρρέουν στις πόλεις.

με ρυθμό αύξησης 2% ετησίως θα φθάσει τα 8 εκατομμύρια!

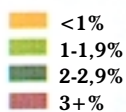
Οι αναπτυσσόμενες χώρες χαρακτηρίζονται από μεγάλη παραγωγή και κατανάλωση αγαθών, με συνέπεια τη ρύπανση και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι αναπτυσσόμενες χώρες μαστίζονται από την πείνα, τις αρρώστιες και την έλλειψη αγαθών ζωτικής σημασίας όπως φαρμάκων ή νερού. Σε πολλές χώρες, για να βρεθεί καλλιεργήσιμη γη, καταστρέφονται τα τροπικά δάση. Και ενώ θα περίμενε κανείς η αύξηση του πληθυσμού να είναι ταχύτερη στις αναπτυσσόμενες χώρες, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο.

Η πληθυσμιακή αύξηση παρουσιάζει μεγάλες διαφορές από χώρα σε χώρα. Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες ο πληθυσμός αυξάνεται ετησίως με ρυθμό 3% ή και μεγαλύτερο, που σημαίνει ότι διπλασιάζεται κάθε 23 χρόνια. Αντίθετα, στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι μικρότερος του 1% (με χρόνο διπλασιασμού τα 70 ή περισσότερα χρόνια) ή και μηδενικός. Ουσιαστικά ο κόσμος είναι χωρισμένος σε δύο μεγάλες ομάδες: στα κράτη με χαμηλούς ρυθμούς αύξησης του πληθυσμού τους (με μέσο ό-

ρο 0,8%) και σ' αυτά με υψηλούς ρυθμούς αύξησης (με μέσο όρο 2,5%).

Αυτή η διαφορά ερμηνεύεται από οικονομολόγους και κοινωνιολόγους με βάση τη θεωρία της δημογραφικής μετάπτωσης. Σύμφωνα με αυτήν, οι γεννήσεις μειώνονται (παρά τις περί του αντιθέτου προσπάθειες της πολιτείας), καθώς αυξάνεται η ευμάρεια της οικογένειας και εκμηδενίζεται η εξάρτησή της από την εργασία των παιδιών για την κάλυψη στοιχειωδών αναγκών της. Καθώς αυξάνεται ο πλούτος, οι άνθρωποι τείνουν να αποκτούν λιγότερα παιδιά, έστω κι αν υπάρχουν επιδόματα για τους πολύτεκνους, έστω κι αν αυξάνονται οι βρεφονηπιακοί σταθμοί ή άλλες παροχές και εξυπηρετήσεις. Οι άνθρωποι στις βιομηχανοποιημένες, αναπτυσσόμενες χώρες τείνουν να «επενδύουν» περισσότερο, με όρους χρόνου και χρήματος, στη βελτίωση της ποιότητας της ζωής τους, των ίδιων και των παιδιών τους. Αντίθετα, στις αγροτικές κοινωνίες η απόκτηση πολλών παιδιών σημαίνει περισσότερα εργατικά χέρια που θα βοηθούν την οικογένεια. Το να είσαι παιδί στον Τρίτο Κόσμο δεν είναι, δυστυχώς, το ίδιο με το να είσαι παιδί στον αναπτυσσόμενο

Επίσης ρυθμός αύξησης



Εικόνα 2.22: Η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού δεν είναι παντού ίδια.

Ο κόσμος σε αριθμούς

Εάν ήταν δυνατόν να συρρικνώσουμε τον πληθυσμό της Γης σε 100 άτομα, θα βρίσκαμε:

57 Ασιάτες,
21 Ευρωπαίους,
14 Αμερικανούς,
8 Αφρικανούς.

- 70 από αυτούς τους εκατό ανθρώπους θα ήταν αναλφάβητοι.
- 50 θα υπέφεραν από υποσιτισμό.
- 80 θα ζούσαν σε υποβαθμισμένες κατοικίες.
- 1 θα είχε πανεπιστημιακή μόρφωση.

Αυτό και μόνο το υποθετικό παράδειγμα αρκεί για να καταδειχτεί η ανισότητα στην κατανομή των φυσικών πόρων (τροφή), στην ποιότητα ζωής και στις δυνατότητες για μόρφωση που υπάρχουν στον πλανήτη.

κόσμο.

Πολλές προσπάθειες για έλεγχο των γεννήσεων γίνονται σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και ιδιαίτερα σε κάποιες χώρες (π.χ. Κίνα), ώστε να μειωθεί ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού. Αυτό συμβαίνει επειδή η μεγάλη πληθυσμιακή αύξηση δεν οδηγεί σε οικονομικά ή άλλα οφέλη, καθώς τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από αυτή διογκώνονται μάλλον παρά λύνονται. Για παράδειγμα, η πληθυσμιακή αύξηση των πόλεων σε πολλές χώρες (αναπτυγμένες ή μη) γίνεται με ρυθμό μεγαλύτερο του 3%, καθώς οι άνθρωποι συρρέουν σ' αυτές προς αναζήτηση καλύτερης ζωής. Οι πόλεις του χθες όμως δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του ολοένα αυξανόμενου πληθυσμού τους. Αυτή η αδυναμία προκαλεί, σε κοινωνικό επίπεδο, τεράστιες εντάσεις και διάσπαση των συνεκτικών δεσμών μιας κοινωνίας. Επιπλέον, σε περιβαλλοντικό επίπεδο, προκαλεί τεράστια προβλήματα ρύπανσης, υποβάθμισης του περιβάλλοντος και τελικά, παρά τη φαινομενική ευμάρεια, υποβιβασμό της ποιότητας ζωής του ανθρώπου.



Εικόνα 2.23: Το Χονγκ-Κονγκ είναι μία από τις πολυπληθέστερες πόλεις του κόσμου. Οι άνθρωποι ζουν κάτω από άθλιες συνθήκες στοιβαγμένοι σε ελάχιστα τετραγωνικά μέτρα.

2.4.1 Άνθρωπος και περιβαλλοντικά προβλήματα

Η πρόοδος των επιστημών, και ιδιαίτερα της Βιολογίας και της Ιατρικής, προσέθεσε στο οπλοστάσιο του ανθρώπου πανίσχυρα όπλα για τη διάγνωση και τη θεραπεία των ασθενειών, με αποτέλεσμα τη μείωση της θνησιμότητας. Τα επιτεύγματα της τεχνολογικής ανάπτυξης σε πολλούς τομείς βελτίωσαν εντυπωσιακά τα δεδομένα και την ποιότητα της ζωής του ανθρώπου.

Αυτή όμως η θετική εξέλιξη είχε περιβαλλοντικό κόστος, γιατί συνοδεύτηκε από την αλαζονική αντίληψη ότι ο άνθρωπος μπορεί να εκμεταλλεύεται χωρίς όρους και χωρίς όρια τον πλανήτη, αδιαφορώντας για τις περιβαλλοντικές συνέπειες των επιλογών του. Κατά τη μεταπολεμική εποχή ωστόσο, και κυρίως τις τρεις τελευταίες δεκαετίες του 20ού αιώνα, αποκαλύφθηκαν το μέγεθος των προβλημάτων και η αδυναμία των τεχνολογικών μέσων να τα αντιμετωπίσουν. Μερικοί, χρησιμοποιώντας ανθρωποκεντρικούς όρους, είπαν ότι «η φύση εκδικείται». Στην πραγματικότητα η φύση δεν εκδικείται. Απλώς, όπως ισχύουν κάποιοι νόμοι στη Φυσική και στη Χημεία, έτσι ισχύουν και στη Βιολογία και στη συνολική λειτουργία της φύσης. Κι όταν παραβιάζονται αυτοί οι νόμοι, η φύση απορρυθμίζεται και οι συνέπειες μπορεί να είναι δραματικές τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον ίδιο τον άνθρωπο που αποτελεί μέρος του.

Ανάμεσα στα σοβαρότερα προβλήματα που έχει προκαλέσει η αλαζονική συμπεριφορά με την οποία ο άνθρωπος διαχειρίστηκε το περιβάλλον του περιλαμβάνονται η μείωση της βιοποικιλότητας, η ερημοποίηση και η ρύπανση (εδάφους, νερού, αέρα).

Εικόνα 2.24: Ο άνθρωπος αδιαφορεί για τις περιβαλλοντικές συνέπειες των επιλογών του.



2.4.2 Μείωση της βιοποικιλότητας

Ο όρος «βιοποικιλότητα» αποδίδεται στην ποικιλία του φαινομένου της ζωής σε κάθε επίπεδο οργάνωσής της, από τα γονίδια, τα χρωμοσώματα και τους οργανισμούς ως τα είδη, τις βιοκοινότητες και τα οικοσυστήματα. Με μια βιαστική θεώρηση των πραγμάτων θα μπορούσε να οδηγηθεί κανείς στο συμπέρασμα ότι η ποικιλία αυτή αποτελεί κατά κάποιο τρόπο μια αδικαιολόγητη σπατάλη της φύσης. Όπως όμως είδαμε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, κάτι τέτοιο δεν είναι αληθές. Όσο περισσότερο πολύπλοκο είναι ένα οικοσύστημα, όσο δηλαδή περισσότερα είναι τα διαφορετικά είδη οργανισμών που υπάρχουν σ' αυτό, τό-

σο περισσότερες και πολυπλοκότερες είναι και οι σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα το οικοσύστημα να είναι σταθερότερο, γιατί αυξάνονται οι ευνοϊκές συνθήκες για διατήρηση της ισορροπίας του.

Δυστυχώς όμως η διαχείριση της βιοσφαιρας από τον άνθρωπο έχει οδηγήσει στη μείωση της βιοποικιλότητας. Πράγματι, πληροφορούμαστε συχνά από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης την εξαφάνιση σπάνιων φυτικών και ζωικών ειδών. Από εκτιμήσεις που έχουν γίνει από διεθνείς οργανισμούς και περιβαλλοντικές οργανώσεις υπολογίσιμο ότι, με τους σημερινούς ρυθμούς απωλειών, ένα σημαντικό μέρος των υπαρ-



Εικόνα 2.25: Μερικά από τα απειλούμενα είδη στην Ελλάδα: καφετιά αρκούδα, θαλάσσια χελώνα, μεσογειακή φώκια, γυπαετός

χόντων ειδών του πλανήτη θα έχει εξαφανιστεί ή συρρικνωθεί σε μικρούς πληθυσμούς πριν από τα μέσα του 21ου αιώνα.

Κύριο αίτιο της εξαφάνισης των ειδών είναι η καταστροφή ή η αλλοίωση των περιοχών στις οποίες αυτά μπορούν να επιβιώσουν. Μεταξύ των βιότοπων που έχουν υποστεί αλλοίωση ή καταστροφή περιλαμβάνονται οι υγρότοποι και τα τροπικά δάση.

Υγρότοποι: Αποτελούν βιότοπους οι οποίοι βρίσκονται στο όριο μεταξύ χερσαίων και υδάτινων περιοχών και χαρακτηρίζονται από αβαθή, μόνιμα ή εποχικά, νερά. Υγρότοποι όπως το δέλτα ποταμών, οι αβαθείς λίμνες, τα ποτάμια, τα έλη, οι λιμνοθάλασσες κ.ά. διακρίνονται για τη μεγάλη παραγωγικότητά τους, που τους κάνει ιδανικούς για την επιβίωση ενός πλήθους οργανισμών, στους οποίους περιλαμβάνονται έντομα, πουλιά, ερπετά, αμφίβια, ψάρια. Παράλληλα, τα άφθονα θρεπτικά συστατικά που περιέχουν ευνοούν την ανάπτυξη μιας πλούσιας υδρόβιας και χερσαίας χλωρίδας.

Ωστόσο τα τελευταία 50 χρόνια η εκτεταμένη ανθρώπινη παρέμβαση, δηλαδή οι α-

ποξηράνσεις και τα άλλα εγγειοβελτιωτικά έργα με σκοπό τη μετατροπή των υγρότοπων σε γεωργική γη, οι διευθετήσεις χειμάρρων και κοιτών ποταμών με συνέπεια τις μεταβολές στον κύκλο του νερού και η υπερβολική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων που καταλήγουν σ' αυτούς παρασυρόμενα από τη ροή των επιφανειακών νερών, έχει αφανίσει τους υγρότοπους ή έχει διαταράξει σοβαρά τη λειτουργία τους. Μεταξύ των οργανισμών που έχουν πληρώσει ακριβά το κόστος αυτών των διαταραχών περιλαμβάνονται τα μεταναστευτικά πουλιά, τα οποία χρησιμοποιούν τους υγρότοπους ως ενδιάμεσους σταθμούς στα ταξίδια τους ή ως τόπους διαχείμασης.



Εικόνα 2.26: Νούφαρα στη Μικρή Πρέσπα



Εικόνα 2.27: Αργυροπελεκάνοι στη λιμνοθάλασσα της Λογαρού (Αμβρακικός Κόλπος)

Οι προστατευόμενοι υγρότοποι στην Ελλάδα

Η αναγνώριση των τεράστιων απωλειών των υγρότοπων σε παγκόσμια κλίμακα οδήγησε σε σοβαρές προσπάθειες αναστροφής αυτής της εξέλιξης. Η αρχή έγινε το 1971 με τη συνθήκη Ramsar (από την ομώνυμη πόλη της Περσίας στην οποία υπογράφηκε η συνθήκη). Τη συνθήκη αυτή, που στόχο έχει την προστασία των υγρότοπων, της χλωρίδας και της πανίδας τους, υπέγραψε και η Ελλάδα. Η χώρα μας έχει εντάξει 11 υγρότοπους (ή αθροίσματα επιμέρους υγρότοπων) στον κατάλογο υγρότοπων Ramsar (χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι οι μόνοι αξιόλογοι υγρότοποι). Αυτοί είναι: 1) το δέλτα του Έβρου, 2) η λίμνη Ισμαρίδα και οι λιμνοθάλασσες της Ροδόπης, 3) η λίμνη Βιστονίδα και το Πόρτο Λάγος, 4) το δέλτα του Νέστου, 5) η τεχνητή λίμνη της Κερκίνης, 6) οι λίμνες Βόλβη και Κορώνεια (λίμνες Λαγκαδά), 7) το δέλτα των ποταμών Αξιού - Λουδία - Αλιάκμονα και η Αλυκή του Κίτρου (Πιερία), 8) η λίμνη Μικρή Πρέσπα, 9) ο Αμβρακικός Κόλπος, 10) η λιμνοθάλασσα του Μεσολογγίου και 11) η λιμνοθάλασσα Κοτύχι και το δάσος της Στροφυλιάς.



Σε πολλούς ελληνικούς υγρότοπους μπορεί κανείς να δει τα εντυπωσιακά φοινικόπτερα.



Εικόνα 2.28: Τα τροπικά δάση είναι τα πιο πλούσια σε ποικιλία οικοσυστήματα του πλανήτη μας.

Τροπικά δάση: Τα τροπικά δάση είναι τα πιο πλούσια σε ποικιλία οικοσυστήματα του πλανήτη μας, αφού φιλοξενούν ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών οργανισμών. Παρ' όλο που τα εδάφη τους είναι φτωχά, η βλάστησή τους είναι πλούσια. Διαθέτουν το 65% του συνόλου των γνωστών φυτικών ειδών. Η αποικοδόμηση στα δάση αυτά είναι ταχύτερη, λόγω της επικράτησης υψηλών θερμοκρασιών και υγρασίας. Όμως όλα τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά επαναπροσλαμβάνονται από τα φυτά και τα εδάφη των δασών αυτών παραμένουν φτωχά.

Επειδή γύρω από τα τροπικά δάση ζουν μεγάλοι ανθρωπίνοι πληθυσμοί και οι ανάγκες για γεωργική γη είναι τεράστιες, δημιουργήθηκε η εντύπωση ότι τα εδάφη

τους πρέπει να είναι ιδιαίτερα εύφορα, μια και μπορούν να στηρίζουν τόσο πλούσια βλάστηση. Έτσι τα δάση αυτά παραδόθηκαν στη φωτιά προκειμένου να δημιουργηθεί καλλιεργήσιμη γη. Όταν όμως έγινε αντιληπτό ότι το έδαφός τους είναι φτωχό, οι καλλιέργειες εγκαταλείφθηκαν και το οικοσύστημα, μη έχοντας τη δυνατότητα να επανέλθει στην προγενέστερη κατάσταση, συνέχισε να υποβαθμίζεται, μέχρι που έγινε εντελώς άγονο.

Η αποψίλωση των τροπικών δασών, που γίνεται με σκοπό την εξασφάλιση γεωργικής γης, την επέκταση των πόλεων, την υλοτόμηση ή τη διάνοιξη δρόμων, συμβαίνει με τόσο υψηλό ρυθμό, ώστε σε ετήσια βάση να χάνεται έκταση ίση με το μισό της έκτασης της Ελλάδας.



Εικόνα 2.29: Αποψίλωση των τροπικών δασών

Η σημασία των τροπικών δασών

«Τα τελευταία πενήντα χρόνια η συνολική έκταση των τροπικών δασών έχει μειωθεί στο μισό. Χιλιάδες ζωικά και φυτικά είδη χάνονται ανεπιστρεπτί και πολύ περισσότερα απειλούνται με εξαφάνιση. Από πολύ παλιά ο άνθρωπος συνήθιζε να αντλεί μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών και τροφών από τα τροπικά φυτά. Το καουτσούκ, πρώτη ύλη για την κατασκευή των ελαστικών, προέρχεται από τα καουτσουκόδεντρα της Βραζιλίας, οι πατάτες ανάγουν την προέλευσή τους από τα υψίπεδα της Νότιας Αμερικής. Μεγάλο μέρος του σύγχρονου καθημερινού διαιτολογίου προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τα τροπικά δάση (από τις μπανάνες και τα αβοκάντο μέχρι τη βανίλια, το κακάο και τον καφέ).

Αλλά και η Ιατρική οφείλει μεγάλο μέρος των φαρμακευτικών ουσιών που χρησιμοποιεί στα τροπικά δάση, από το κινίνο μέχρι το αντισυλληπτικό χάπι. Το κινίνο προέρχεται από το φλοιό του δέντρου *Cinchona officinalis*, που φυτρώνει στα δάση της Νότιας Αμερικής, και μάλιστα οι φαρμακευτικές του ιδιότητες ήταν από πολύ παλιά γνωστές στους Ινδιάνους της Βολιβίας και του Περού. Ένας από τους πρώτους τύπους αντισυλληπτικού χαπιού παρασκευάστηκε με βάση τα στεροειδή που εξαγονται από το μεξικανικό φυτό γιαμ. Στα τροπικά δάση οφείλουμε ένα πλήθος αναλγητικών, χωνευτικών, ηρεμιστικών και άλλων φαρμακευτικών προϊόντων της σύγχρονης Ιατρικής.

Αν και στις ημέρες μας τα περισσότερα δραστικά φαρμακευτικά συστατικά παράγονται στα εργοστάσια, το 20% των παρασκευασμάτων που βρίσκουμε στα φαρμακεία παράγεται από πρώτες ύλες που προέρχονται από τα τροπικά δάση. Στις χώρες του Τρίτου Κόσμου το 70% των θεραπευτικών μεθόδων που ακολουθούνται βασίζεται στην παραδοσιακή “βοτανική” Ιατρική.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι σήμερα οι ερευνητές έχουν μελετήσει μόνο το 1% από τα 100.000 (και πλέον) είδη φυτών των τροπικών δασών προκειμένου να διαπισώσουν την ύπαρξη ουσιών με πιθανή φαρμακευτική δράση. Όπως λένε πολλοί από αυτούς, “οι δυνατότητες για το μέλλον είναι απεριόριστες, φτάνει οι χημικοί και οι φαρμακολόγοι να φτάσουν στα τροπικά δάση πριν από τις μπουλντόζες και τα αλυσοπρίονα”.

Ο διάσημος καρδιοχειρουργός Μαγκντί Γιακούμπ είπε σε μια συνέντευξη, το 1989, για τη σημασία της βιοποικιλότητας: “Το είδος των επεμβάσεων που κάνουμε θα ήταν αδύνατο χωρίς φάρμακα όπως το Tubocurarine, το Digoxin και το Cyclosporin, που προέρχονται από βότανα και φυτά των τροπικών δασών. Αλλά, πέρα από τις πρακτικές χρήσεις των φυτών, δε θα πρέπει να ξεχνάμε και τους ηθικούς και συναισθηματικούς λόγους για τη σωτηρία τους”. Και συνέχισε πως, κάθε φορά που επιστρέφει στο σπίτι του μετά από μια δύσκολη εγχείρηση ανοιχτής καρδιάς, βρίσκει ηρεμία και γαλήνη στο μικρό θερμοκήπιο με ορχιδέες που έχει στην αυλή του».

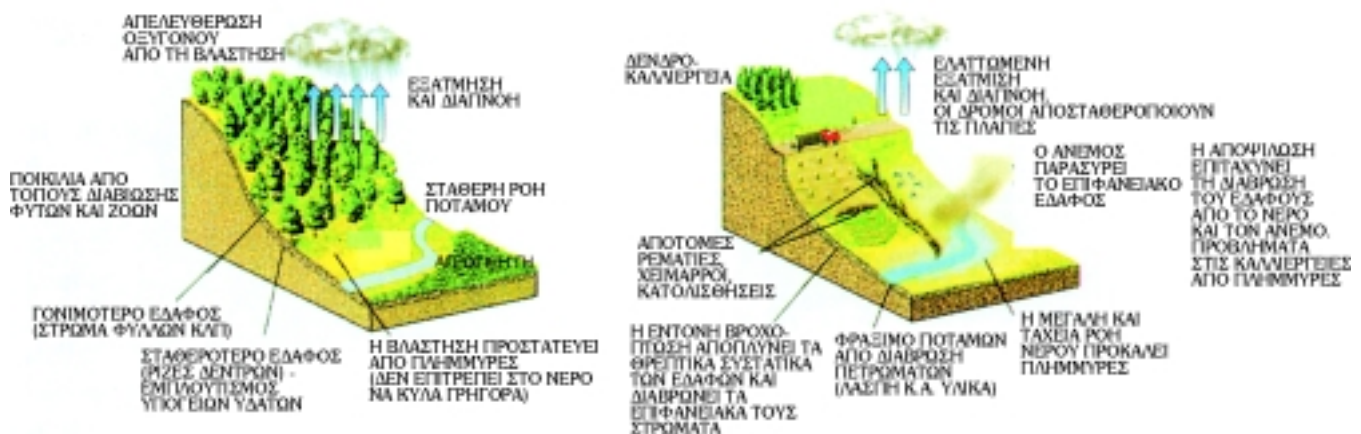
Από το άρθρο του Μάρτιν Γκέτλιχ *Η κρίση της βιοποικιλότητας*.

2.4.3 Ερημοποίηση

Φυσιολογικά, τα ερημικά οικοσυστήματα βρίσκονται εκεί όπου η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή. Οικοσυστήματα που χαρακτηρίζονται από άγονα εδάφη, μικρή παραγωγικότητα και μικρή βιομάζα συναντώνται και σε περιοχές όπου τα χαρακτηριστικά του κλίματος θα επέτρεπαν πλούσια βλάστηση. Τα οικοσυστήματα αυτά είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων παρεμβάσεων οι οποίες οδηγούν στην ερημοποίηση.

Οι λόγοι για τους οποίους ένα οικοσύστημα μπορεί να ερημοποιηθεί είναι:

- η καταστροφή του από την **όξινη βροχή**,
- η **αποψίλωση**, όπως στην περίπτωση των τροπικών δασών που αναφέρθηκε προηγουμένως,
- οι **πυρκαγιές** και η **υπερβόσκηση** στα μεσογειακά οικοσυστήματα.



Εικόνα 2.30:

Με την καταστροφή των φυτών παύει το έδαφος να συγκρατείται από τις ρίζες τους. Οι βροχές σχηματίζουν χειμάρρους που παρασύρουν το χώμα στους ποταμούς, στις θάλασσες και στις λίμνες. Η διάβρωση οδηγεί σε ένα γυμνό από χώμα φλοιό και η περιοχή ερημοποιείται.

Πυρκαγιές στα μεσογειακά οικοσυστήματα

Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από αλληλοδιαδοχή ενός υγρού και σχετικά ήπιου θερμοκρασιακά χειμώνα με ένα θερμό και ξερό καλοκαίρι που ευνοεί την εκδήλωση της φωτιάς λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, της μεγάλης ξηρασίας και της συσσώρευσης μη αποικοδομημένων ξερών φύλλων στο έδαφος.

Τα μεσογειακά οικοσυστήματα μπορούν να επανακάμψουν σε λιγότερο από δέκα

χρόνια, γιατί οι οργανισμοί τους έχουν προσαρμοστεί στην περιοδική εμφάνιση της φωτιάς αναπτύσσοντας συγκεκριμένους μηχανισμούς αναγέννησης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν ο σχηματισμός νέων βλαστών και φύλλων από υπόγειους οφθαλμούς, η αυξημένη φύτευση σπερμάτων που διασκορπίστηκαν λόγω της φωτιάς κ.ά. Δυστυχώς όμως οι μηχανισμοί αυτοί δεν μπορούν να συμβάλουν στην ε-



πανάκαμψη ενός μεσογειακού οικοσυστήματος, όταν αυτό έχει καεί επανειλημμένα και όταν μετά τη φωτιά επιχειρούνται ανασταλτικές επεμβάσεις όπως η βόσκηση.

Μία από τις συνέπειες της φωτιάς είναι ότι αυξάνεται η διάβρωση του εδάφους, αφού καταστρέφονται τα φυτά που θα το συγκρατούσαν με τις ρίζες τους. Όταν μάλιστα η κλίση του εδάφους είναι μεγάλη και ακολουθήσουν καταρρακτώδεις βροχές, τότε η διάβρωση του εδάφους γίνεται ακόμη μεγαλύτερη και τελικά οδηγεί σε βαθμιαία κατάρρευση των οικοσυστημάτων και ερημοποίηση.

Εικόνα 2.31: Φωτιά σε ένα μεσογειακό οικοσύστημα

Εικόνα 2.32: Καπνός από φωτιά στη Σάμο (07/08/2000), όπως φαίνεται από δορυφόρο.



2.4.4 Ρύπανση

Ρύπανση είναι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με κάθε παράγοντα (ρύπο) που έχει βλαπτικές επιδράσεις στους οργανισμούς. Στους ρύπους ανήκουν συγκεκριμένες χημικές ουσίες και διάφορες μορφές ενέργειας όπως η θερμότητα, ο ήχος και οι ακτινοβολίες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις κριτήριο για την απειλή που συνιστά ένας ρύπος για το περιβάλλον δεν είναι τόσο η ποιότητά του όσο ο ρυθμός με τον οποίο προστίθεται σε ένα οικοσύστημα. Για το λόγο αυτό είναι δυνατό μια αβλαβής σε μικρές συγκεντρώσεις ουσία να καταστεί απειλητική, αν ο ρυθμός εισαγωγής της στο οικοσύστημα είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό απομάκρυνσης ή αδρανοποίησής της από τους ειδικούς μηχανισμούς αποκατάστασης της ισορροπίας που διαθέτουν όλα τα οικοσυστήματα. Ανάλογα, είναι δυνατόν μια τοξική ουσία να είναι ανίκανη να προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αν απομακρύνεται ή αδρανοποιείται με μεγαλύτερο ρυθμό από ό,τι εισάγεται στο οικοσύστημα.

Η ρύπανση, ανάλογα με το τμήμα της βιόσφαιρας που πλήττει, διακρίνεται σε **ατμοσφαιρική**, σε **ρύπανση των υδάτων** και σε **ρύπανση του εδάφους**. Η διάκριση όμως αυτή δεν πρέπει να θεωρείται απόλυτη, καθώς οι διάφορες μορφές ρύπανσης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.



Εικόνα 2.33: Ατμοσφαιρική ρύπανση από βιομηχανική μονάδα

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η απαρχή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα έγινε από τότε που ο άνθρωπος των σπηλαίων ανακάλυψε τη φωτιά. Η συστηματική όμως επιβάρυνση της ατμόσφαιρας ξεκίνησε κατά τη Βιομηχανική Επανάσταση με την εντατική καύση ορυκτών καυσίμων (γαιανθράκων και πετρελαίου). Η επιβάρυνση αυτή υποβοηθήθηκε από την ανέγερση μεγάλων βιομηχανικών μονάδων στις πόλεις, σε συνδυασμό με την αλματώδη αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και τη συγκέντρωσή του σ' αυτές.

Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα η κατάσταση επιδεινώθηκε με τη συνεχιζόμενη εκ-



Εικόνα 2.34: Η ατμοσφαιρική ρύπανση επιδεινώθηκε με τη μαζική χρήση του αυτοκινήτου.

πομπή αέριων βιομηχανικών ρύπων και με τη μαζική χρήση του αυτοκινήτου.

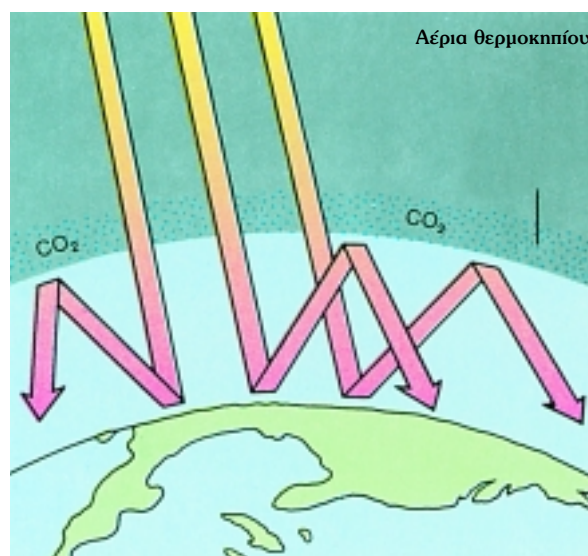
Τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα που οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι:

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.** Η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει στην επιφάνεια της Γης απορροφάται κατά ένα μέρος από αυτήν, ενώ κατά ένα άλλο μέρος εκπέμπεται πίσω στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Από το σύνολο της ακτινοβολίας αυτής ένα μέρος δεσμεύεται από το διοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, γεγονός που οδηγεί στην ήπια αύξηση της θερμοκρασίας της. (Σημειώνεται ότι, αν δε δεσμευόταν η υπέρυθρη ακτινοβολία, η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, αντί για τη μέση θερμοκρασία των $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ που είναι ευνοϊκή για τη ζωή). Το υπόλοιπο διαπερνά την ατμόσφαιρα και διαφεύγει στο διάστημα, με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η υπερθέρμανση του πλανήτη μας. Ωστόσο εξαιτίας της υπέρμετρης καύσης ορυκτών καυσίμων η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί. Έτσι όμως αυξάνεται και το ποσοστό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που δεσμεύεται από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της. Επειδή η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που προστίθεται στην ατμόσφαιρα αυξάνεται με ρυθμό 0,3% το χρόνο, πολλοί επιστήμονες πιστεύουν ότι το 2040 η μέση θερμοκρασία του πλανήτη μας θα έχει αυξηθεί κατά $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Αν η πρόβλεψη αυτή επιβεβαιωθεί, τότε οι σοβαρές κλιματικές μεταβολές που θα προκύψουν θα έχουν δραματικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η τήξη των πολικών πάγων θα οδηγήσει σε ανύψωση της στάθμης της θάλασσας και επομένως στην απώλεια μεγάλων χερσαίων εκτάσεων οι οποίες θα καλυφθούν από το νερό. Είναι επίσης πιθανό

πολλές γόνιμες περιοχές να μετατραπούν σε άγονες και αντίστροφα.

Πάντως, αν και είναι απαραίτητο να μειωθούν, σε παγκόσμιο επίπεδο, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, καμία πρόβλεψη προς το παρόν δεν μπορεί να είναι απόλυτα ακριβής. Κι αυτό γιατί δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή η πολυπλοκότητα των ατμοσφαιρικών φαινομένων και ιδιαίτερα ο τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρούν οι παράγοντες που ευθύνονται για την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη με τους μηχανισμούς που την εξισορροπούν.

Την ονομασία «φαινόμενο του θερμοκηπίου» την καθιέρωσε το 1822 ο Γάλλος μαθηματικός Φουριέ, θεωρώντας πως ο μηχανισμός με τον οποίο αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι παρόμοιος με αυτόν που αυξάνει τη θερμοκρασία σε ένα θερμοκήπιο. Και στις δύο περιπτώσεις ο αέρας που θερμαίνεται από τις ηλιακές ακτίνες (οι οποίες περνούν από την ατμόσφαιρα και το τζάμι αντίστοιχα) παγιδεύεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 2.35: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου



Εικόνα 2.36: Η ατμοσφαιρική ρύπανση απειλεί τη ζωή μας.

• **Το φωτοχημικό νέφος.** Το νέφος που κάλυψε το Λονδίνο το 1952 ήταν ένα αέριο μείγμα διοξειδίου του θείου και άλλων προϊόντων ατελούς καύσης των ορυκτών καυσίμων. Αντίθετα, το νέφος του Λος Άντζελες, με το χαρακτηριστικό καφετί χρώμα, που συχνά γίνεται αντιληπτό και στην ατμόσφαιρα της Αθήνας, προκαλείται από την αντίδραση μιας σειράς ουσιών, οι οποίες παράγονται από τις μηχανές εσωτερικής καύσης (αυτοκινήτων, αεροπλάνων, εργοστασίων), με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στις ουσίες αυτές, που ονομάζονται **πρωτογενείς ρύποι**, συγκαταλέγονται τα οξειδία του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και διάφοροι υδρογονάνθρακες. Στα προϊόντα της αντίδρασής τους, τους **δευτερογενείς ρύπους**, ανήκουν το όζον και το νιτρικό υπεροξυακετύλιο (PAN). Από τους πρωτογενείς ρύπους το μονοξείδιο του άνθρακα παρεμποδίζει, σε υψηλές συγκεντρώσεις, τη μεταφορά οξυγόνου στους ιστούς, γιατί ανταγωνίζεται το οξυγόνο για την ειδική θέση σύνδεσης στο μόριο της αιμοσφαιρίνης. Τα οξειδία του αζώτου προκαλούν καταστροφές στους ιστούς των πνευμόνων και εξασθενίζουν την αντίσταση του οργανισμού στην πνευμονία, ενώ η έκθεση, για μεγάλο χρονικό διάστημα,

σε χαμηλές συγκεντρώσεις τους είναι υπεύθυνα για την πρόκληση εμφυσήματος. Μερικοί από τους υδρογονάνθρακες που περιέχονται στους ατμοσφαιρικούς ρύπους, όπως το βενζοπυρένιο, έχουν καρκινογόνο δράση.

Από τους δευτερογενείς ρύπους το όζον επηρεάζει τη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος κατά παρόμοιο τρόπο με τα οξειδία του αζώτου, ενώ το PAN ερεθίζει τα μάτια. Οι ρύποι αυτοί, εκτός από τις αρνητικές επιπτώσεις τους στην υγεία του ανθρώπου, προκαλούν σημαντικές καταστροφές στα φυσικά οικοσυστήματα.

• **Η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος.** Αν και το όζον στα κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας αποτελεί ρύπο, στα ανώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας, σε ύψος 15 με 30 Km (κατώτερη στρατόσφαιρα), σχηματίζει μια στιβάδα που διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στη διατήρηση της ζωής, καθώς απορροφά ένα σημαντικό μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή έχει θανατηφόρο δράση στους μονοκύτταρους οργανισμούς, προκαλεί μεταλλάξεις στο DNA, προκαλεί καταρράκτη και καρκίνο του δέρματος.

Από τη δεκαετία του 1970 παρατηρήθηκε μια βαθμιαία εξασθένηση της στιβάδας του



Εικόνα 2.37: Μελάνωμα, καρκίνος του δέρματος

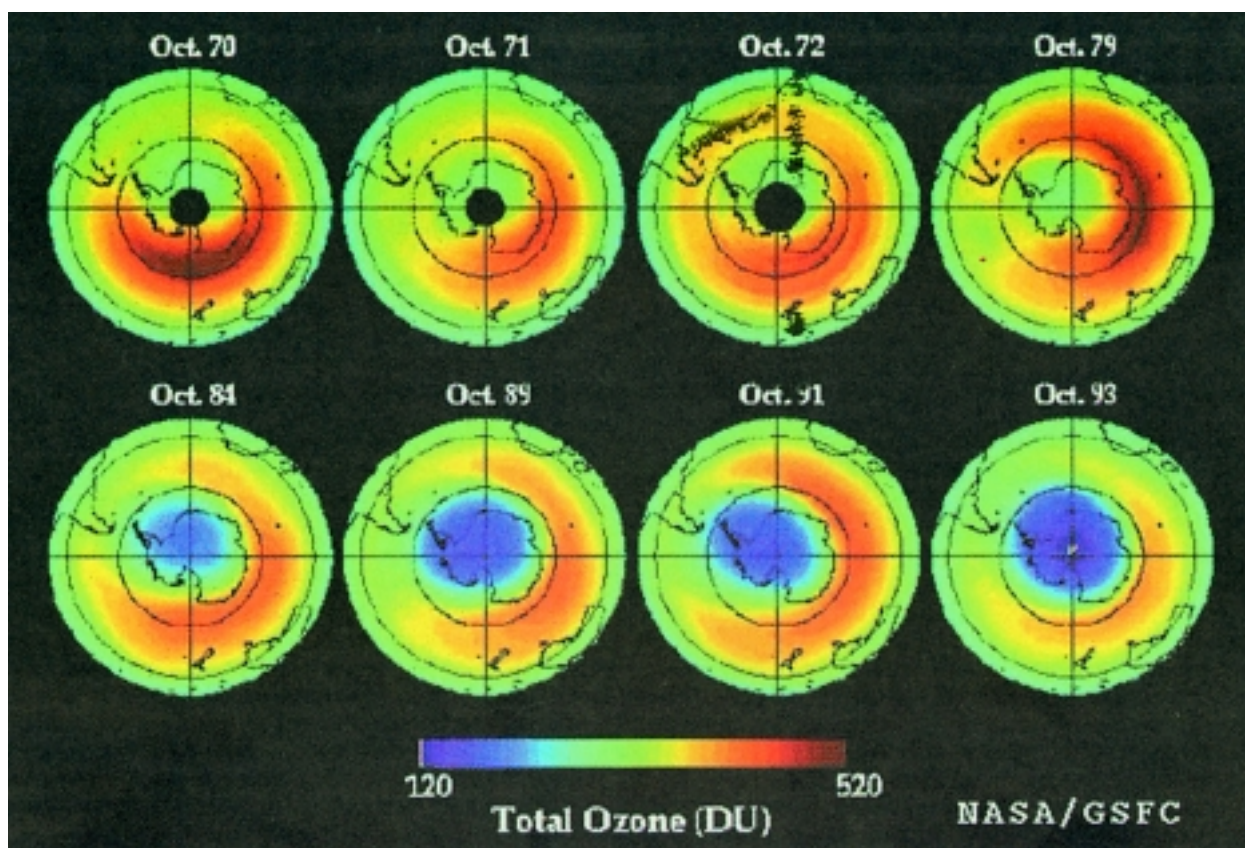
όζοντος που στα μέσα της δεκαετίας του 1980 οδήγησε στη δημιουργία μιας τρύπας πάνω από την Ανταρκτική. Από τις έρευνες οι οποίες επακολούθησαν διαπιστώθηκε ότι αιτία για την εξασθένηση αυτή είναι οι **χλωροφθοράνθρακες** (εμπορική ονομασία freon), που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά υγρά στα ψυγεία και στα κλιματιστικά και ως προωθητικά αέρια στα σπρέι. Εξαιτίας της ελάττωσης του όζοντος στη στρατόσφαιρα, η ποσότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας που φθάνει στη Γη γίνεται όλο και μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η πιθανότητα για τις δυσμενείς επιπτώσεις της στους οργανισμούς.

Από το 1994 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, προκειμένου να αναστραφεί η συνεχιζόμενη εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος, αποφάσισε την απαγόρευση της παραγωγής χλωροφθορανθράκων και την αντικα-



Εικόνα 2.38: Χρήση CFCs σε διάφορα μέρη του κόσμου το 1990

τάστασή τους από υδροφθοράνθρακες που δεν περιέχουν το καταστρεπτικό για το όζον χλώριο.



Εικόνα 2.39: Η μείωση της στιβάδας του όζοντος στην Ανταρκτική. Με κόκκινο παρουσιάζονται οι υψηλές και με μπλε οι χαμηλές συγκεντρώσεις.

Σκεφτείτε...

Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα σήμερα είναι η λεγόμενη «τρύπα του όζοντος». Συνδυάζοντας τις γνώσεις σας για την τρύπα του όζοντος με αυτά που μάθατε για τον καρκίνο, αιτιολογήστε τις επιπτώσεις του φαινομένου αυτού στην υγεία του ανθρώπου.

- **Η όξινη βροχή.** Η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι διεργασίες αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών από τα βακτήρια του εδάφους και κυρίως η καύση υγρών καυσίμων απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα διάφορα οξειδία του αζώτου και διοξείδιο του θείου. Τα αέρια αυτά, αφού πρώτα μετατραπούν, με την επίδραση των υδρατμών της ατμόσφαιρας, σε νιτρικό και θειώδες οξύ αντίστοιχα, επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης διαλυμένα στο νερό της βροχής, στο χιόνι, στην ομίχλη ή στο χαλάζι.

Όταν οι συγκεντρώσεις των οξειδίων αυτών δεν είναι αυξημένες, το νιτρικό και το θειώδες οξύ που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό της βροχής την καθιστούν ελαφρά όξινη, καθώς έχει τιμή γύρω στο 5,6 pH.

Στις περιοχές όμως στις οποίες η ατμόσφαιρα έχει επιβαρυνθεί με μεγάλες συγκεντρώσεις των οξειδίων αυτών, είτε διότι γίνεται εντατική καύση υγρών καυσίμων είτε διότι οι ρύποι αυτοί έχουν μεταφερθεί με τον άνεμο, μεγαλώνει και η ποσότητα του νιτρικού και του θειώδους οξέος που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό της βροχής. Έτσι όμως η βροχή γίνεται περισσότερο όξινη, καθώς η τιμή του pH της μπορεί να πέσει αρκετά κάτω από το 5. Εξαιτίας του φαινομένου της όξινης βροχής καταστρέφεται το φύλλωμα των δέντρων, ελαττώνεται η γονιμότητα του εδάφους και θανατώνονται οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί των υδάτινων οικοσυστημάτων.



Εικόνα 2.40: Η όξινη βροχή καταστρέφει τα δάση στη Βόρεια Ευρώπη.

Το ίδιο όμως φαινόμενο προκαλεί καταστροφές και στα ιστορικά αρχιτεκτονικά μνημεία και στα έργα τέχνης που είναι κατασκευασμένα από μάρμαρο, γιατί τα οξέα που περιέχονται στη βροχή διαβρώνουν τις εξωτερικές επιφάνειές τους.



Εικόνα 2.41: Η όξινη βροχή προκαλεί γυψοποίηση των μαρμάρινων αρχιτεκτονικών μνημείων.

Ρύπανση των υδάτων

Το νερό, μετά τον αέρα, αποτελεί το πλέον αναντικατάστατο φυσικό αγαθό. Ωστόσο η ρύπανσή του, δηλαδή κάθε φυσική, χημική ή βιολογική μεταβολή που το καθιστά ακατάλληλο για τους οργανισμούς οι οποίοι ζουν σ' αυτό ή το χρησιμοποιούν, παρακολουθεί την ιστορία του ανθρώπου από τότε που τα λύματα των πρώτων οικισμών του απελευθερώνονταν στα γειτονικά ποτάμια, τις λίμνες και τις θάλασσες. Πολύ αργότερα η συγκέντρωση των πληθυσμών στις ανεγειρόμενες πόλεις αύξησε την ποσότητα των οργανικών λυμάτων τα οποία παράγονταν από τους κατοίκους τους και προσέθεσε στους ήδη υπάρχοντες ρύπους τις τοξικές ουσίες και τα παραπροϊόντα των χημικών κατεργασιών όπως αυτά της βυρσοδεψίας και της μεταλλουργίας.



Εικόνα 2.42: Αιτίες ρύπανσης των υδάτων

Μεταβολές στην ποιότητα του νερού οι οποίες το καθιστούν ακατάλληλο για τους οργανισμούς προκαλούνται με διάφορους τρόπους. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις η ρύπανση του νερού ξεκινά από την αστική και τη βιομηχανική δραστηριότητα της ξηράς και καταλήγει στις θάλασσες, στους ποταμούς και στις λίμνες.

Το θερμό νερό από τις ψυκτικές εγκαταστάσεις των πυρηνικών αντιδραστήρων και των εργοστασίων που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, όταν διοχετεύεται σε ένα υδάτινο οικοσύστημα, μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και επομένως ελάττωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένο σ' αυτό.

Τα αστικά λύματα που καταλήγουν μέσω των αγωγών αποχέτευσης στα υδάτινα οικοσυστήματα περιέχουν παραπροϊόντα του ανθρώπινου μεταβολισμού (περιττώματα, σωματικές εκκρίσεις) και διάφορες ουσίες καθημερινής χρήσης όπως απορρυπαντικά, προϊόντα καθαρισμού κ.ά. Στις διαταραχές που προκαλούν τα αστικά λύματα στα υδάτινα οικοσυστήματα περιλαμβάνονται η αύξηση του μικροβιακού φορτίου τους, που μπορεί να γίνει αιτία για τη διάδοση σοβαρών νοσημάτων, και το φαινόμενο του **ευτροφισμού**. Όσον αφορά το φαινόμενο αυτό, το υδάτινο οικοσύστημα, αφού δεχτεί τα αστικά λύματα, αλλά και τα λιπάσματα που αποπλένονται από το νερό της βροχής, εμπλουτίζεται με τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα που αυτά περιέχουν. Επειδή όμως οι ουσίες αυτές αποτελούν θρεπτικά συστατικά για τους υδρόβιους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς (φυτοπλαγκτόν), προκαλείται υπέρμετρη αύξηση του πληθυσμού τους. Έτσι αυξάνεται και ο πληθυσμός των μονοκύτταρων ζωικών οργανισμών (ζωοπλαγκτόν) που εξαρτώνται τροφικά από το φυτοπλαγκτόν. Με το θάνατο των πλαγκτονικών οργανισμών συσσωρεύεται νεκρή οργανική ύλη, η οποία με τη σειρά της πυροδοτεί την αύξηση των α-

Στο σύγχρονο κόσμο το σοβαρότερο περιστατικό ρύπανσης του νερού σημειώθηκε στον κόλπο της Μιναμάτα στην Ιαπωνία, όπου μια βιομηχανική μονάδα απελευθέρωσε, από τη δεκαετία του 1930 ως τη δεκαετία του 1960, μεγάλες ποσότητες υδραργύρου στη θάλασσα. Ο υδράργυρος, αφού ενσωματώθηκε στα φύκη του κόλπου, πέρασε στα ψάρια και από εκεί, μέσω της κατανάλωσης, στους κατοίκους του γειτονικού χωριού. Λόγω της δηλητηρίασης από τον υδράργυρο, ως το 1960 είχαν νοσήσει 116 άτομα και είχαν πεθάνει 43.

ποικοδομητών, δηλαδή των βακτηρίων που την καταναλώνουν.

Με την αύξηση όμως των μικροοργανισμών ο ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου γίνεται πολύ μεγαλύτερος από το ρυθμό παραγωγής του. Έτσι η ποσότητα του οξυγόνου που βρίσκεται διαλυμένη στο νερό γίνεται ολοένα μικρότερη, γεγονός που πλήττει τους ανώτερους οργανισμούς του οικοσυστήματος, όπως τα ψάρια, που πεθαίνουν από ασφυξία.

Σοβαρή πηγή ρύπανσης είναι και η βιομηχανική δραστηριότητα. Στα απόβλητά της περιέχεται ένα πλήθος από διαφορετι-



Εικόνα 2.43: Το πράσινο χρώμα των νερών είναι ένδειξη ευτροφισμού.

κές χημικές ουσίες – όπως είναι τα βαρέα μέταλλα (ο μόλυβδος, ο υδράργυρος, ο ψευδάργυρος κ.ά.), οι οργανικοί διαλύτες και τα πετρελαιοειδή – οι οποίες, όταν εισάγονται στα υδάτινα οικοσυστήματα, διαταράσσουν την ισορροπία τους και εγκυμονούν κινδύνους για τη ζωή των υδρόβιων οργανισμών. Ιδιαίτερα τα βαρέα μέταλλα και οι σύνθετες οργανικές ουσίες που δε διαλύονται στο νερό μπορούν να περάσουν μέσω των τροφικών αλυσίδων στον άνθρωπο, με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του.

Οι πιο τοξικοί όμως ρυπαντές στη βίοσφαιρα είναι τα διάφορα παρασιτοκτόνα και εντομοκτόνα, και φυσικά τα ραδιενεργά απόβλητα και τα παραπροϊόντα των ραδιενεργών εκρήξεων. Οι ρύποι αυτοί απέκτησαν ιδιαίτερη σημασία μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο λόγω της αυξημένης απελευθέρωσής τους στο περιβάλλον. Το κοινό στοιχείο της επίδρασης των ουσιών αυτών στο περιβάλλον είναι ότι δε διασπώνται (μη βιοδιασπώμενες ουσίες) από τους οργανισμούς, με αποτέλεσμα, ακόμη και αν βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, να συσσωρεύονται στους κορυφαίους καταναλωτές, καθώς περνούν από τον έναν κρίκο της τροφικής αλυσίδας στον επόμενο.

Ένα τέτοιο μόριο είναι το εντομοκτόνο DDT. Αν, για παράδειγμα, μια κάμπια φάει φύλλα φυτού που έχει ραντιστεί με DDT, αυτό θα απορροφηθεί από τον οργανισμό της, αλλά, επειδή δε μεταβολίζεται και δε διασπάται, θα συσσωρευτεί στους ιστούς της και φυσικά δε θα αποβληθεί με τις α-

πεκκρίσεις της. Αν ένας κότσυφας καταναλώσει πολλές κάμπιες, τότε το DDT από όλες τις κάμπιες θα συγκεντρωθεί στους ιστούς του. Τελικά, το DDT θα βρεθεί σε ακόμα μεγαλύτερη συγκέντρωση στους ιστούς της κουκουβάγιας, που είναι ο τελικός καταναλωτής.

Το φαινόμενο αυτό κατά το οποίο αυξάνεται η συγκέντρωση τοξικών χημικών ουσιών στους ιστούς των οργανισμών καθώς προχωρούμε κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας ονομάζεται **βιοσυσώρευση**.

Η συσώρευση των μη βιοδιασπώμενων ουσιών αφορά και τον ίδιο τον άνθρωπο, για τον απλό λόγο ότι συνήθως αποτελεί τον τελευταίο κρίκο σε πολλές διατροφικές αλυσίδες.

Πράγματι, στα μέσα της δεκαετίας του 1960 διαπιστώθηκε ότι, εξαιτίας των τεράστιων ποσοτήτων εντομοκτόνου που είχαν ριφθεί στην αφρικανική ήπειρο τα προηγούμενα χρόνια για την καταπολέμηση του κουνουπιού (που είναι ο φορέας του πλασμωδίου που προκαλεί ελονοσία), ένα πλήθος οργανισμών παρουσίαζε αυξημένη συγκέντρωση DDT στους ιστούς του. Το εκπληκτικό στις έρευνες που επακολούθησαν ήταν ότι το εντομοκτόνο είχε συσσωρευτεί ακόμη και στους πιγκουίνους της Ανταρκτικής και στο μητρικό γάλα των Εσκιμώων. Η

συνειδητοποίηση των κινδύνων που εγκυμονεί η χρήση DDT οδήγησε στην αντικατάστασή του από άλλα βιοδιασπώμενα εντομοκτόνα. Ωστόσο το τίμημα της συσώρευσης του στους οργανισμούς το έχει ήδη πληρώσει ακριβώς το περιβάλλον: η συσώρευση του στα αρπακτικά πτηνά καθιστά εύθραυστα τα κελύφη των αυγών τους, με συνέπεια τη δραματική μείωση των ρυθμών αναπαραγωγής τους που μπορεί να τα φέρει στα πρόθυρα της εξαφάνισης.

Ας παρακολουθήσουμε όμως με ένα παράδειγμα πώς αποτυπώνεται ποσοτικά η αύξηση της συγκέντρωσης μιας μη βιοδιασπώμενης ουσίας σε έναν οργανισμό. Έστω ότι σε κάθε κιλό ενός φυτού έχει αποθεθεί 1 mg μιας μη βιοδιασπώμενης ουσίας. Ένα φυτοφάγο, για να αυξήσει τη βιομάζα του κατά 1 κιλό, θα πρέπει να φάει 10 κιλά από το φυτό, τα οποία βεβαίως θα περιέχουν 10 mg της ουσίας. Αφού η ουσία αυτή δεν μπορεί να διασπαστεί και να αποβληθεί από το φυτοφάγο οργανισμό, η συγκέντρωσή της στους ιστούς του θα φτάσει τα 10 mg ανά κιλό. Σε ένα σαρκοφάγο η συγκέντρωση θα γίνει 100 mg ανά κιλό κ.ο.κ. Βλέπουμε λοιπόν ότι η συγκέντρωση μιας μη βιοδιασπώμενης ουσίας αυξάνεται καθώς πηγαίνουμε σε ανώτερα τροφικά επίπεδα.

Τροφικά επίπεδα	Βιομάζα (τόνοι)	Ποσότητα DTT (mg)	Συγκέντρωση DTT (mg/Kg)
Τριτογενείς καταναλωτές	1	10 ⁶	1000
Δευτερογενείς καταναλωτές	10	10 ⁶	100
Πρωτογενείς καταναλωτές	100	10 ⁶	10
Παραγωγοί	1.000	10 ⁶	1

Εικόνα 2.44: Βιοσυσώρευση

Φυτοφάρμακα και αγρότες

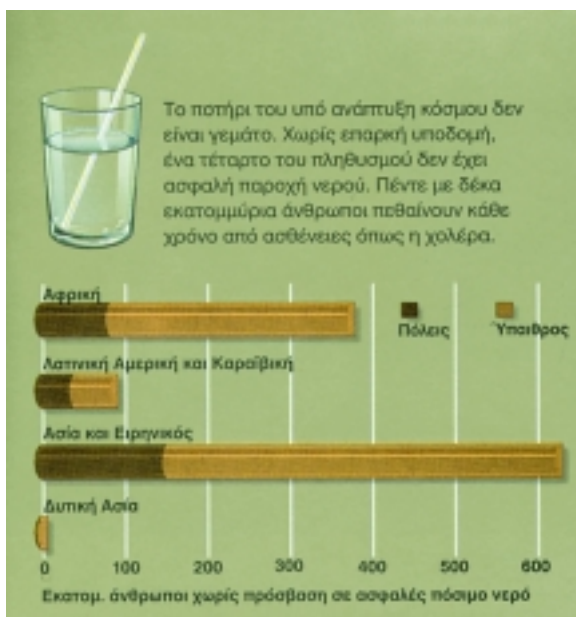
Εντυπωσιακά ήταν τα αποτελέσματα μιας έρευνας του Πανεπιστημίου Κρήτης (το 1988) σχετικά με τον τρόπο που χρησιμοποιούσαν οι αγρότες τα φυτοφάρμακα.

Πιο συγκεκριμένα, το 75% των ερωτηθέντων έπαιρνε ελάχιστες ή και καθόλου προφυλάξεις κατά τη χρήση των φυτοφαρμάκων, δηλαδή δε φορούσε μπότες, γάντια ή μάσκα, δεν



άλλαζε ρούχα ούτε έκανε μπάνιο μετά τον ψεκασμό. Οι ερευνητές είχαν την ευκαιρία να δουν με τα μάτια τους την απουσία κάθε προφύλαξης, π.χ. ανακάτεμα φυτοφαρμάκου με το χέρι, φαγητό μετά τον ψεκασμό χωρίς πλύσιμο χεριών ή αλλαγή ρούχων κτλ.

Χαρακτηριστικές ήταν και οι απαντήσεις των αγροτών σχετικά με το πώς αποφάσιζαν για τις αναλογίες και τον τρόπο διάλυσης των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούσαν. Το 65% αποφάσιζε «από πείρα», ενώ μόνο το 35% ρωτούσε γεωπόνο. Η συντριπτική πλειονότητα αυτών που αποφάσιζαν μόνοι τους διάβαζε μεν τις οδηγίες χρήσης, αλλά κατά κανόνα χρησιμοποιούσε πυκνότερα διαλύματα από αυτά που έλεγαν οι οδηγίες.



Εικόνα 2.45: Σε κάποια μέρη του κόσμου οι άνθρωποι δεν έχουν νερό να πιουν, ενώ σε άλλα μέρη γίνεται σπατάλη νερού.

Ρύπανση του εδάφους



Εικόνα 2.46: Το επιφανειακό χώμα είναι κατάλληλο για την ανάπτυξη των φυτών.

Το έδαφος που καλύπτει μεγάλο μέρος της επιφάνειας του πλανήτη έχει προέλθει από την αποσάθρωση πετρωμάτων η οποία προκαλείται από τον άνεμο, το νερό, τον πάγο και τη δράση των οργανισμών στη διάρκεια δεκάδων ετών. Το λεπτό στρώμα χώματος που καλύπτει την επιφάνεια του εδάφους είναι κατάλληλο για την α-

νάπτυξη των φυτών αλλά και τη δράση των αποικοδομητών. Εξαιτίας όμως της ανθρώπινης δραστηριότητας το έδαφος διαβρώνεται από τοξικές ουσίες (ραδιενεργά απόβλητα, εντομοκτόνα, βαρέα μέταλλα κ.ά.), με συνέπεια την ερημοποίηση και τη διοχέτευση των τοξικών ουσιών στα υδάτινα οικοσυστήματα ή στα υπόγεια νερά.



Εικόνα 2.47: Η ραδιενεργός ρύπανση ελέγχεται με ειδικούς μετρητές.

Η ρύπανση του εδάφους, παρά το ότι είναι εξίσου σημαντική με τη ρύπανση των υδάτων και συνδέεται μ' αυτήν, άργησε να γίνει αντιληπτή, γιατί προχωρεί με αργότερο ρυθμό από αυτήν.

Ηχορρύπανση

Ο θόρυβος αποτελεί μια μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζει τις αστικές και βιομηχανικές ζώνες και επηρεάζει όχι μόνο το υποδεκτικό όργανο της ακοής του ανθρώπου αλλά και το σύνολο των λειτουργιών του.

Η ένταση του ήχου μετρείται σε ντεσιμπέλ. Ένα ντεσιμπέλ αντιπροσωπεύει την ελάχιστη διαφορά στην ένταση δύο ήχων, ώστε να γίνονται αυτοί διακριτοί από το ανθρώπινο αυτί. Ο ήχος από το θρόισμα των φύλλων έχει ένταση 10 ντεσιμπέλ, ο ψίθυρος έχει ένταση 20 ντεσιμπέλ, ο θόρυβος ενός δρόμου με έντονη κυκλοφορία έχει ένταση 90 ντεσιμπέλ, ενώ ο θόρυβος κατά την απογείωση ενός αεροσκάφους έχει ένταση 150 ντεσιμπέλ. Η συνεχής έκθεση του ανθρώπου σε ήχο έντασης μεγαλύτερο από 85 ντεσιμπέλ είναι ικανή να προκαλέσει απώλεια της ακοής.



Εικόνα 2.48: ο θόρυβος κατά την απογείωση ενός αεροσκάφους έχει ένταση 150 ντεσιμπέλ.

Ο έντονος όμως ήχος επηρεάζει και την ψυχική υγεία των ανθρώπων, καθώς αυξάνει την επιθετικότητά τους, προκαλεί στρες και μειώνει την ικανότητά τους να προσηλώνονται και να λαμβάνουν αποφάσεις. Ταυτόχρονα αυξάνει την αρτηριακή πίεση και την έκκριση των γαστρεντερικών υγρών, μια κατάσταση που μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση έλκους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα επιτεύγματα της τεχνολογικής ανάπτυξης σε πολλούς τομείς βελτίωσαν εντυπωσιακά τα δεδομένα και την ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Αυτή όμως η θετική εξέλιξη είχε περιβαλλοντικό κόστος, γιατί συνοδεύτηκε από την αλαζονική αντίληψη ότι ο άνθρωπος μπορεί να εκμεταλλεύεται χωρίς όρους και χωρίς όρια τον πλανήτη, αδιαφορώντας για τις περιβαλλοντικές συνέπειες των επιλογών του. Ανάμεσα στα σοβαρότερα προβλήματα που έχει προκαλέσει η αλαζονική συμπεριφορά με την οποία ο άνθρωπος διαχειρίστηκε το περιβάλλον του περιλαμβάνονται η μείωση της βιοποικιλότητας, η ερημοποίηση και η ρύπανση (εδάφους, νερού, αέρα).

Ο όρος «βιοποικιλότητα» αποδίδεται στην ποικιλία του φαινομένου της ζωής σε κάθε επίπεδο οργάνωσής της, από τα γονίδια, τα χρωμοσώματα και τους οργανισμούς ως τα είδη, τις βιοκοινότητες και τα οικοσυστήματα. Δυστυχώς όμως η διαχείριση της βιόσφαιρας από τον άνθρωπο έχει οδηγήσει στη μείωση της βιοποικιλότητας. Κύριο αίτιο της εξαφάνισης των ειδών είναι η καταστροφή ή η αλλοίωση των περιοχών στις οποίες αυτά μπορούν να επιβιώσουν. Μεταξύ των βιότοπων που έχουν υποστεί αλλοίωση ή καταστροφή περιλαμβάνονται οι υγρότοποι και τα τροπικά δάση.

Τα ερημικά οικοσυστήματα βρίσκονται εκεί όπου η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή. Οικοσυστήματα που χαρακτηρίζονται από άγονα εδάφη, μικρή παραγωγικότητα και μικρή βιομάζα συναντώνται και σε περιοχές όπου τα χαρακτηριστικά του κλίματος θα επέτρεπαν πλούσια βλάστηση. Τα οικοσυστήματα αυτά είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων παρεμβάσεων οι οποίες οδηγούν στην ερημοποίηση. Οι λόγοι για τους οποίους ένα οικοσύστημα μπορεί να ερημοποιηθεί είναι η καταστροφή του από την όξινη βροχή, η αποψίλωση, όπως στην περίπτωση των τροπικών δασών, οι πυρκαγιές και η υπερβόσκηση στα μεσογειακά οικοσυστήματα.

Ρύπανση είναι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με κάθε παράγοντα (ρύπο) που έχει βλαπτικές επιδράσεις στους οργανισμούς. Στους ρύπους ανήκουν συγκεκριμένες χημικές ουσίες και διάφορες μορφές ενέργειας όπως η θερμότητα, ο ήχος και οι ακτινοβολίες. Η ρύπανση, ανάλογα με το τμήμα της βιόσφαιρας που πλήττει, διακρίνεται σε ατμοσφαιρική, σε ρύπανση των υδάτων και σε ρύπανση του εδάφους.

Τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα που οφείλονται στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το φωτοχημικό νέφος, η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος και η όξινη βροχή.

Η ρύπανση των υδάτων είναι δυνατό να προκαλέσει διαταραχές στα υδάτινα οικοσυστήματα, όπως είναι η αύξηση του μικροβιακού φορτίου τους, που μπορεί να γίνει αιτία για τη διάδοση σοβαρών νοσημάτων, και το φαινόμενο του ευτροφισμού. Η συγκέντρωση στους ιστούς των οργανισμών των τοξικών χημικών ουσιών που δε βιοδιασπώνται αυξάνεται καθώς προχωρούμε κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας και το φαινόμενο ονομάζεται βιοσυσσώρευση.

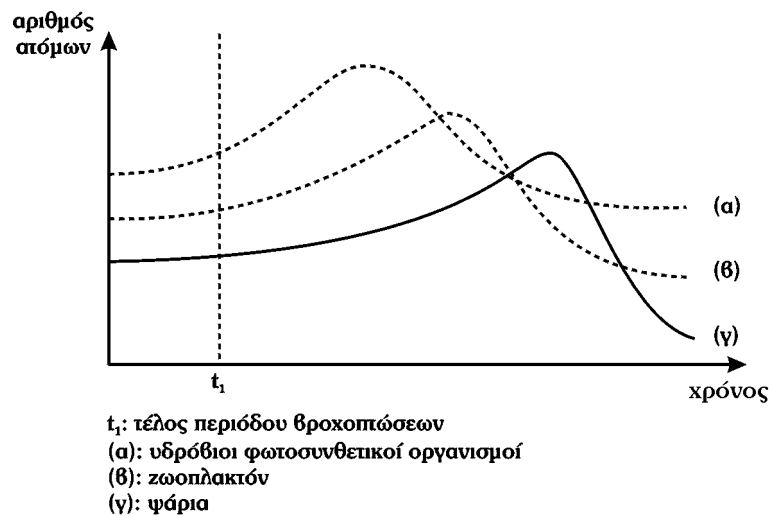
Η ρύπανση του εδάφους οφείλεται στις τοξικές ουσίες (ραδιενεργά απόβλητα, εντομοκτόνα, βαρέα μέταλλα κ.ά.) που αποθέτει σ' αυτό ο άνθρωπος, με συνέπεια την ερημοποίηση και τη διοχέτευση των τοξικών ουσιών στα υδάτινα οικοσυστήματα ή στα υπόγεια νερά.

ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ

Βιοποικιλότητα	Φαινόμενο θερμοκηπίου
Υγρότοποι	Φωτοχημικό νέφος
Τροπικά δάση	Στιβάδα όζοντος
Ερημοποίηση	Όξινη βροχή
Αποψίλωση	Ρύπανση υδάτων
Πυρκαγιές	Ευτροφισμός
Υπερβόσκηση	Βιοσυσσώρευση
Ατμοσφαιρική ρύπανση	Ρύπανση εδάφους
Ρύποι	Ηχορύπανση

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- Από μετρήσεις που έγιναν σε λίμνη βρέθηκε μικρή συγκέντρωση εντομοκτόνου DDT στο φυτοπλαγκτόν και πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση του ίδιου εντομοκτόνου στα ψαροπούλια της λίμνης. Με δεδομένο ότι η τροφική αλυσίδα του λιμναίου οικοσυστήματος περιλαμβάνει φυτοπλαγκτόν, ψάρια, ψαροπούλια και ζωοπλαγκτόν:
 - Να γράψετε την τροφική αλυσίδα της λίμνης.
 - Αν η ενέργεια στο τροφικό επίπεδο των ψαριών είναι 3×10^2 KJ, να υπολογίσετε την ενέργεια των άλλων τροφικών επιπέδων.
 - Ποια είναι η συγκέντρωση του DDT στα ψαροπούλια με δεδομένο ότι η βιομάζα στο φυτοπλαγκτόν είναι 5×10^6 Kg και η συγκέντρωση του εντομοκτόνου στο επίπεδο των ψαριών 20 mg/Kg;
- Ποια είναι τα αίτια και ποιες οι πιθανές συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου; Τι θα μπορούσε να κάνει ο σύγχρονος άνθρωπος για να τις περιορίσει;
- Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου συμβάλλουν στη δημιουργία όξινης βροχής. Ποιες είναι οι συνέπειες αυτού του φαινομένου ρύπανσης και τι θα μπορούσε να κάνει ο σύγχρονος άνθρωπος για να τις περιορίσει;
- Σε μια λίμνη που περιβάλλεται από χωράφια τα οποία καλλιεργούνται συστηματικά με χρήση λιπασμάτων διοχετεύονται πολλά από τα νερά της βροχής που δέχεται η περιοχή αυτή. Να θεωρήσετε ότι στη λίμνη ζουν υδρόβιοι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί, ζωοπλαγκτόν και ψάρια, που αποτελούν τροφική αλυσίδα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή στον πληθυσμό των οργανισμών αυτών μετά το τέλος της περιόδου των βροχοπτώσεων.



- α. Να ερμηνεύσετε τη μορφή των καμπυλών του διαγράμματος.
- β. Να περιγράψετε το φαινόμενο το οποίο προκαλεί τις μεταβολές στις καμπύλες του διαγράμματος.
- γ. Να εξηγήσετε πώς μεταβάλλεται ο πληθυσμός των αποικοδομητών σ' αυτή τη λίμνη.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Για ένα μήνα συλλέξτε από τις τοπικές εφημερίδες άρθρα σχετικά με περιβαλλοντικά θέματα/προβλήματα της περιοχής σας.
 - α. Κάθε μαθητής να επιλέξει ένα άρθρο και να γράψει μια περίληψη στην οποία να παρουσιάζει το θέμα του άρθρου, την προέλευση των στοιχείων που συγκέντρωσε (έρευνα, συνέντευξη με ειδικό επιστήμονα, στατιστικά στοιχεία κ.ά.) και τις πιθανές επιπτώσεις του προβλήματος για την τοπική κοινότητα. Να γίνει στην τάξη προφορική παρουσίαση του άρθρου εντός 5 λεπτών.
 - β. Κατατάξτε τα περιβαλλοντικά προβλήματα που αναφέρονται στις εφημερίδες ανάλογα με τη σοβαρότητά τους για την τοπική κοινότητα. Συγκρίνετε τη λίστα σας με αυτές των συμμαθητών σας. Μέσα από συζήτηση και έκθεση επιχειρημάτων προσπαθήστε να καταρτίσετε μια κοινή λίστα για όλη την τάξη.
2. Αν το σχολείο σας βρίσκεται σε αγροτική περιοχή, κάντε μια έρευνα δίνοντας στους αγρότες της περιοχής σας ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με τους τύπους των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούν, τις γνώσεις τους για την επικινδυνότητα αυτών των χημικών ουσιών, τις προφυλάξεις που παίρνουν κατά τη χρήση τους, τη δοσολογία που χρησιμοποιούν κτλ. Ζητήστε τη βοήθεια του καθηγητή των Μαθηματικών για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων σας. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματά σας είναι παρόμοια με αυτά της έρευνας που αναφέρεται στο ένθετο «Φυτοφάρμακα και αγρότες», σκεφθείτε τρόπους με τους οποίους η συμπεριφορά των αγροτών θα μπορούσε να τροποποιηθεί.

3. Υπάρχει στην ευρύτερη περιοχή του σχολείου σας κάποια προστατευόμενη περιοχή όπως, για παράδειγμα, εθνικός δρυμός, υγρότοπος της Συνθήκης Ραμσάρ, αισθητικό δάσος, θαλάσσιο πάρκο, παρθένο δάσος, μνημείο της φύσης; Σχεδιάστε μια επίσκεψη στην περιοχή. Πριν από την επίσκεψη συλλέξτε μερικά στοιχεία (είτε από βιβλιογραφικές πηγές είτε από ειδικούς) όπως, για παράδειγμα, πότε ανακηρύχθηκε η περιοχή προστατευόμενη και γιατί, ποιες ανθρώπινες δραστηριότητες επιτρέπονται και ποιες όχι, εάν υπάρχουν απειλούμενα ή προστατευόμενα είδη, ποιος κρατικός φορέας έχει την επίβλεψη της περιοχής, εάν υπάρχει κέντρο ενημέρωσης κτλ. Κατά τη διάρκεια της επίσκεψης προσπαθήστε να μιλήσετε με κάποιον υπεύθυνο σχετικά με την αποτελεσματικότητα των μέτρων προστασίας, τα τυχόν προβλήματα κτλ. Βγάλτε φωτογραφίες, συλλέξτε έντυπο υλικό και οργανώστε μια παρουσίαση για το θέμα στους μαθητές του σχολείου σας.
4. Από πού προέρχεται το νερό που τροφοδοτεί την κοινότητά σας; Ποια υπηρεσία είναι υπεύθυνη για την ύδρευση και τη διαχείριση των αποθεμάτων νερού στην περιοχή σας; Παίρνοντας στοιχεία από αυτή την υπηρεσία κάντε ένα διάγραμμα που να δείχνει τα αποθέματα του νερού στη διάρκεια του προηγούμενου έτους (ανά μήνα). Προβλέψτε προβλήματα που θα είχαν ως συνέπεια τη μείωση της διαθέσιμης ποσότητας νερού για την κοινότητά σας. Πώς θα μπορούσε να γίνει εξοικονόμηση της κατανάλωσης του νερού σε μια τέτοια περίπτωση;
5. Ας υποθέσουμε ότι μια μεγάλη εταιρεία ανακοινώνει τα σχέδιά της για την κατασκευή ενός χημικού εργοστασίου στην περιοχή σας. Ο τοπικός περιβαλλοντικός σύλλογος εκφράζει ανησυχίες για τον κίνδυνο ρύπανσης του εδάφους και των υπόγειων αποθεμάτων νερού από τα τοξικά απόβλητα του εργοστασίου. Όμως το εργοστάσιο θα δημιουργήσει θέσεις εργασίας για πολλούς συνανθρώπους σας. Τι πρέπει να γίνει; Αφού χωριστείτε σε ομάδες, οργανώστε μια συζήτηση σχετικά με το θέμα. Στη συζήτηση, η οποία θα γίνει στην τάξη στη διάρκεια μιας σχολικής ώρας, κάθε ομάδα θα παριστάνει έναν από τους φορείς που αναμειγνύονται στην υπόθεση (το δήμαρχο της περιοχής, τον εκπρόσωπο της εταιρείας, τον περιβαλλοντικό σύλλογο, τον εκπρόσωπο των πολιτών κτλ.). Ένας μαθητής θα αναλάβει το συντονισμό της συζήτησης, ενώ κάθε ομάδα - φορέας θα παρουσιάσει την άποψή της μέσα από συγκεκριμένα επιχειρήματα.
6. Επισκεφθείτε ένα οικοσύστημα κοντά στο σχολείο σας. Καταγράψτε τα πιο χαρακτηριστικά ζώα και φυτά. Ποια είναι τα κοινά ονόματα αυτών των φυτών και των ζώων; Με τη βοήθεια του καθηγητή σας ή ειδικών βιβλίων αναζητήστε τα επιστημονικά ονόματά τους. Καταρτίστε μερικές τροφικές αλυσίδες του συγκεκριμένου οικοσυστήματος. Βρείτε ενδείξεις αποικοδόμησης. Ποιες προσαρμογές έχουν αναπτύξει τα φυτά προκειμένου να αντεπεξέλθουν στις συγκεκριμένες συνθήκες της περιοχής; Βγάλτε φωτογραφίες. Τοποθετήστε τα στοιχεία που συλλέξατε σε έναν πίνακα και αναρτήστε τον στην τάξη σας.