

## **Η ΘΑΛΑΣΣΑ ΩΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΩΝ ΚΑΘΑΡΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΡΥΠΩΝ (Ιούλιος 2010)**

**Συγγραφέας:** ΓΙΩΡΓΟΣ ΤΣΙΡΤΣΗΣ

**Συγγραφέας:** ΣΟΦΙΑ ΣΠΑΘΑΡΗ

Η έννοια της βιοποικιλότητας και η επιτελούμενη σχετική επιστημονική έρευνα εκτείνονται σήμερα πολύ πέραν της απλής καταγραφής των οργανισμών που υπάρχουν στη Γη σε επίπεδο γένους, είδους, έως και γενετικού υλικού. Περιλαμβάνουν τη μελέτη των μηχανισμών και διεργασιών που καθορίζουν τη δομή και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων και κατά προέκταση των αγαθών και υπηρεσιών που παρέχουν. Η έννοια «αγαθά και υπηρεσίες» υπονοεί ότι ο τελικός χρήστης και «δικαιούχος» είναι ο άνθρωπος. Ωστόσο στη σημερινή συγκυρία της απειλής για τη βιωσιμότητα της ζωής στον πλανήτη, τα αγαθά και οι υπηρεσίες που παρέχουν τα οικοσυστήματα πρέπει να ειδωθούν και κυρίως να εκτιμηθούν ως μέσα επιβίωσης της ζωής συνολικά, ξεφεύγοντας από τη σημερινή στενή, και σχεδόν αποκλειστικά ανθρωποκεντρική, θεώρηση.

Οι υπηρεσίες και τα αγαθά που παρέχουν τα οικοσυστήματα είναι λίγο - πολύ γνωστά. Συχνά όμως η αξία τους δεν αναγνωρίζεται, εφόσον θεωρούνται δε δομένα και δεν έχουν ως τώρα επακριβώς κοστολογηθεί. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο παραγόμενος άνθρακας από ανθρώπινες δραστηριότητες, που μέσω του «φαινομένου του θερμοκηπίου» θεωρείται η κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής, δεσμεύεται σε ποσοστό περίπου 55%, σχεδόν εξίσου από χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα. Το κόστος της δέσμευσης αυτής έχει εκτιμηθεί σε μισό τρισ. δολάρια ΗΠΑ κατ' έτος. Στο κόστος δηλαδή της ανάπτυξης, έτσι όπως έχει γίνει αντιληπτή μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση στα μέσα του 19ου αιώνα, τα οικοσυστήματα παρέχουν έκπτωση 55%. Ειδικότερα οι θαλάσσιοι οργανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο σε όλες σχεδόν τις βιοχημικές διεργασίες που συντηρούν τη βιόσφαιρα, παρέχοντας μεγάλη ποικιλία αγαθών και υπηρεσιών. Μερικά από τα σημαντικότερα αγαθά είναι η παραγωγή τροφής (περίπου 100 εκατ. τόνοι κατ' έτος), φυσικών ουσιών, συστατικών για τη βιοτεχνολογία και τη φαρμακευτική, καθώς και βιογενούς υποστρώματος (ατόλλες). Μεταξύ των σημαντικότερων υπηρεσιών είναι η παραγωγή και η

ανακύκλωση οργανικού υλικού, η απομάκρυνση του άνθρακα αντισταθμίζοντας εν μέρει την κλιματική αλλαγή, όπως προαναφέρθηκε, η συσσώρευση και απομάκρυνση ρύπων χερσαίας προέλευσης και η προστασία των ακτών (μαγκρόβια δάση, αμμοθίνες, κοραλλιογενείς ύφαλοι).

Το κύριο χαρακτηριστικό του πλανήτη κατά τις τελευταίες χιλιετίες, που περιλαμβάνουν και την ανθρώπινη παρουσία, είναι η επικράτηση συνθηκών φιλικών προς τη ζωή, με τη σημερινή της μορφή στη Γη. Οι συνθήκες αυτές διαμορφώνονται κυρίως από τη λειτουργία των οικοσυστημάτων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το φυτοπλαγκτόν, οι μικροσκοπικοί και ποικίλοι θαλάσσιοι φυτικοί οργανισμοί, που υπάρχουν σχεδόν παντού στην θάλασσα αλλά που η παρουσία τους δεν γίνεται αντιληπτή, κατάφερε να μεταφέρει και να ενταφιάσει στον πυθμένα των θαλασσών, μέσω ενός μηχανισμού που λέγεται «βιολογική αντλία», το σύνολο σχεδόν του άνθρακα που παράχθηκε σε όλη την ιστορία της γης, μέσω φυσικών ή άλλων δραστηριοτήτων. Σήμερα όμως ο μηχανισμός αυτός δεν μπορεί πλέον να ανταποκριθεί, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και όλες τις επακόλουθες συνέπειες. Μάλιστα εκτιμάται ότι και ο ίδιος ο μηχανισμός της βιολογικής αντλίας επηρεάζεται σήμερα αρνητικά από την κλιματική αλλαγή, με συνέπεια η αλλαγή να επιταχύνεται. Παραμένει βέβαια ερώτημα για την επιστημονική κοινότητα ο τρόπος με τον οποίο τελικά οι οργανισμοί θα αντιδράσουν στις αλλαγές του αβιοτικού τους περιβάλλοντος και πώς με τη σειρά τους θα επηρεάσουν το αβιοτικό τους περιβάλλον, φαινόμενο γνωστό ως «ανάδραση».

Ιδιαίτερα δε για τους μικροοργανισμούς όπως το φυτοπλαγκτόν, που η διάρκεια ζωής τους είναι μερικές ημέρες, πρέπει στις σχετικές προσεγγίσεις να ληφθεί υπόψη η διαφορά κλίμακας, εφόσον μία ανθρώπινη γενιά αντιστοιχεί σε μερικές χιλιάδες γενιές του μικροοργανισμού.

Μία από τις σημαντικές επιπτώσεις της καύσης των ορυκτών καυσίμων που απελευθερώνει CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα είναι η μεταβολή της χημικής σύστασης των ωκεανών. Όταν το CO<sub>2</sub> διαλύεται στο νερό, σχηματίζεται ανθρακικό οξύ με συνέπεια να ελαττώνονται τα ανθρακικά ιόντα, να μειώνεται το pH και να οδηγούμαστε στο φαινόμενο της «οξίνισης των ωκεανών». Το φαινόμενο αυτό δυσχεραίνει την ικανότητα ποικίλων θαλάσσιων οργανισμών να δημιουργούν τα κελύφη τους από

ανθρακικό ασβέστιο, ενώ έχει σοβαρές επιπτώσεις και στις φυσιολογικές τους λειτουργίες. Από την αρχή της Βιομηχανικής Επανάστασης εκτιμάται ότι οι ωκεανοί έχουν γίνει 30% πιο όξινοι. Το τάχος της μεταβολής αυτής υποστηρίζεται ότι είναι 100 φορές πιο γρήγορο από οποιαδήποτε προγενέστερη μεταβολή κατά τα τελευταία 21 εκατ. χρόνια. Το αν και με ποιο τρόπο οι θαλάσσιοι οργανισμοί θα προσαρμοστούν σε αυτή τη μεταβολή είναι κάτι στο οποίο η επιστήμη δεν έχει δώσει μέχρι στιγμής απάντηση. Για παράδειγμα, εικάζεται ότι η οξίνιση των ωκεανών θα δράσει ενισχυτικά στην κλιματική αλλαγή, εφόσον επιδρά αρνητικά στα κοκκολιθοφόρα, μια ομάδα φυτοπλαγκτού που συμβάλλει στη δημιουργία νεφών στην ατμόσφαιρα μέσω της παραγωγής μιας ουσίας που ονομάζεται DMS. Βέβαια αντίθετες θεωρίες υποστηρίζουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών θα αυξήσει την παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτού, το οποίο με τον τρόπο αυτόν θα δεσμεύει και θα απομακρύνει μεγαλύτερες ποσότητες CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα. Σε κάθε περίπτωση, η οξίνιση των ωκεανών αναμένεται να έχει σημαντικές οικολογικές όσο και οικονομικές επιπτώσεις.

Σε σχέση με τον ανοικτό ωκεανό, τα παράκτια οικοσυστήματα απομακρύνουν περίπου εννέα φορές μεγαλύτερη ποσότητα CO<sub>2</sub>, η οποία θάβεται ταχύτατα στα ιζήματα λόγω του μικρού βάθους. Η δέσμευση του CO<sub>2</sub> στις παράκτιες περιοχές είναι μεγαλύτερη λόγω της αυξημένης παραγωγικότητας του φυτοπλαγκτού, η οποία έχει ενταθεί ιδιαίτερα τον τελευταίο αιώνα λόγω του φαινομένου του ανθρωπογενούς ευτροφισμού, της εισροής δηλαδή αζώτου και φωσφόρου από χερσαίες πηγές, που οφείλονται σε γεωργικές, αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Συνεπώς από μια πρώτη προσέγγιση φαίνεται ότι η περαιτέρω ενίσχυση του ευτροφισμού θα μπορούσε να προκαλέσει ανάσχεση σε έναν βαθμό του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Ο ευτροφισμός όμως διαταράσσει άμεσα τη βιοποικιλότητα και τη λειτουργία των παράκτιων οικοσυστημάτων, εφόσον μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη επιβλαβών ανθίσεων μικροφυκών, σε φαινόμενα ανοξίας και στη δημιουργία των λεγόμενων νεκρών βενθικών ζωνών όπως στο Δέλτα του Μισισιπή και στην περιβάλλουσα υφαλοκρηπίδα. Εικάζεται δε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη θα οδηγήσει σε ακραία φαινόμενα ευτροφισμού στις παράκτιες περιοχές, ενώ ο ανοικτός ωκεανός αναμένεται να γίνει πιο ολιγότροφος λόγω της έντονης στρωμάτωσης των υδάτων.

Από τα όσα εκθέτονται παραπάνω, προκύπτει η αυξημένη πολυπλοκότητα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, η οποία αντιμετωπίζεται μόνο μέσω διεπιστημονικών προσεγγίσεων, δηλαδή συνεργασιών μεταξύ επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, για την κατανόηση κατ' αρχάς των θεμάτων και την αντιμετώπισή τους στη συνέχεια. Ζητούμενο επίσης αποτελεί η μετατόπιση του επιστημονικού ενδιαφέροντος από την απλή συλλογή και πρωτογενή επεξεργασία νέων δεδομένων σε περισσότερο συνθετικές προσεγγίσεις και μετα-ανάλυση της ήδη συσσωρευμένης πληροφορίας. Καίριο υποστηρικτικό ρόλο στην προσέγγιση αυτή μπορεί να παίξει η ωρίμανση του μαθηματικού εργαλείου που ονομάζεται «αριθμητικά μοντέλα προσομοίωσης». Είναι το εργαλείο το οποίο, για παράδειγμα, χρησιμοποιείται καθημερινά επιχειρησιακά από τους ειδικούς και παρέχει τελικά στον καθένα μας αξιόπιστη πρόγνωση καιρού για τις επόμενες δύο-τρεις ημέρες. Τα αριθμητικά μοντέλα στην επιστήμη της οικολογίας επιτρέπουν τον συνδυασμό πολλών παραμέτρων για τη μελέτη των οικοσυστημικών διεργασιών και των μηχανισμών ανάδρασης, καθώς και την ανάπτυξη και τον έλεγχο σεναρίων για μελλοντικές πιθανές καταστάσεις. Οι συνθετικές αυτές προσεγγίσεις των φαινομένων, η ιεράρχηση παραγόντων και η θέσπιση προτεραιοτήτων σε πολιτικό πλέον επίπεδο αποτελούν το κύριο ζητούμενο σήμερα προς την κατεύθυνση αφενός της αναστροφής ή επιβράδυνσης των δυσμενών εξελίξεων για τη ζωή στον πλανήτη και αφετέρου της αναζήτησης της «βιώσιμης ανάπτυξης».

Το άρθρο δημοσιεύθηκε στο ένθετο «ΒΗΜΑ ΙΔΕΩΝ» της Εφημερίδας «ΤΟ ΒΗΜΑ», στις 2 Ιουλίου 2010.