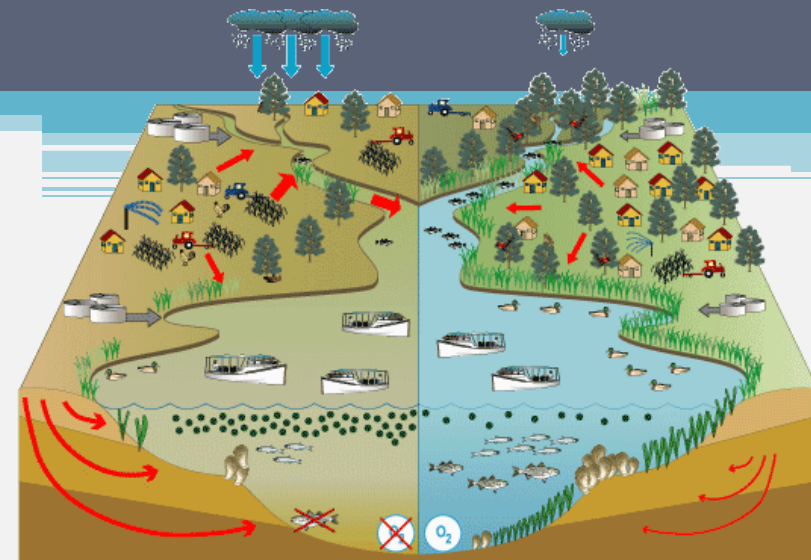


«Κλιματική αλλαγή: Ο ρόλος των υγροτόπων»

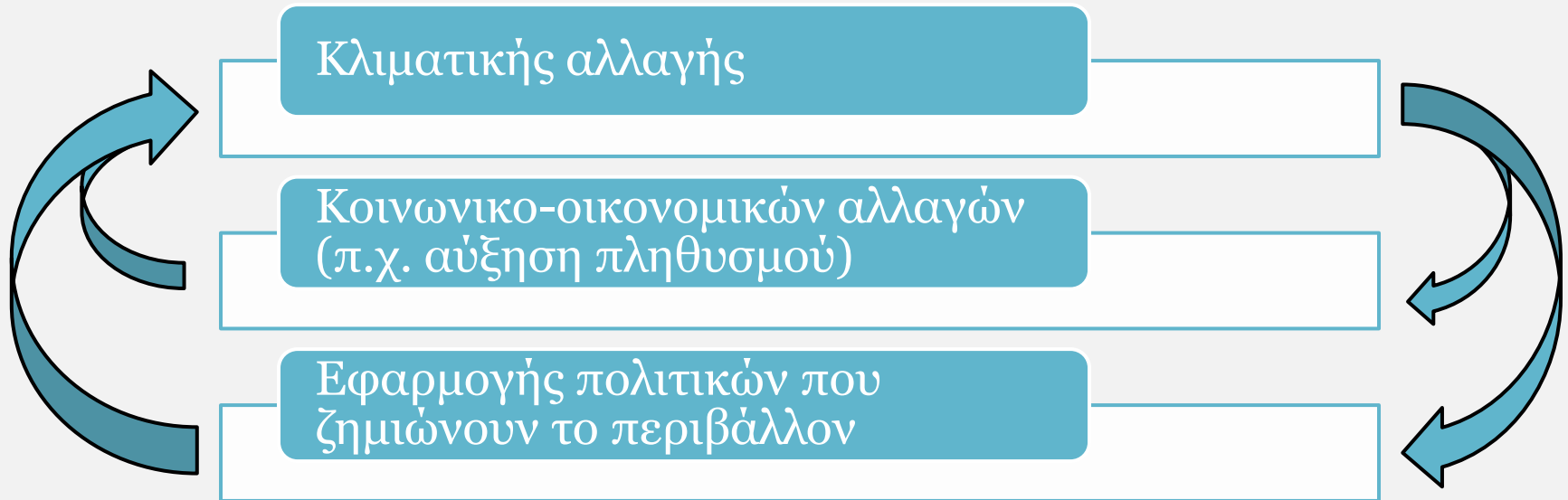
Οικολογία βλάστησης – Τμήμα Βιολογίας



(Modified from CBP and IAN, 2005)

Παγκόσμια αλλαγή (global change)

Περιλαμβάνει το σύνολο των αλλαγών στον πλανήτη λόγω:



Παγκόσμια αλλαγή (global change)

Συνήθως αφορά σε αλλαγές όπως:

- Υπερθέρμανση
- Αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο
- Αλλαγές στις χρήσεις γης
- Εκμετάλλευση φυσικών πόρων (υπεράντληση νερού)
- Αλλαγές στα μέτρα διαχείρισης και προστασίας του περιβάλλοντος

Σοβαρές επιπτώσεις:

- ✓ Στη βιοποικιλότητα (απώλεια ειδών, αλλαγές εξάπλωσης, χωροκατακτητικά είδη)
- ✓ Στη δομή και λειτουργίες των οικοσυστημάτων (παραγωγικότητα, κύκλος άνθρακα, κύκλος νερού)
- ✓ Στις οικοσυστημικές υπηρεσίες (διαθεσιμότητα νερού, ποιότητα αέρα, ποιότητα νερού κ.α.)

Κλιματική αλλαγή και υδάτινα οικοσυστήματα

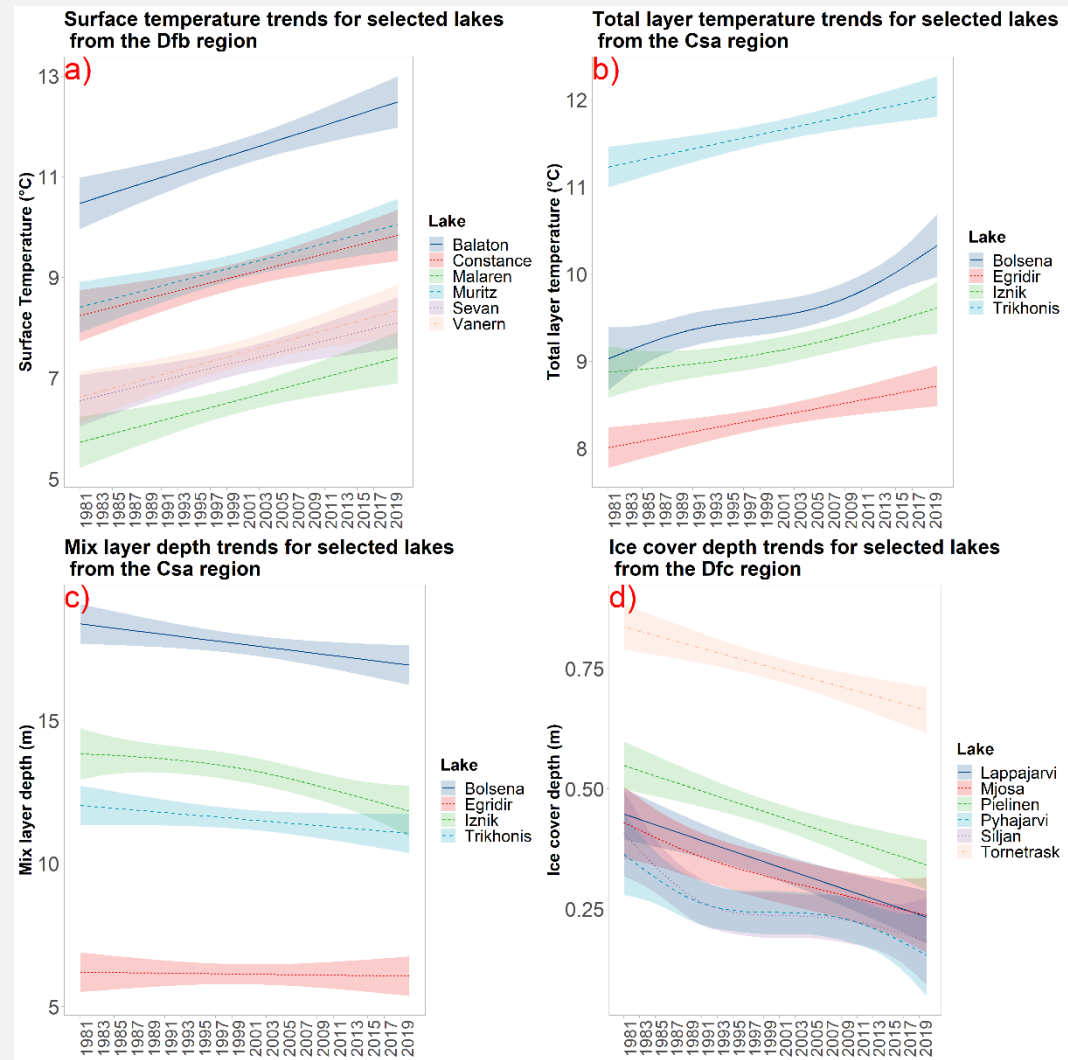
- Κλιματική αλλαγή – ένα σύνθετο πρόβλημα
- Πολλές φορές ταυτίζεται με την υπερθέρμανση του πλανήτη (global warming)
- Κλιματική αλλαγή είναι το αποτέλεσμα πολλών πλανητικών αλλαγών που στη βάση τους βρίσκεται η καύση ορυκτών καυσίμων
- Προφανώς, τα υδάτινα οικοσυστήματα δεν έμειναν ανεπηρέαστα από τις δραματικές αλλαγές
- Μάλιστα, ορισμένα από αυτά (π.χ. οι λίμνες) θεωρούνται ως «φρουροί» της κλιματικής αλλαγής, με την έννοια ότι η μελέτη τους έχει υποδείξει πρώιμες επιπτώσεις στη δομή και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων
- Οι υγρότοποι συμβάλλουν δραστικά στην αύξηση εκπομπών GHGs ενώ παίζουν και σημαντικό ρόλο στη δυνατότητα αποθήκευσης άνθρακα

Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής στα υδάτινα οικοσυστήματα

- Τα περισσότερα προβλήματα σχετίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και τις αλλαγές που προκαλούνται στο υδρολογικό καθεστώς
- Lake heatwaves (αύξηση εμφάνισης και διάρκειας ακραίων φαινομένων)
- Αύξηση της θερμοκρασίας, επηρεάζει τα χαρακτηριστικά των ενδαιτημάτων (π.χ. ψυχρόφιλων ψαριών όπως είδη πέστροφας)
- Ευνοεί την εξάπλωση άλλων ειδών (χωροκατακτητικών)
- Σημαντική αλλαγή στις λίμνες είναι η μεταβολή του καθεστώτος διαστρωμάτωσης και του βάθους ανάμιξης των υδάτων
- Αλλαγές στην υδάτινη στάθμη, ροή και παροχή → μείωση διαθέσιμων υδάτινων πόρων
- Ενίσχυση ευτροφισμού
- Ευνοεί επικράτηση κυανοβακτηρίων (ενδεχόμενη αύξηση επιβλαβών ανθίσεων – HABs)

Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

- ERA5-Land data (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts v5*)
- Σημαντική αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας των λιμνών της Ευρώπης (0.4 °C /δεκαετία)
- Μείωση του παγοκαλύμματος σε 15 υπαρκτικές λίμνες
- Μεταβολές στο βάθος ανάμιξης σε ορισμένες λίμνες

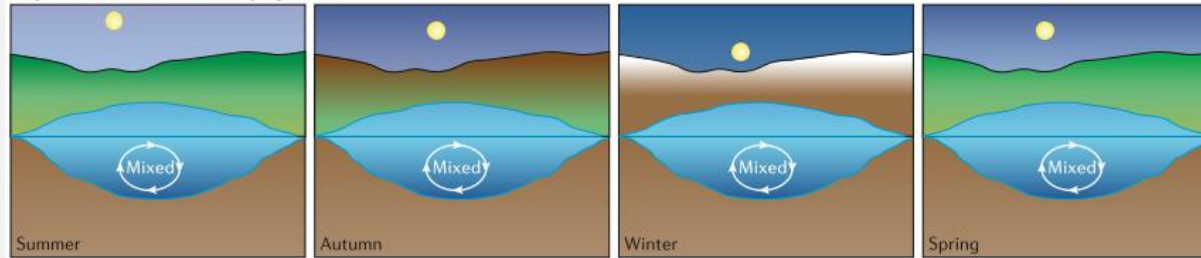


*<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land?tab=overview>

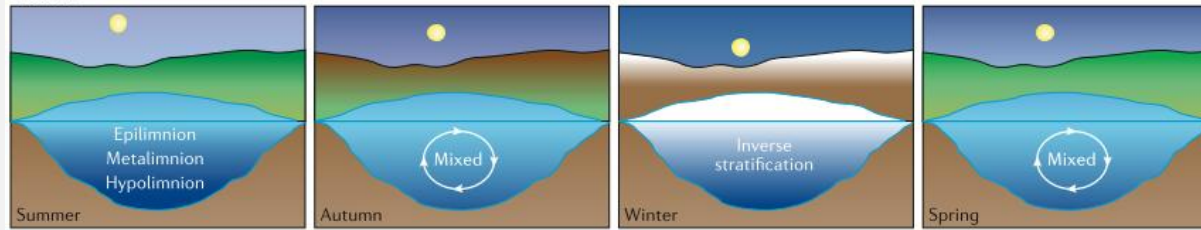
Stefanidis, K., Varlas, G., Papaioannou, G., Papadopoulos, A., & Dimitriou, E. (2022). Trends of lake temperature, mixing depth and ice cover thickness of European lakes during the last four decades. *Science of The Total Environment*, 830, 154709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154709>

Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

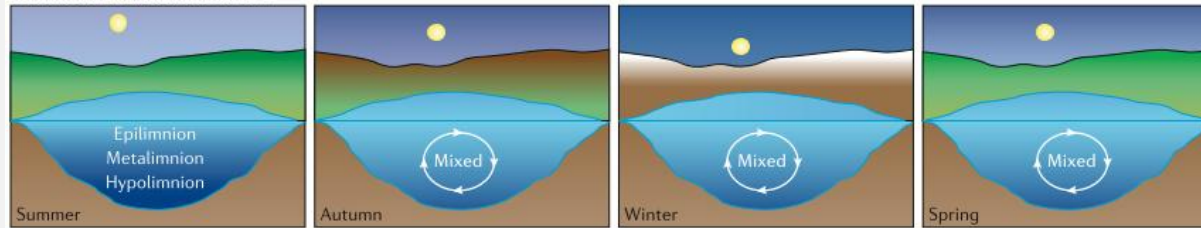
Polymictic (continuous warm polymictic)



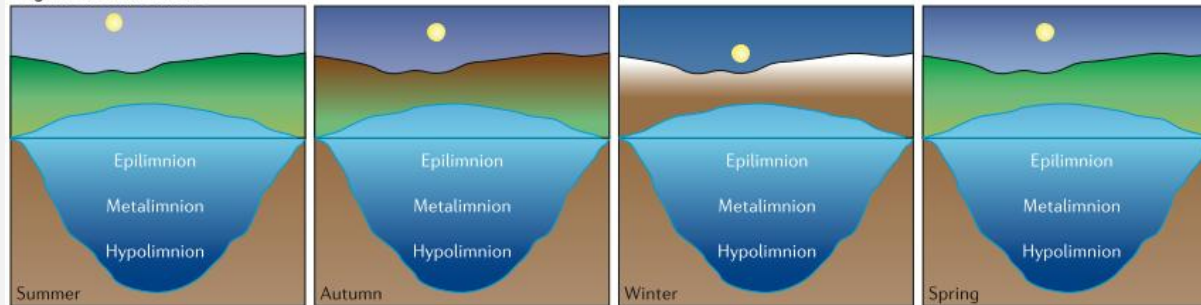
Dimictic



Monomictic (warm monomictic)

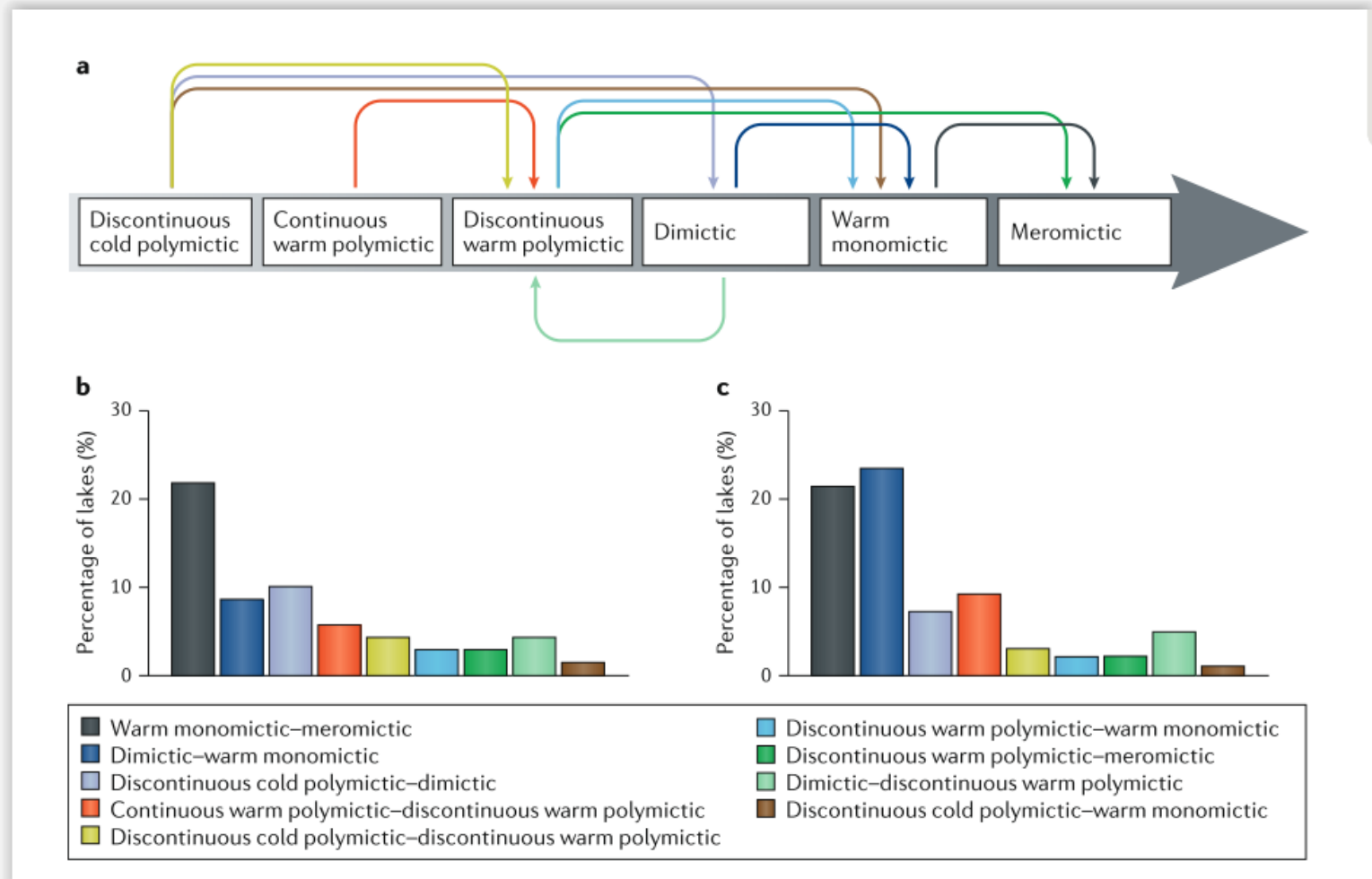


Oligomictic/meromictic



Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

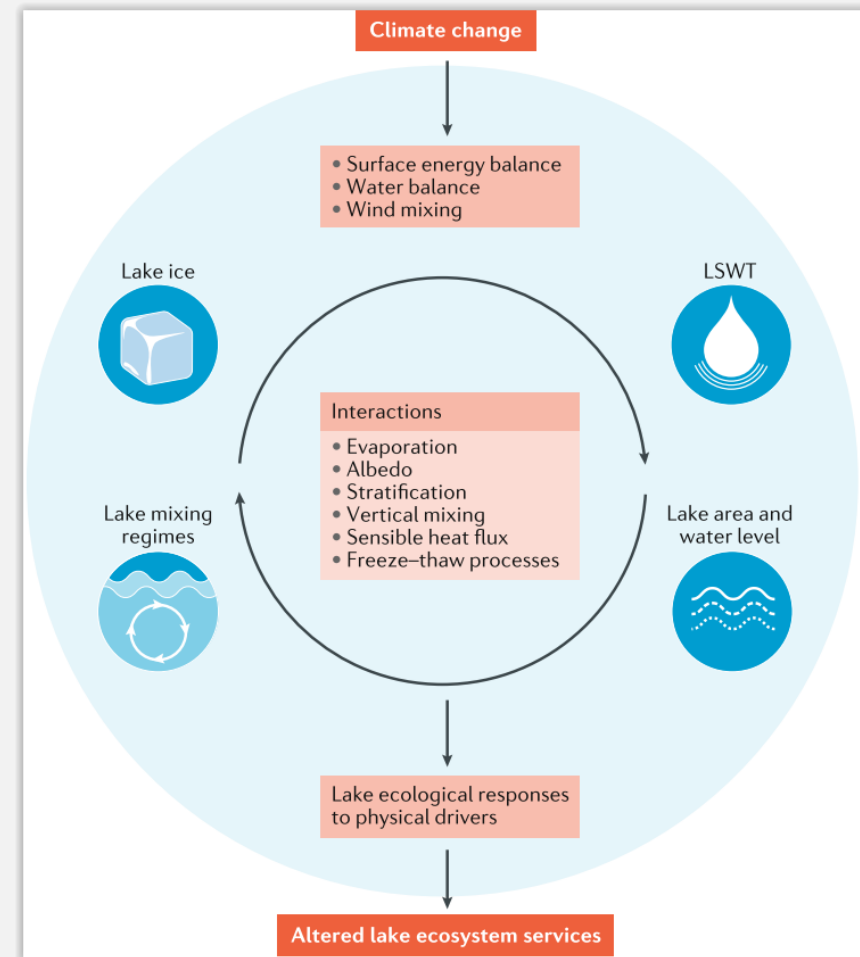
Σημαντικές μεταβολές στο πρότυπο ανάμιξης των υδάτων που θα επηρεάσει όλους τους οργανισμούς



Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

Είναι πολλές οι επιπτώσεις και ακόμα δεν τις γνωρίζουμε όλες...

- ❑ Αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας και μείωση του παγοκαλύμματος
- ❑ Θα επηρεαστεί το πάχος του παγοκαλύμματος, η διάρκεια αλλά θα επηρεαστεί και η χρονική στιγμή που αυτό σπάει
- ❑ Η απώλεια του πάγου σημαίνει μείωση της λευκάγειας (albedo) → πιο εύκολα θα θερμαίνεται η λίμνη
- ❑ Θα μεταβληθεί το πρότυπο ανάμιξης της υδάτινης στήλης



Χωροκατακτητικά είδη – υδρόβια φυτά

- Πολλά είδη υδρόβιων φυτών είναι χωροκατακτητικά
- Εξαπλώνονται πολύ εύκολα μέσω των πτηνών
- Επίσης πολλά είδη χρησιμοποιούνται σε ενυδρεία και με το εμπόριο εξαπλώνονται σε όλο τον κόσμο
- Πολλά είδη της Ευρώπης έχουν εισβάλλει στις ΗΠΑ, Αυστραλία, Αφρική, Ασία
- Π.χ το κοινό μυριόφυλλο που θα το βρούμε σχεδόν σε όλες τις λίμνες της Ελλάδας στις ΗΠΑ και την Αυστραλία είναι πρόβλημα
- Επίσης πολλά είδη από Ν. Αμερική έχουν εισβάλει στην Ευρώπη, Αφρική και Ασία
- Μεγαλύτερο πρόβλημα αποτελούν τα πλευστόφυτα, δηλαδή φυτά που επιπλέουν ελεύθερα στην επιφάνεια του νερού
- Έχουν πολύ μεγάλους ρυθμούς ανάπτυξης και καταλαμβάνουν ολόκληρη την επιφάνεια
- Μειώνουν τη διαθεσιμότητα φωτός σε μεγαλύτερα βάθη και εξαφανίζονται είδη υφυδατικής βλάστησης

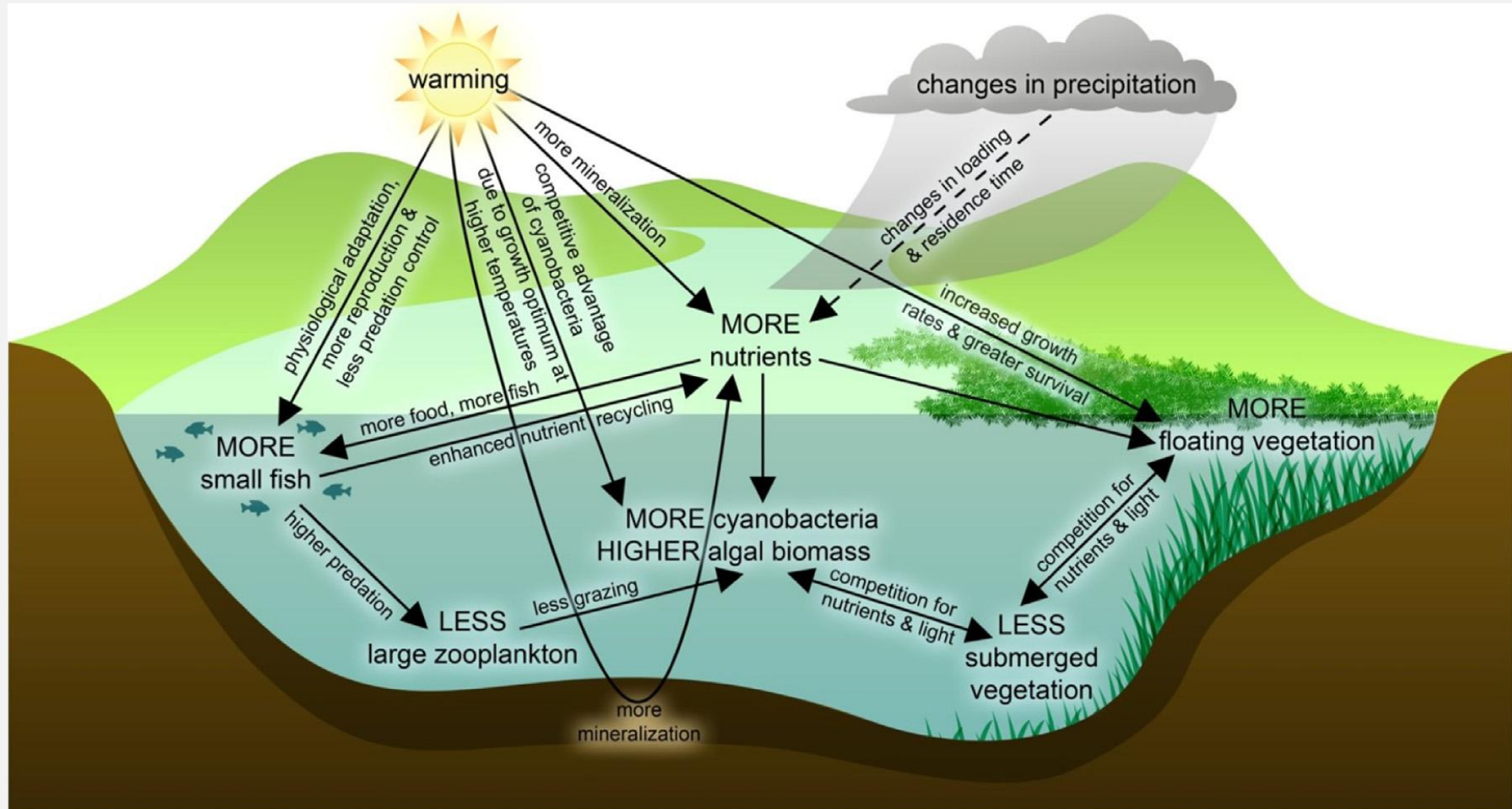
Χωροκατακτητικά είδη – υδρόβια φυτά

- Η κλιματική αλλαγή αυξάνει την εξάπλωση χωροκατακτητικών ειδών
- Πρόκειται για είδη που αντέχουν σε μεγαλύτερο εύρος περιβαλλοντικών παραγόντων (π.χ. θερμοκρασία, συγκέντρωση οξυγόνου, pH κλπ)
- Είδη που έχουν μεγαλύτερη αυξητική περίοδο
- Μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης



Eichornia crassipes: πλευστόφυτο της Ν. Αμερικής που έχει «εισβάλλει» σε πολλές περιοχές της Ασίας, ΗΠΑ και Αφρική Δημιουργεί συναθροίσεις που διπλασιάζουν την έκτασή τους μέσα σε 1-2 βδομάδες Στην Ευρώπη έχει απαγορευτεί το εμπόριο του από το 2016

Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής (σύνθετο πρόβλημα)



Η σημασία των υγροτόπων στον κύκλο άνθρακα (και στη μετρίαση της κλιματικής αλλαγής)

«Wetlands are climate superheroes»

«Wetlands, the forgotten carbon sink that can help mitigate impact of climate change»

«Wetlands: The 'superheroes' of the natural world, here's why»

«5 Ways Wetlands are Crucial to Climate Change

Adaptation»

«Wetlands as game-changers for climate change mitigation
and adaptation»

«The Wonder of Wetlands: A Nature-Based
Solution for Environmental Challenges»

Τα τελευταία έτη διεξάγεται έρευνα που μελετά το ρόλο αυτών των οικοσυστημάτων στην αποθήκευση, παραγωγή και μεταφορά άνθρακα

- Λίμνες
- Ποτάμια
- Τυρφώνες (peatlands)
- Παράκτιοι υγρότοποι (π.χ. έλη σε εκβολές ποταμών, μαγκρόβια δάση)

Η σημασία των υγροτόπων στον κύκλο άνθρακα (και στη μετρίαση της κλιματικής αλλαγής)

Table 1
Ramsar classification system for wetland type (adapted from <http://www.ramsar.org/>).

Wetland type	Wetland subtype	Brief description
Marine/Coastal Wetlands	Permanent shallow marine waters	In most cases <6 m deep at low tide; includes sea bays and straits
	Marine sub-tidal aquatic beds	Includes kelp beds, sea-grass beds, tropical marine meadows
	Coral reefs	
	Rocky marine shores	Includes rocky offshore islands, sea cliffs
	Sand, shingle, or pebble shores	Includes sand bars, spits, and sandy islets; includes dune systems and humid dune slacks
	Estuarine waters	Permanent water of estuaries and estuarine systems of river deltas
	Intertidal mud, sand, or salt flats	
	Intertidal marshes	Includes salt marshes, salt meadows, saltings, and raised salt marshes; includes tidal brackish and freshwater marshes
	Intertidal forested wetlands	Includes mangrove swamps, nipa swamps, and tidal freshwater swamp forests
	Coastal brackish/saline lagoons	Brackish to saline lagoons with at least one relatively narrow connection to the sea
Inland Wetlands	Coastal freshwater lagoons	Includes freshwater delta lagoons
	Karst and other subterranean hydrological systems	Marine/coastal
	Permanent inland deltas	
	Permanent rivers/streams/creeks	Includes waterfalls
	Seasonal/intermittent/irregular rivers/streams/creeks	
	Permanent freshwater lakes	Over 8 ha; includes large oxbow lakes
	Seasonal/intermittent freshwater lakes	Over 8 ha; includes floodplain lakes
	Permanent saline/brackish/alkaline lakes	
	Seasonal/intermittent saline/brackish/alkaline lakes and flats	
	Permanent saline/brackish/alkaline marshes/pools	
	Seasonal/intermittent saline/brackish/alkaline marshes/pools	
	Permanent freshwater marshes/pools	Ponds (<8 ha), marshes, and swamps on inorganic soils; emergent vegetation waterlogged for most of the growing season
	Seasonal/intermittent freshwater marshes/pools	On inorganic soils; includes sloughs, potholes, seasonally flooded meadows, sedge marshes
	Non-forested peatlands	Includes shrub or open bogs, swamps, fens
	Alpine wetlands	Includes alpine meadows, temporary waters from snowmelt
	Tundra wetlands	Includes tundra pools, temporary waters from snowmelt
	Shrub-dominated wetlands	Shrub swamps, shrub-dominated freshwater marshes, shrub carr, and alder thicket on inorganic soils
	Freshwater, tree-dominated wetlands	Includes freshwater swamp forests, seasonally flooded forests, wooded swamps on inorganic soils
Human-made wetlands	Forested peatlands	Peat swamp forests
	Freshwater springs, oases	
	Geothermal wetlands	
	Karst and other subterranean hydrological systems	
	Aquaculture ponds	
	Ponds	Generally, <8 ha; includes farm ponds, stock ponds, small tanks
	Irrigated land	Includes irrigation channels and rice fields
	Seasonally flooded agricultural land	Including intensively managed or grazed wet meadow or pasture
	Salt exploitation sites	Salt pans, salinas, etc.
	Water storage areas	Generally, >8 ha; reservoirs/barrages/dams/impoundments
	Excavations	Gravel/brick/clay pits; borrow pits, mining pools
	Wastewater treatment areas	Sewage farms, settling ponds, oxidation basins, etc.
	Canals and drainage channels, ditches	
	Karst and other subterranean hydrological systems	

Η σημασία των υγροτόπων στον κύκλο άνθρακα (και στη μετρίαση της κλιματικής αλλαγής)

Έμφαση δίνεται στα οικοσυστήματα που βρίσκονται στη διάφαση μεταξύ χερσαίων και υδάτινων περιοχών με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μόνιμη ή εποχική παρουσία νερού
- Συνθήκες εδάφους που ευνοούν την «αργή» αποικοδόμηση
- Συσσώρευση οργανικού υλικού
- Υγροτοπική βλάστηση (βλάστηση προσαρμοσμένη σε αυτές τις συνθήκες)

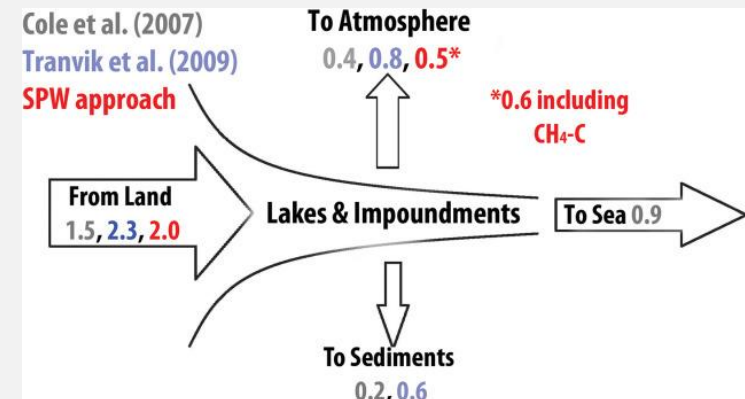
Αυτά τα οικοσυστήματα προσφέρουν μια πληθώρα υπηρεσιών στον άνθρωπο αλλά και για το περιβάλλον γενικότερα:

- Παροχή τροφής, νερού και πρώτων υλών
- Προστασία από πλημμύρες και διάβρωση
- Διατήρηση καλής ποιότητας νερού και αέρα
- Συμβολή στη ρύθμιση του κύκλου θρεπτικών
- Συμβολή στη ρύθμιση του κύκλου θρεπτικών

Εκτιμάται πως οι οικοσυστημικές υπηρεσίες των υγροτόπων αντιστοιχούν στο 20% των υπηρεσιών που παρέχονται από όλα τα οικοσυστήματα

Κλιματική αλλαγή και υδάτινα οικοσυστήματα

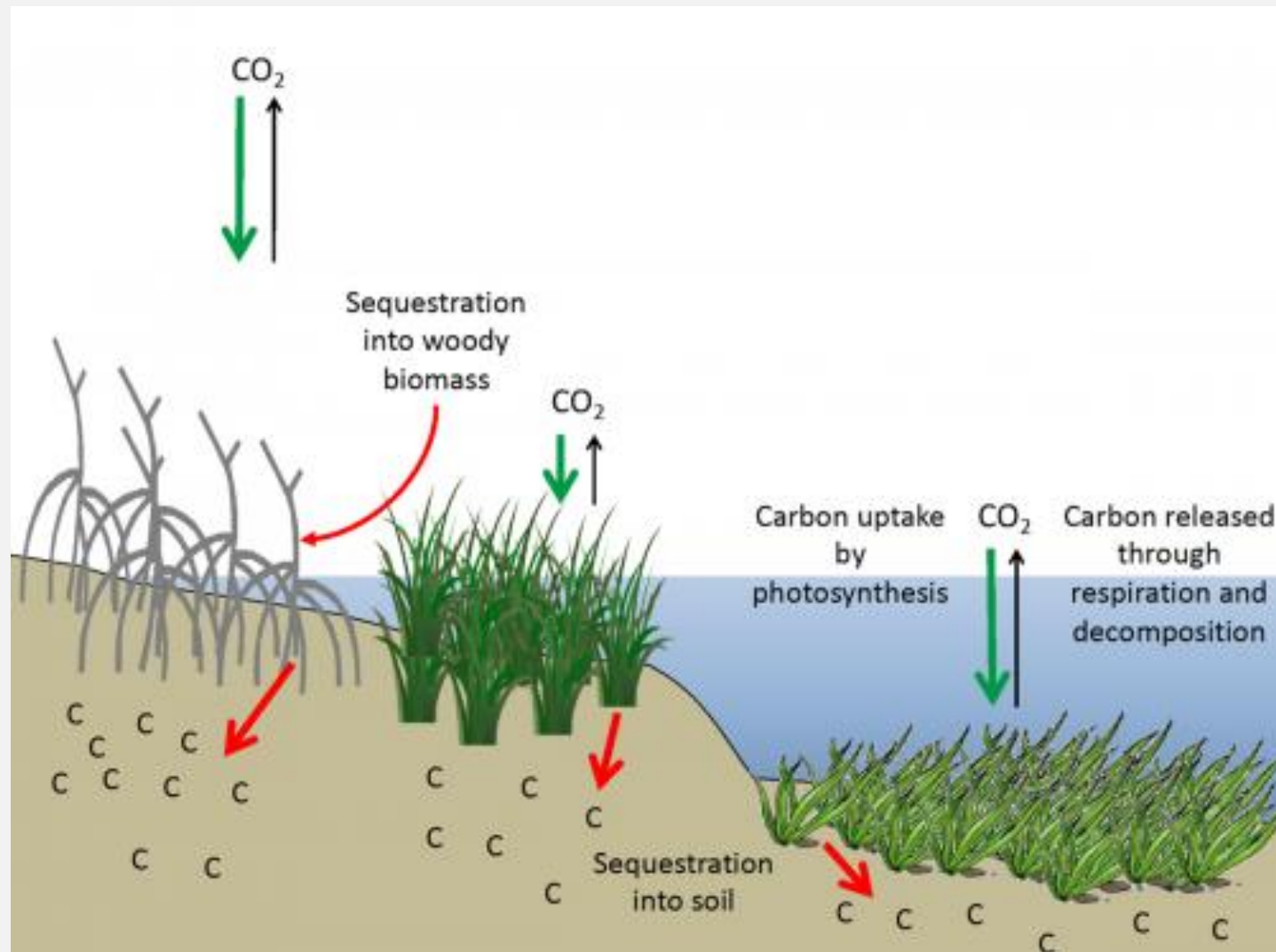
- Ρυθμιστές του κύκλου του άνθρακα και του κλίματος
- Λειτουργούν είτε ως αποδέκτες (αποθήκες) είτε ως πηγές CO₂
- Διάφορες εκτιμήσεις για εκπομπή CO₂ ετησίως που κυμαίνονται από 1.25 – 2.30 Pg CO₂ (1 Petagram = 10⁹ tonnes)
- Εξαρτάται από την τροφική κατάσταση της λίμνης και άλλους παράγοντες (π.χ. χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής, υδρολογία, **υδρόβια βλάστηση**)
- Παραγωγικές λίμνες συσσωρεύουν οργανική ύλη στον πυθμένα → αποικοδόμηση → απελευθέρωση CO₂



Pi, X., Luo, Q., Feng, L. *et al.* Mapping global lake dynamics reveals the emerging roles of small lakes. *Nat Commun* **13**, 5777 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33239-3>

DelSontro, T., Beaulieu, J.J. and Downing, J.A. (2018), Greenhouse gas emissions from lakes and impoundments: Upscaling in the face of global change. *Limnol Oceanogr Lett*, 3: 64-75. <https://doi.org/10.1002/lol2.10073>

Κλιματική αλλαγή και υδάτινα οικοσυστήματα



Howard et al., 2017, Frontiers in Ecology and the Environment.

Λίμνες και Ποτάμια ως αποθήκες και πηγές CO₂

- Οι λίμνες είναι από τα πιο παραγωγικά οικοσυστήματα στον κόσμο
- 304 εκ. λίμνες εκ των οποίων 277 εκ ρηχές και άρα πολύ παραγωγικές
- Η ετήσια παραγωγή άνθρακα (GPP) έχει εκτιμηθεί στα 0.65 Pg C/y αλλά πρόκειται για υποτίμηση καθώς βασίζεται στην έκταση χωρίς όμως να λαμβάνει υπόψη ότι οι μικρές λίμνες είναι πιο παραγωγικές από τις μεγαλύτερες
- Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη και την αλλόχθονη εισαγωγή χερσαίου άνθρακα οι λίμνες παίζουν μεγάλο ρόλο στην παραγωγή CO₂ παγκοσμίως
- Το ισοζύγιο C (παραγωγή CO₂ η αποθήκευση C) καθορίζεται από πολλούς παράγοντες (λεκάνη απορροής, μορφομετρία λίμνης, χρήσεις γης, βιοκοινωνίες)

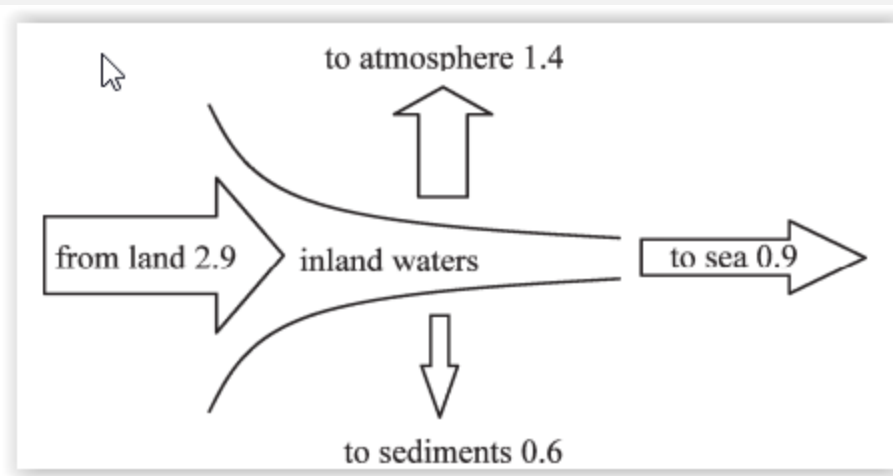
Λίμνες και Ποτάμια ως αποθήκες και πηγές CO₂

- Έχει εκτιμηθεί ότι περίπου 820 Pg οργανικού C υπάρχει αποθηκευμένος στα ιζήματα των λιμνών
- Ανόργανος άνθρακας που περιέχεται στις λίμνες;
- Συνολικά ετησίως αποθηκεύεται 3 φορές περισσότερος οργανικός άνθρακας στις λίμνες από ότι στις θάλασσες
- Ρυθμός αποθήκευσης 0.03-0.07 Pg C/yr
- 2πλάσιος ρυθμός αποθήκευσης στις τεχνητές λίμνες
- Ρυθμός αποθήκευσης στα θαλάσσια ιζήματα 0.12 Pg C/yr

Λίμνες και Ποτάμια ως αποθήκες και πηγές CO₂

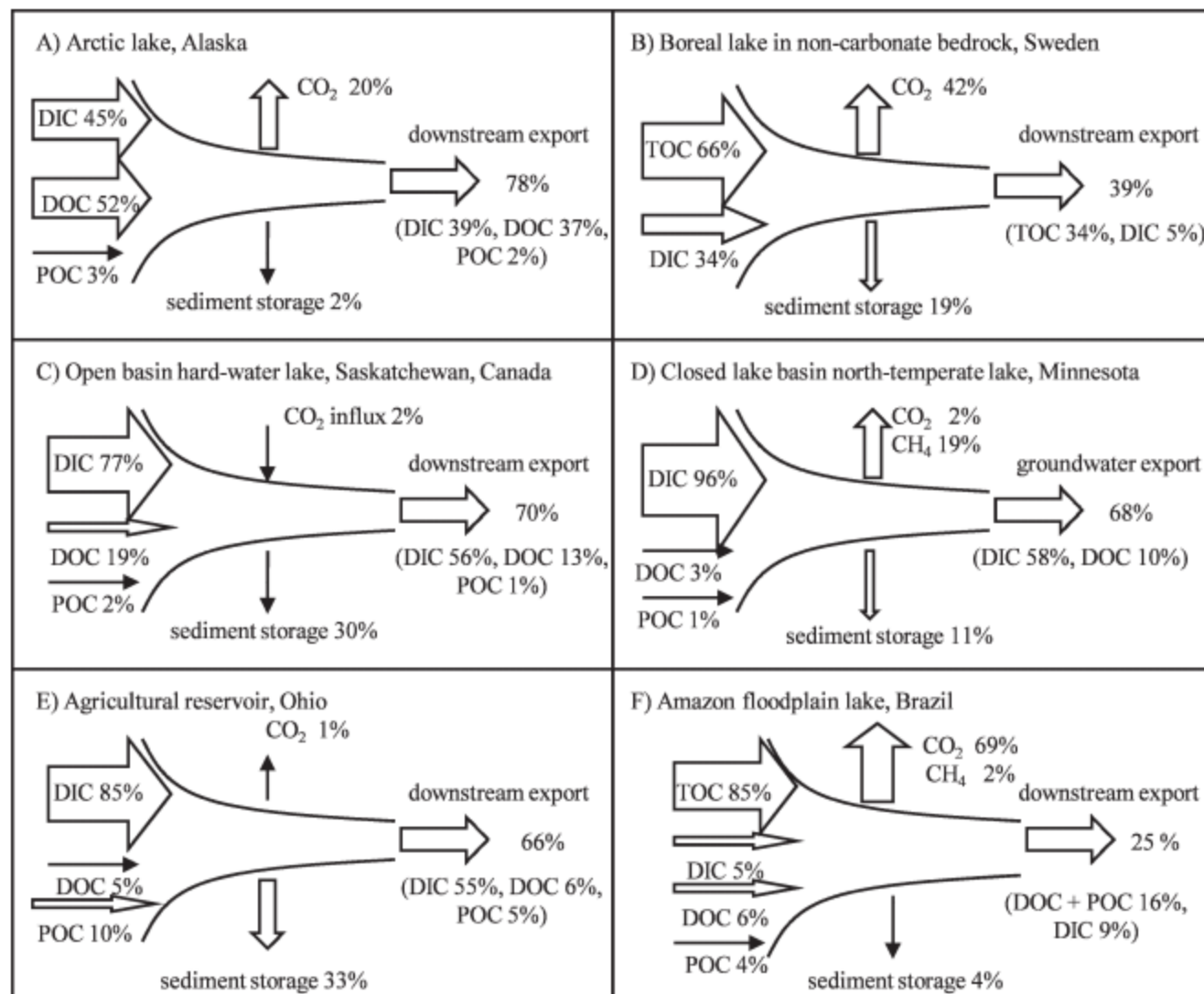
Τι καθορίζει αν μια λίμνη συσσωρεύει ή παράγει C;

- Θρεπτικά → Ευτροφισμός
- Δομή τροφικού πλέγματος και αλληλεπιδράσεις μεταξύ βιοκοινωνιών
- Απουσία κορυφαίων θηρευτών → αύξηση πλαγκτοφάγων ψαριών → μείωση βοσκητών κλαδοκεραιωτών → αύξηση φυτοπλαγκτού
- Κυριαρχία βενθοφάγων ψαριών → επαναιώρηση ιζήματος → αύξηση διαθεσιμότητας θρεπτικών στη στήλη του νερού
- Υδρολογία (αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης)
- Βλάστηση και έδαφος στη λεκάνη



Υπόθεση «ενεργού σωλήνα»

Λίμνες και Ποτάμια ως αποθήκες και πηγές CO₂



Λίμνες και Ποτάμια ως αποθήκες και πηγές CO₂

Ο ρόλος των ποταμών στη μετρίαση της κλιματικής αλλαγής

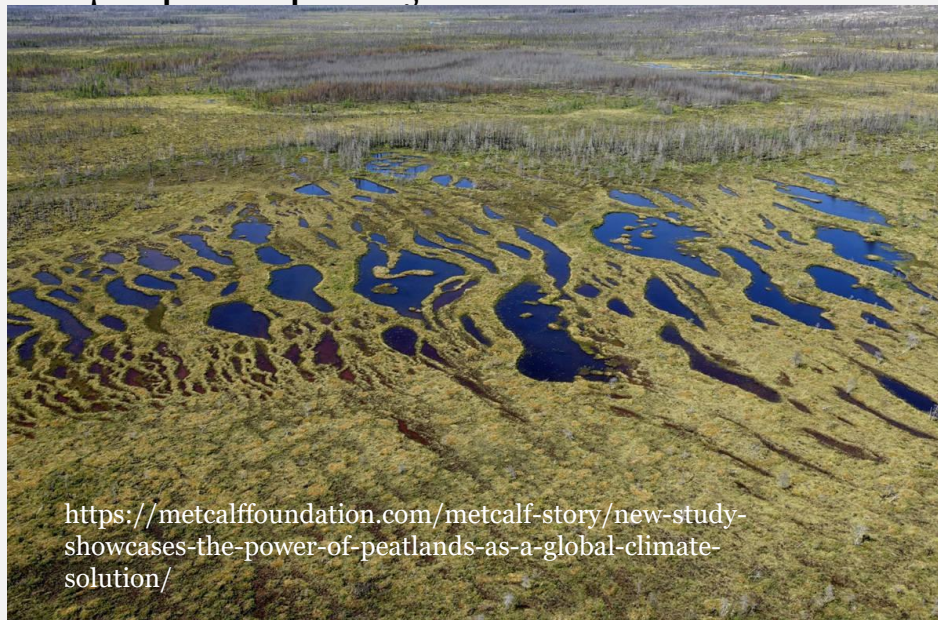
- **Μεταφορά και Αποθήκευση Άνθρακα:** Τα ποτάμια μεταφέρουν οργανικό και ανόργανο άνθρακα από τις χερσαίες περιοχές στους ωκεανούς, όπου μεγάλο μέρος του αποθηκεύεται μακροπρόθεσμα. Οι υγρότοποι και τα δέλτα των ποταμών λειτουργούν ως "δεξαμενές άνθρακα" (carbon sinks), αποθηκεύοντας σημαντικές ποσότητες οργανικής ύλης που δεσμεύει CO₂.
- **Μείωση Φυσικών Καταστροφών:** Τα ποτάμια βοηθούν στη διαχείριση των πλημμυρών και στη διατήρηση της ποιότητας του νερού, μειώνοντας τις καταστροφικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- **Σκίαση και ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού:** Η παρουσία φυτών και δέντρων κατά μήκος των ποταμών (παραποτάμια βλάστηση) παρέχει σκίαση στην επιφάνεια του νερού, η οποία έχει σημαντική επίδραση στη θερμοκρασία του.
- **Έλεγχος των θρεπτικών που εισέρχονται στο νερό:** Τα φυτά απορροφούν θρεπτικά συστατικά από το έδαφος, εμποδίζοντας την είσοδό τους στο νερό. Οι παραποτάμιες περιοχές (όπως οι υγρότοποι και οι φυτευμένοι τοίχοι) λειτουργούν ως φυσικά φίλτρα, απορροφώντας ή συγκρατώντας θρεπτικά πριν φτάσουν στο ποτάμι.

Ο κρίσιμος ρόλος των τυρφώνων

Οι τυρφώνες είναι υγροτοπικές περιοχές, όπου η συσσώρευση τύρφης είναι πολύ υψηλή. Δημιουργούνται κυρίως σε περιοχές με κακή αποστράγγιση και υψηλή υγρασία, όπως σε βάλτους, έλη και άλλες υγρές εκτάσεις.

Η τύρφη είναι ένας τύπος εδάφους που σχηματίζεται όταν τα φυτικά υπολείμματα (όπως φύλλα, κλαδιά και ρίζες) δεν αποσυντίθενται πλήρως λόγω της περιορισμένης παρουσίας οξυγόνου.

Αυτή η αργή αποσύνθεση οδηγεί στη συσσώρευση οργανικής ύλης και στην ανάπτυξη τύρφης, η οποία μπορεί να είναι πολύ παχιά και να φτάνει αρκετά μέτρα σε βάθος.



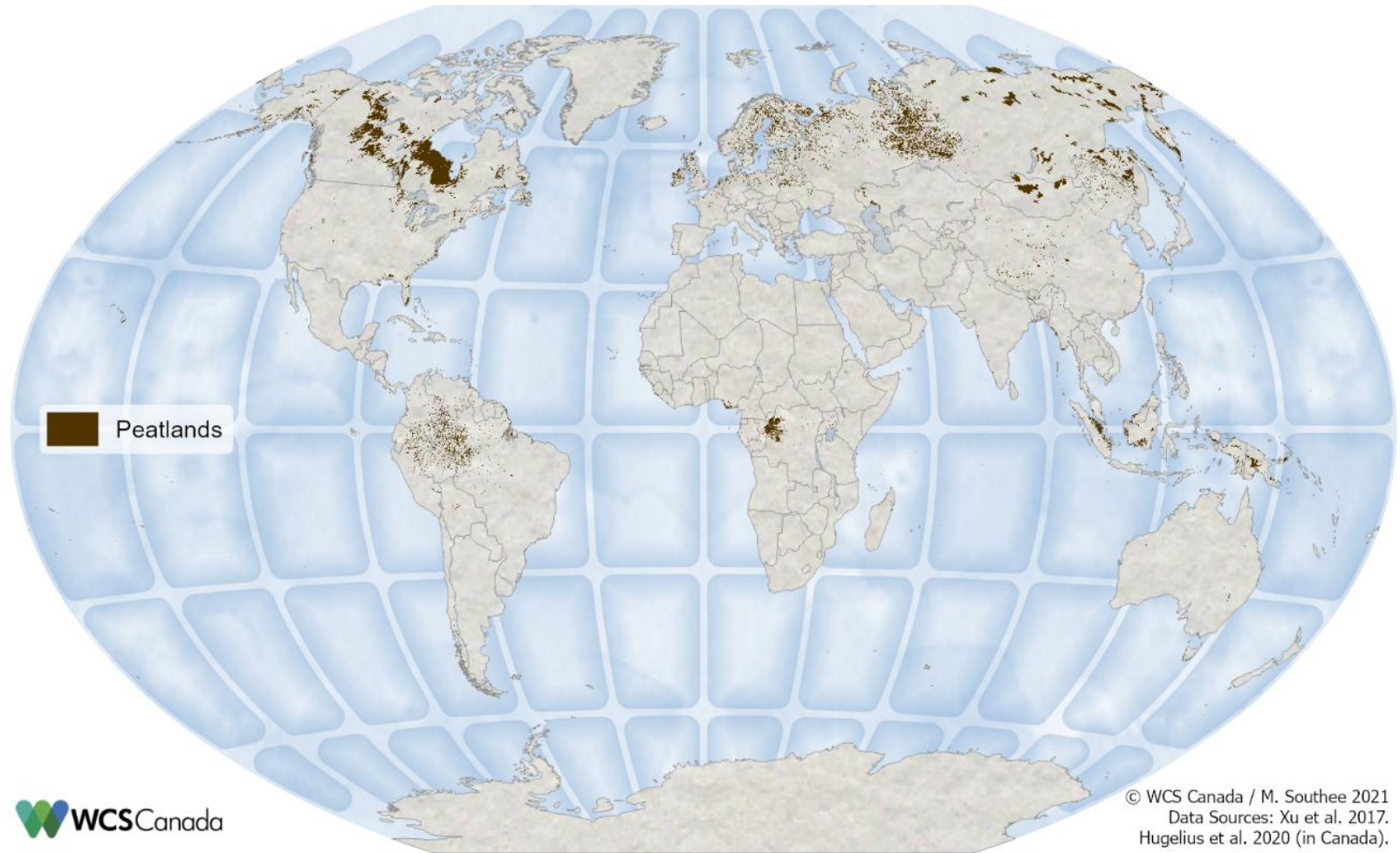
Ο κρίσιμος ρόλος των τυρφώνων

- Οι τυρφώνες καλύπτουν το 3% της επιφάνειας του πλανήτη, αποθηκεύοντας σχεδόν το ένα τρίτο του συνολικού άνθρακα που βρίσκεται στα εδάφη παγκοσμίως.
- Ένας τυρφώνας μπορεί να συγκρατήσει 5 φορές περισσότερο άνθρακα από ένα τροπικό δάσος ίσης έκτασης
- Ο Καναδάς φιλοξενεί το 25 - 30% των τυρφώνων παγκοσμίως. Οι τυρφώνες του Καναδά αποθηκεύουν περίπου 150 δισεκατομμύρια τόνους άνθρακα — ποσότητα ίση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου του Καναδά για 25 χρόνια.
- Οι τυρφώνες διακρίνονται κυρίως σε ομβρογενείς τυρφώνες (bogs) και υδρογενείς τυρφώνες (fens) ανάλογα με την προέλευση του νερού
- Χαρακτηριστική βλάστηση: *Sphagnum* sp. (υδρόβιλα βρύα) → καθοριστικά για το σχηματισμό τύρφης σε ομβρογενείς τυρφώνες. Δεν αποικοδομούνται πλήρως συμβάλλοντας στο σχηματισμό τύρφης
- Σε υδρογενείς τυρφώνες απαντούν βούρλα και αγρωστώδη (Poaceae, Juncaceae, Cyperaceae)

Ο κρίσιμος ρόλος των τυρφώνων



Ο κρίσιμος ρόλος των τυρφώνων

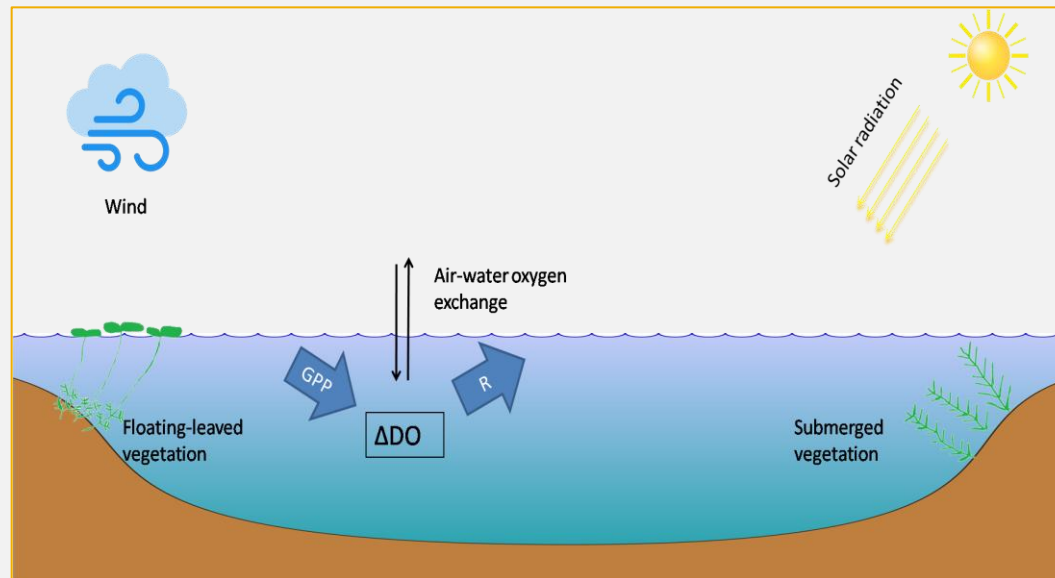


Λίμνες και Ποτάμια ως αποθήκες και πηγές CO₂

- $NEP = GPP - ER$
- Σε συστήματα με μεγάλη εισροή αλλόχθονου οργανικού άνθρακα η αναπνοή (ER) > της παραγωγικότητας (GPP) → υπερκορεσμό σε CO₂ που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα
- Όταν $GPP > ER$ παραγωγή οργανικού υλικού που μπορεί να αποθηκευτεί στο ίζημα (αυτόχθονο οργανικό υλικό)
- Αποικοδόμηση αυτόχθονου οργανικού υλικού → παραγωγή CO₂
- Σε ρηχές λίμνες η αναπνοή στο ίζημα συμβάλλει σημαντικά στην παραγωγή CO₂
- Οι περισσότερες λίμνες στον κόσμο παράγουν CO₂
- Σε ρηχές λίμνες ευνοείται η ορυκτοποίηση των οργανικών ενώσεων αντί της καθίζησης στον πυθμένα
- Απελευθέρωση CH₄ στην ατμόσφαιρα (8-48 Tg C/y)

Κλιματική αλλαγή και υδάτινα οικοσυστήματα

- Μπορούμε να διαπιστώσουμε αν κάποια λίμνη συμπεριφέρεται ως αποδέκτης ή πηγή άνθρακα υπολογίζοντας τον οικοσυστημικό μεταβολισμό χρησιμοποιώντας συνεχείς μετρήσεις συγκέντρωσης οξυγόνου (Odum, 1956)



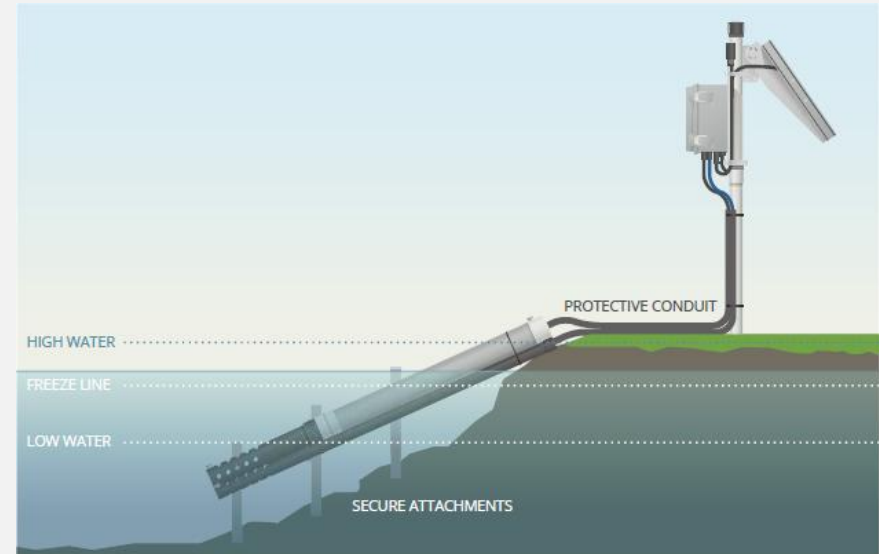
- $NEP = GPP - ER$, $GPP > ER$, συσσώρευση άνθρακα/ $GPP < ER$

«απελευθέρωση» άνθρακα

Εκτίμηση μεταβολισμού

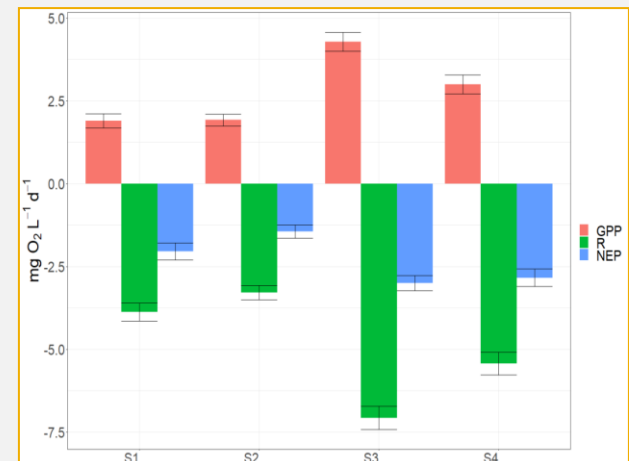
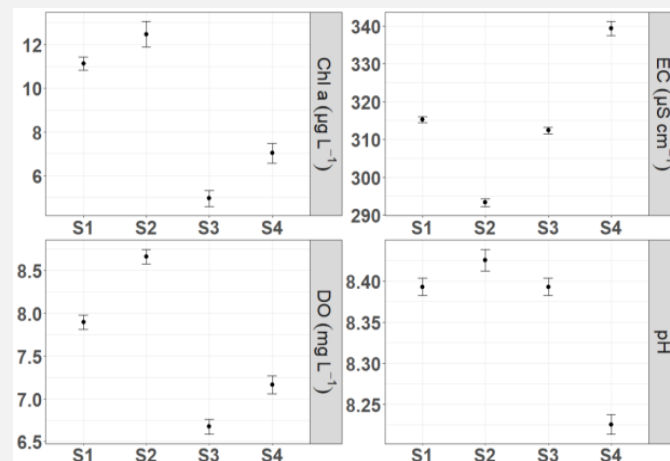
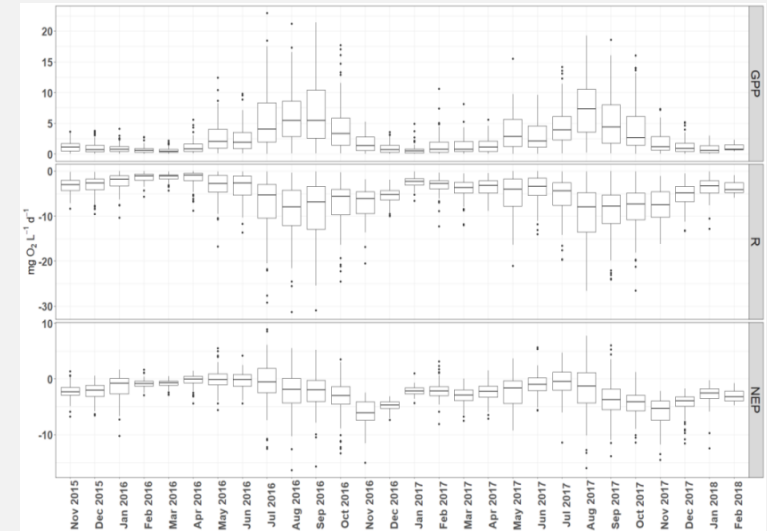
- Χρήση αυτόματων σταθμών μέτρησης ποιότητας νερού
- Ο αισθητήρας μετράει σε συνεχόμενη βάση (π.χ. κάθε 10 λεπτά) και στέλνει τις μετρήσεις μέσω δικτύου σε έναν server
- Πολλά πλεονεκτήματα (π.χ. μετρήσεις υψηλής συχνότητας, live απεικονίσεις των μετρήσεων)
- Εκτίμηση του μεταβολισμού με συνεχείς μετρήσεις οξυγόνου (**diel oxygen technique**).
- Μετεωρολογικά δεδομένα (PAR, Wind speed)

$$\frac{dDO}{dt} = \frac{GPP + ER}{z} + K(DO_{SAT} - DO)$$



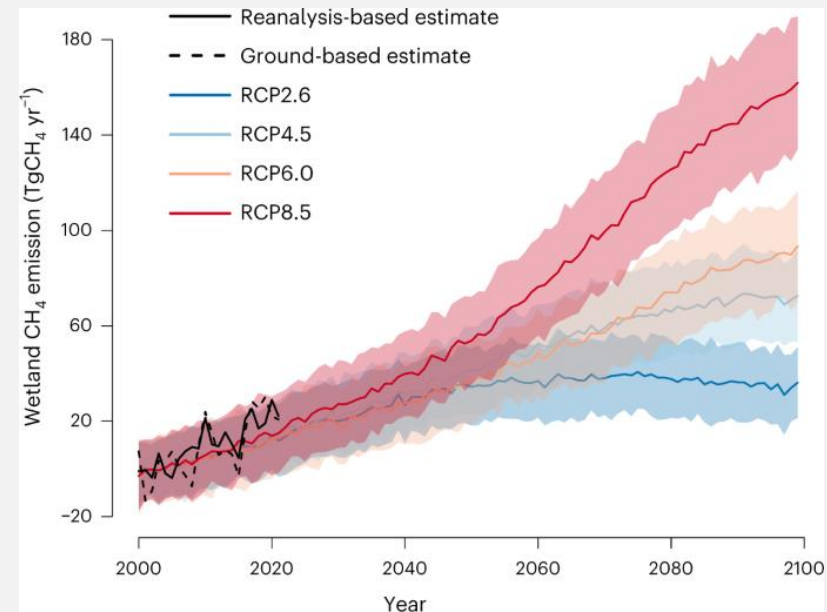
Με ποιο τρόπο η υδρόβια βλάστηση επηρεάζει τον οικοσυστημικό μεταβολισμό (πρωτογενή παραγωγικότητα και την οικοσυστημική αναπνοή) στα υδάτινα οικοσυστήματα;

- Διαφοροποίηση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών σε σχέση με τον τύπο βλάστησης → υδρόβια φυτά ως «μηχανικοί περιβάλλοντες»
- Εφυδατική βλάστηση → μικρότερες συγκεντρώσεις O_2 , Chl-a → επίδραση σκίασης
- Εποχική διακύμανση GPP → αύξηση το καλοκαίρι
- Εποχική διακύμανση ER → υψηλή δραστηριότητα μέχρι αρχές φθινόπωρο → αποικοδόμηση συσσωρευμένης οργανικής ύλης
- Συνολικά παρόχθια ζώνη → πηγή CO_2



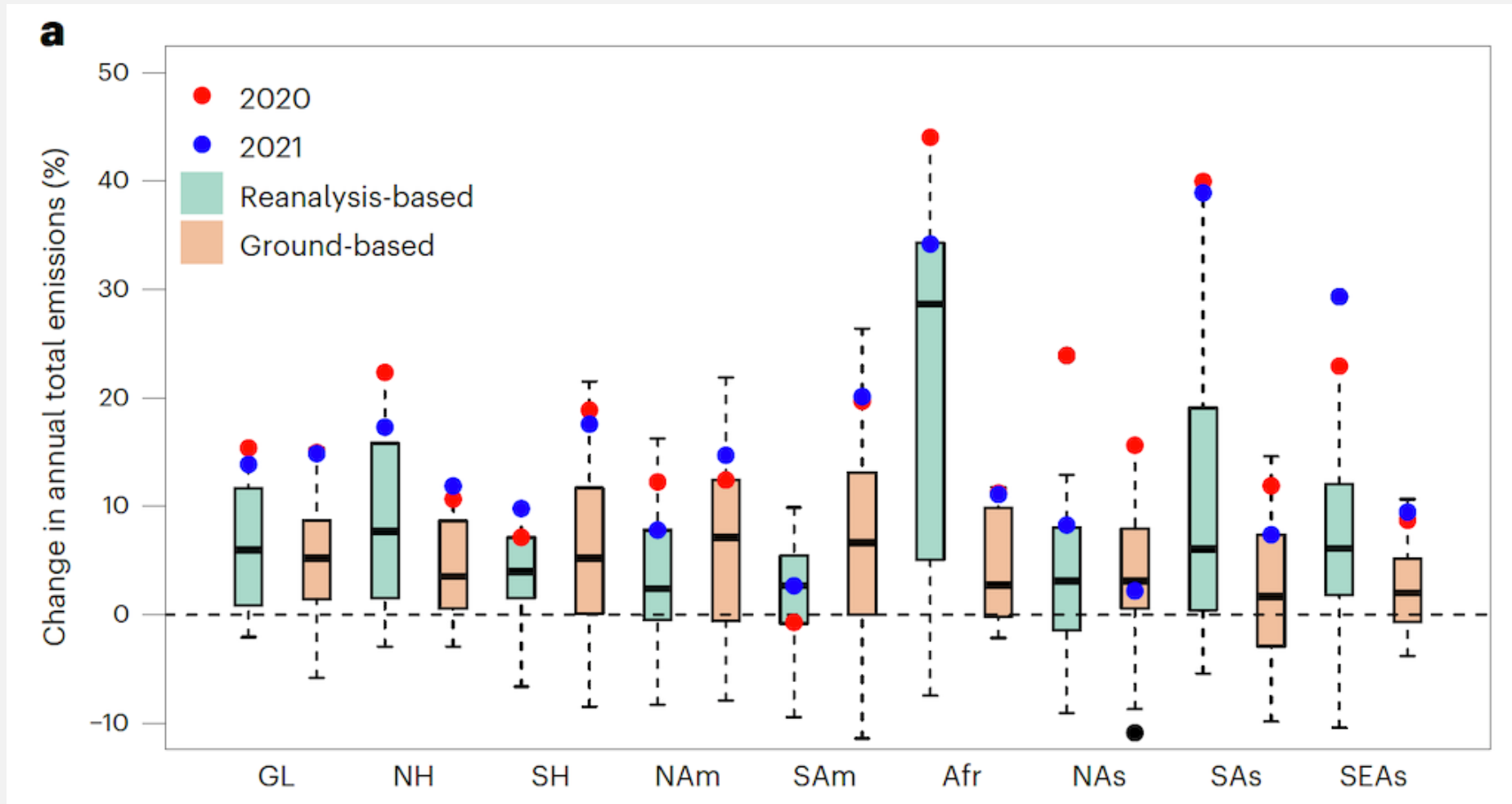
Κλιματική αλλαγή και υδάτινα οικοσυστήματα

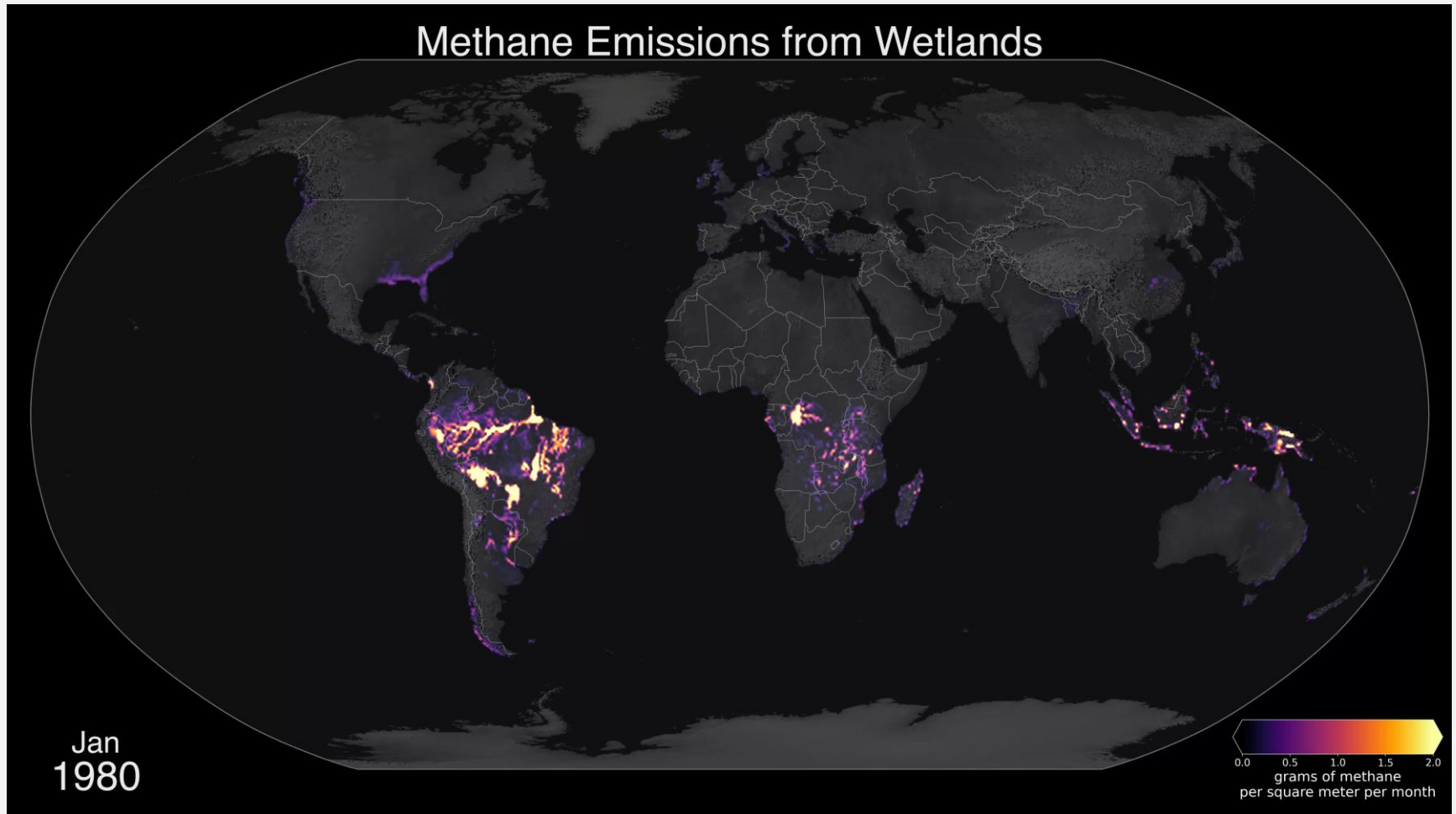
- Αύξηση εκπομπών μεθανίου
- Εκτιμήσεις για 30-50 Tg CH₄ yr⁻¹ μέχρι το 2050
- Αύξηση της μεθανογένεσης από μικρο-οργανισμούς των υδροτόπων – κυρίως σε υδροτόπους που δημιουργούνται από τήξη των παγετώνων
- Αύξηση της βροχόπτωσης στις τροπικές περιοχές



*RCPs : representative concentration pathways

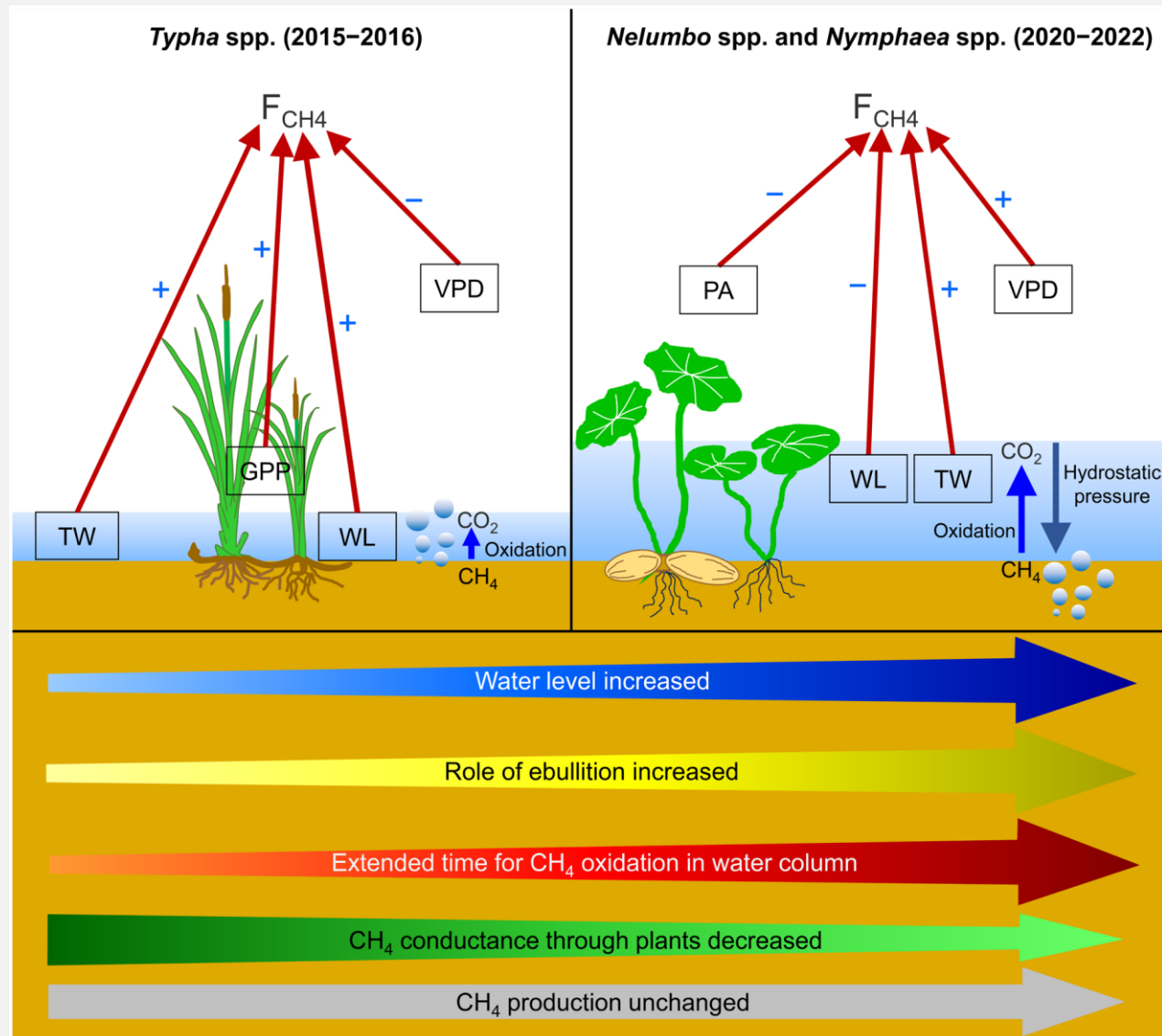
➤ Αύξηση εκπομπών μεθανίου





<https://svs.gsfc.nasa.gov/5054>

Η σημασία των υγροτόπων στην παραγωγή μεθανίου



Μεθάνιο και κλιματική αλλαγή

- Το μεθάνιο παίζει σημαντικό ρόλο γιατί αποτελεί δραστικό αέριο του θερμοκηπίου
- Οι **άμεσες** προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως θα είχαν ελάχιστα αποτελέσματα στην παρεμπόδιση αυτού του επιπέδου αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη τις επόμενες δεκαετίες
- Από την άλλη πλευρά, οι προσπάθειες για μείωση των εκπομπών μεθανίου θα είχαν πιο **άμεσα** οφέλη, επιβραδύνοντας σημαντικά την τάση για παγκόσμια θέρμανση ακόμη και χωρίς μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
- Η μείωση τόσο του διοξειδίου του άνθρακα όσο και του μεθανίου παρέχει το καλύτερο αποτέλεσμα, όχι μόνο με άμεσα οφέλη εξαιτίας ενός επιβραδυνμένου ρυθμού θέρμανσης αλλά επίσης και με συνεχιζόμενη επιβράδυνση της θέρμανσης του πλανήτη μακροπρόθεσμα
- Μακροπρόθεσμα μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής θα πρέπει να στοχεύουν στη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Πηγές και συλλέκτες μεθανίου

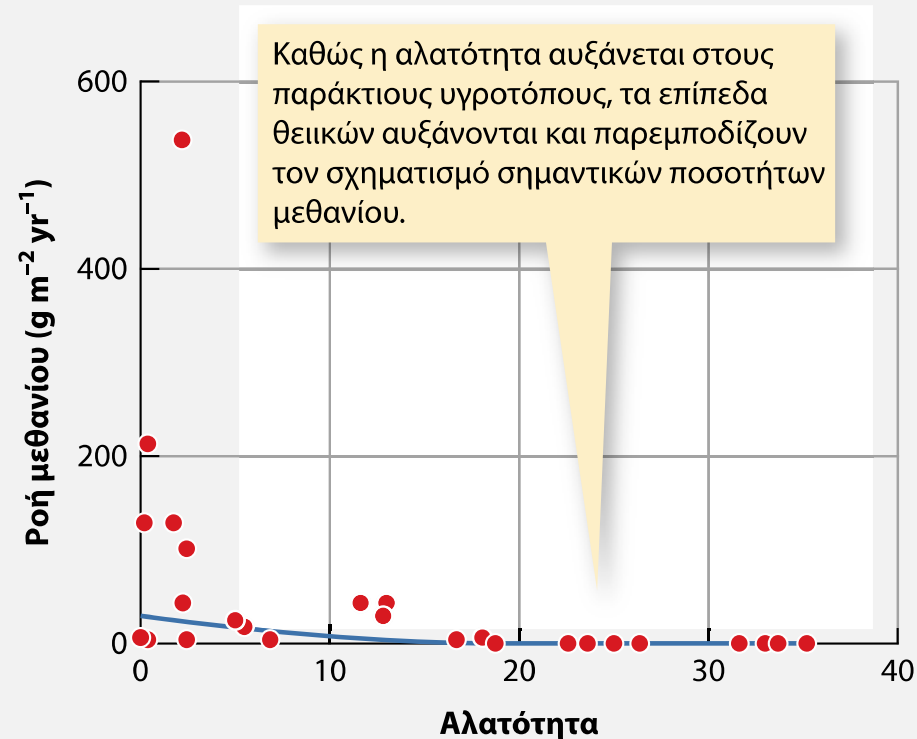
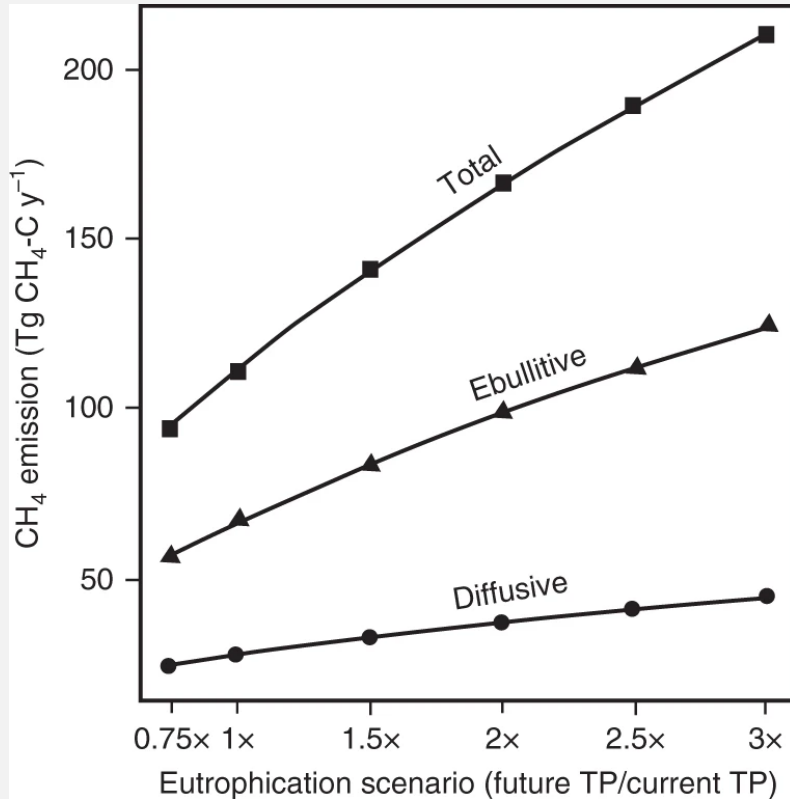
- Για το ατμοσφαιρικό μεθάνιο, ο συλλέκτης είναι η χημική τροποποίηση του μεθανίου σε άλλες ενώσεις
- Σαφώς, ο μεγαλύτερος συλλέκτης μεθανίου είναι η φωτοοξείδωση στην ατμόσφαιρα, η οποία οξειδώνει το αέριο σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό
- Η χημεία πίσω από αυτή την αντίδραση είναι αρκετά καλά κατανοητή και αυτό μας επιτρέπει να συμπεράνουμε με κάποια ακρίβεια ότι ο παγκόσμιος συλλέκτης για το μεθάνιο είναι περίπου 570 Tg C ανά έτος
- Η φυσική γεωλογική πηγή εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει μια ροή 53 Tg C μεθανίου, ανά έτος, συν ή πλην 20% (Etiope et al., 2008)
- Άρα περίπου 167 Tg C μεθανίου έχουν άλλη προέλευση
- Οι φυσιολογικές βιολογικές πηγές κυριαρχούνται από τη **μεθανογένεση (methanogenesis)**, την παραγωγή του μεθανίου από βακτήρια απουσία οξυγόνου
- **Σε υγροτόπους γλυκού νερού και ιζήματα λιμνών γλυκού νερού, η μεθανογένεση είναι συχνά η κύρια μορφή αποικοδόμησης**

Φυσικές πηγές	220
γεωλογικές διαρροές	53
βιολογικές πηγές	167
Ανθρωπογενείς πηγές	350
εκπομπές ορυκτών καυσίμων	115
κτηνοτροφία	90
καλλιέργεια ρυζιού	60
χώροι υγειονομικής ταφής και λύματα	55
καύση βιομάζας	30
Σύνολο	570

Πηγές και συλλέκτες μεθανίου

- Οι πιο εύλογες εκτιμήσεις μας για τη συνολική ροή από τους υγροτόπους ποικίλλουν από 80 έως 280 Tg C μεθανίου ανά έτος
- Παρόμοιες εκτιμήσεις για τις λίμνες κυμαίνονται από 10 έως 73 Tg C μεθανίου ανά έτος
- Το μεγαλύτερο τμήμα παράγεται από βακτηριακή μεθανογένεση σε πλημμυρισμένους ορυζώνες (που είναι ανθρωπογενείς υγρότοποι, παρόμοιοι σε λειτουργία με τους φυσικούς υγροτόπους γλυκών νερών)
- Οι ωκεανοί αποτελούν πηγή μεθανίου της ατμόσφαιρας, αλλά παραδόξως μια πηγή μικρού μεγέθους δεδομένης της επιφάνειας του πλανήτη που καλύπτεται από ωκεανούς· αντιπροσωπεύουν μια ροή περίπου 10 Tg C μεθανίου μόνο ανά έτος

- Ο ευτροφισμός των λιμνών συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής μεθανίου προς την ατμόσφαιρα
- Καθώς και η αλατότητα των υγροτόπων αυξάνεται, η ροή του μεθανίου προς την ατμόσφαιρα μειώνεται δραματικά
- Άρα είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πως στο μέλλον θα συμπεριφερθούν τα υδάτινα οικοσυστήματα αναφορικά με την παραγωγή εκπομπών μεθανίου



Γιατί είναι σημαντικό να γνωρίζουμε αν τα οικοσυστήματα συμπεριφέρονται ως πηγές ή συλλέκτες CO₂;

Μπορούμε να κάνουμε ακριβέστερες προβλέψεις για το μέλλον

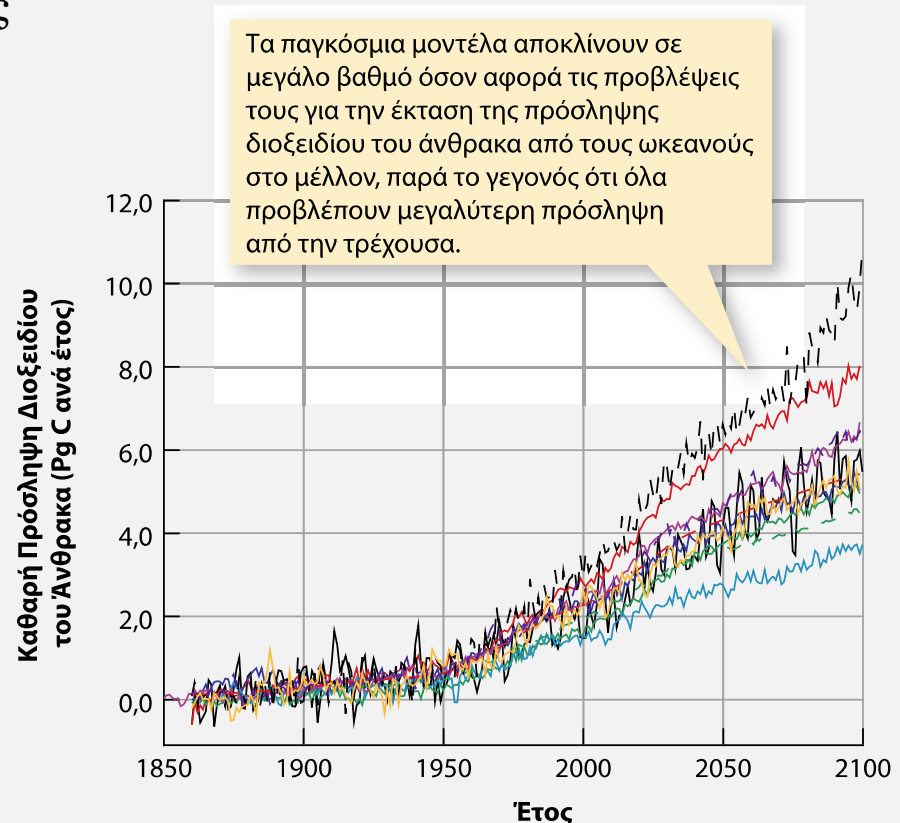
Παγκόσμια μοντέλα που προβλέπουν τις ροές άνθρακα υπό διαφορετικά σενάρια

Υπάρχουν παραδοχές ως προς το ρόλο του κάθε οικοσυστήματος

Όμως η δυνατότητα ενός οικοσυστήματος να παράγει ή να συσσωρεύει CO₂ επίσης μεταβάλεται βάσει των περιβαλλοντικών συνθηκών

Π.χ. οι εύτροφες ρηχές λίμνες φαίνεται να παράγουν CO₂ προς την ατμόσφαιρα

Άρα αν αυξηθούν οι εύτροφες λίμνες στο μέλλον θα μεταβληθεί και η εκτίμηση για τις παγκόσμιες ροές άνθρακα



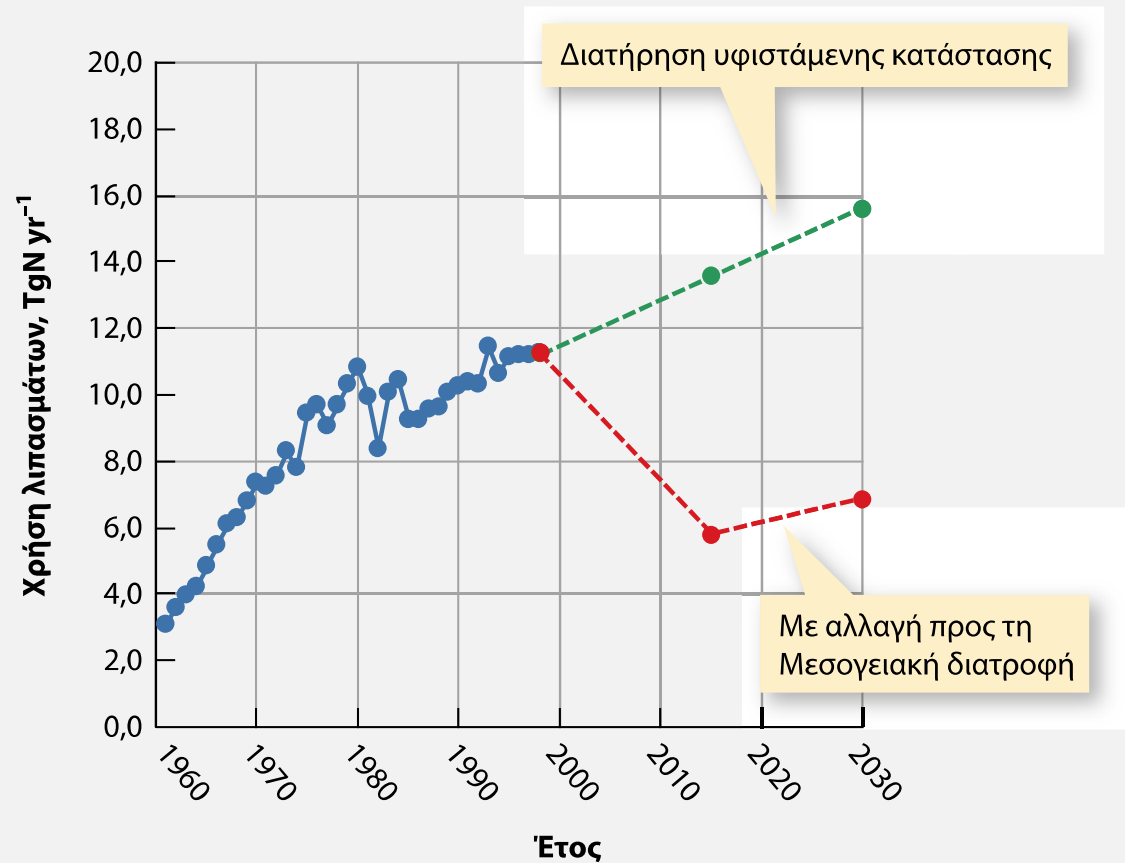
Πώς Μπορούμε να Μειώσουμε τις Εκπομπές GHGs;

- Οι εκπομπές του μεθανίου μπορούν να μειωθούν σημαντικά εάν απομακρυνθούμε από τα ορυκτά καύσιμα και στραφούμε προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης πηγών αιολικής και ηλιακής ενέργειας
- Πρόσθετες μειώσεις των εκπομπών μεθανίου μπορούν να προέλθουν από τις βελτιωμένες υπηρεσίες αποχέτευσης και διαχείρισης απορριμμάτων οι οποίες δεν θα τοποθετούν αυτά τα πλούσια σε οργανικές ενώσεις υλικά σε περιβάλλοντα χωρίς οξυγόνο
- Οι άλλες κύριες πηγές παγκόσμιου μεθανίου είναι οι ρυζοκαλλιέργειες και η κτηνοτροφία και τόσο οι οικολόγοι όσο και οι άλλοι βιολόγοι εργάζονται σκληρά για να αναπτύξουν προσεγγίσεις για τη μείωση αυτών των πηγών

Στροφή προς Μεσογειακή
διατροφή και τη
χορτοφαγία
Πρόσφατες μελέτες
υποστηρίζουν πως αν
ξαφνικά σταματούσε η
κατανάλωση κρέατος και
γαλακτοκομικών θα
μπορούσε να μειωθεί το
ατομικό αποτύπωμα
άνθρακα κατά 73%

Επειδή αυτό θα είχε ως
αποτέλεσμα τη μείωση των
καλλιεργειών για
ζωοτροφές έως και 75%

Άρα λιγότερη αποψίλωση
δασών, λιγότερη χρήση
λιπασμάτων



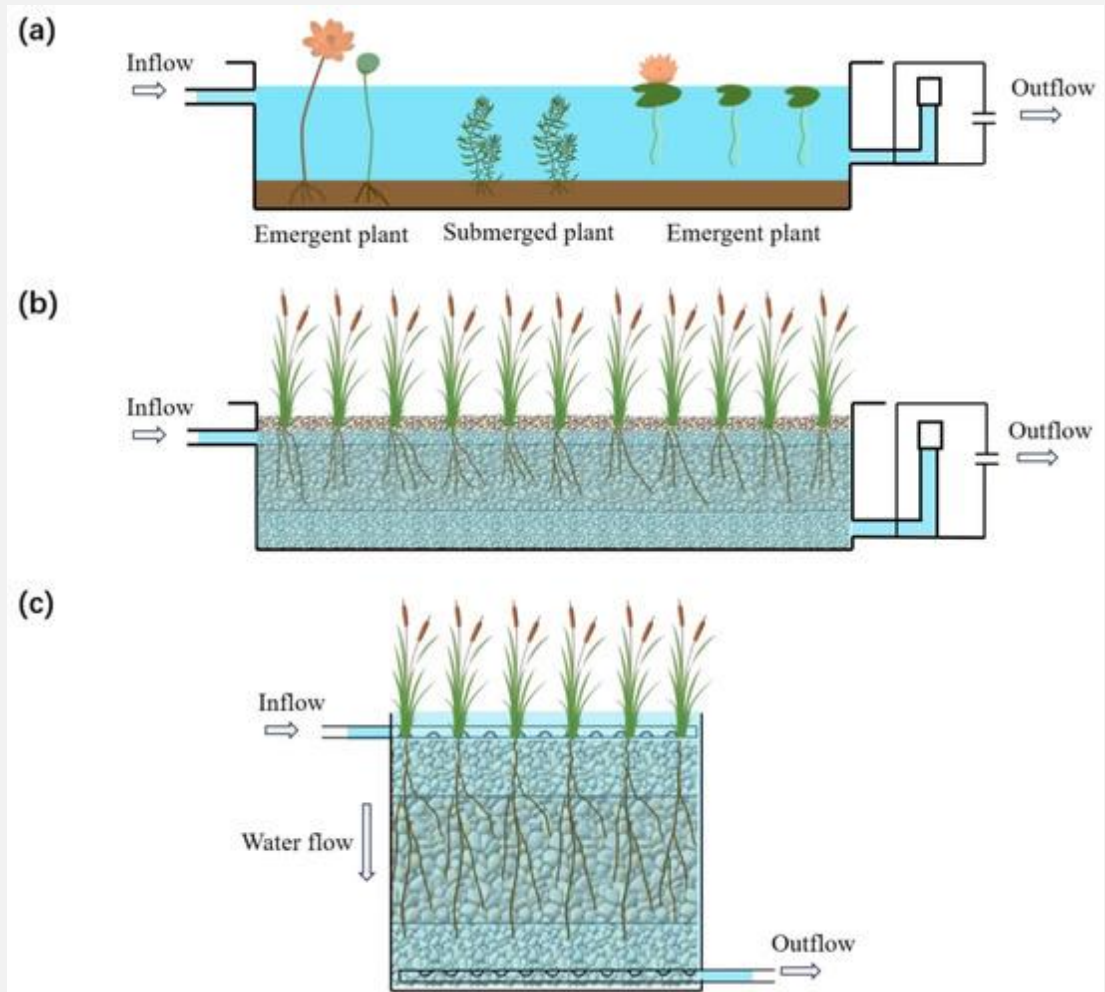
Οι υγρότοποι ως μέτρο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής

- Οι υγρότοποι αποτελούν μια «λύση βασισμένη στη φύση» (nature based solutions ή NBS)
- Αποκατάσταση φυσικών υγροτόπων
- Τεχνητοί υγρότοποι αποτελούν μια λύση για αντιμετώπιση επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής
- Προστασία από πλημμυρικά φαινόμενα, διάβρωση, βελτίωση της ποιότητας νερού και συμβολή στην αποθήκευση άνθρακα

Οι υγρότοποι ως μέτρο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής

- Οι τεχνητοί υγρότοποι ήδη χρησιμοποιούνται ως μέτρο βελτίωσης της ποιότητας του νερού

- a) Free Water Surface Flow Constructed Wetlands (FWS CWs)
- b) Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands (HSSF CWs)
- c) Vertical Subsurface Flow Constructed Wetlands (VSSF CWs)



Οι υγράτοποι ως μέτρο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής



Οι υγρότοποι ως μέτρο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής

Marker Wadden

Κατασκευή τεχνητών νησιών (περίπου 100 τ.χλμ) στη λίμνη Markermeer, Ολλανδία



Οι υγρότοποι ως μέτρο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής

Όμως οι υγρότοποι απελευθερώνουν και σημαντικές ποσότητες GHGs στην ατμόσφαιρα. **Γιατί οι υγρότοποι θεωρούνται NBS;**

1. Δέσμευση άνθρακα (Carbon Sequestration):

Οι υγρότοποι, ειδικά οι τύρφες, είναι εξαιρετικά αποδοτικοί στη δέσμευση άνθρακα στη βιομάζα και στο έδαφος τους, καθώς οι συνθήκες μειώνουν την πλήρη αποσύνθεση οργανικών υλικών. Αυτό τους καθιστά "δεξαμενές άνθρακα" που μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες CO₂ για αιώνες ή χιλιετίες.

2. Ρύθμιση θερμοκηπιακών αερίων:

Αν και οι υγρότοποι εκπέμπουν μεθάνιο, αυτό το αέριο έχει μικρότερη διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα σε σχέση με το CO₂ (περίπου 12 χρόνια) και οι συνολικές εκπομπές τους ισοσκελίζονται από την ικανότητά τους να δεσμεύουν CO₂.

3. Αναστολή υποβάθμισης υγροτόπων:

Η αποκατάσταση ή κατασκευή υγροτόπων αποτρέπει την περαιτέρω διάσπαση αποθηκευμένου άνθρακα, που θα είχε απελευθερωθεί αν ο υγρότοπος είχε καταστραφεί ή αποξηρανθεί.

4. Πολυλειτουργικός ρόλος:

Οι υγρότοποι παρέχουν και άλλες υπηρεσίες οικοσυστήματος, όπως ρύθμιση πλημμυρών, βελτίωση της ποιότητας του νερού, υποστήριξη της βιοποικιλότητας και προστασία των παράκτιων περιοχών από διάβρωση.

5. Ισορροπία οφέλους/κινδύνου:

Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα οφέλη των υγροτόπων στη δέσμευση άνθρακα και στη διατήρηση οικοσυστήματος υπερτερούν των εκπομπών μεθανίου, ειδικά αν οι υγρότοποι διαχειρίζονται σωστά.

Ευχαριστώ για την
προσοχή σας...

