



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Χημική Ωκεανογραφία

Ενότητα 1: Μικροθρεπτικά συστατικά

Εμμανουήλ Δασενάκης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Χημείας

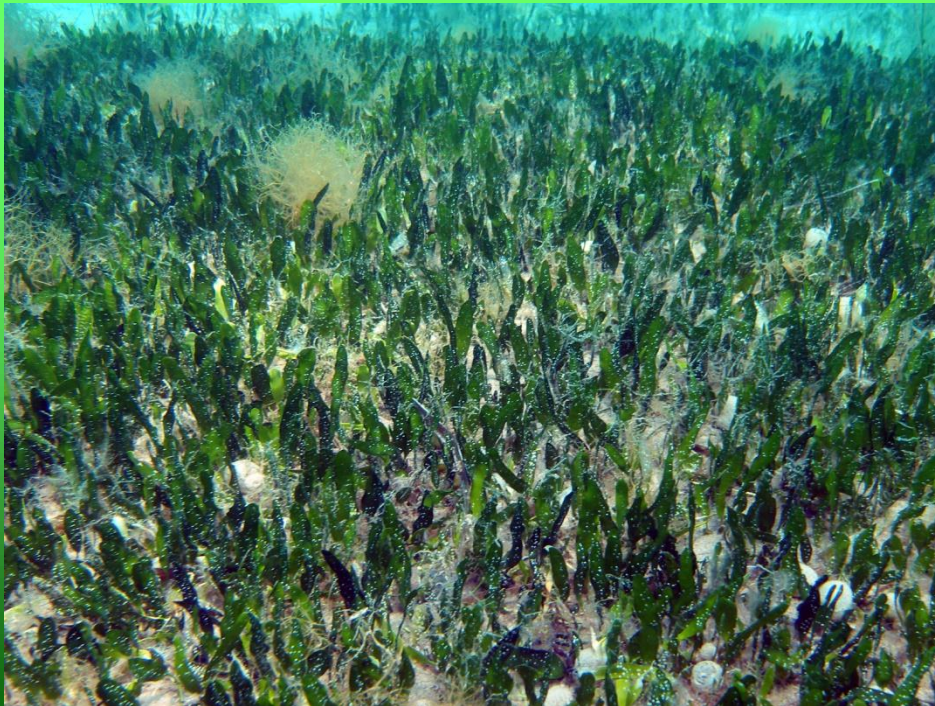
ΜΙΚΡΟΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ



All after Entwisle et al. (1997)

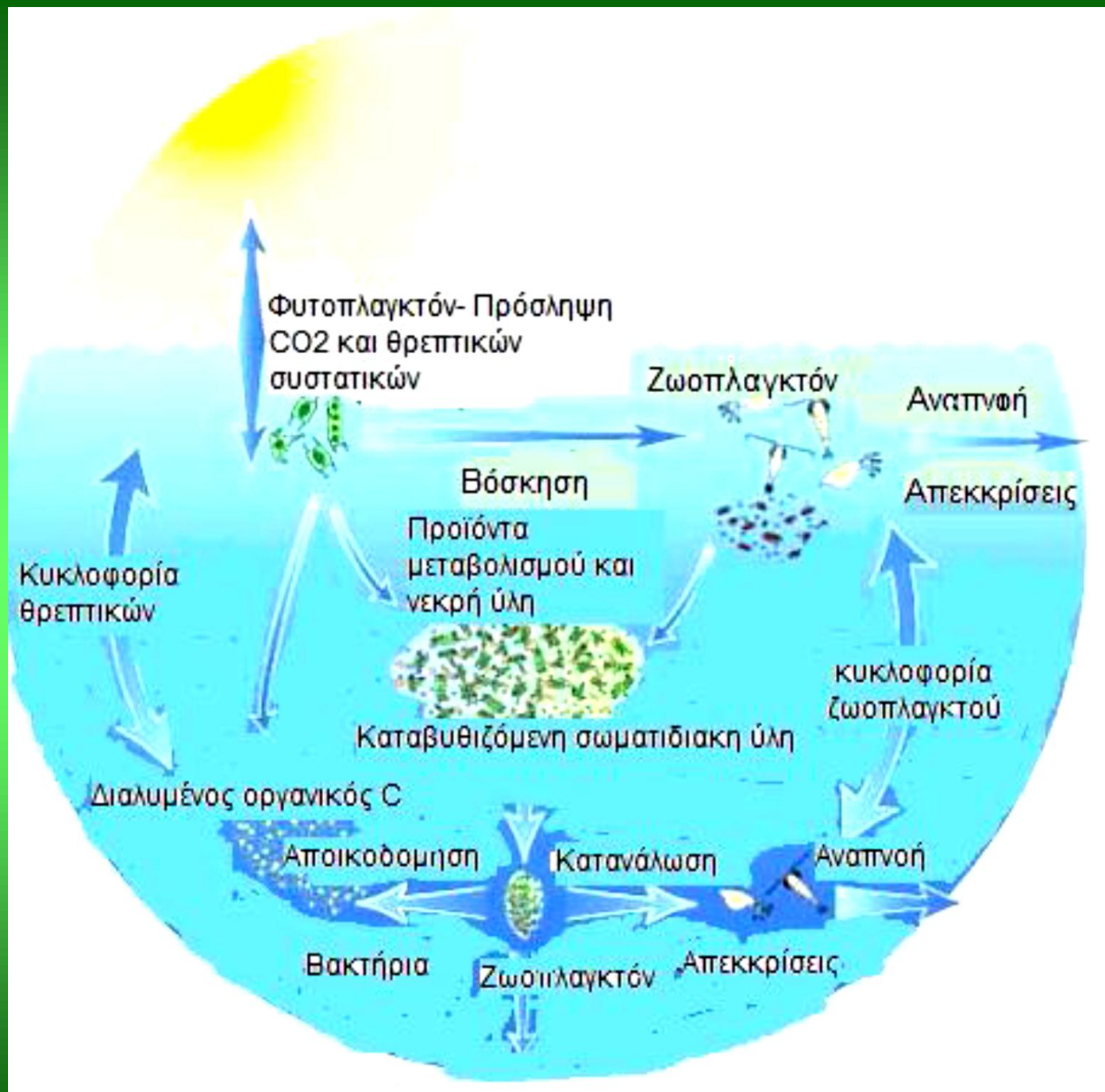
Plate 1/2

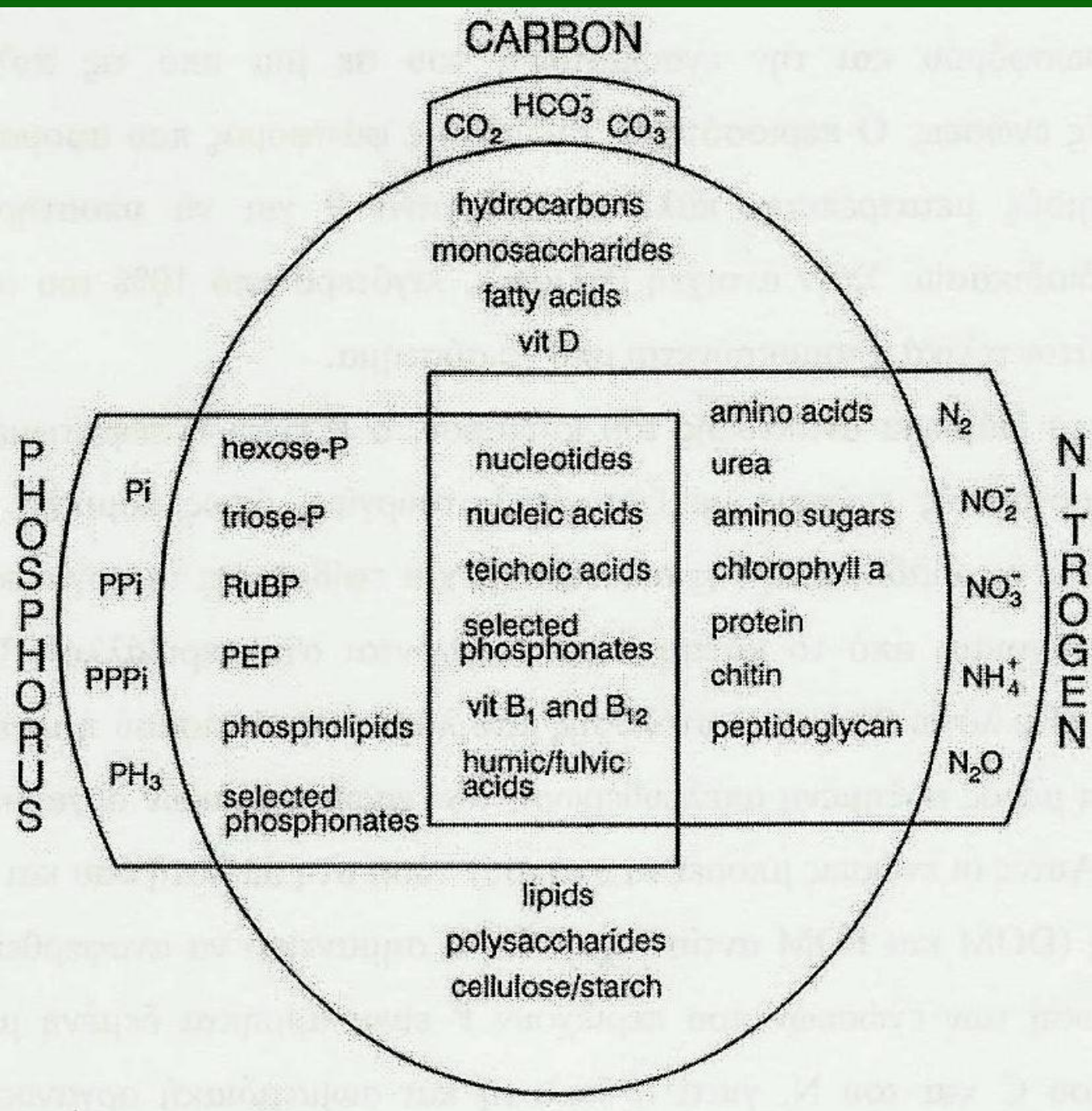
Α Ζ Ω Τ Ο
Φ Ω Σ Φ Ο Ρ Ο Σ
Π Υ Ρ Ι Τ Ι Ο

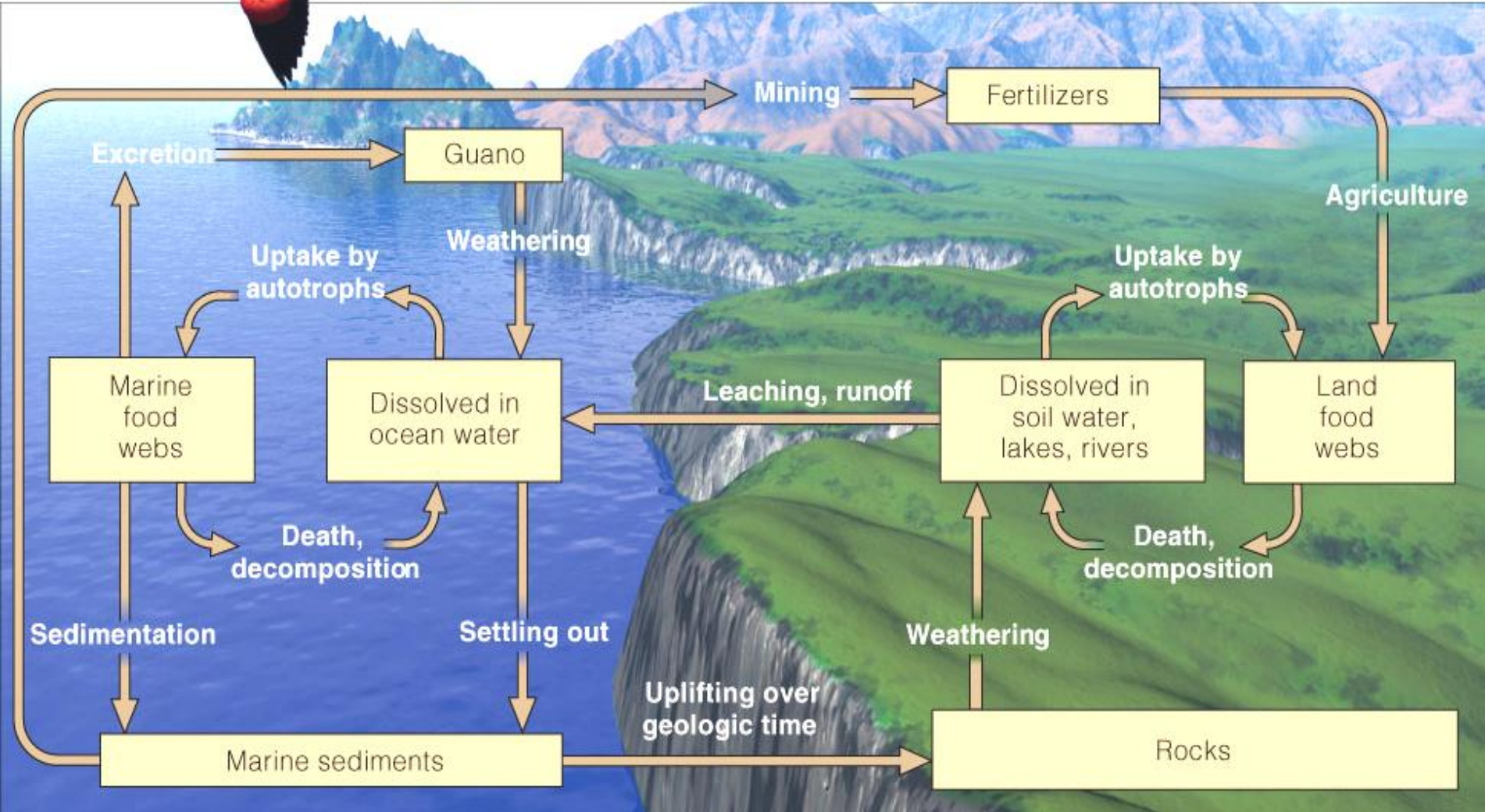
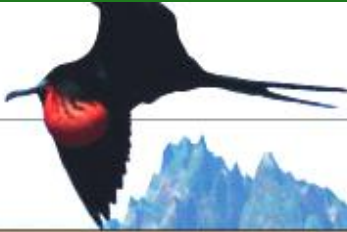


Essential Plant Nutrients: Sources and Functions

Nutrient	Source	Function
<i>Macronutrients</i>		
Carbon (CO ₂)	Atmosphere, decay	Biomass constituent
Hydrogen	Water	Biomass constituent
Oxygen	Water	Biomass constituent
Nitrogen (NO ₃ ⁻)	Decay, atmosphere (from nitrogen-fixing organisms), pollutants	Protein constituent
Phosphorus (phosphate)	Decay, minerals, pollutants	DNA/RNA constituent
Potassium	Minerals, pollutants	Metabolic function
Sulfur (sulfate)	Minerals	Proteins, enzymes
Magnesium	Minerals	Metabolic function
Calcium	Minerals	Metabolic function
<i>Micronutrients</i>		
B, Cl, Co, Cu, Fe, Mo, Mn, Na, Si, V, Zn	Minerals, pollutants	Metabolic function and/or constituent of enzymes

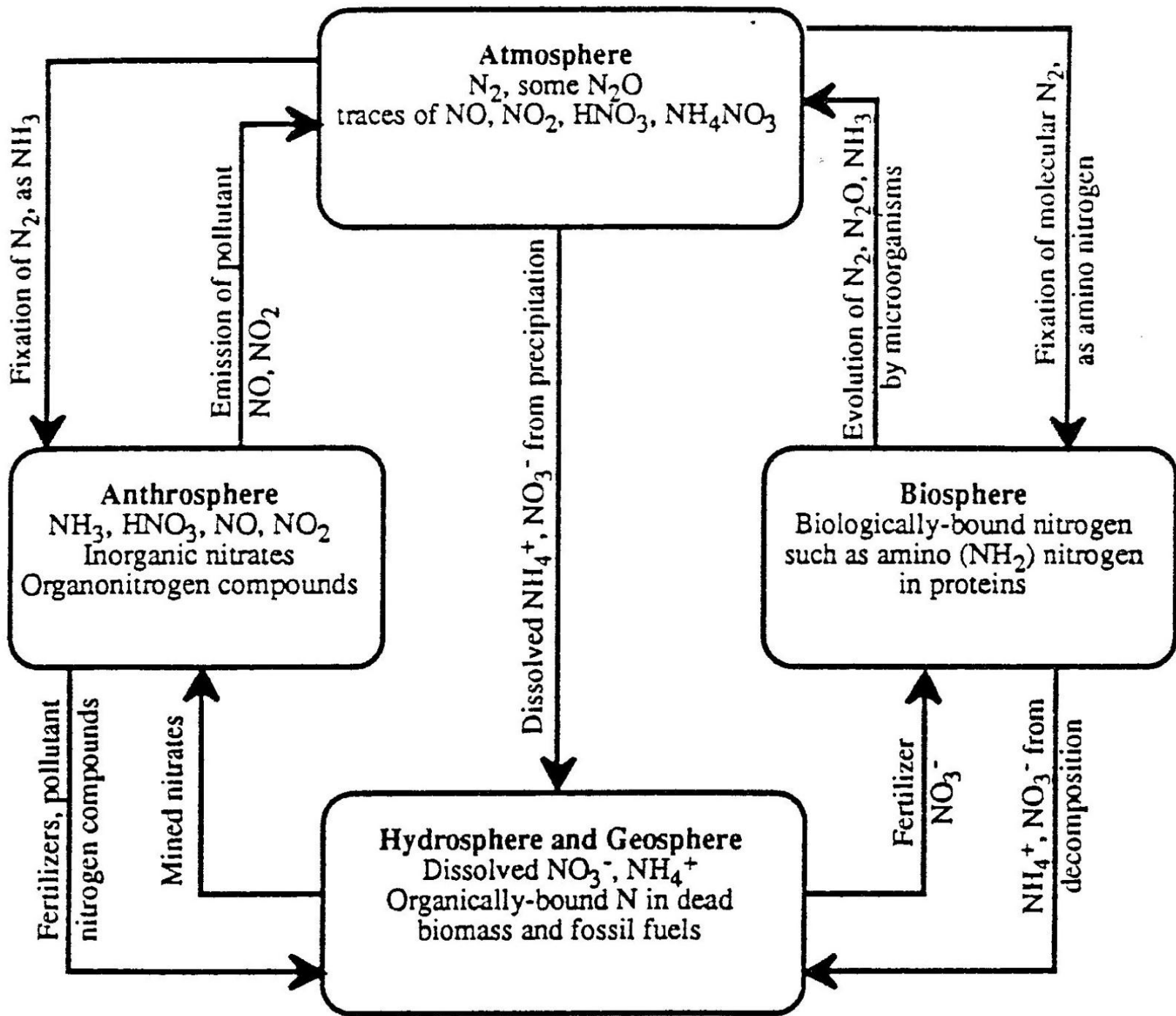


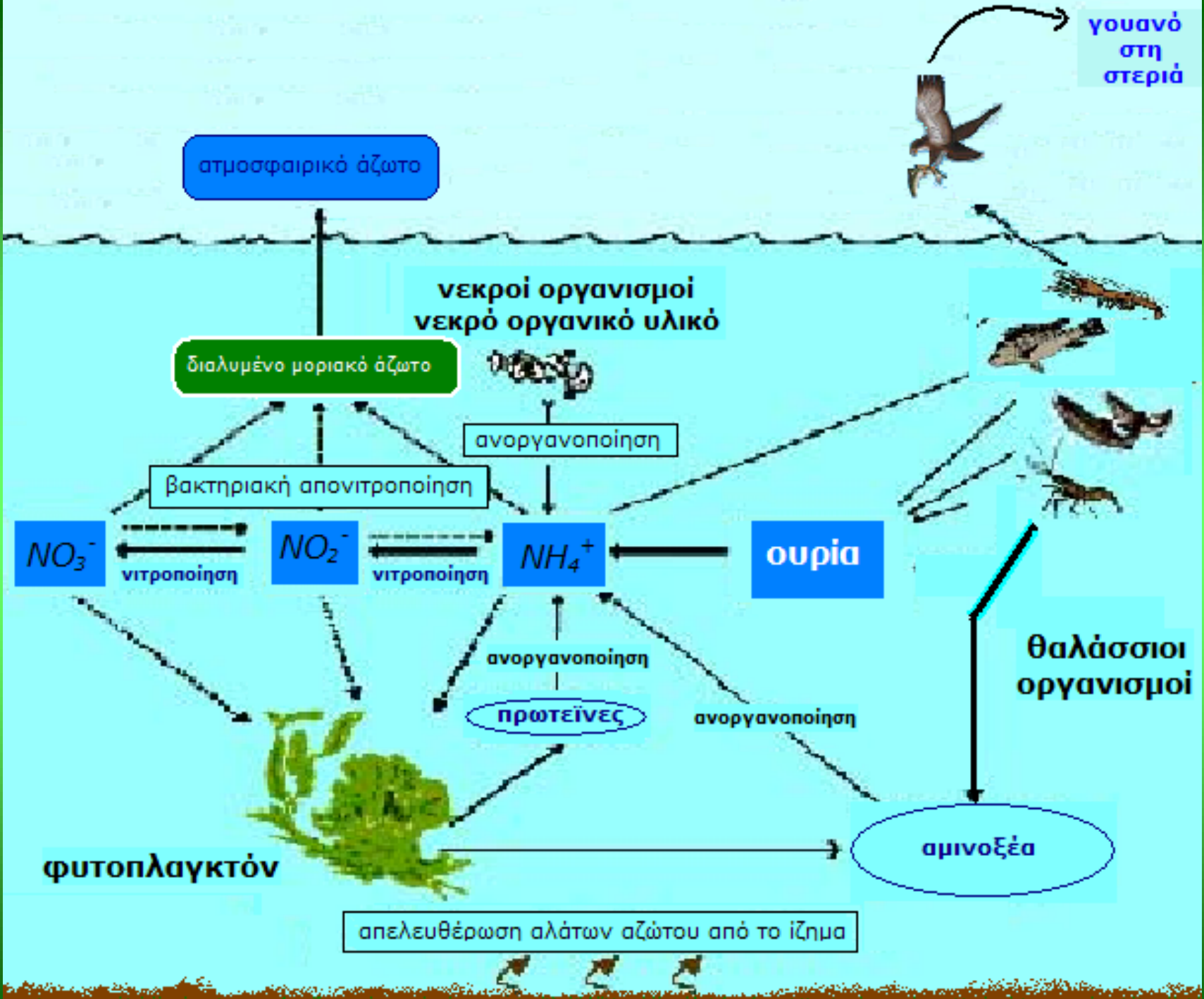




ΑΖΩΤΟ

- Στο υδάτινο περιβάλλον το διαλυμένο άζωτο συναντάται σε πολλές από τις εννέα οξειδωτικές καταστάσεις (-3 έως +5).
- Το **μοριακό άζωτο** (N_2) βρίσκεται σχεδόν στη μισή τιμή κορεσμού του και είναι, έτσι η επικρατέστερη μορφή στο θαλάσσιο νερό.
- Οι ενώσεις του αζώτου που συμμετέχουν σε μεγάλη έκταση στις βιολογικές διεργασίες είναι τα **νιτρικά** (NO_3^-), τα **νιτρώδη** (NO_2^-), τα **αμμωνιακά** (NH_4^+) καθώς και το οργανικό άζωτο και είναι και αυτές που προσδιορίζονται.
- Κυριότερη οργανική ένωση του αζώτου είναι η **ουρία** και ακολουθούν τα **αμινοξέα**.
- Μετά από το N_2 η κυριαρχούσα μορφή αζωτούχου ενώσεως σε pH μεγαλύτερο από 7 και pE μεγαλύτερο από 12 είναι τα νιτρικά, τα οποία κυμαίνονται - ανάλογα με την περιοχή και την εποχή - μεταξύ 1-500 $\mu g NO_3^- - N/l$ (0,07-35,7 $\mu mol/l$), τα νιτρώδη μεταξύ 0,1-50 $\mu g NO_2^- - N/l$ και η αμμωνία ή τα αμμωνιακά άλατα μεταξύ 1-50 $\mu g NH_3 - N/l$.
- Στο θαλάσσιο νερό μπορούν να υπάρξουν θεωρητικά και άλλες μορφές αζώτου, όπως **οξειδία αζώτου** ή βραχύβια μόρια (**υδροξυλαμίνη** και **υπονιτρώδες ιόν**), των οποίων όμως η εξακρίβωση δεν έχει επιτευχθεί.





ατμοσφαιρικό άζωτο

διαλυμένο μοριακό άζωτο

νεκροί οργανισμοί
νεκρό οργανικό υλικό

ανοργανοποίηση

βακτηριακή απονιτροποίηση

NO₃⁻

NO₂⁻

NH₄⁺

ουρία

ανοργανοποίηση

πρωτεΐνες

ανοργανοποίηση

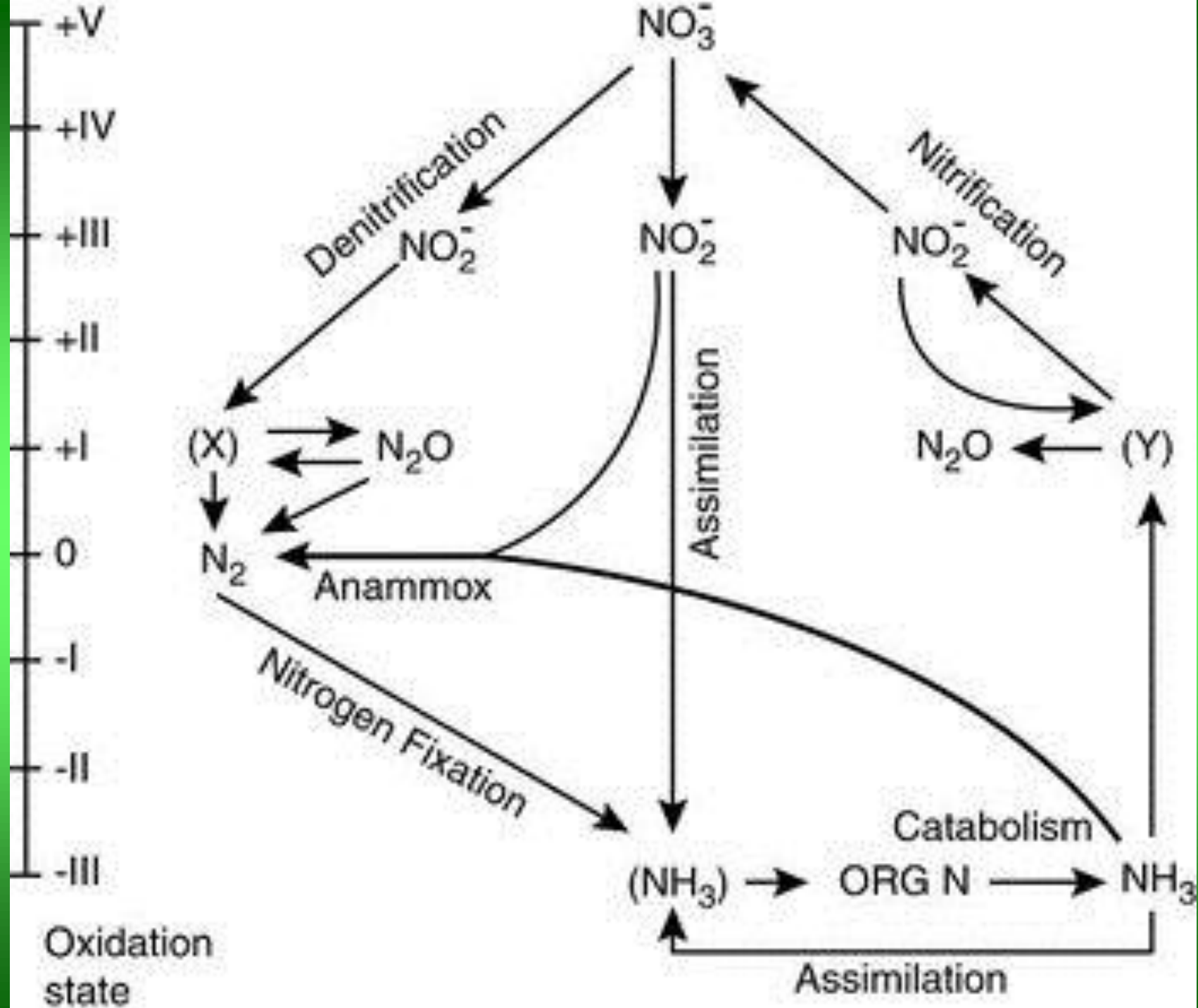
θαλάσσιοι οργανισμοί

αμινοξέα

φυτοπλαγκτόν

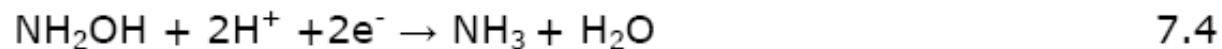
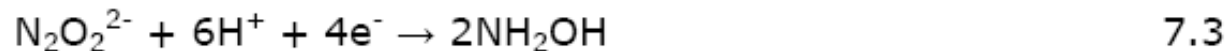
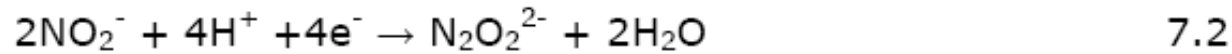
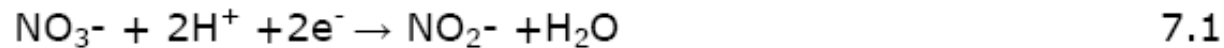
απελευθέρωση αλάτων αζώτου από το ίζημα

γουανό
στη
στεριά

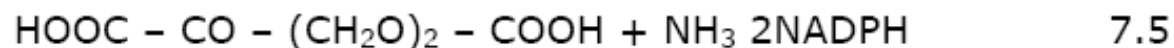


Η αφομοίωση του αζώτου - Η «οικοδόμηση»

Η αναγωγή μέσα στους οργανισμούς γίνεται σε τέσσερα στάδια με ενδιάμεση παραγωγή αντίστοιχα: νιτρωδών, υπονιτρωδών & υδροξυλαμίνης.



αμμωνία ακολουθως, ασχέτως προελεύσεως, αντιδρά με ακετογλουταρικό οξύ, παρουσία ανηγμένου φωσφορικού αδένινο - νικοτινάμιδο- δινουκλεοτιδίου (NADPH), και δίνει γλουταμικό οξύ.:



κετογλουταρικό οξύ



Γλουταμικό οξύ

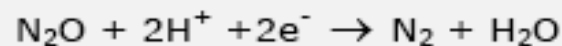
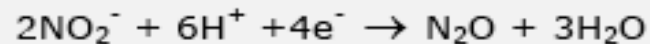
γλουταμίνη

αφυδρογονάση

Τα αμινοξέα που χρειάζονται για τη δόμηση των πρωτεϊνών των φυκών (κάπου 20) σχηματίζονται στη συνέχεια από το γλουταμικό οξύ.

ΑΠΟΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

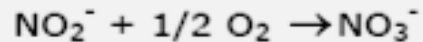
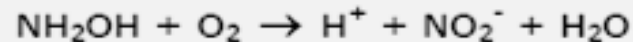
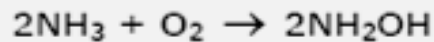
Σε αναερόβια ή ανοξικά ιζήματα η διαδικασία της απονιτροποίησης διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο με κύριο τελικό προϊόν το αέριο μοριακό άζωτο. Η αναγωγική διαδρομή των νιτρικών μπορεί να γραφεί ως εξής:



Η παραγωγή υποξειδίου του αζώτου (N_2O) κατά τη διαδικασία της απονιτροποίησης αντιπροσωπεύει την κυριότερη διεργασία μέσω της οποίας το N_2O απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από τους ωκεανούς (Codispoti L.A. et al., 2001).

Η διαδικασία της απονιτροποίησης αποτελεί ουσιαστικά ένα είδος αναερόβιας αναπνοής η οποία χρησιμοποιείται από ένα μεγάλο αριθμό ετερότροφων οργανισμών και απαιτεί τέσσερα διαφορετικά είδη μεταλλοενζύμων: τη ρεδουκτάση των νιτρικών, περιπλασμική -NAP- ή δεσμευμένη στη μεμβράνη -NAR-, η οποία περιέχει σίδηρο και μολυβδαίνιο, τη ρεδουκτάση των νιτρικών (NIR) η οποία περιέχει είτε χαλκό, είτε σίδηρο, τη ρεδουκτάση του μονοξειδίου του αζώτου (NOR) η οποία περιέχει σίδηρο και τη ρεδουκτάση του υποξειδίου του αζώτου (N_2OR) η οποία περιέχει χαλκό¹⁸⁴.

ΝΙΤΡΟΠΟΙΗΣΗ



Η διαδικασία της νιτροποίησης επιτελείται όπως έχει προαναφερθεί από δύο ομάδες χημο-λίθο-αυτότροφων βακτηρίων: τα αμμωνιοποιητικά (Nitrosomonas, Nitrosococcus) και τα νιτροποιητικά (Nitrobacter, Nitrococcus), βακτήρια. Τα αμμωνιοποιητικά βακτήρια χρησιμοποιούν τη μονοοξυγενάση της αμμωνίας (AMO), η οποία περιέχει σίδηρο και χαλκό, προκειμένου να οξειδώσουν το αμμώνιο προς το ενδιάμεσο προϊόν, την υδροξυλαμίνη και ακολούθως την οξειδοορεδοκτάση της υδροξυλαμίνης (HAO), η οποία περιέχει σίδηρο, προκειμένου να οξειδώσουν την υδροξυλαμίνη προς νιτρώδη. Στο τελικό στάδιο τα νιτροποιητικά βακτήρια οξειδώνουν τα νιτρώδη ιόντα προς νιτρικά μέσω ενός ενζύμου Fe/Mo, της οξειδοορεδοκτάσης των νιτρωδών²⁺.

Παρ' όλα αυτά φαίνεται ότι υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί νιτροποίησης, όπως:

- α) καταλυτική οξείδωση με χρήση οργανικών ουσιών που παράγονται από τα βακτήρια, έξω από τον ίδιο τους τον οργανισμό,
- β) φωτοχημική οξείδωση με την επίδραση της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας,
- γ) οξείδωση από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο στα νερά των ποταμών, λιμνών και των επιφανειακών στρωμάτων της θάλασσας.

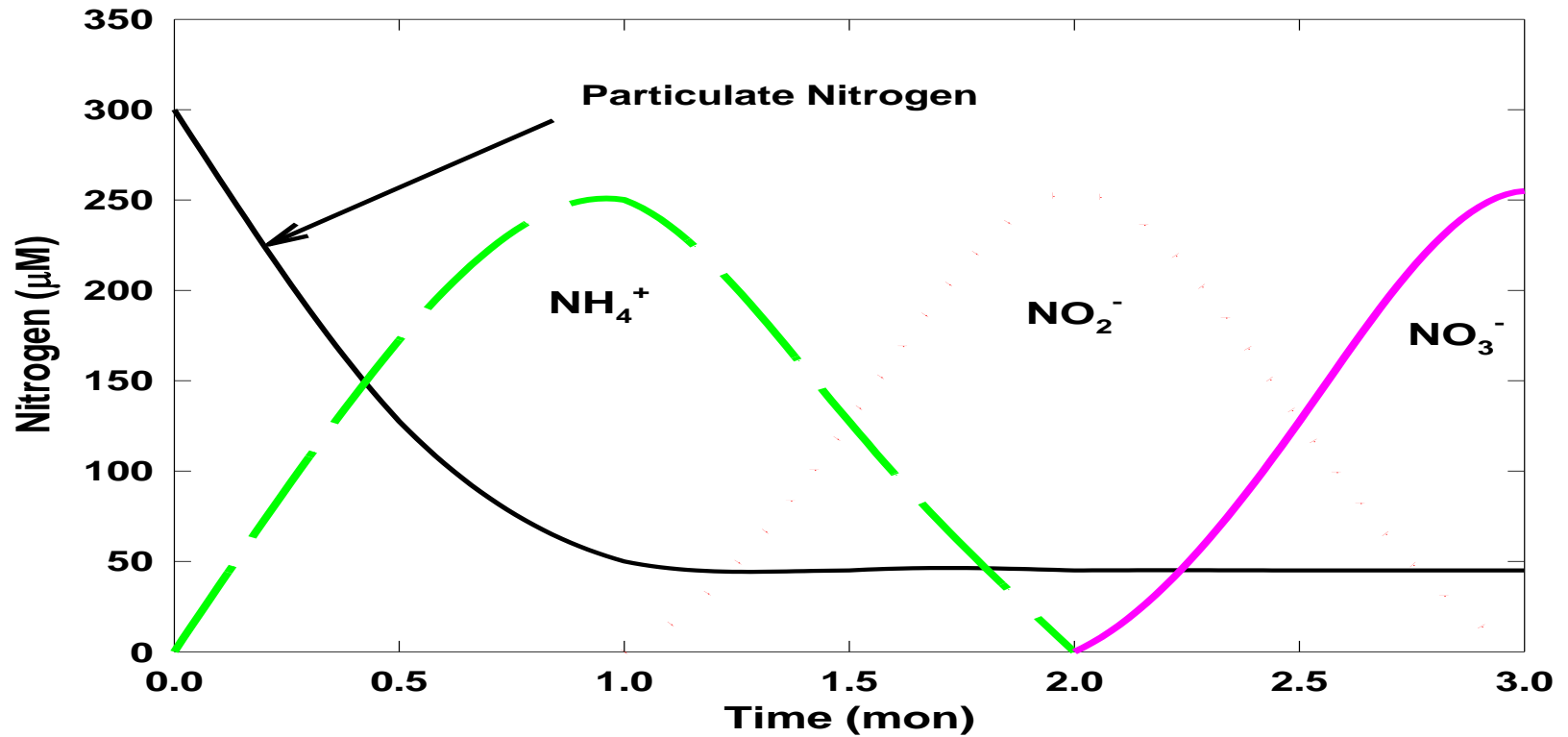
Energy and reducing power required for assimilation of various N compounds

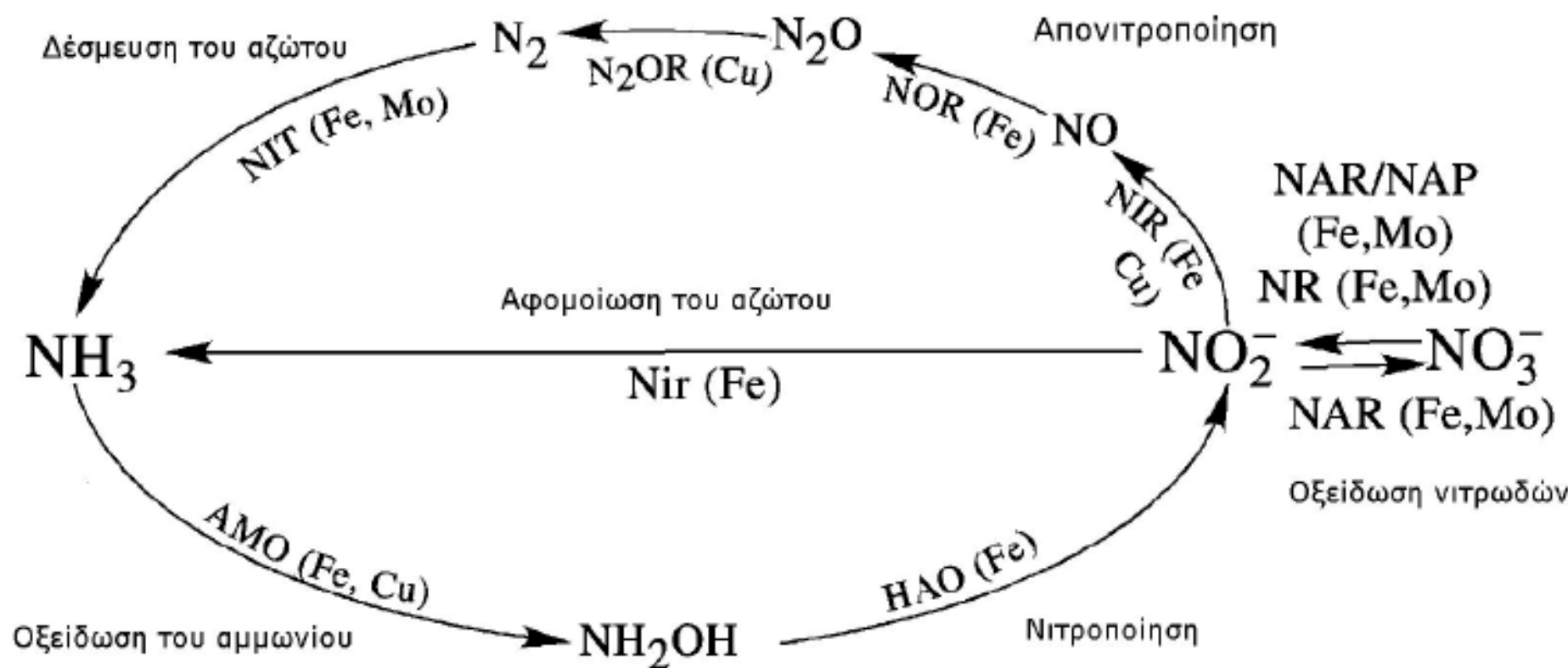
Substrate	Enzyme	Reaction	Electrons	ATP
N_2	Nitrogenase	$\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_4^+$	8	16
NO_3^-	Nitrate reductase	$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$	2	0
NO_2^-	Nitrite reductase	$\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$	6	0
NH_4^+	Glutamine synthetase Glutamate synthetase	$\text{NH}_4^+ \rightarrow$ Glutamate	2	1

Πιθανές αντιδράσεις αναερόβιας οξειδωσης

Χημική διεργασία	Αντίδραση	ΔG (pH=7)
1. Απνοτοξ	$5/3\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \rightarrow 4/3\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + 2/3\text{H}^+$	-421
2. Σύζευξη απονιτροποίησης - οξειδωσης σουλφιδίων	$\text{NO}_3^- + 5/8\text{FeS} + \text{H}^+ \rightarrow 1/2\text{N}_2 + 5/8\text{SO}_4^{2-} + 5/8\text{Fe}^{2+} + 1/2\text{H}_2\text{O}$	-419
3. Σύζευξη απονιτροποίησης - οξειδωσης Fe^{2+}	$\text{NO}_3^- + 5\text{Fe}^{2+} + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{Fe}(\text{OH})_3 + 1/2\text{N}_2 + 4\text{H}^+$	-319
4. Σύζευξη απονιτροποίησης - οξειδωσης Mn^{2+}	$5/2\text{Mn}^{2+} + \text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5/2\text{MnO}_2 + 1/2\text{N}_2 + 4\text{H}^+$	-49
5. Αναερόβια νιτροποίηση	$4\text{MnO}_2 + \text{NH}_4^+ + 6\text{H}^+ \rightarrow 4\text{Mn}^{2+} + \text{NO}_3^- + 5\text{H}_2\text{O}$	-175
6. Σύζευξη αναγωγής Mn και οξειδωτικής παραγωγής N_2	$3/2\text{MnO}_2 + \text{NH}_4^+ + 2\text{H}^+ \rightarrow 3/2\text{Mn}^{2+} + 1/2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	-224

Αποδόμηση οργανικού N





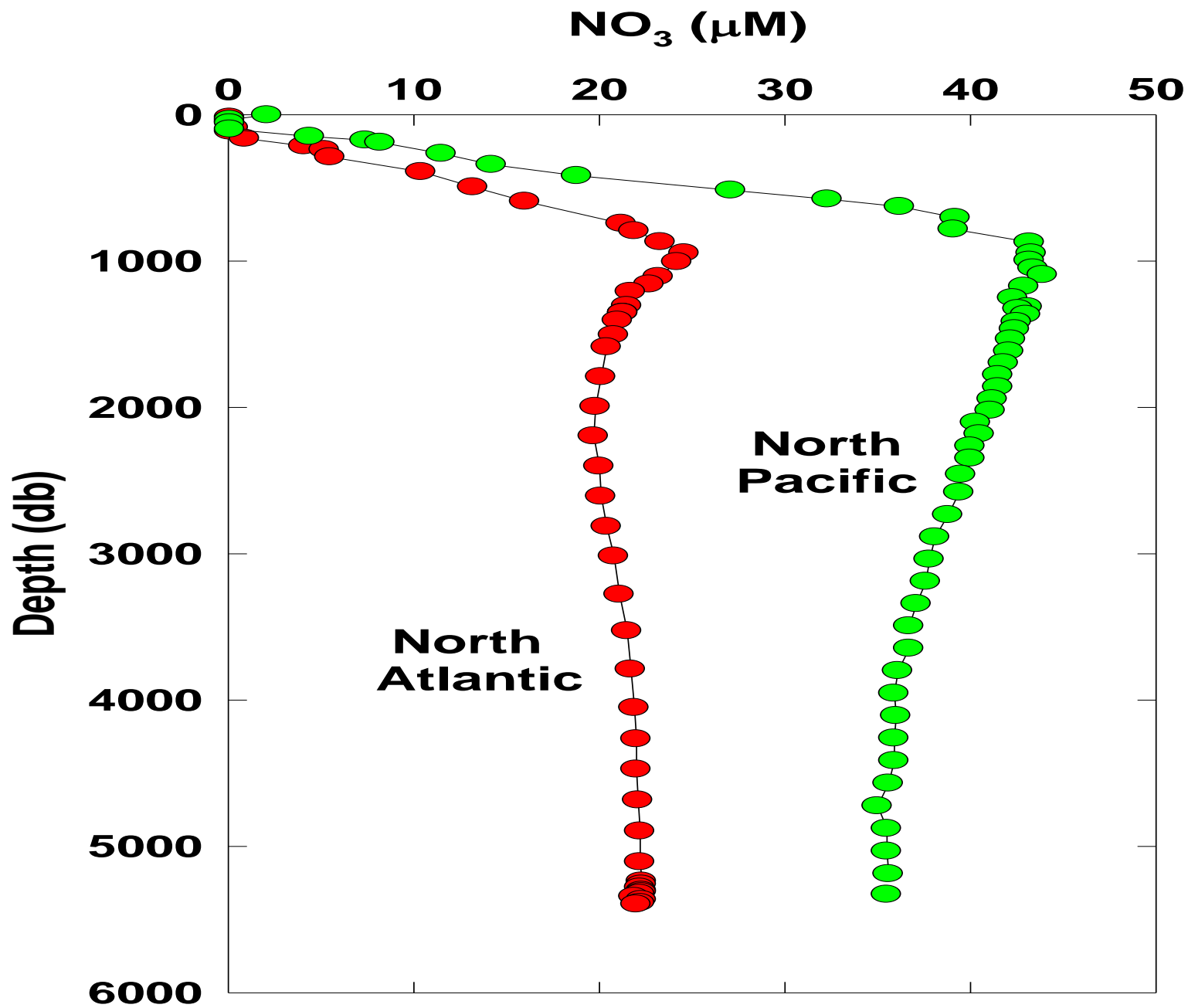
Σχήμα 2.10: Ο κύκλος του αζώτου με τους απαιτούμενους ενζυμικούς καταλύτες κάθε σταδίου¹⁸⁴ (Morel F.M.M. et al., 2003)

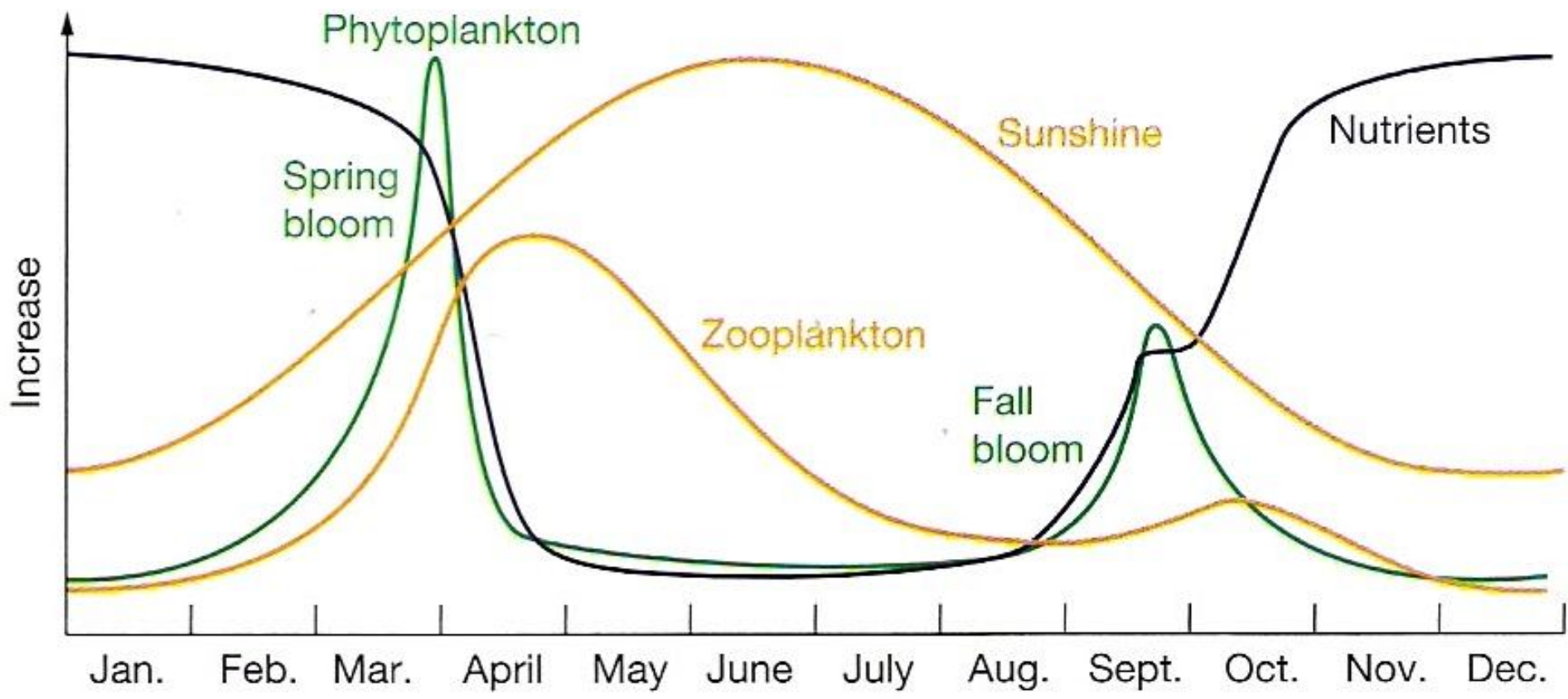
Global Nitrogen Budget

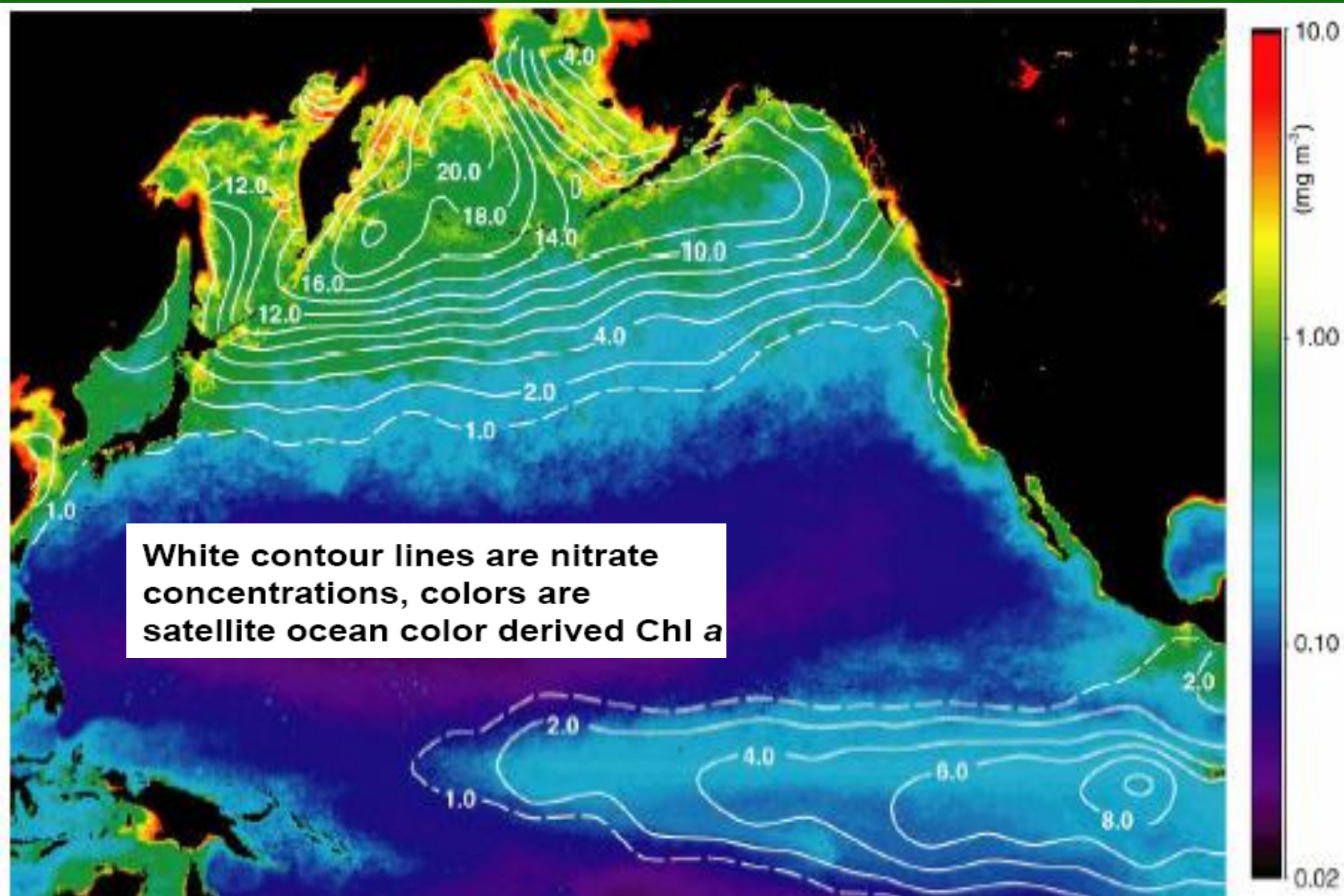
<i>Process</i>	<i>Nitrogen Flux (TgN yr⁻¹)</i>
Sources	120 ± 50
<i>Pelagic N₂ fixation</i>	
<i>Benthic N₂ fixation</i>	15 ± 10
<i>River input (DON)</i>	35 ± 10
<i>River input (PON)</i>	45 ± 10
<i>Atmospheric deposition</i>	50 ± 20
<i>Total Sources</i>	265 ± 55
Sinks	1
<i>Organic N export</i>	
<i>Benthic denitrification</i>	180 ± 50
<i>Water column denitrification</i>	65 ± 20
<i>Sediment burial</i>	25 ± 10
<i>N₂O loss to atmosphere</i>	4 ± 2
<i>Total Sinks</i>	275 ± 55

Oceanic concentrations, inventories and turnover of nitrogen

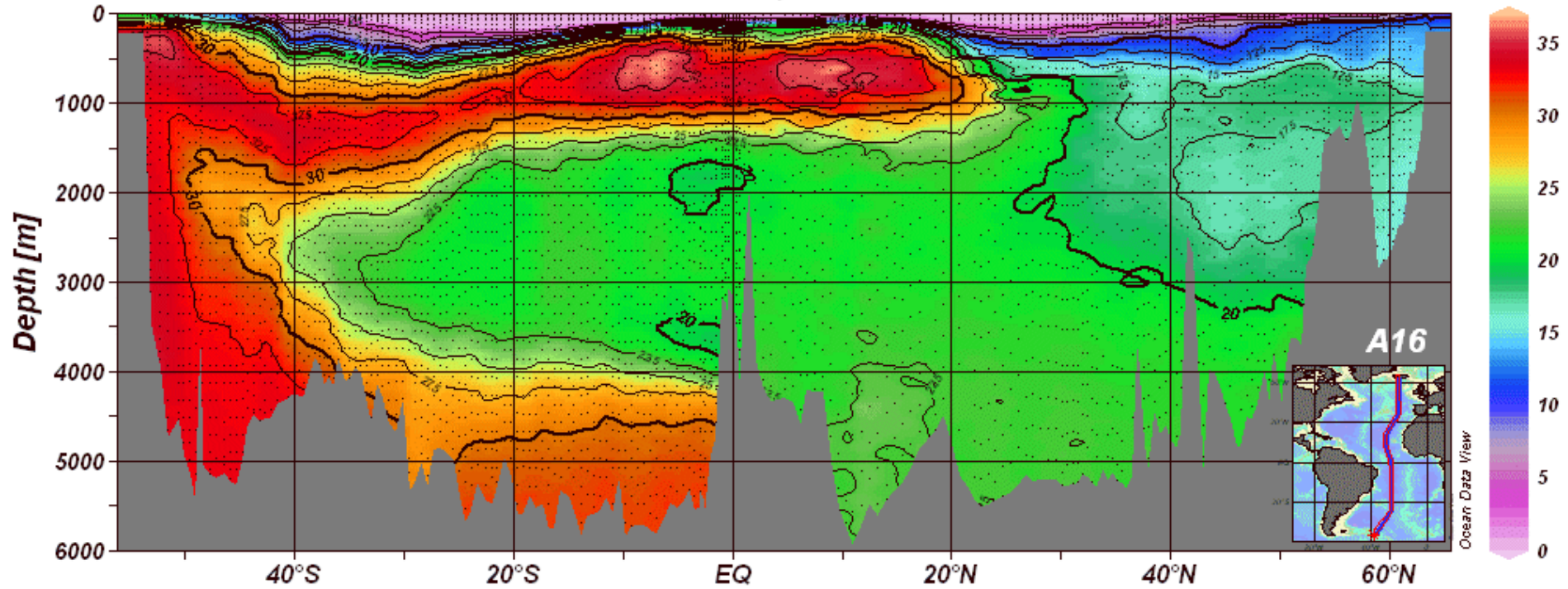
Species	Mean Euphotic zone ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Mean aphotic zone ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Oceanic inventory (Tg N)	Turnover rate (Tg N yr ⁻¹)	Turnover time (years)
Nitrate NO_3^-	7	31	5.8×10^5	1570	370
Nitrite NO_2^-	0.1	0.006	160		
Ammonium NH_4^+	0.3	0.01	340	7000	0.05
Dissolved Organic Nitrogen DON	6	4	7.7×10^4	3400	20
Particulate Nitrogen PN	0.4	0.01	400	8580	0.05
Nitrous Oxide N_2O	0.01	0.04	750	6	125
Dinitrogen gas N_2	450	575	1×10^7	200	54,000

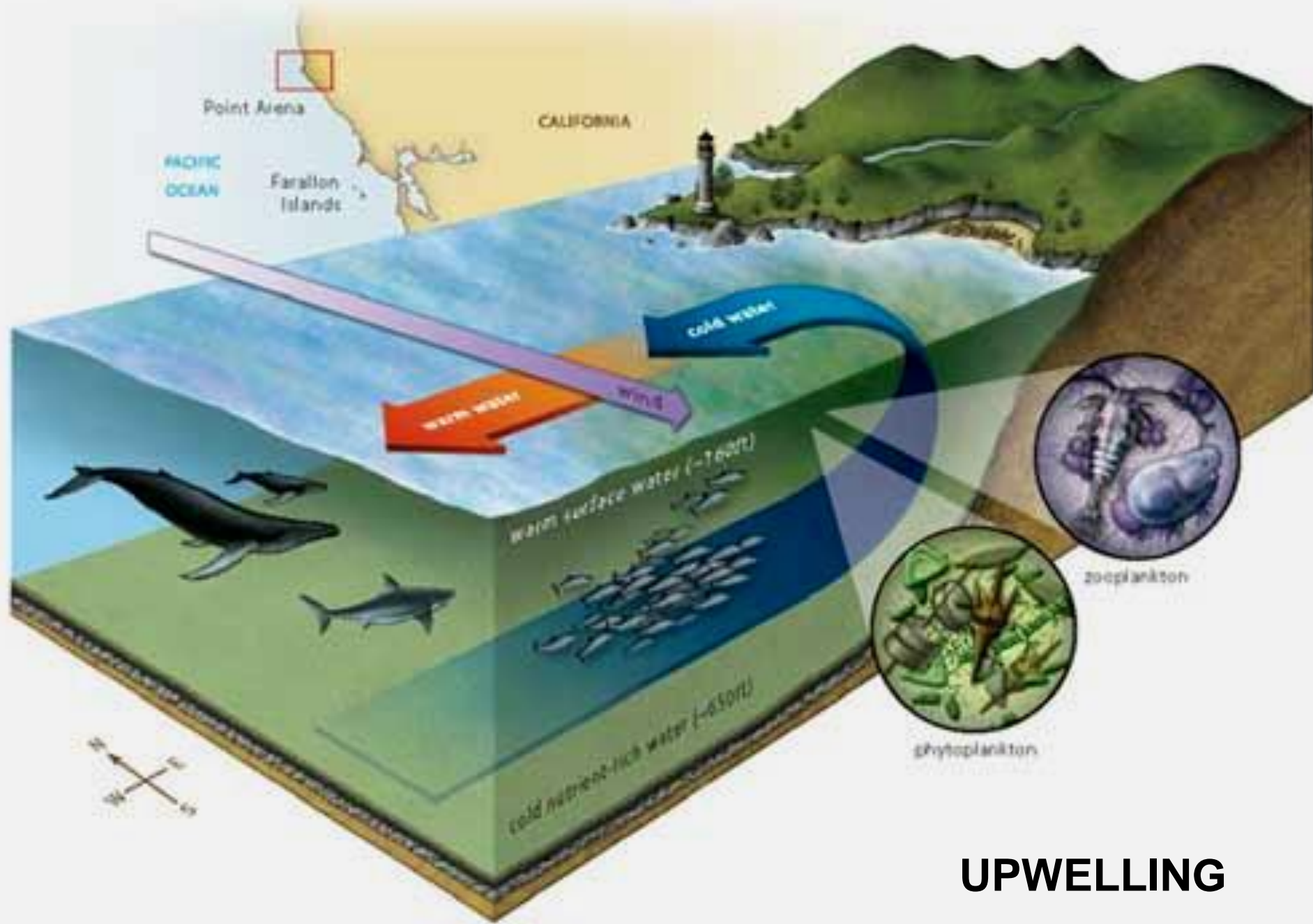






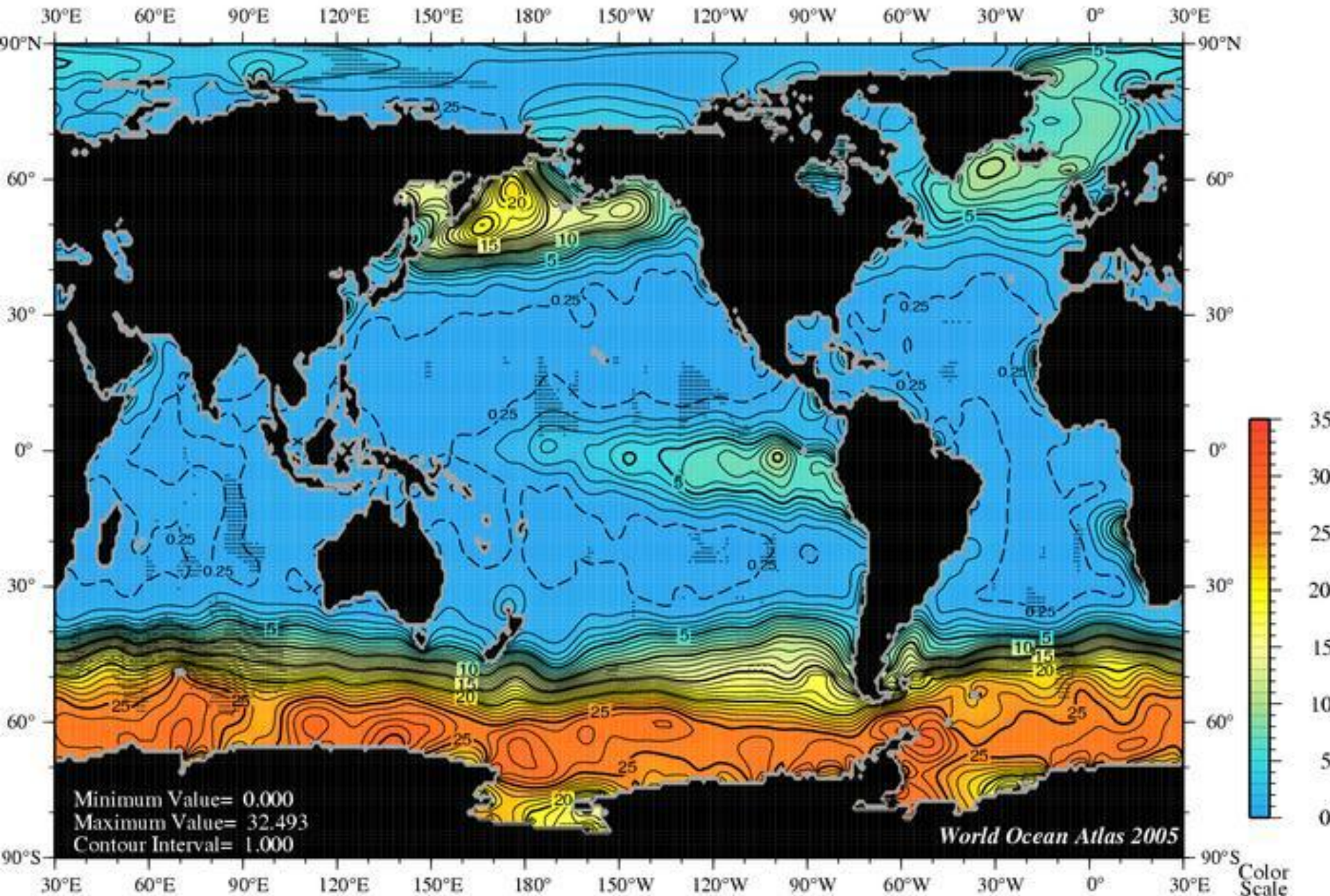
Nitrate [$\mu\text{mol/kg}$]





UPWELLING

Annual nitrate [$\mu\text{mol/l}$] at the surface.

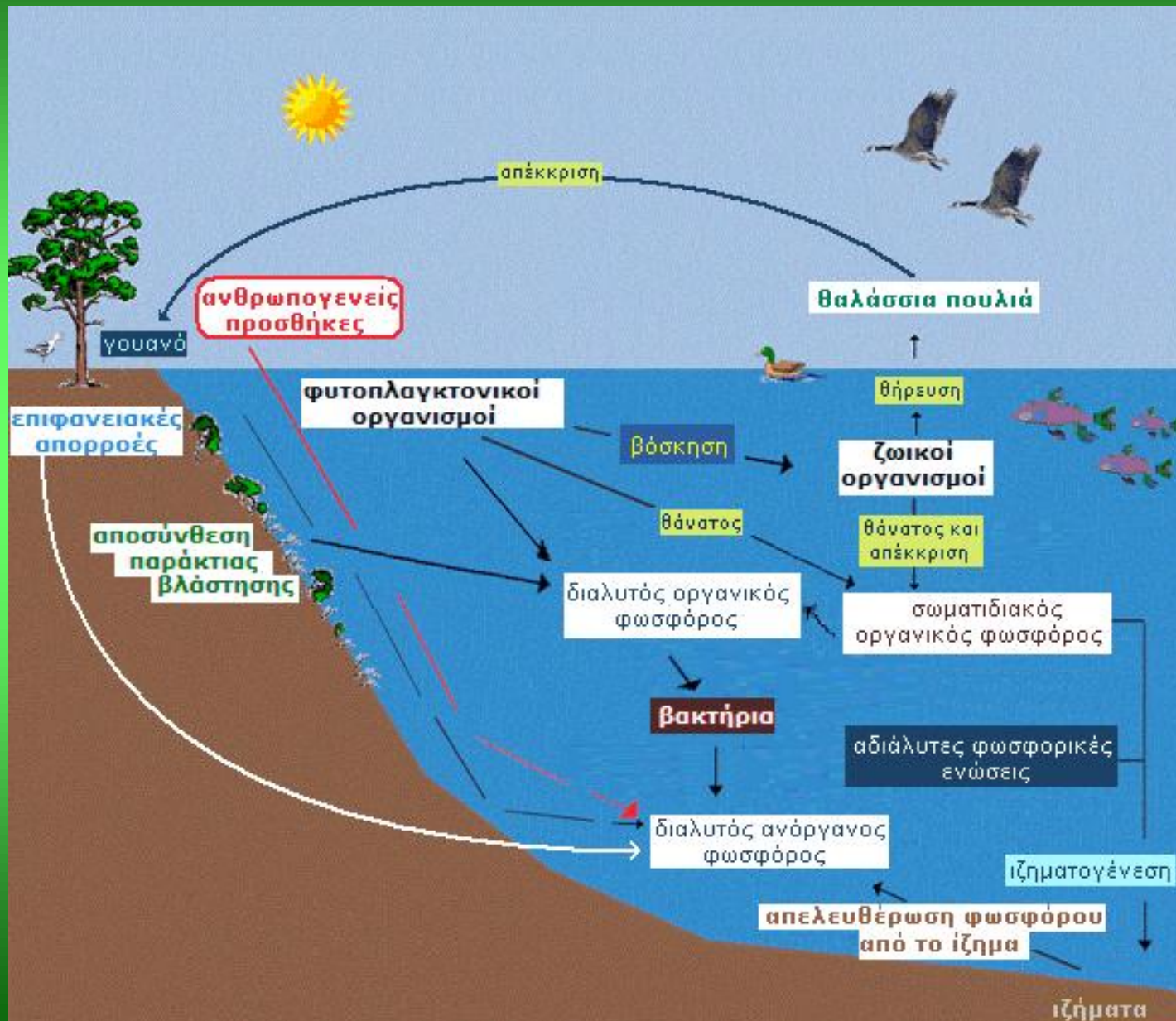


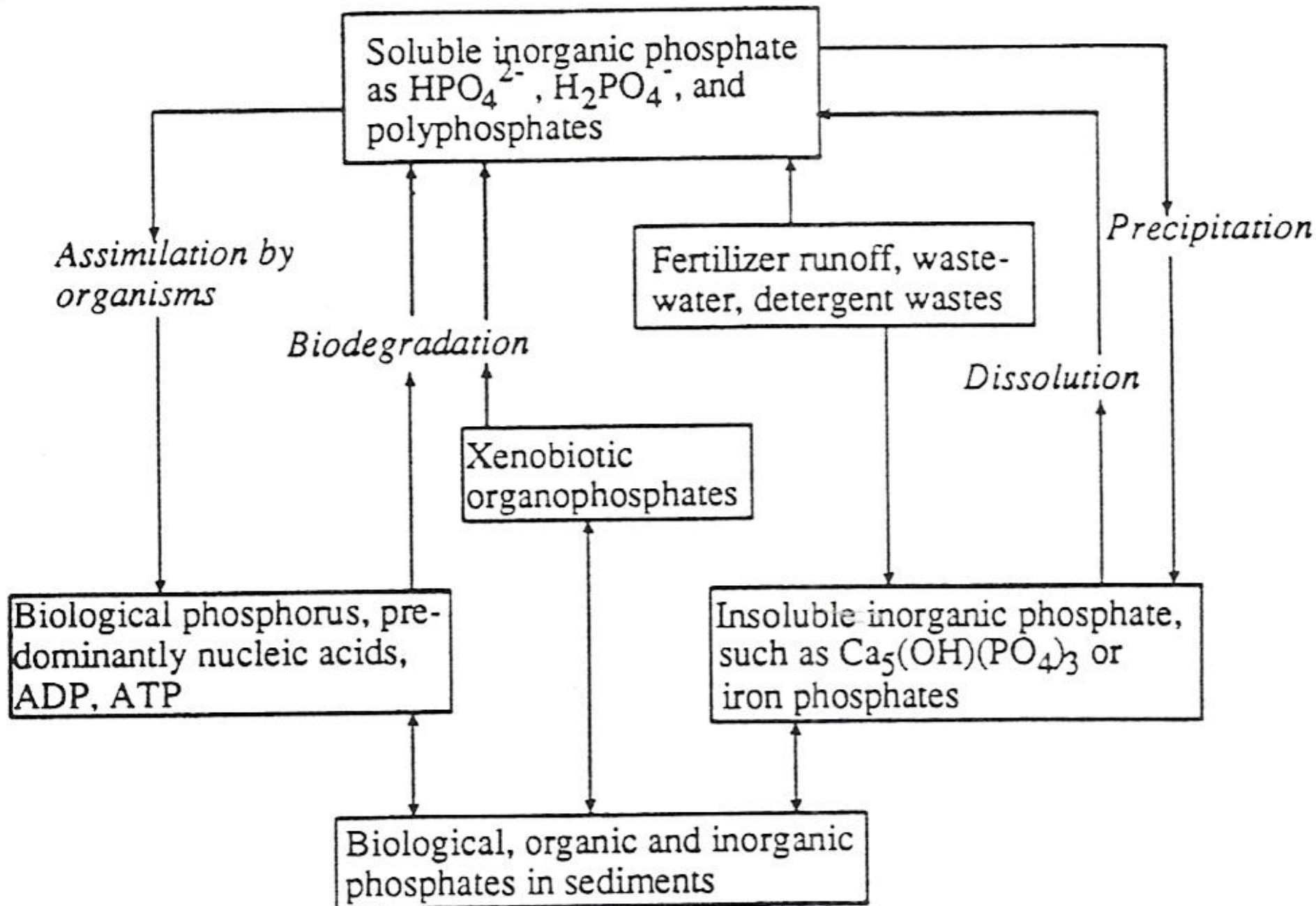
ΦΩΣΦΟΡΟΣ

Ο **φωσφόρος** στο θαλάσσιο περιβάλλον απαντά σχεδόν εξ' ολοκλήρου στην οξειδωτική κατάσταση +5, σε ποικιλία μορφών, τόσο διαλυτών όσο και σωματιδιακών.

Σε θαλασσινό νερό συνηθισμένης αλατότητας, με pH~8,0 και θερμοκρασία 20 0C, το **87%** του φωσφόρου απαντά ως **μονόξινα φωσφορικά**, το **12%** ως **φωσφορικά** και μόλις το **1%** ως **δισόξινα φωσφορικά**, ενώ το ποσοστό του αδιάστατου φωσφορικού οξέος θεωρείται αμελητέο. Από τις ποσότητες αυτές, το **99,6% των φωσφορικών** και το **44% των δισόξινων φωσφορικών** βρίσκονται με τη μορφή **ιονικών ζευγών** με κατιόντα, όπως το ασβέστιο και το μαγνήσιο, ενώ οι υπόλοιπες ποσότητες απαντούν πιθανώς ως ελεύθερα ιόντα. **Πολυφωσφορικά** και **πυροφωσφορικά** ιόντα δεν ανιχνεύονται στο θαλασσινό νερό, αλλά πολυφωσφορικά ιόντα υπάρχουν στις εκβολές των ποταμών και τα παράκτια ύδατα, ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών ρυπάνσεων από απορρυπαντικά.

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΦΩΣΦΟΡΟΥ





Επιπλέον, σημαντικό τμήμα των διαλυτών φωσφορικών ενώσεων προέρχεται από οργανικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές είναι **φωσφορικοί εστέρες σακχάρων, φωσφολιπίδια, φωσφονουκλεοτίδια** καθώς και προϊόντα αποσύνθεσης μεταβολικών προϊόντων διαφόρων οργανισμών, τα οποία απαντούν κυρίως στα ανώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης.

Ο **σωματιδιακός φώσφορος** αποτελείται κατά 30-60% από ορθοφωσφορικά, ενώ το οργανικό κλάσμα, που αποτελεί το 25-57% του ολικού σωματιδιακού φωσφόρου, συνίσταται κυρίως από **RNA, DNA, πολυφωσφορικά** και μερικές φωσφοπρωτεΐνες.

Μέρος των ανόργανων φωσφορικών είναι δεσμευμένο στα πηλώδη ορυκτά που βρίσκονται εν αιώρηση στα παράκτια ύδατα, ενώ σε μορφή **αιωρημάτων** απαντούν επίσης **συσσωματώματα φωσφορικού ασβεστίου και φωσφορικού σιδήρου**

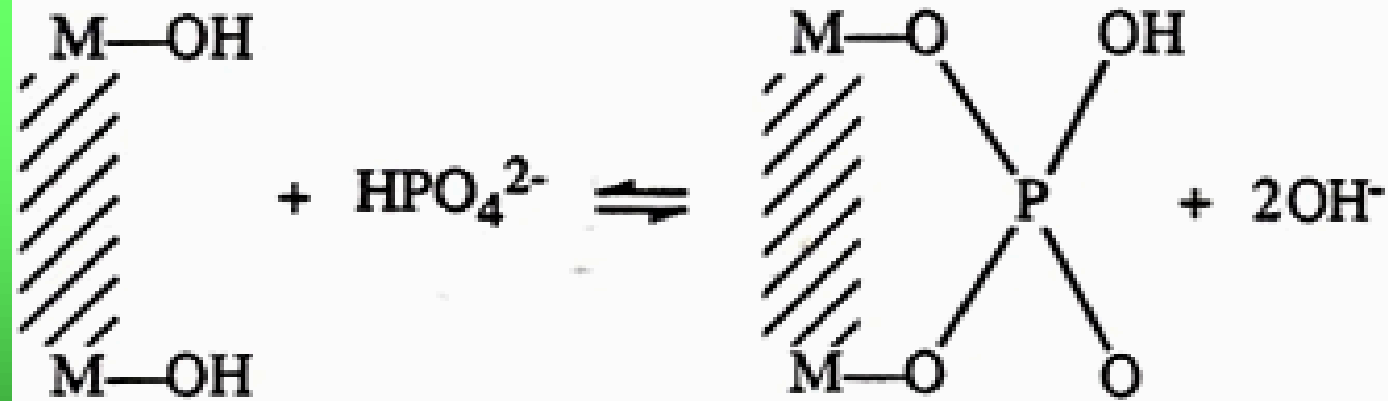
Ο φωσφόρος εισέρχεται στο θαλάσσιο περιβάλλον κυρίως μέσω των ποταμών. Το κύριο κλάσμα του είναι σε σωματιδιακή μορφή, το οποίο καταβυθίζεται κοντά στις εκβολές.

Η συγκέντρωση του διαλυτού φωσφόρου διαφοροποιείται από διεργασίες προσρόφησης – εκρόφησης, πλαγκτονικής πρόσληψης και διαλυτοποίησης του σωματιδιακού φωσφόρου με οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις

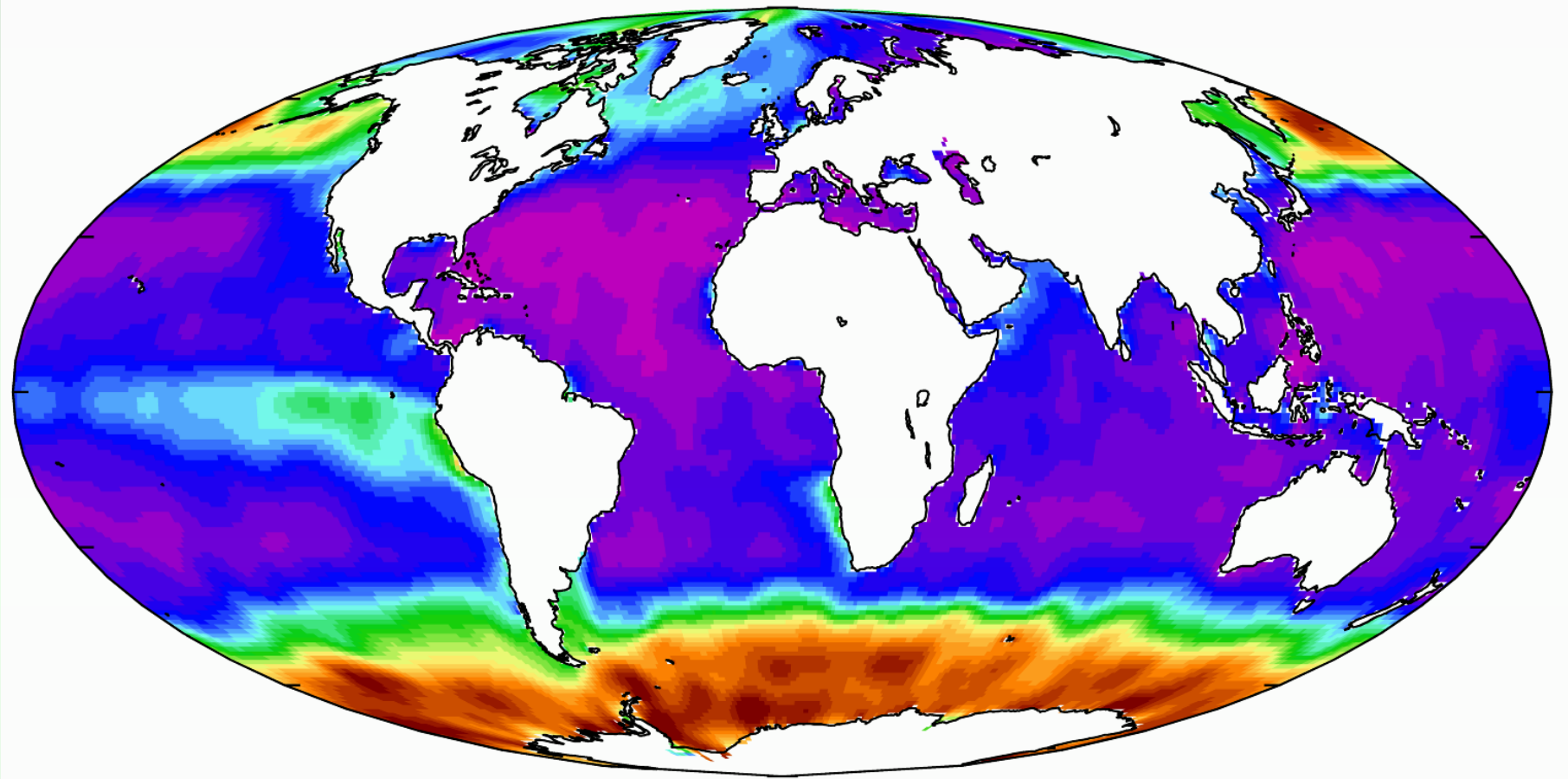
Με την απόπλυση του εδάφους, ο φωσφόρος μπορεί να μεταφερθεί στους αποδέκτες προσροφημένος σε σωματίδια του εδάφους και οργανική ύλη.

Επίσης, ο φωσφόρος μεταφέρεται μέσω της ατμόσφαιρας, αφού προσροφάται σε λεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια. Έτσι, εισέρχεται στα παράκτια ύδατα με την ξηρή ατμοσφαιρική απόθεση και τις βροχοπτώσεις .

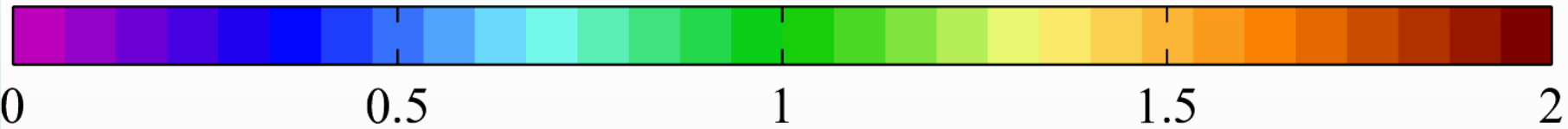
- Η απομάκρυνση των φωσφορικών από την υδάτινη στήλη πραγματοποιείται με μηχανισμούς προσρόφησης και η ποσότητα των φωσφορικών που απομακρύνεται εξαρτάται από τη συγκέντρωσή τους στην υδάτινη στήλη από την επιφάνεια του ιζήματος, που είναι διαθέσιμη για την προσρόφηση.

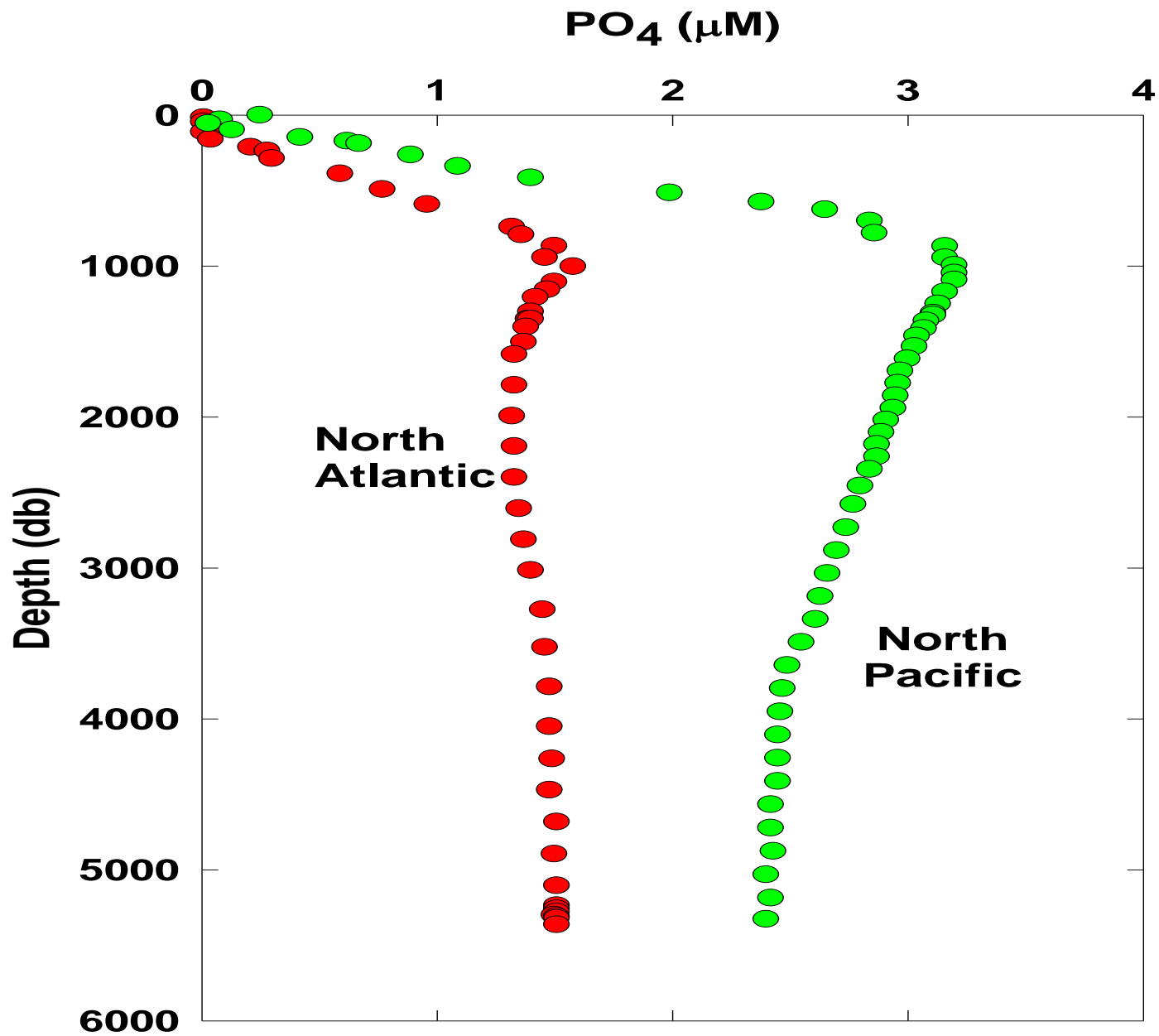


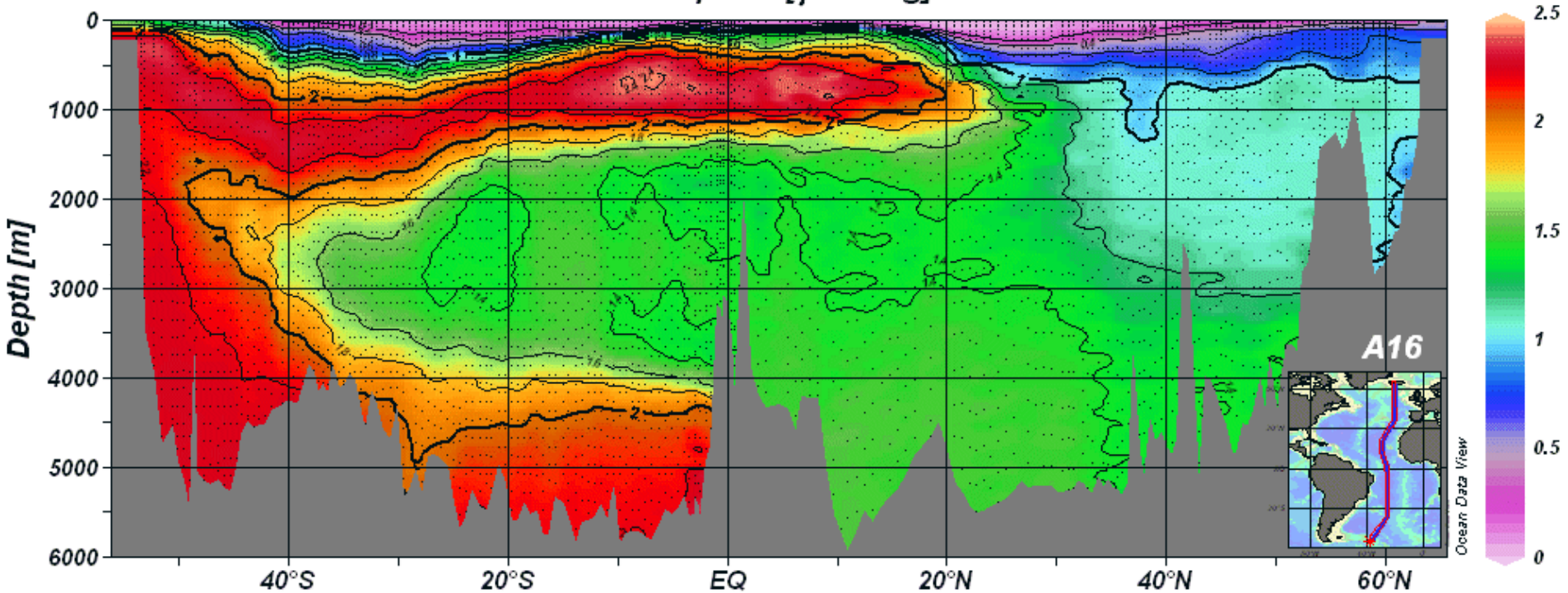
Οι διαδικασίες προσρόφησης και εκρόφησης φωσφορικών επηρεάζονται από αλλαγές στο δυναμικό οξειδοαναγωγής. Σε οξειδωτικά περιβάλλοντα τα φωσφορικά συγκρατούνται στη στερεά φάση μέσω ενός Fe(III)-PO_4^{3-} συμπλόκου. Όταν οι συνθήκες γίνουν αναγωγικές, ο τρισθενής σίδηρος ανάγεται σε διαλυτό δισθενή, με αποτέλεσμα τη διάσπαση του συμπλόκου και την απελευθέρωση των φωσφορικών



Sea-surface phosphate [mmol P m⁻³]

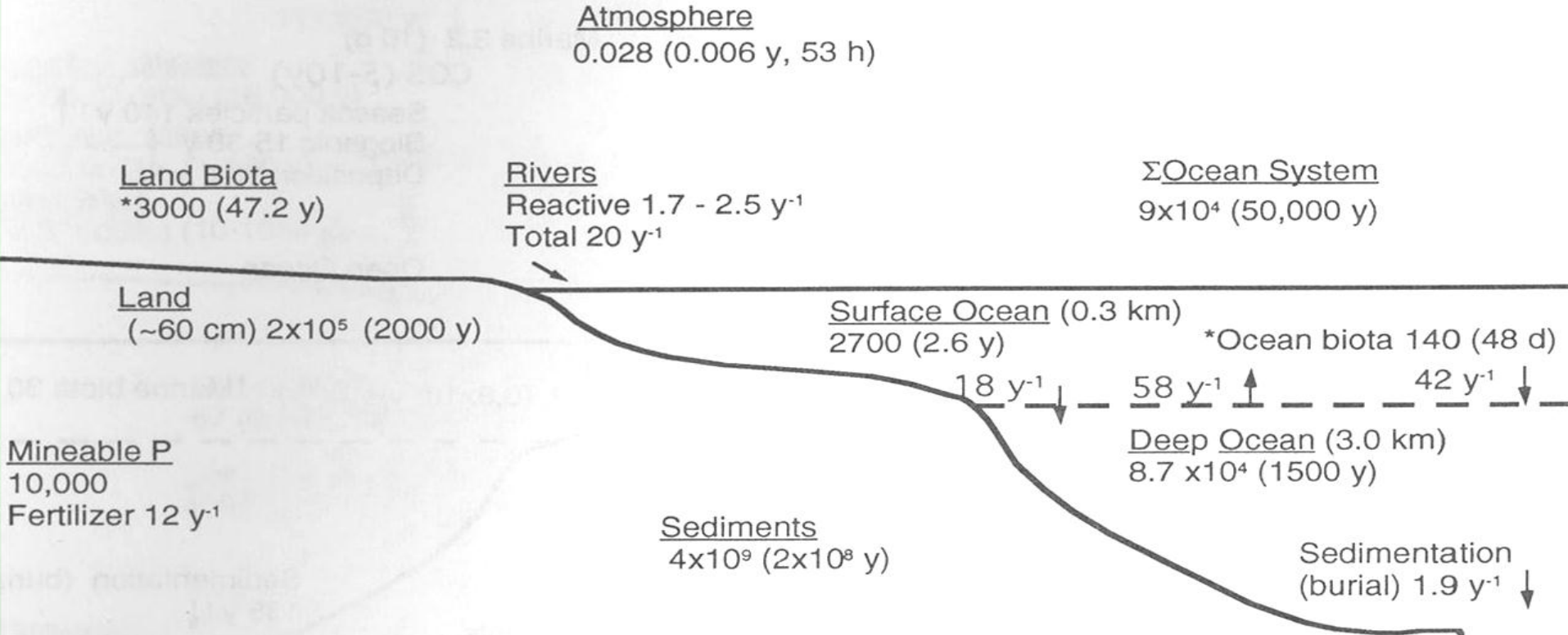




Phosphate [$\mu\text{mol}/\text{kg}$]

Αποθήκες Φωσφόρου

Pools and fluxes Tg P, Tg = 10¹² g;
 * living pools; (turnover times)



Si

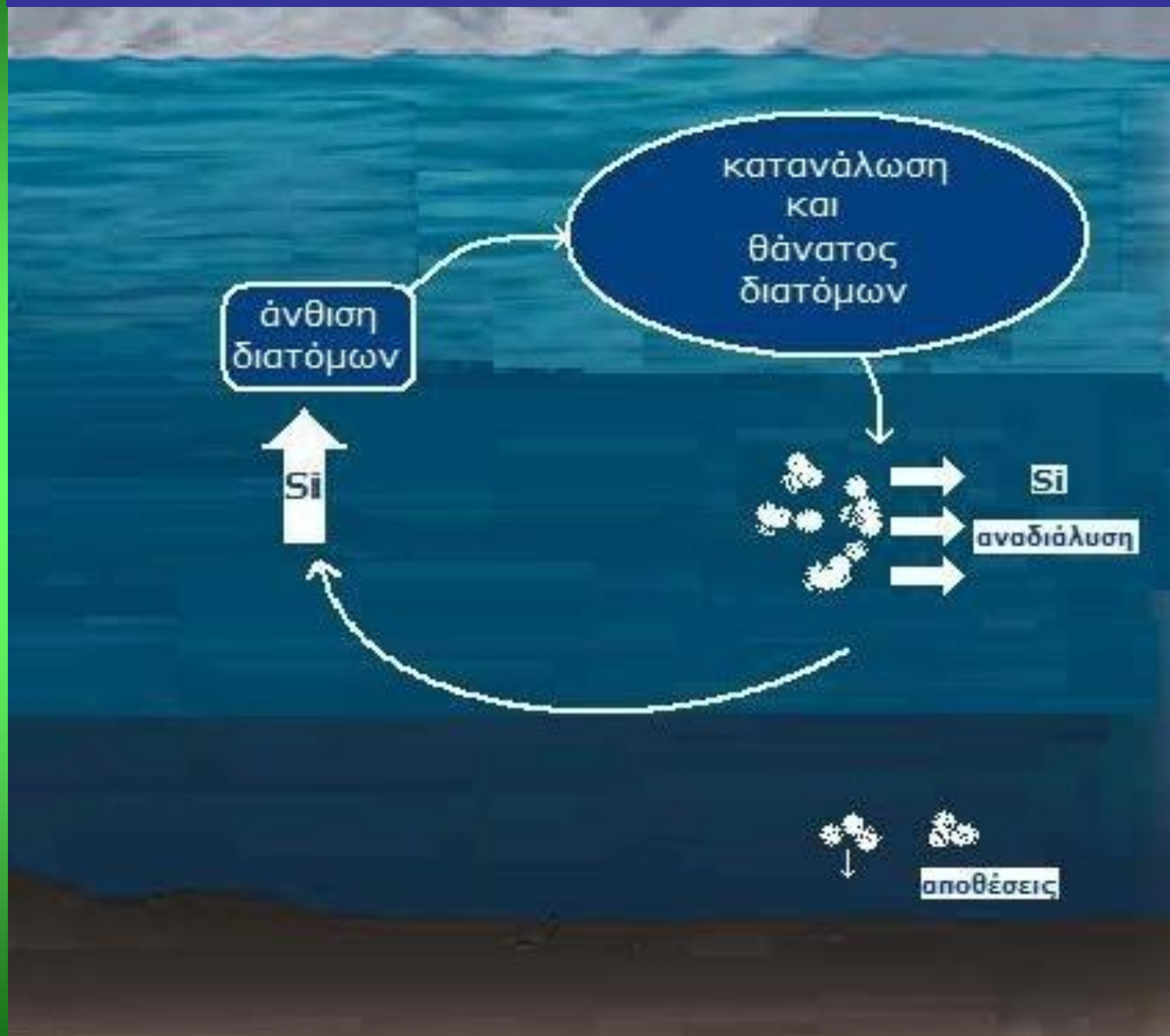
Μορφές πυριτίου στο υδάτινο περιβάλλον

Το πυρίτιο αποτελεί το περισσότερο κυμαινόμενο και υποκείμενο σε βιολογικές και γεωλογικές επιδράσεις θρεπτικό συστατικό του θαλασσινού νερού. Δεν υπόκειται σε αντιδράσεις οξειδοαναγωγής και απαντάται στα φυσικά ύδατα στη σταθερή οξειδωτική κατάσταση +4.

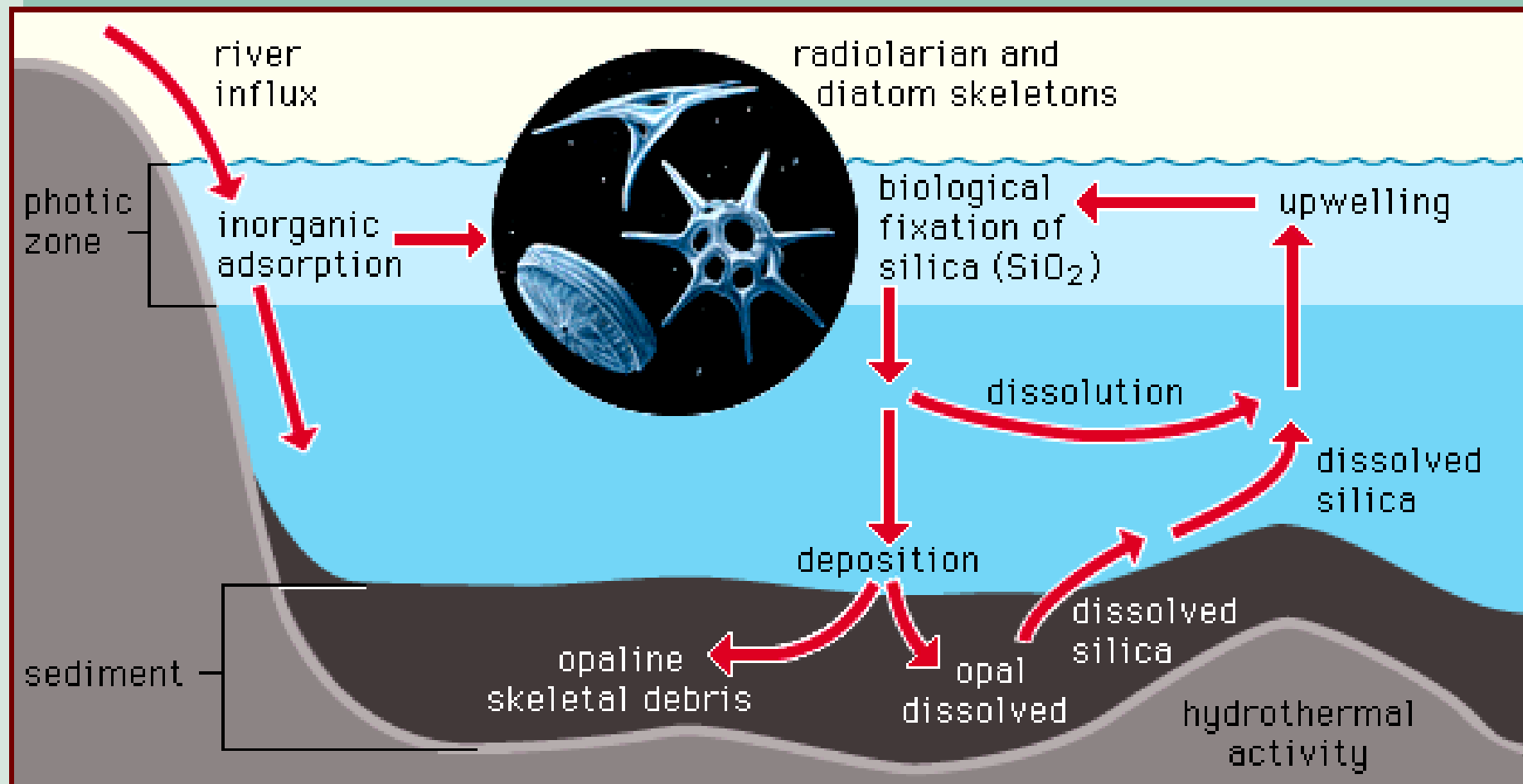
Στο θαλασσινό νερό συναντάται τόσο σε διαλυτή όσο και σε σωματιδιακή μορφή. Σε διαλυτή μορφή απαντά ως ορθοπυριτικό οξύ (H_4SiO_4) ή ιόντα πυριτίου (Si^{4+}), προερχόμενο κυρίως από τη διάλυση πυριτικών πετρωμάτων. Το σωματιδιακό πυρίτιο βρίσκεται κυρίως σε κρυστάλλους πυριτικών ορυκτών τα οποία εισέρχονται στη θάλασσα μέσω των επιφανειακών υδάτων, προερχόμενα συνήθως από την αποσάθρωση των χερσαίων πετρωμάτων. Παράλληλα, το πυρίτιο συναντάται ως αιώρημα διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2) ενώ σε αιωρούμενη κατάσταση απαντώνται και αυθιγενή πυριτικά σωματίδια καθώς και υπολείμματα οργανισμών με πυριτικούς σκελετούς.

Το πυρίτιο στο θαλάσσιο περιβάλλον θεωρείται θρεπτικό συστατικό διότι είναι απαραίτητο συστατικό της στερεάς δομής πολύ σημαντικών κατηγοριών πλαγκτονικών οργανισμών όπως τα διάτομα, αλλά και μεγαλύτερων οργανισμών όπως οι σπόγγοι (Σκούλλος Μ., 1997). Η κάθετη κατανομή του πυριτικού οξέος παρουσιάζει πολύ καλή συσχέτιση με αυτή του ψευδαργύρου

Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ



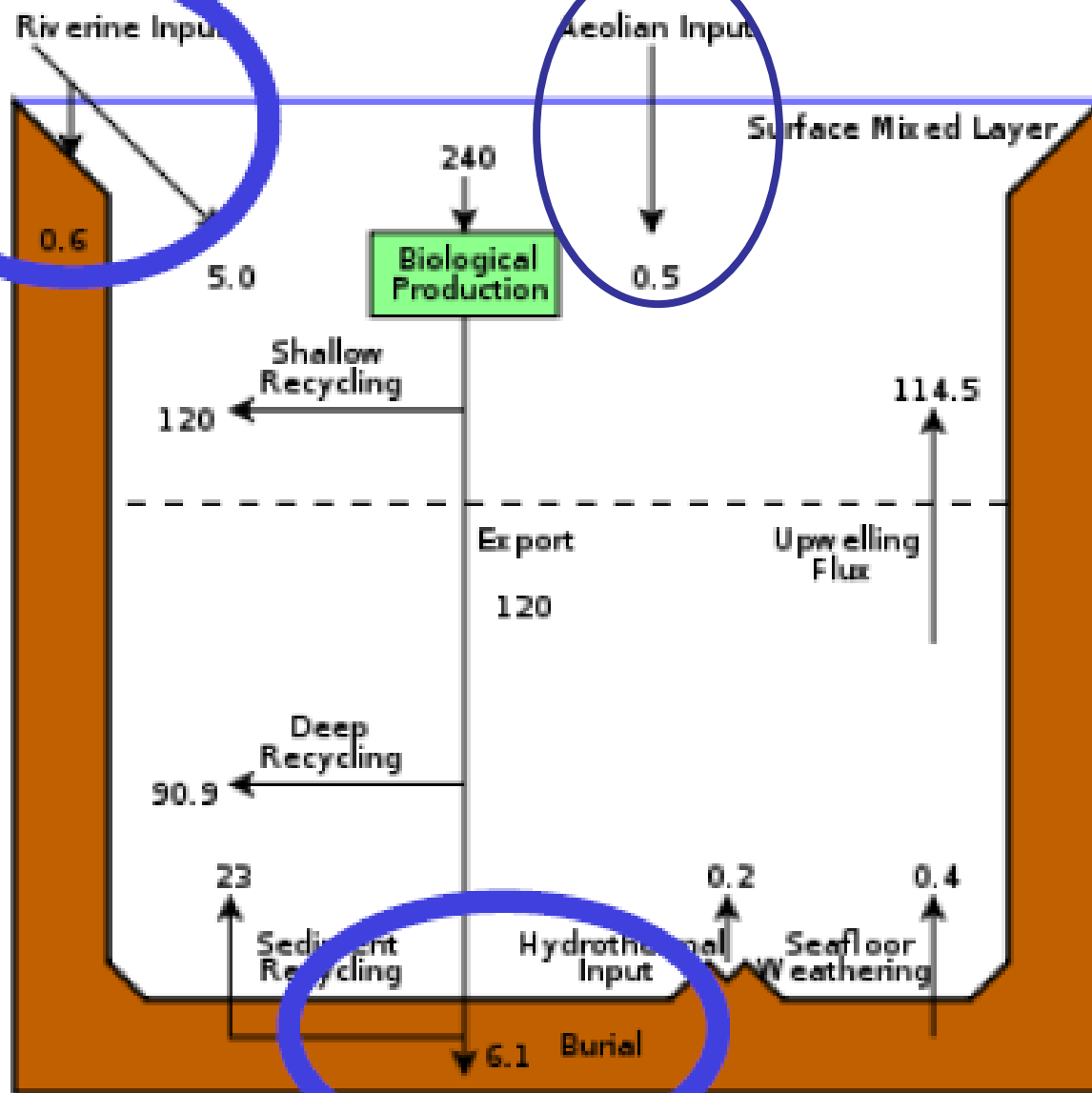
Ο ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ



Κύκλος Πυριτίου στο θαλάσσιο περιβάλλον

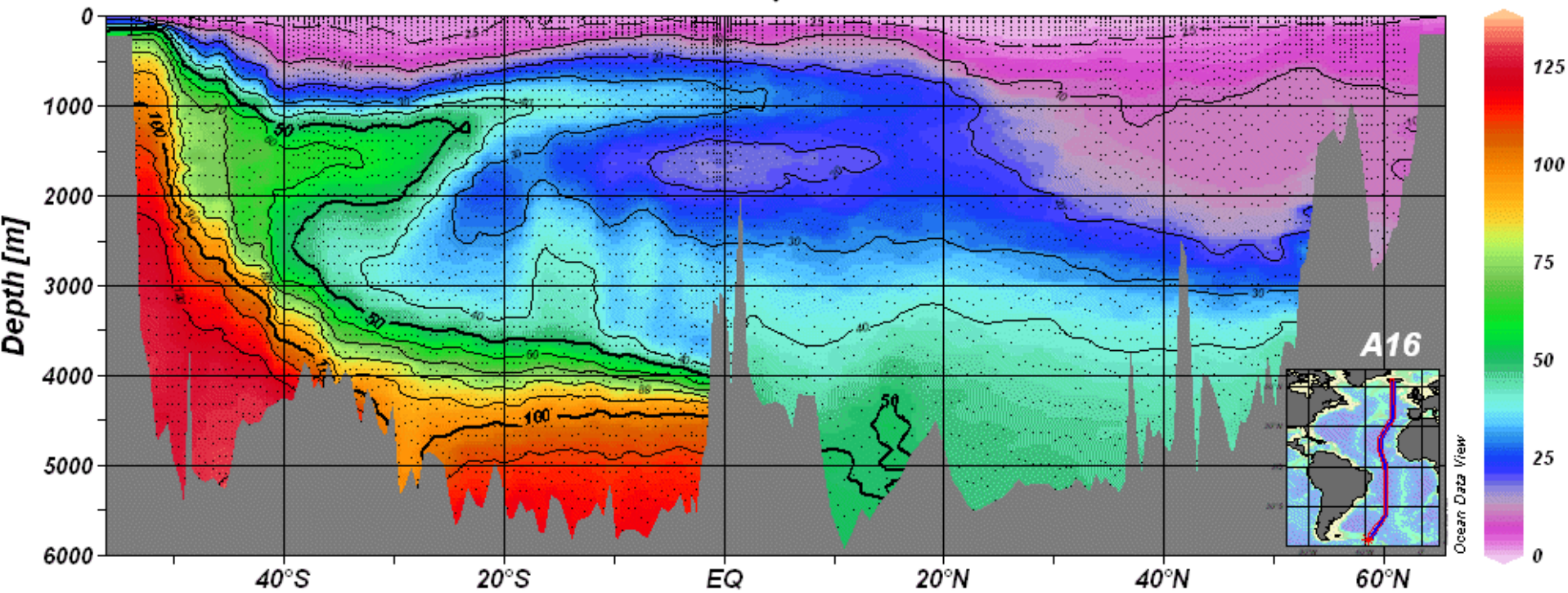
- Κύρια πηγή Si είναι η αποσάθρωση των πυριτικών πετρωμάτων
- Μεταφορά Si μέσω της ατμοσφαιρικής οδού (π.χ. σκόνη) κυρίως στην σωματιδιακή φάση
- Η μεταφορά μέσω των ποταμών πολύ σημαντικότερη σε σχέση με την ατμοσφαιρική οδό (10:1).
- Στο θαλάσσιο περιβάλλον το Si ενσωματώνεται στην βιομάζα μέσω των διατόμων και των ραδιολαρίων
- Τελικά σημαντικές ποσότητες πυριτίου θα καταλήξουν στο θαλάσσιο ίζημα.
- Περίπου το 3% του βιογενούς Si που φτάνει στο ίζημα θα ενσωματωθεί εκεί. Το 97% ανακυκλώνεται. Σε περιοχές με υψηλές ταχύτητες παραγωγής και ιζηματογένεσης, έως και 30% του βιογενούς Si που φτάνει στο ίζημα μπορεί να ενσωματωθεί.

ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΩΚΕΑΝΙΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ



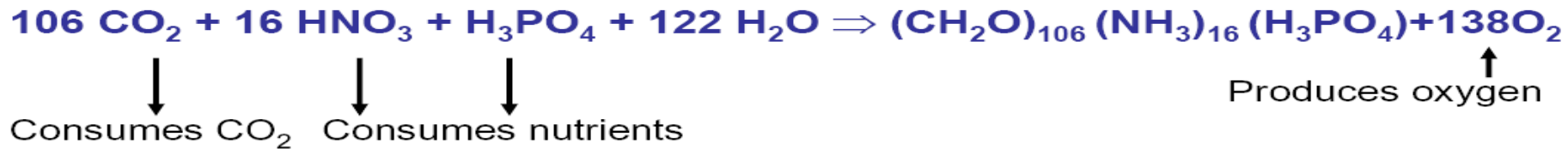
Εισροές = εκροές = $6.1 \times 10^{12} \text{ mole } \gamma^{-1}$
Ισοσκελισμένο ισοζύγιο Si

Treguer et al.,
 Science 1995

Silicate [$\mu\text{mol/kg}$]

Οι στοιχειομετρικοί λόγοι του **αζώτου, φωσφόρου και πυριτίου** επηρεάζουν σημαντικά τις φυτοπλαγκτονικές κοινωνίες. Εμπειρική έκφραση αυτών των σχέσεων είναι οι αναλογίες του **Redfield**, δηλαδή οι ατομικοί λόγοι **N:P:Si=16:1:16**, οι οποίοι δείχνουν τις στοιχειομετρικές απαιτήσεις για την ομαλή ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού. Μεγάλες αποκλίσεις από αυτούς τους λόγους υποδεικνύουν ότι το θρεπτικό συστατικό, που βρίσκεται στη μικρότερη ποσότητα, αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού.

Organic matter production:

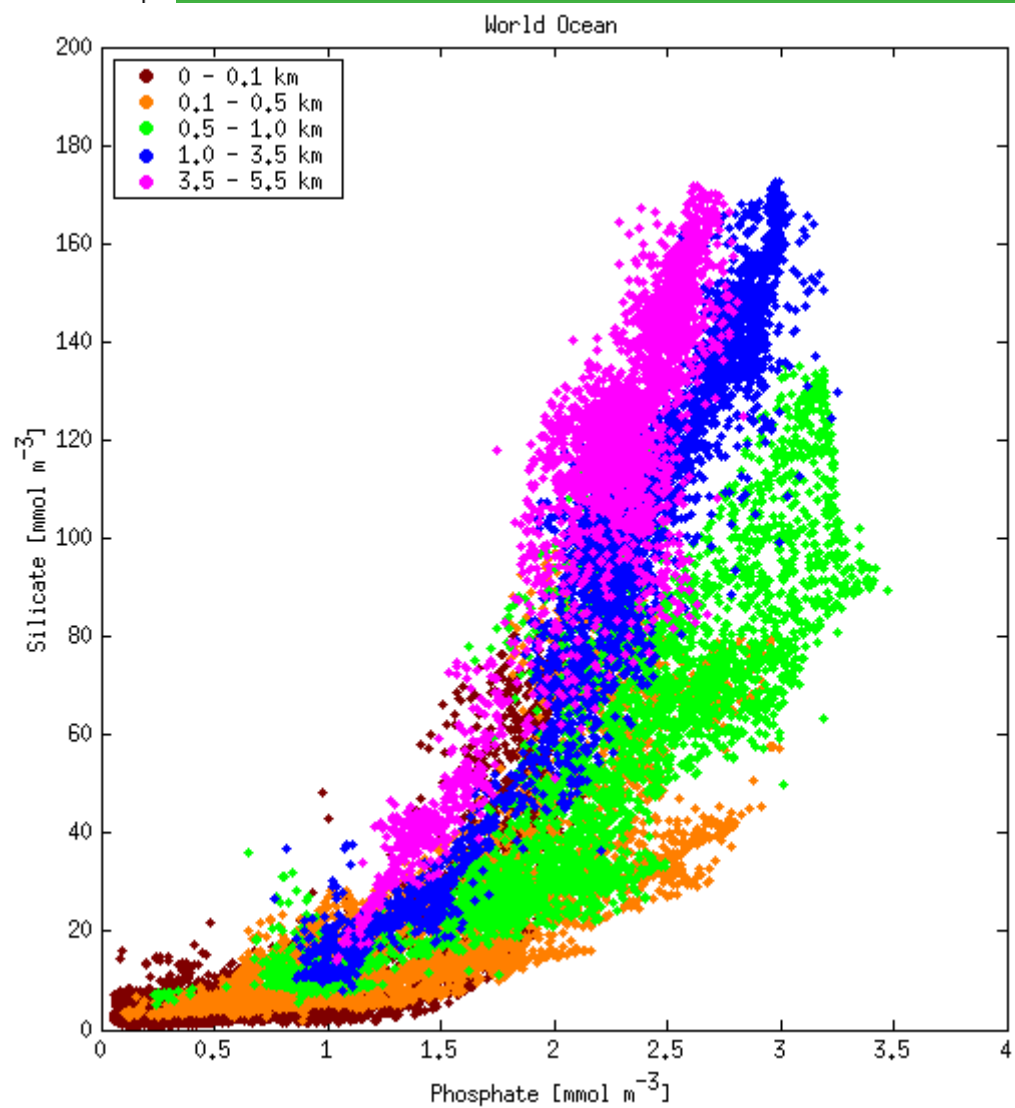
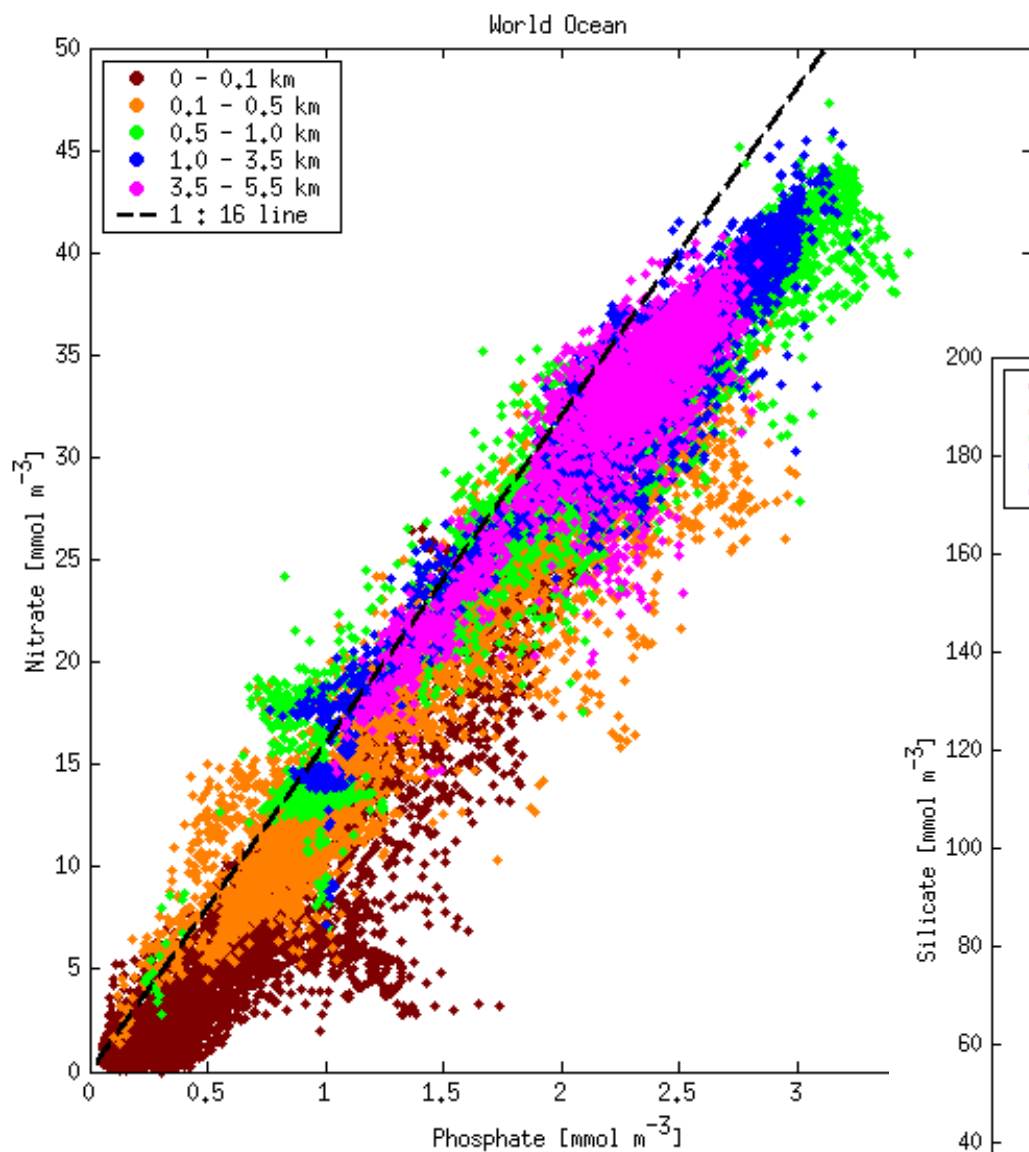


Φυσικά, οι αναλογίες αυτές έχουν διαφοροποιηθεί, αφού οι προσθήκες θρεπτικών συστατικών στους υδάτινους αποδέκτες έχουν αλλάξει εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Έτσι, οι Justic et al. σε μια προσπάθεια αποτίμησης του ρόλου των στοιχειομετρικών λόγων των θρεπτικών στον ευτροφισμό των παράκτιων οικοσυστημάτων, συνδύασαν τους λόγους κάθε θρεπτικού στοιχείου ως προς τα άλλα δύο και εφάρμοσαν τα παρακάτω κριτήρια για τον καθορισμό του περιοριστικού παράγοντα :

Ο P είναι περιοριστικός παράγοντας αν Si/P>22 και N/P>22.

Το N είναι περιοριστικός παράγοντας αν Si/N>1 και N/P<10.

Το Si είναι περιοριστικός παράγοντας αν Si/P<10 και Si /N<1.



Διαφορετικές τροφικές κατηγορίες υδάτων εξαρτώμενες από μέσες τιμές θρεπτικών (O = ολιγότροφα, EM = ελαφρώς μεσότροφα, BM = βεβαρημένα μεσότροφα, E = εύτροφα)

Θρεπτικά	O	EM	BM	E
PO ₄ ³⁻ (μg-at P/l)	<0,07	0,07-0,14	0,14-0,68	>0,68
NO ₃ ⁻ (μg-at N/l)	<0,62	0,62-0,65	0,65-1,19	>1,19
NH ₄ ⁺ (μg-at N/l)	<0,55	0,55-1,05	1,05-2,20	>2,20

Χαρακτηριστικά παράκτιων υδάτων με διαφορετικές τροφικές καταστάσεις

Παράμετρος	ολιγότροφα	μεσότροφα	εύτροφα	υπέρτροφα
TN (mg/m ³)	<260	260-350	350-400	>400
TP (mg/m ³)	<10	10-30	30-40	>40
Chl α (mg/m ³)	<1	1-3	3-5	>5
SD (m)	>6	3-6	1.5-3	<1.5

Κριτήρια ποιότητας παράκτιων υδάτων με βάση τα θρεπτικά συστατικά

Κατάσταση ποιότητας	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ($\mu\text{mol/l}$)	PO_4^{3-} ($\mu\text{mol/l}$)
Καλή	<6,5	<0,5
Επαρκής	6,5-9,0	0,5-0,7
Μέτρια	9,0-16,0	0,7-1,1
Κακή	>16,0	>1,1

‘**ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΣ** είναι η αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυκών, η οποία ακολουθεί έναν ταχύτερο ρυθμό παροχής θρεπτικών αλάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον και οι συνέπειες της” (Steele 1976).

Ευτροφισμός είναι η διεργασία κατά την οποία νερά που έχουν εμπλουτισθεί με θρεπτικά άλατα, κυρίως **N και P**, προάγουν την πρωτογενή παραγωγή υπό ευνοϊκές συνθήκες (Vollenweider, 1968; 1981)

Ο Ευτροφισμός ορίζεται ως μία περιβαλλοντική διαταραχή που προκαλείται από περίσσεια στο ρυθμό παροχής οργανικού υλικού

Προτείνεται στο UNEP(DEC)/MED WG.231/14.

N/P ≠ 16

Αυξημένη βιομάζα θαλάσσιου φυτοπλαγκτού και επιφύτων

Αλλαγές στη σύνθεση των φυτοπλαγκτονικών ειδών προς είδη που μπορεί να είναι τοξικά

Αύξηση ανθήσεων ζελατινώδους ζωοπλαγκτού

Αλλαγές στην παραγωγή, βιομάζα και σύνθεση των ειδών των μακροφύκων

Μειωμένη διαύγεια νερού

Θάνατοι και απώλειες των βιοκοινωνιών των κοραλλιογενών υφάλων

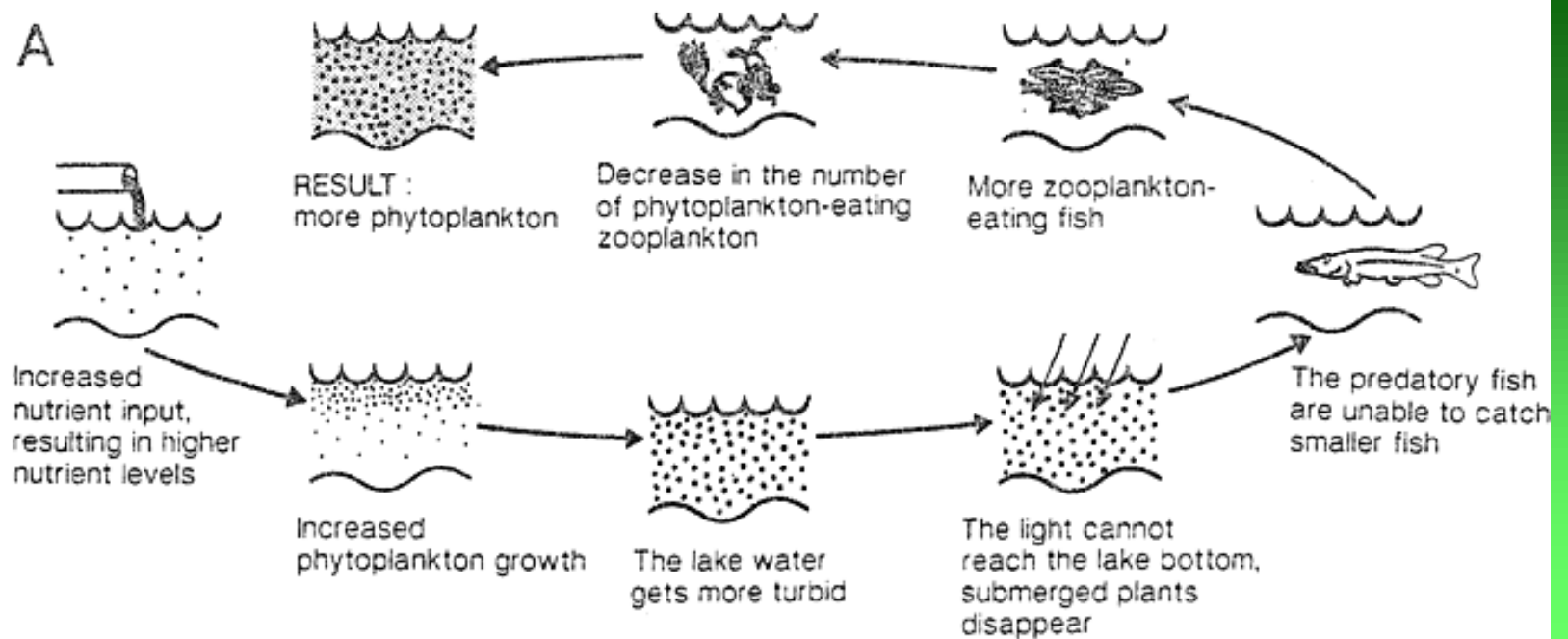
Μείωση της αισθητικής αξίας του υδάτινου αποδέκτη

Αλλαγές στο pH και μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στην υδάτινη στήλη

Αλλαγές στη σύνθεση των ζωικών ειδών

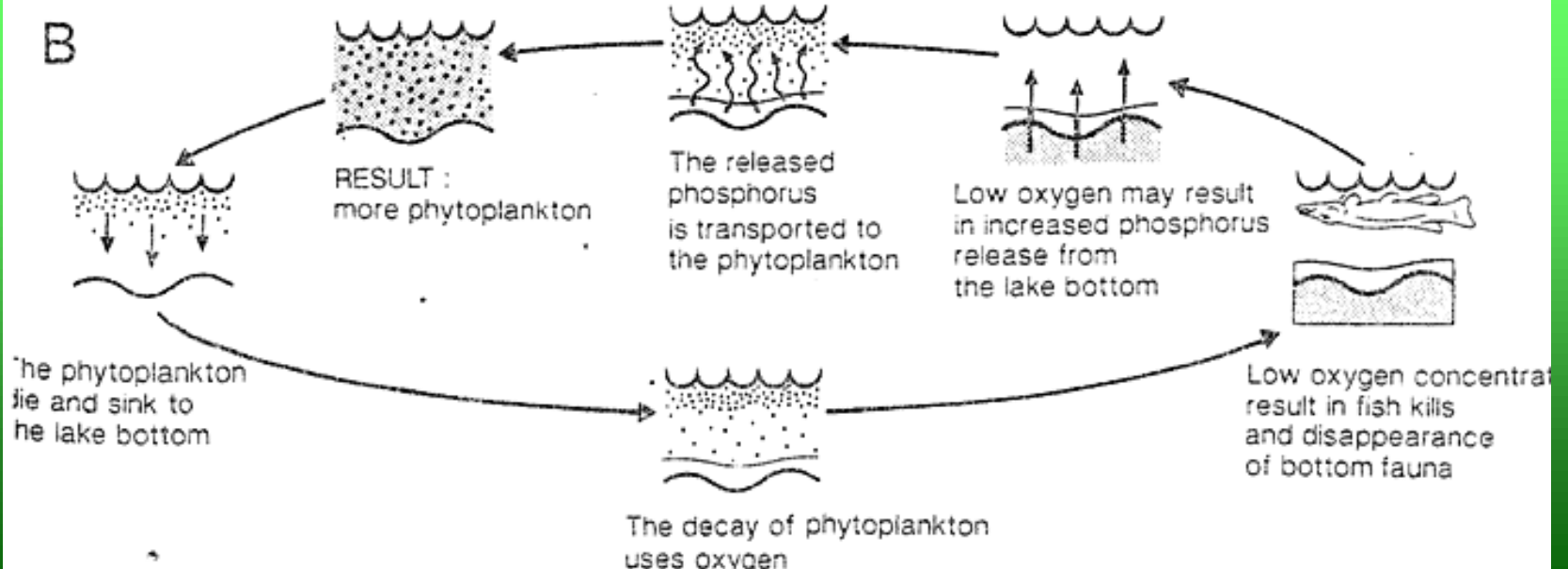
Αυξημένη πιθανότητα για θανάτους σημαντικών ζωικών ειδών για την οικονομία

A



Στάδια ανάπτυξης ευτροφικών φαινομένων

B



Ευτροφισμός



Τέλος

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση διαθέσιμη εδώ <http://eclass.uoa.gr/courses/CHEM162/>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Μιχαήλ Σκούλλος, Εμμανουήλ Δασενάκης 2015. Μιχαήλ Σκούλλος, Εμμανουήλ Δασενάκης. «Χημική Ωκεανογραφία. Ενότητα 1: Μικροθρεπτικά συστατικά». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/NOC83/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/7)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Copyrighted.

Εικόνα 2: Τα διάτομα. Copyrighted.

<https://www.rbg Syd.nsw.gov.au/data/assets/image/0005/47489/Diatoms1.gif>

Εικόνα 3: Copyrighted.

Εικόνα 4: Copyrighted.

Εικόνα 5: Phosphorus Cycle Animation. Copyrighted.

https://classconnection.s3.amazonaws.com/644/flashcards/4031644/png/phos_cycle-141F06F0B2577360716.png

Εικόνα 6: Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/7)

Εικόνα 7: Copyrighted.

Εικόνα 8: Marine nitrogen cycle. Copyrighted.

[http://b.static.trunity.net/files/120101_120200/120160/350px-Marine N cycle.JPG](http://b.static.trunity.net/files/120101_120200/120160/350px-Marine_N_cycle.JPG)

Εικόνα 9: Αποδόμηση οργανικού N. Copyrighted.

Εικόνα 10: Ο κύκλος του αζώτου με τους απαιτούμενους ενζυμικούς καταλύτες κάθε σταδίου. Morels F.M.M. et al., 2003. Copyrighted.

Εικόνα 11: Copyrighted.

Εικόνα 12: Copyrighted.

Εικόνα 13: Ocean satellite image. Copyrighted.

http://www.soest.hawaii.edu/oceanography/courses/OCN626/nitrogen_lecture.pdf



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/7)

Εικόνα 14: Nitrate/Depth diagram. Copyrighted.

https://www.nodc.noaa.gov/woce/woce_v3/wocedata_2/ewoce/gallery/whp/A16_NITRAT.gif

Εικόνα 15: Upwelling diagram. Copyrighted. https://baynature.org/wp-content/uploads/2012/07/v06n03_297.jpg

Εικόνα 16: Annual nitrate at the surface. Copyrighted.

<https://www.blendspace.com/lessons/IYk64YDA5CaVig/the-red-sea>

Εικόνα 17: Ο κύκλος του Φωσφόρου. Copyrighted.

Εικόνα 18: Copyrighted.

Εικόνα 19: Sea surface phosphate. Public domain.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AYool_WOA_surf_PO4.png



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/7)

Εικόνα 20: Phosphate/Depth diagram. Copyrighted.

https://www.nodc.noaa.gov/woce/woce_v3/wocedata_2/ewoce/gallery/whp/A16_PHSPHT.gif

Εικόνα 21: Ο κύκλος του Πυριτίου. Copyrighted.

Εικόνα 22: A diagram tracing the cycling of silica through the marine environment. Copyrighted.

<https://s3.amazonaws.com/thumbnails.illustrationsource.com/huge.96.481180.JPG>

Εικόνα 23: Παγκόσμιος ωκεάνιος κύκλος πυριτίου. Copyrighted.

Εικόνα 24: Silicate/Depth diagram. Copyrighted.

https://www.nodc.noaa.gov/woce/woce_v3/wocedata_2/ewoce/gallery/whp/A16_SILCAT.gif



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/7)

Εικόνα 25: N:P ratio van oceanen. Copyrighted.

<http://www.aquariumhobby.nl/zoetwater/calculators/npoceanen.gif>

Εικόνα 26: Copyrighted.

Εικόνα 27: Στάδια ανάπτυξης ευτροφικών φαινομένων. Copyrighted.

Εικόνα 28: Copyrighted.

Εικόνα 29: Water pollution. Copyrighted. <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/fd/61/35/fd61350b5d71bad34ebaf4d4b6689fcb.jpg>

Εικόνα 30: Copyrighted.

Εικόνα 31: Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/7)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Πίνακες

Πίνακας 1: Essential plant nutrients: sources and functions. Copyrighted.

Πίνακας 2: Energy and reducing power required for assimilation of various N compounds. Copyrighted.

http://www.soest.hawaii.edu/oceanography/courses/OCN626/nitrogen_lecture.pdf

Πίνακας 3: Πιθανές αντιδράσεις αναερόβιας οξείδωσης. Copyrighted.

Πίνακας 4: Global nitrogen budget. Copyrighted.

http://www.soest.hawaii.edu/oceanography/courses/OCN626/nitrogen_lecture.pdf



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/7)

Πίνακας 5: Oceanic concentrations, inventories and turnover of nitrogen.

Copyrighted.

http://www.soest.hawaii.edu/oceanography/courses/OCN626/nitrogen_lecture.pdf

