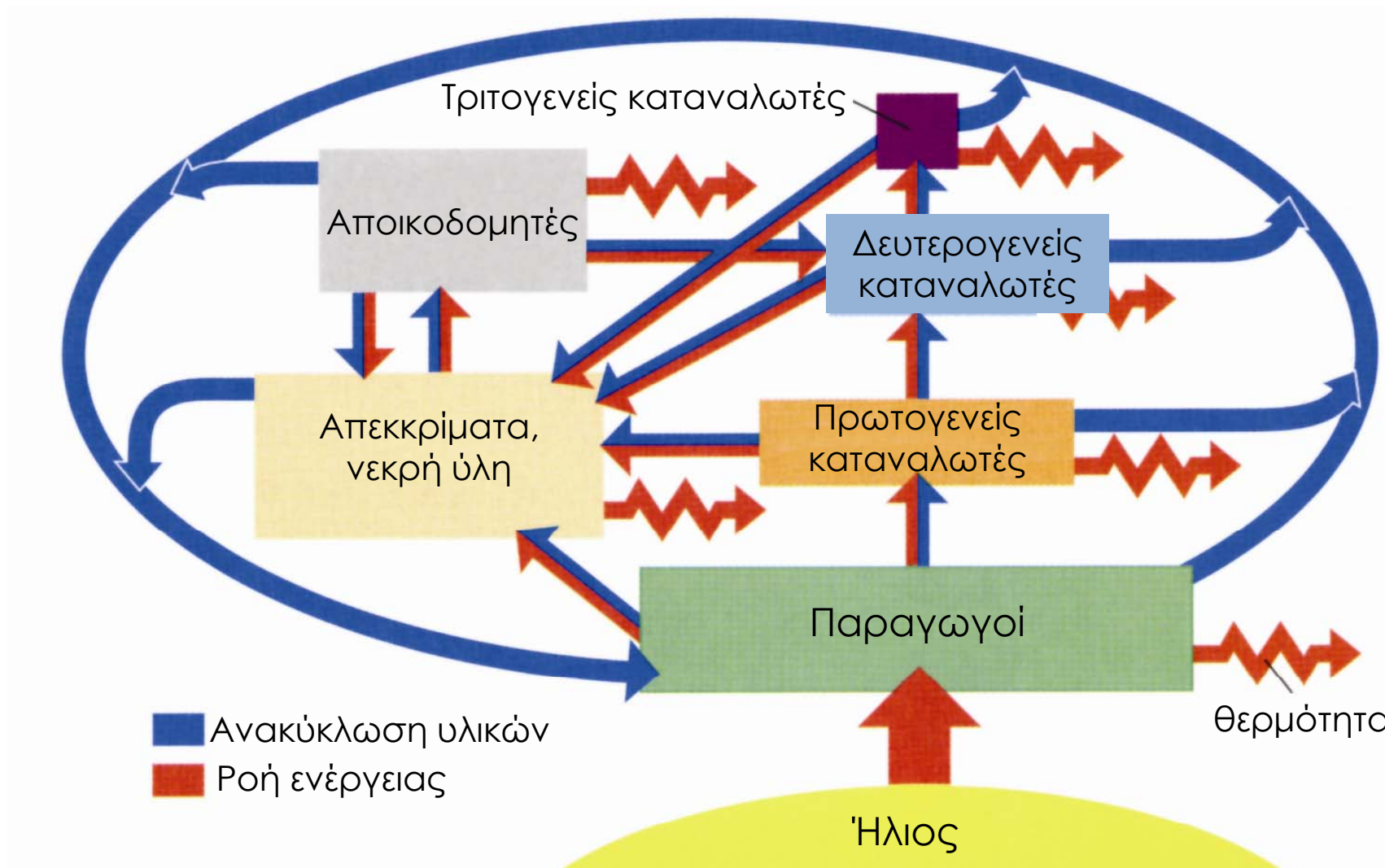


ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ: Ροή Ενέργειας
Ανακύκλωση Υλικών



Οικοσυστήματα: Ροή ενέργειας και ανακύκλωση υλικών

Οικοσύστημα: όλοι οι οργανισμοί που ζουν σε μια κοινότητα καθώς και οι αβιοτικοί παράγοντες με τους οποίους αλληλεπιδρούν

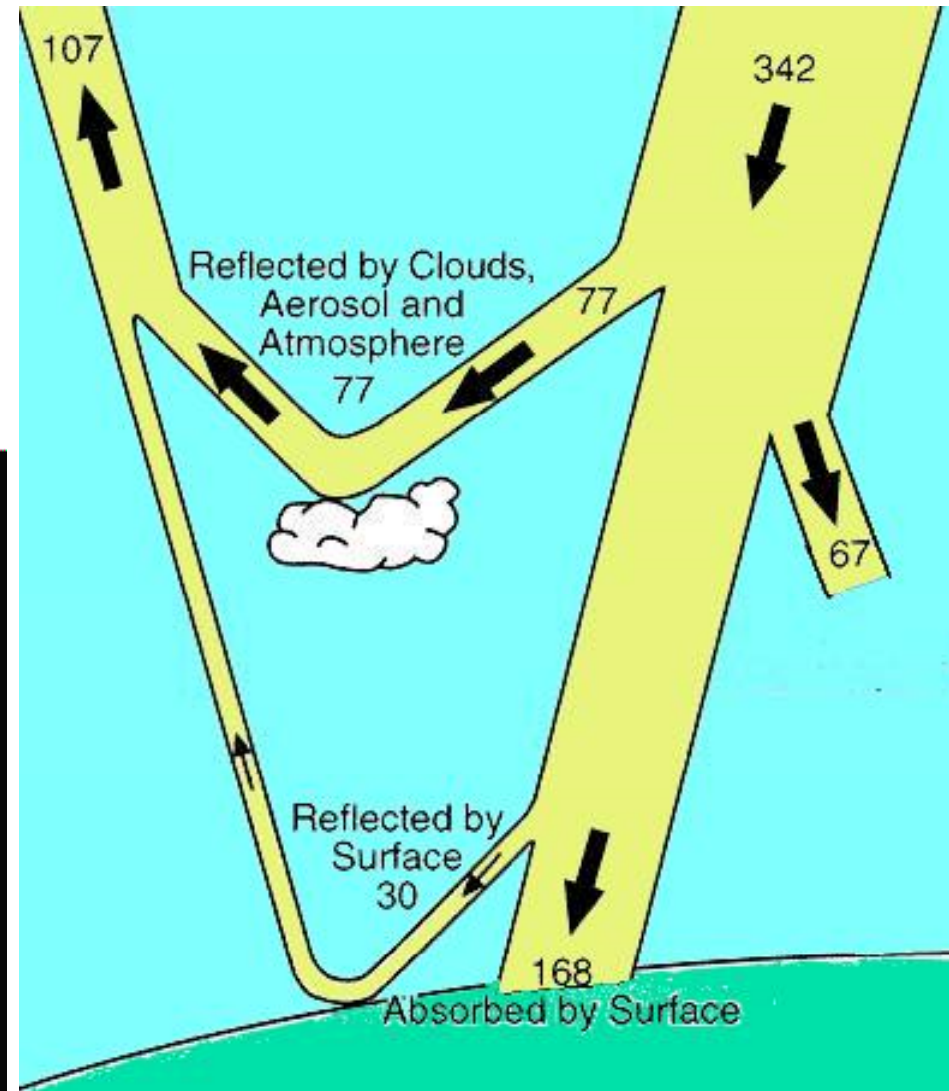
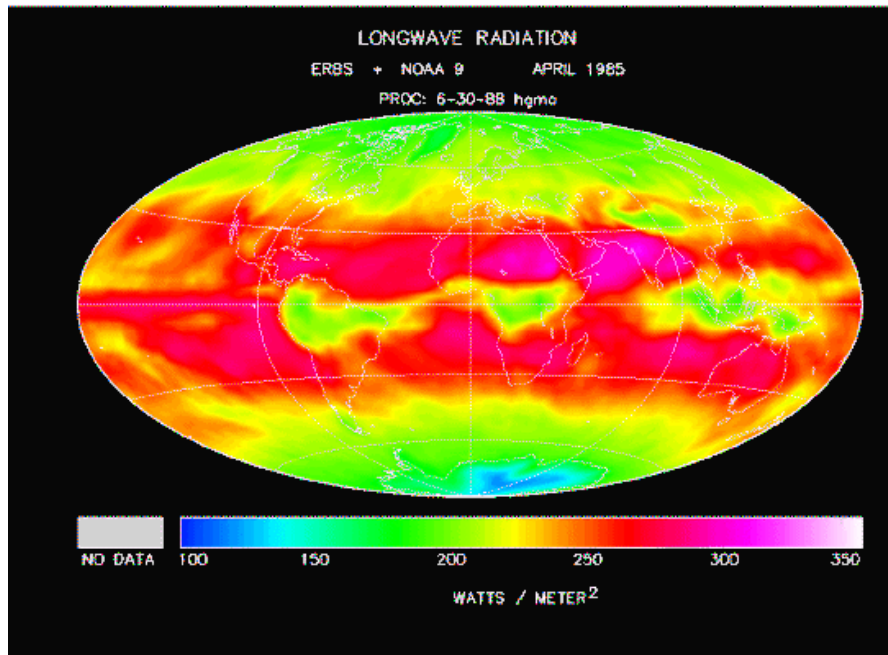


Η ενέργεια δεν δημιουργείται, δεν καταστρέφεται, μετατρέπεται, και τελικά χάνεται υπό μορφή θερμότητας στο περιβάλλον

Ο ενεργειακός προϋπολογισμός ολόκληρου του πλανήτη:

Κάθε μέρα η Γη βομβαρδίζεται με 10^{22} Joules ηλιακής ακτινοβολίας (αρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες μας για 25 χρόνια).

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ποικίλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος (μεγαλύτερη ένταση στον Ισημερινό). Επίσης επηρεάζεται από τα σύννεφα ή τη σκόνη που υπάρχει στην ατμόσφαιρα.



10²² Joules / ημέρα

Ηλιακή ακτινοβολία
(100 μονάδες)

Άνω
ατμόσφαιρα

30% ανακλάται



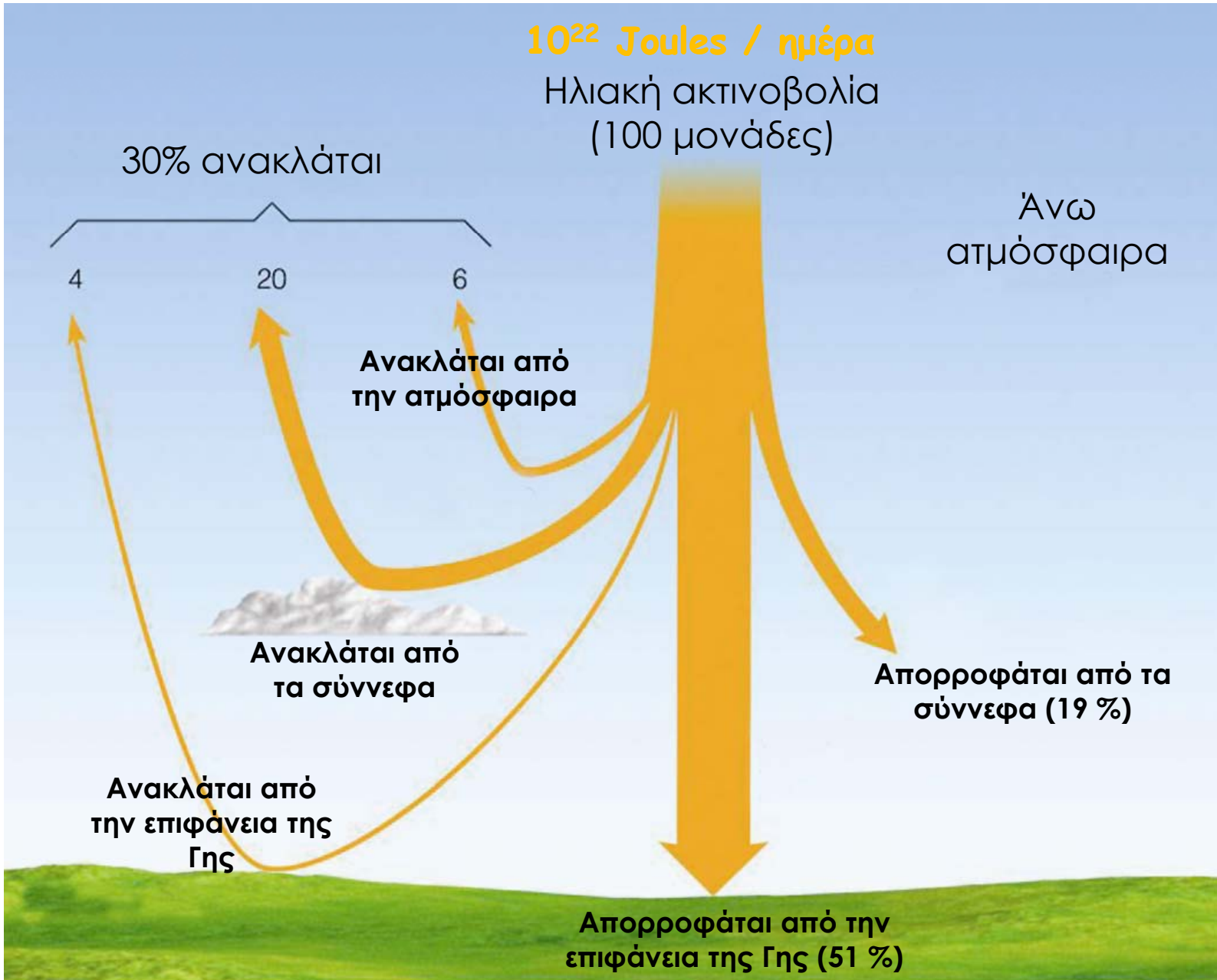
Ανακλάται από
την ατμόσφαιρα

Ανακλάται από
τα σύννεφα

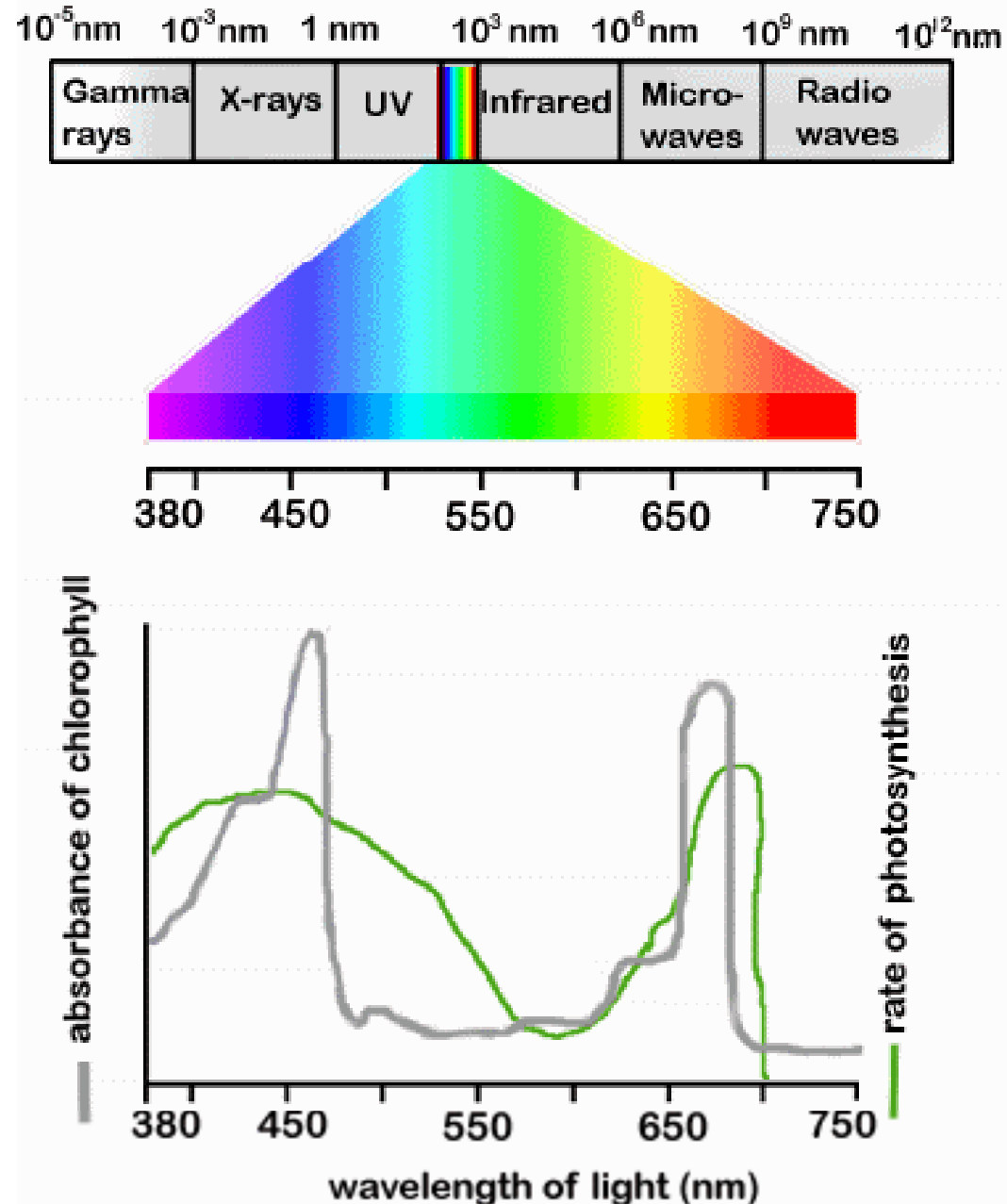
Ανακλάται από
την επιφάνεια της
Γης

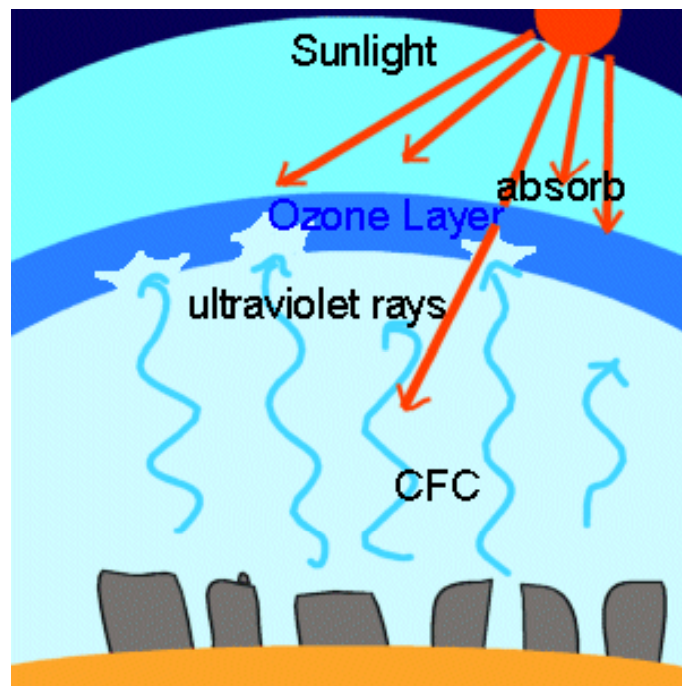
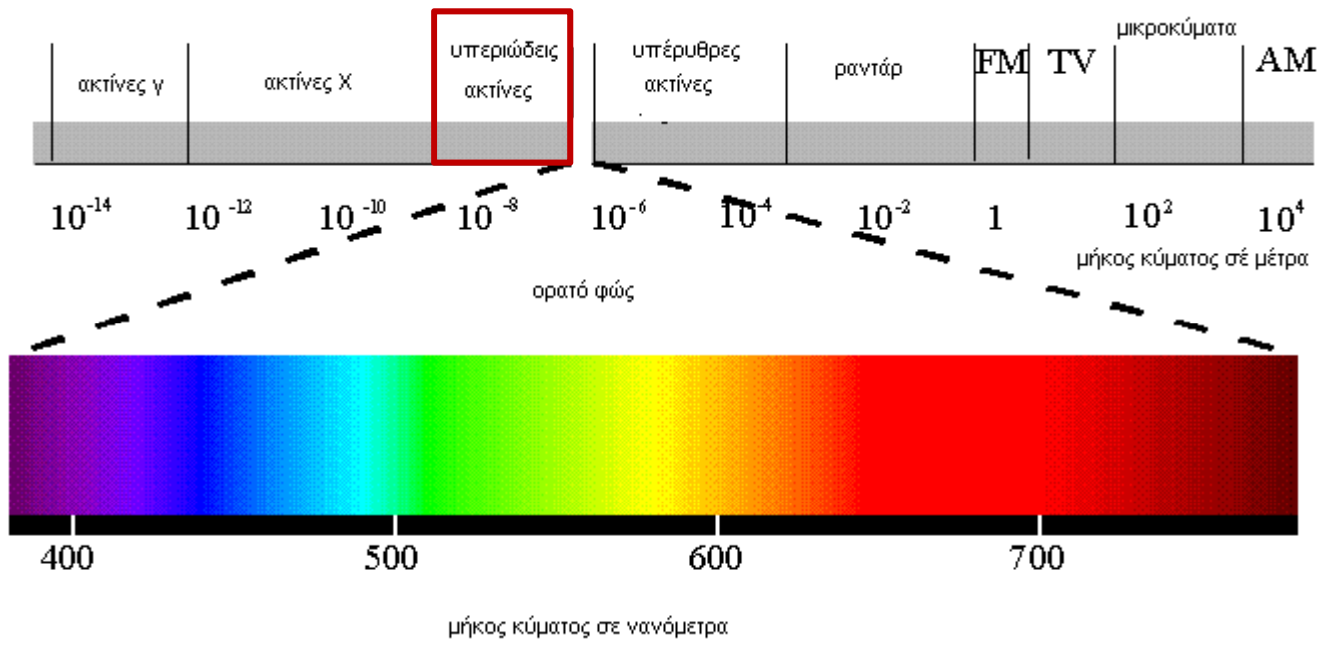
Απορροφάται από τα
σύννεφα (19%)

Απορροφάται από την
επιφάνεια της Γης (51%)

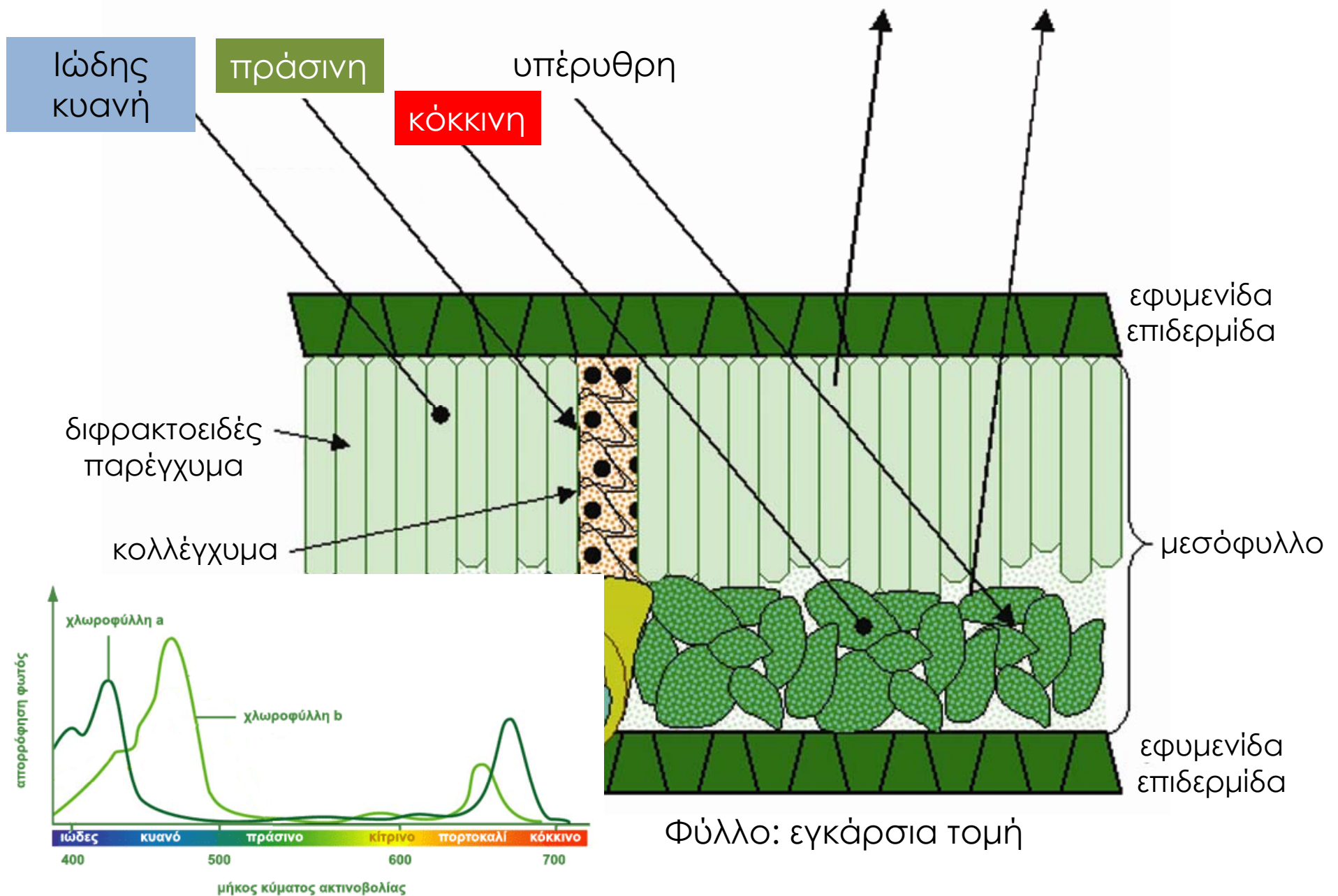


Από το ορατό φως που φτάνει στους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς μόνο το 1% μετατρέπεται σε χημική ενέργεια. Η ηλιακή ακτινοβολία που τελικά δεσμεύεται μέσω της φωτοσύνθεσης οδηγεί σε 170 δισ τόνους οργανικών υλικών/χρόνο.



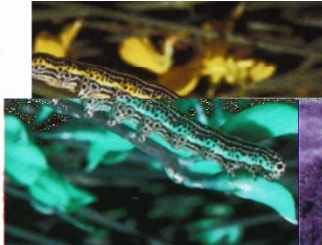


Ηλιακή ακτινοβολία: απορρόφηση, ανάκλαση, δράση στα φυτά





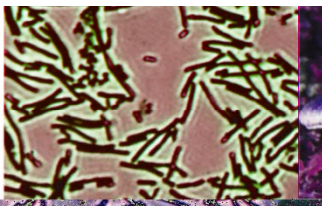
Παραγωγοί



Φυτοφάγοι καταναλωτές



Σαρκοφάγοι καταναλωτές



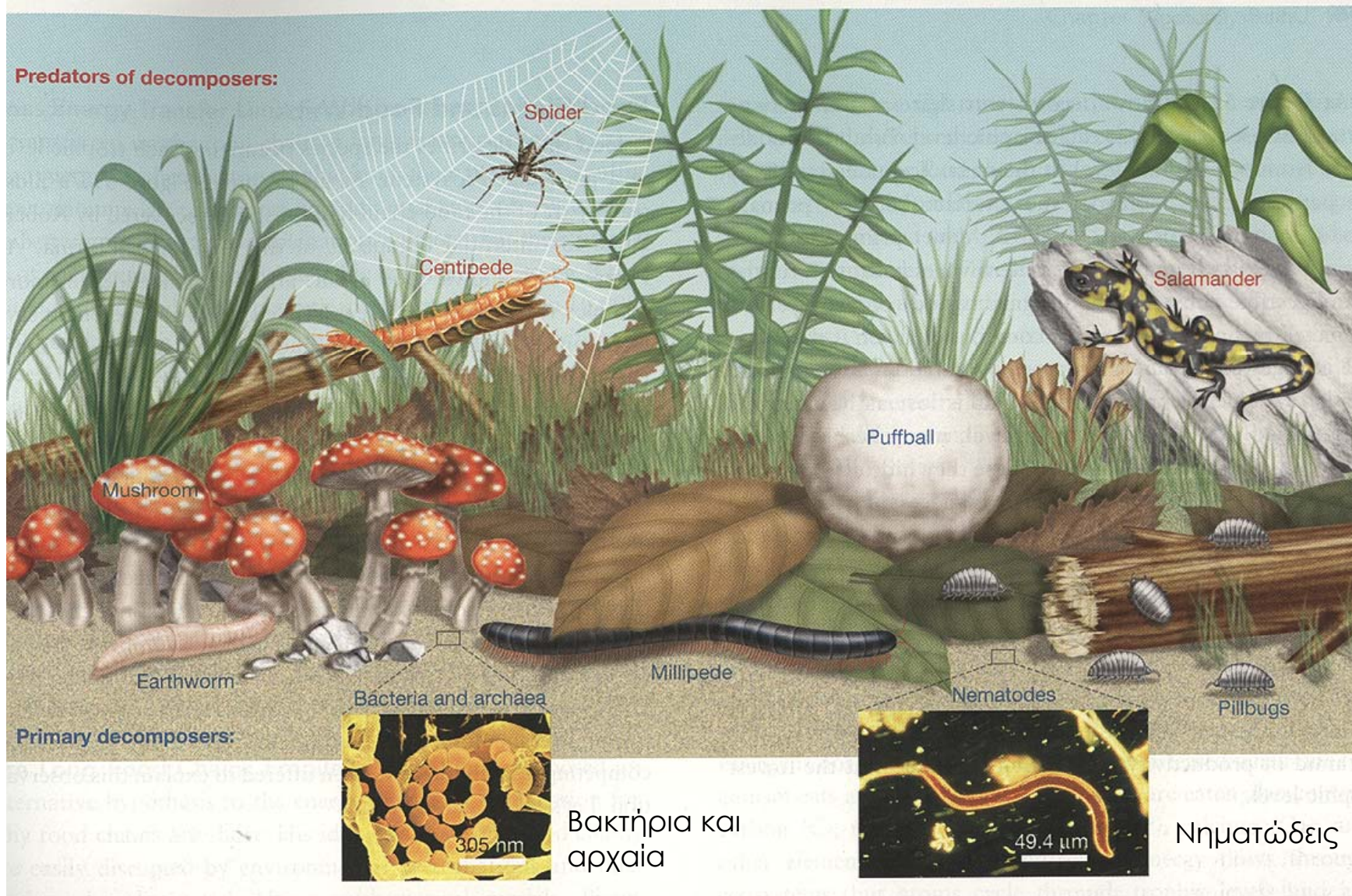
Αποικοδομητές

Μύκητες αποικοδομώντας ένα νεκρό κορμό



FIGURE 54.2 Fungi decomposing a log.

Πεσμένα φύλλα, κορμοί, νεκρά ζώα και άλλα αποσαθρωμένα υλικά αποτελούν την τροφή μιας τεράστιας ποικιλίας οργανισμών, των αποικοδομητικών ή σαπροφυτικών οργανισμών. Αυτοί οι αποικοδομητές αποτελούν με τη σειρά τους τροφή για σαλαμάνδρες, αράχνες, σκουλήκια κλπ.

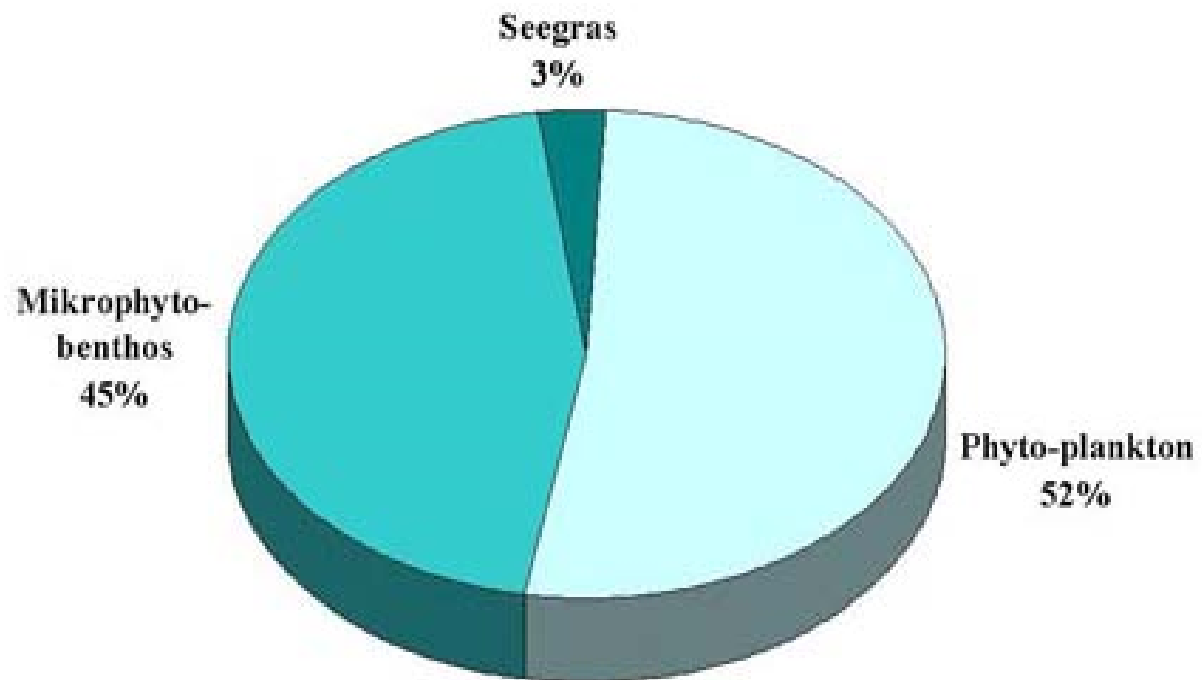


1. Φυσικοί και χημικοί παράγοντες ρυθμίζουν την πρωτογενή παραγωγή σε ένα οικοσύστημα

Συνολική πρωτογενής παραγωγή (Gross primary production: GPP) = η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε χημική μέσω φωτοσύνθεσης ανά μονάδα χρόνου.

- Ο ενεργειακός προϋπολογισμός ενός οικοσυστήματος:

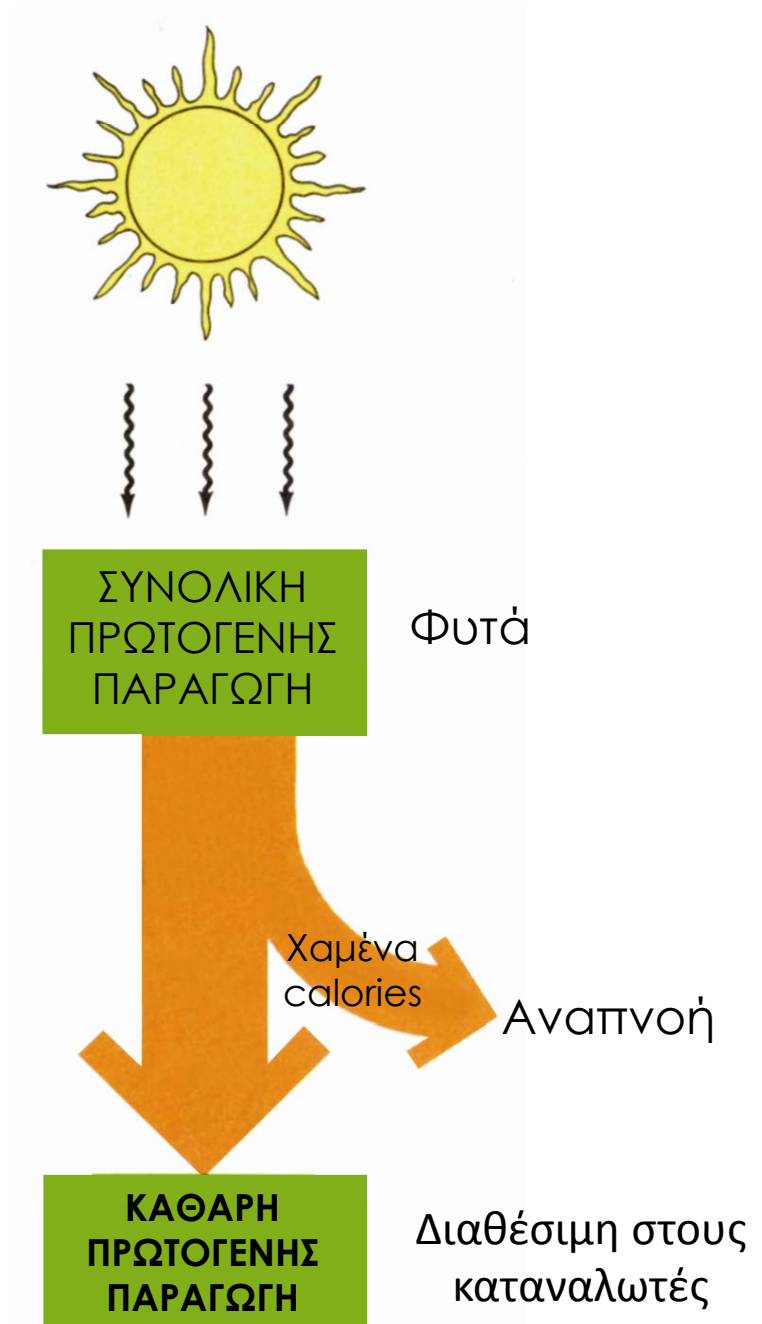
Η έκταση της φωτοσυνθετικής παραγωγής καθορίζει το όριο του ενεργειακού προϋπολογισμού ολόκληρου του οικοσυστήματος.



Καθαρή πρωτογενής παραγωγή :

είναι η συνολική πρωτογενής παραγωγή μείον την ενέργεια που χρησιμοποιείται από τους πρωτογενείς παραγωγούς (φυτά) για την αναπνοή τους (R). Είναι η ποσότητα της νέας βιομάζας που προστίθεται σε μια δεδομένη χρονική περίοδο.

$$NPP = GPP - R$$



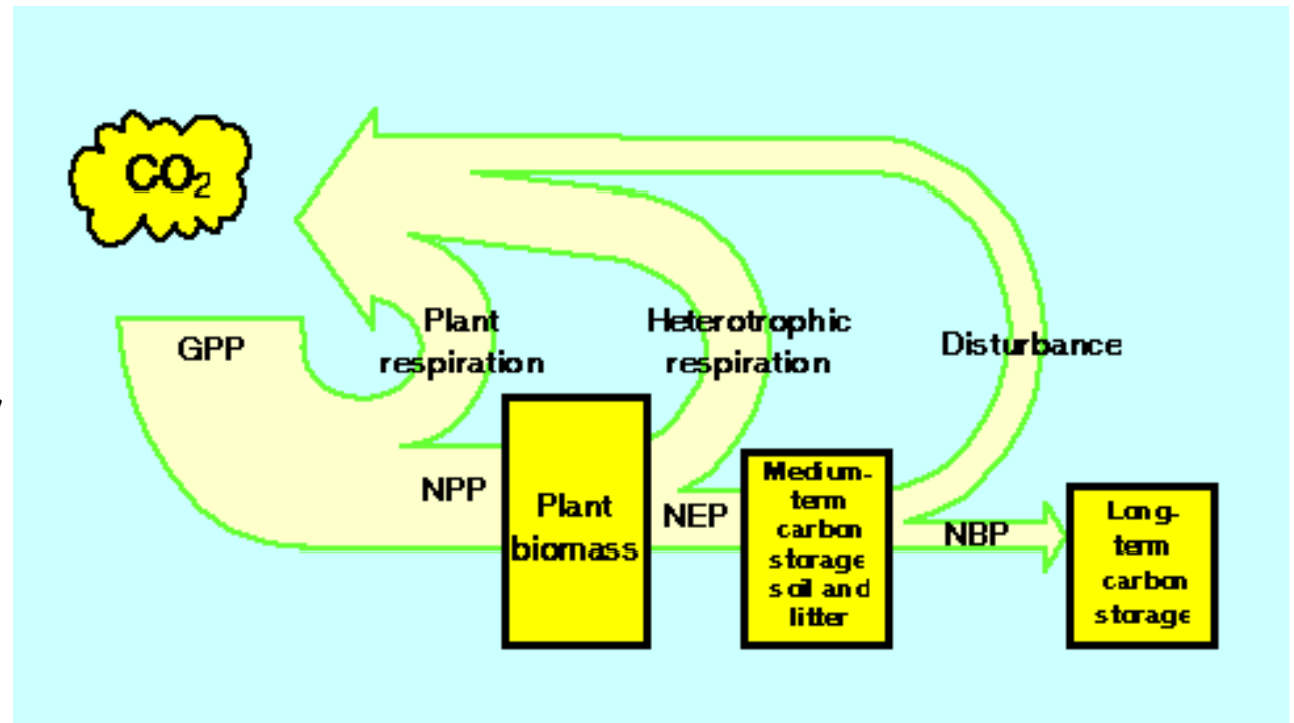
Συνολική πρωτογενής παραγωγή (Gross primary production: GPP) = η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε χημική μέσω φωτοσύνθεσης ανά μονάδα χρόνου.

Καθαρή πρωτογενής παραγωγή (Net primary production: NPP) = η συνολική πρωτογενής παραγωγή - την ενέργεια που χρησιμοποιείται από τους πρωτογενείς παραγωγούς για την αναπνοή τους.

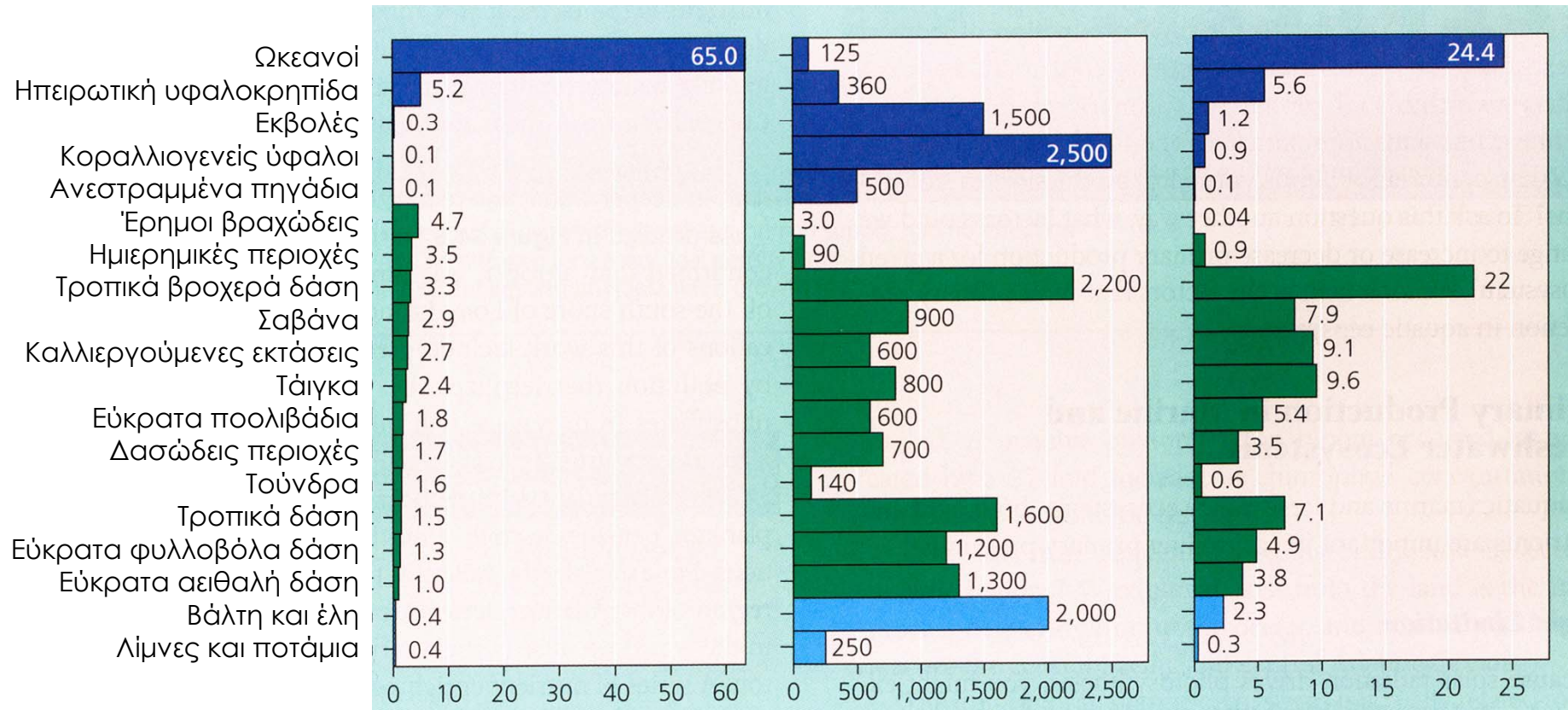
Ενέργεια/μονάδα επιφάνειας/μονάδα χρόνου: $J/m^2/year$

Βιομάζα βλάστησης που προστίθεται στο οικοσύστημα /μονάδα επιφάνειας/μονάδα χρόνου: $(g/m^2/year)$

Πχ. σε ένα δάσος η NPP μπορεί να είναι το $\frac{1}{4}$ της GPP, γιατί τα δέντρα έχουν να υποστηρίξουν μεγάλη μάζα από κορμούς κλαδιά και ρίζες και καταναλώνουν πολλή ενέργεια για την αναπνοή τους.



Καθαρή πρωτογενής παραγωγή σε διαφορετικούς τύπους οικοσυστημάτων



- **Θαλάσσια**
- **Χερσαία**
- **Γλυκών νερών**

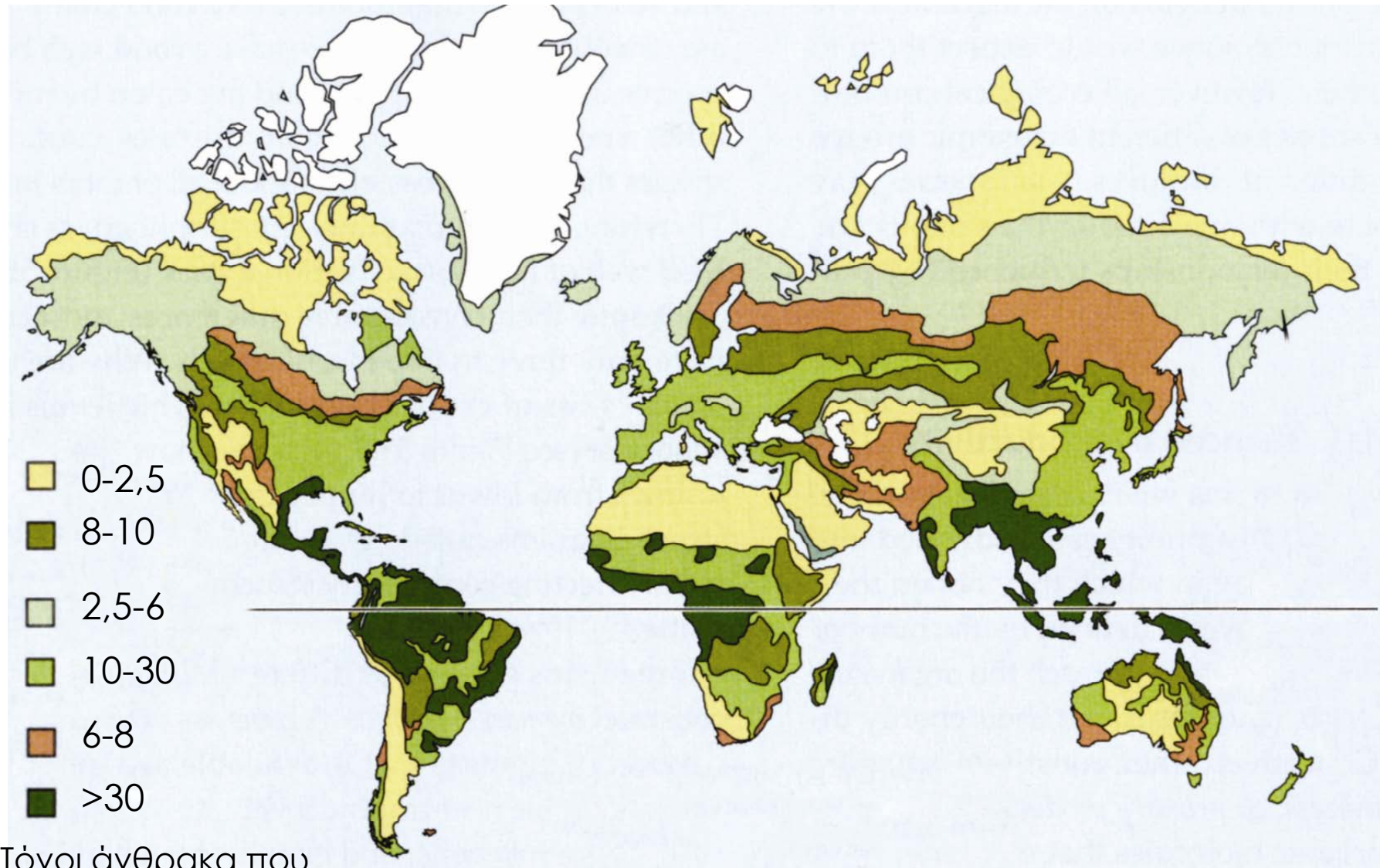
% επιφάνεια της Γης

Καθαρή πρωτογενής παραγωγή (gr/m²/έτος)

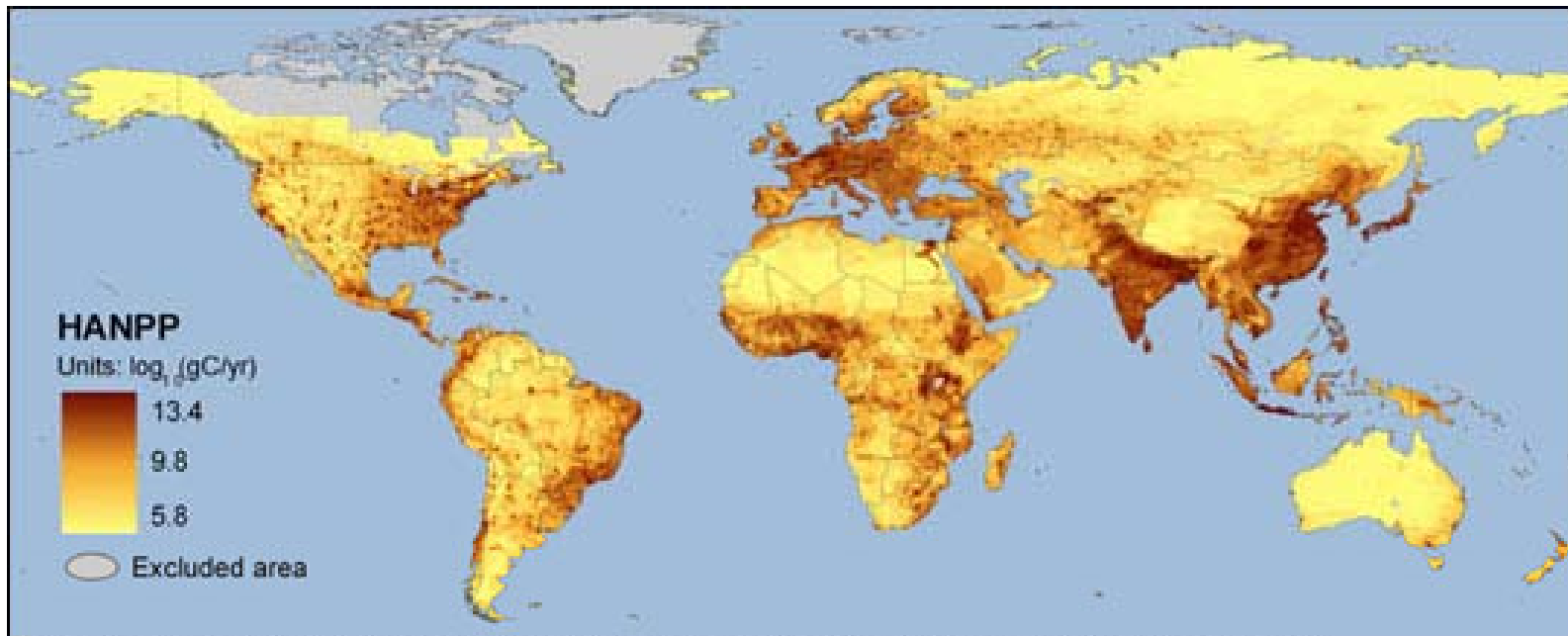
% της καθαρής πρωτογενούς παραγωγής

Η καθαρή πρωτογενής παραγωγή ποικίλει ανάλογα με το οικοσύστημα

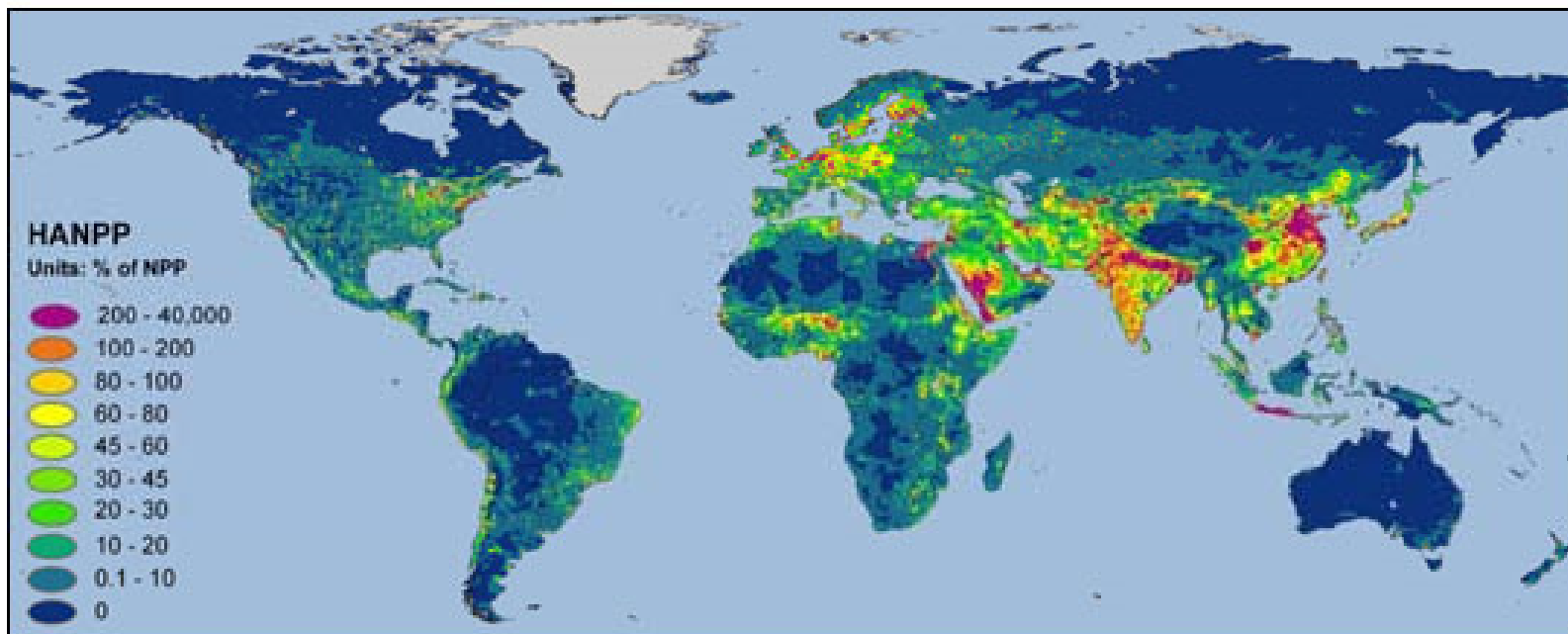
Η καθαρή πρωτογενής παραγωγή ανά μονάδα έκτασης των διαφορετικών οικοσυστημάτων καθορίζει τη συνολική συνεισφορά του κάθε οικοσυστήματος στην καθαρή πρωτογενή παραγωγή του πλανήτη



Τόνοι άνθρακα που δεσμεύονται /εκτάριο /έτος



Human Appropriation of Net Primary Production (grams of carbon per year)

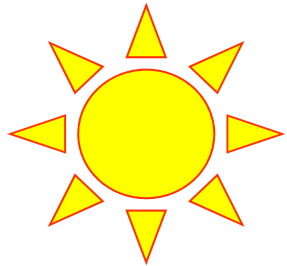


Human Appropriation of Net Primary Production (percent of local NPP)

Πώς μπορούμε να επηρεάσουμε την πρωτογενή παραγωγή ενός οικοσυστήματος?

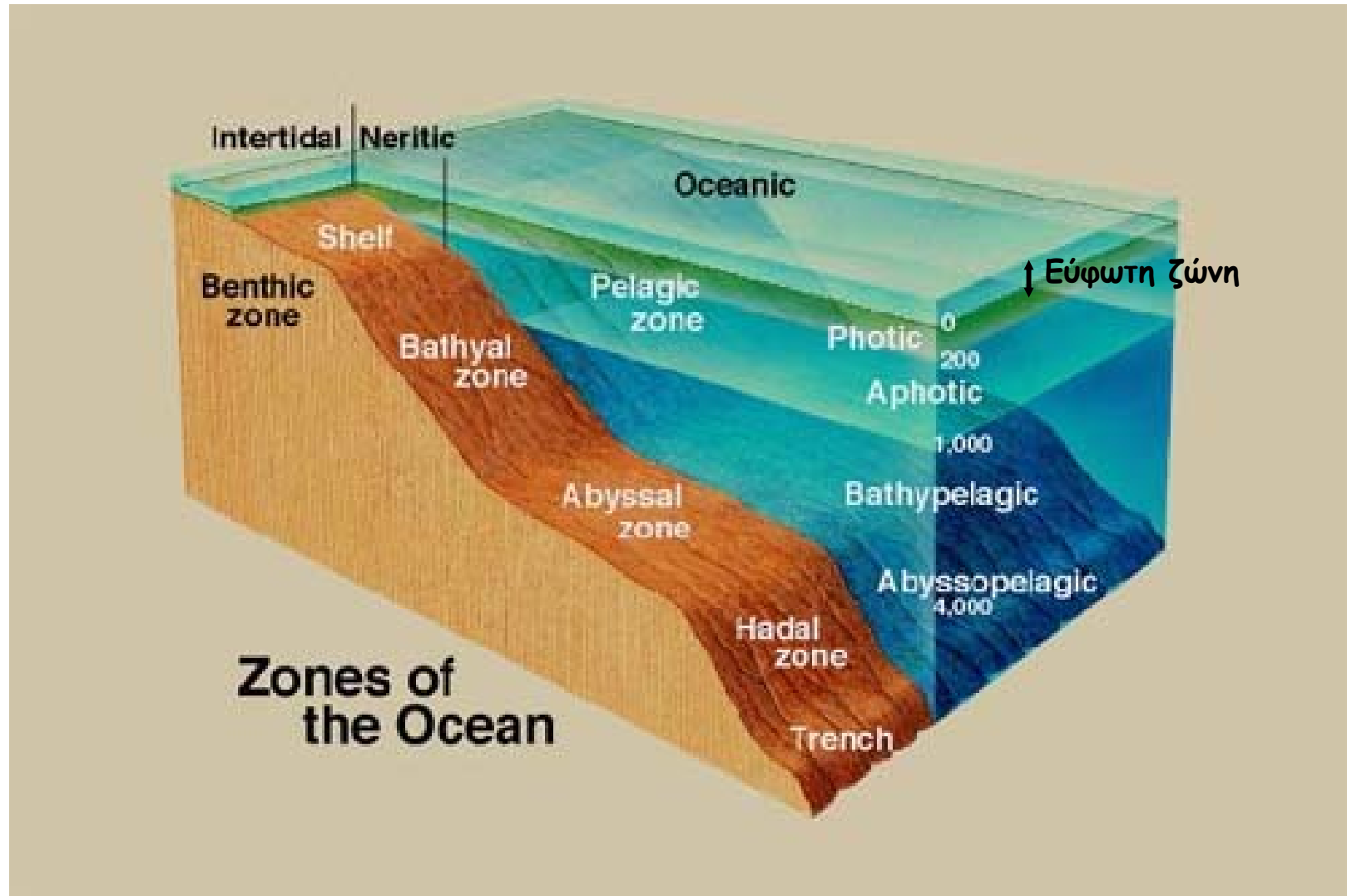
Ποιους παράγοντες μπορούμε να επηρεάσουμε ώστε να αυξήσουμε ή να ελαττώσουμε την πρωτογενή παραγωγή ενός οικοσυστήματος?

Παράγοντες που περιορίζουν την πρωτογενή παραγωγή σε υδάτινα οικοσυστήματα

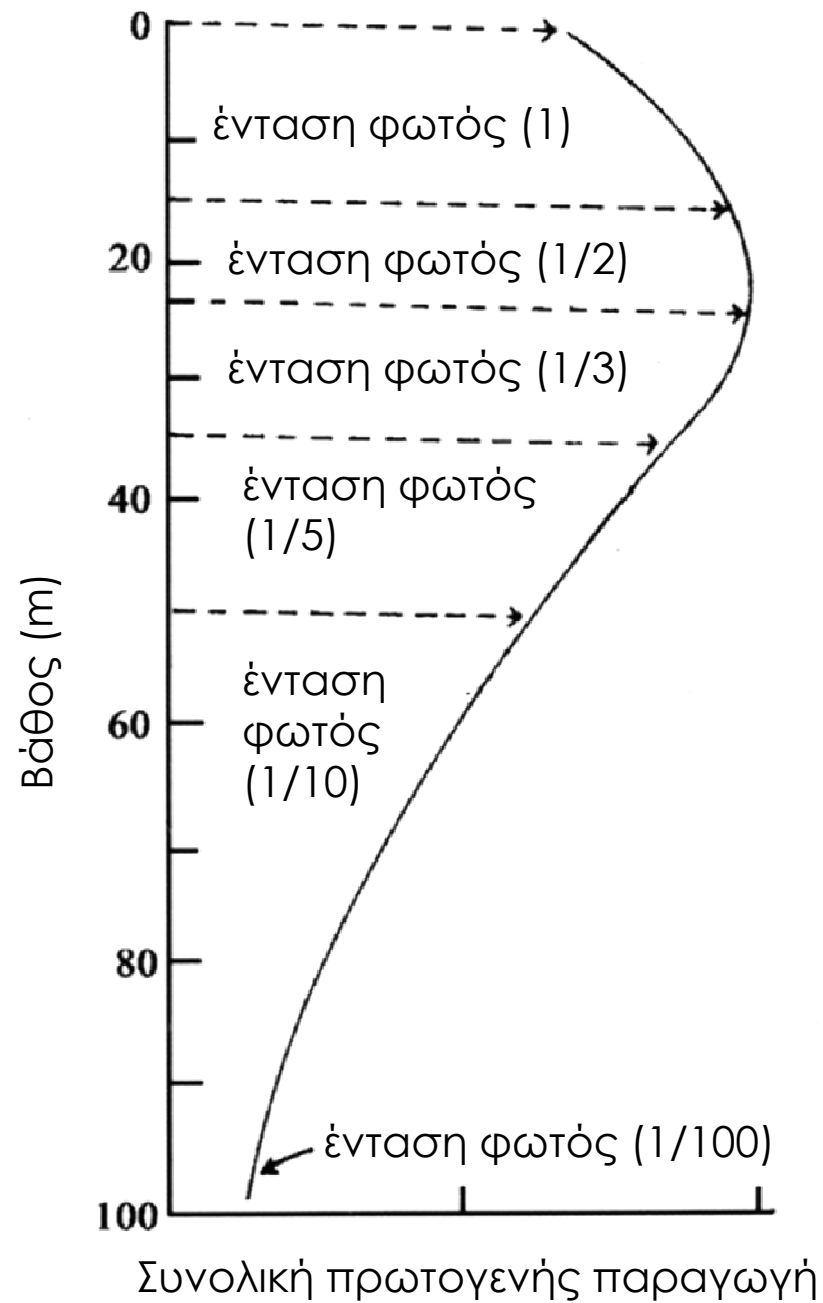


Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία καθοδηγεί τη φωτοσύνθεση, θα περιμέναμε ότι το φως θα ήταν ένας ρυθμιστικός παράγοντας της πρωτογενούς παραγωγής στους ωκεανούς.

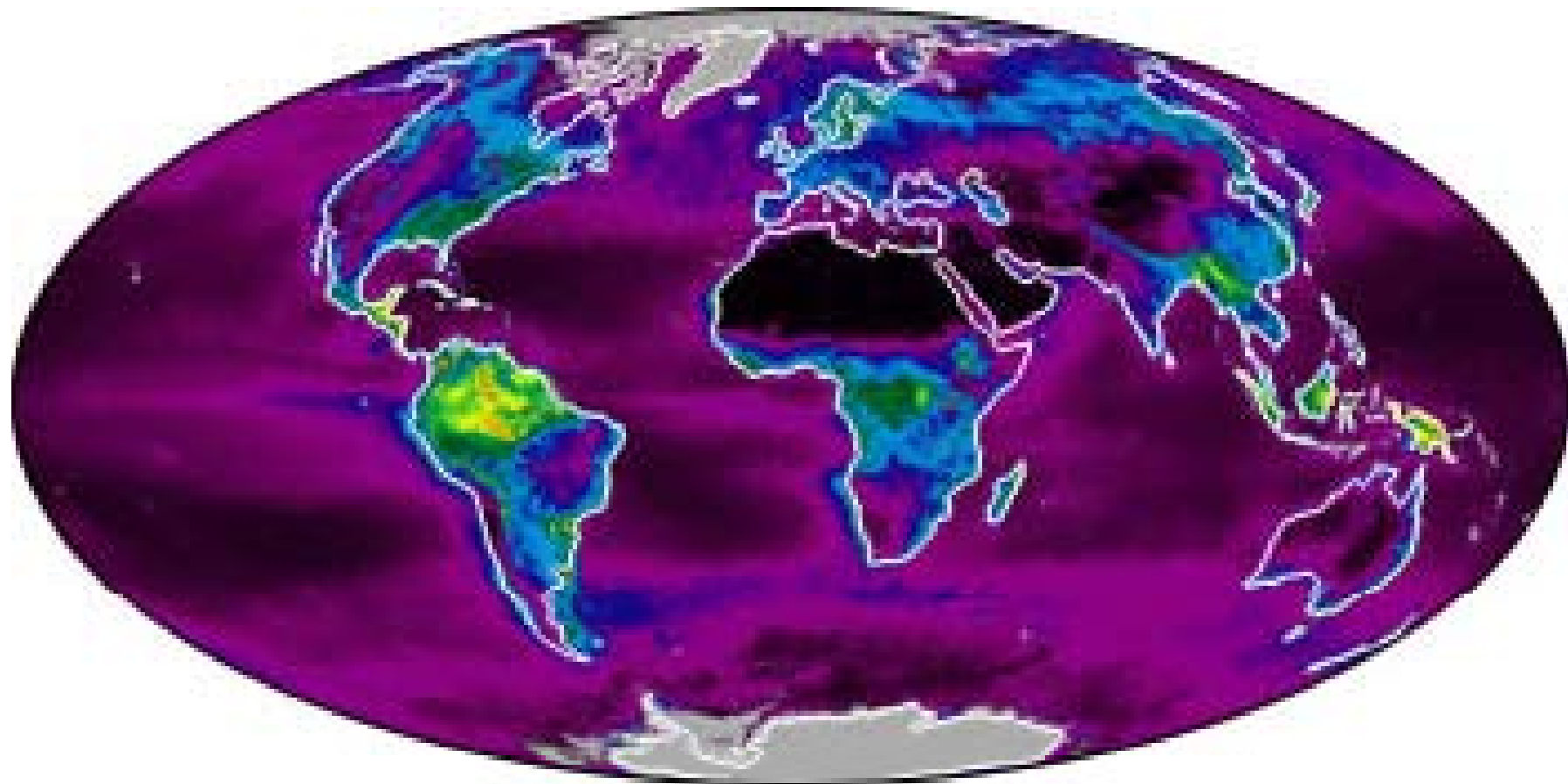
Πάνω από το μισό της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται στα πρώτα μέτρα. Μόνο το 5-10% φτάνει στα 20 μέτρα.



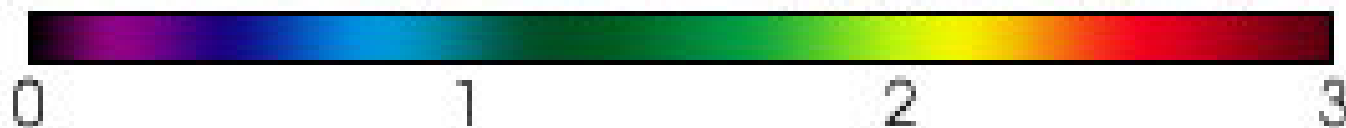
Μεταβολές της έντασης του φωτός και της συνολικής πρωτογενούς παραγωγικότητας με το βάθος του νερού στους ζεστούς ωκεανούς



Θα περιμέναμε η παραγωγή να αυξάνεται από τους πόλους προς τον Ισημερινό (όπου υπάρχει μεγαλύτερη ένταση φωτός) γεγονός που δεν ισχύει.

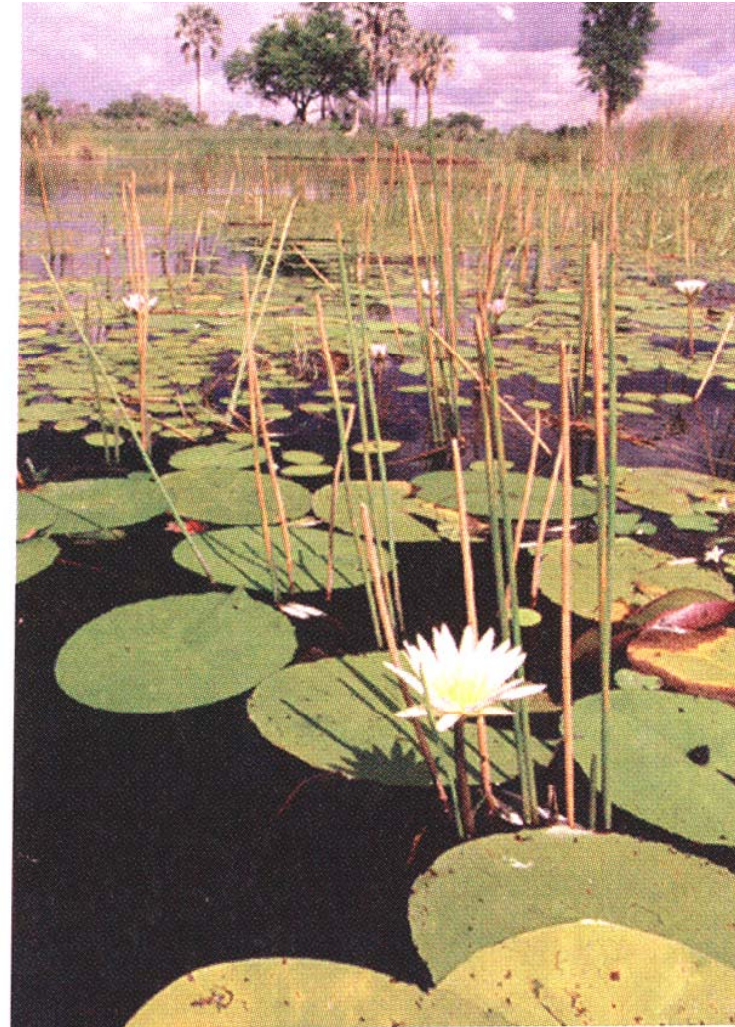
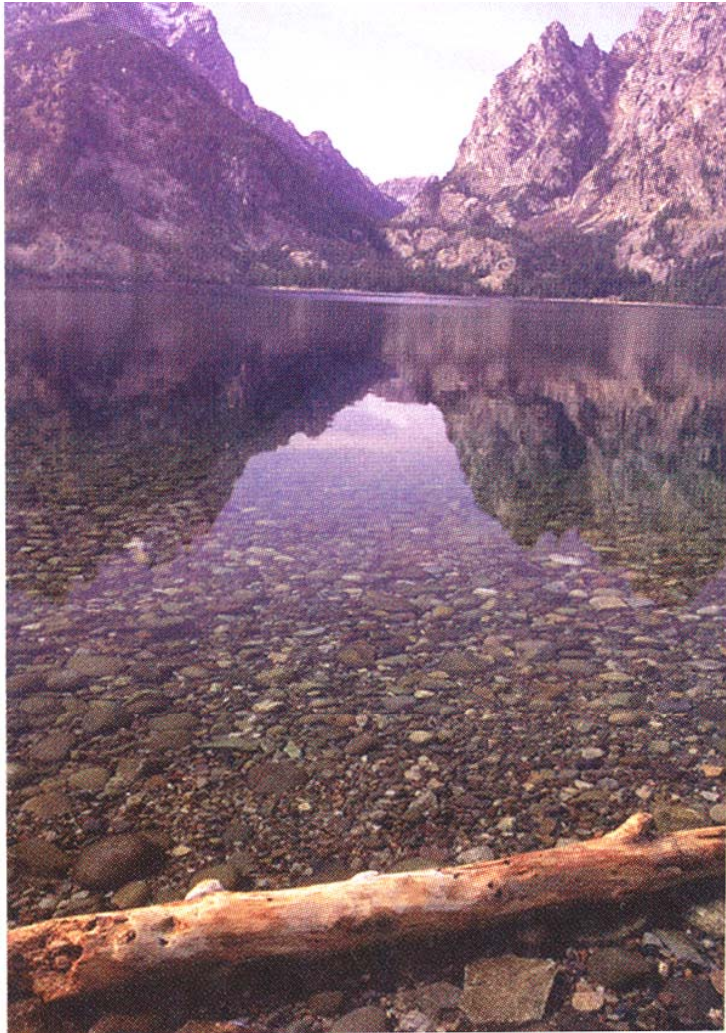


Net Primary Productivity (kgC/m²/year)



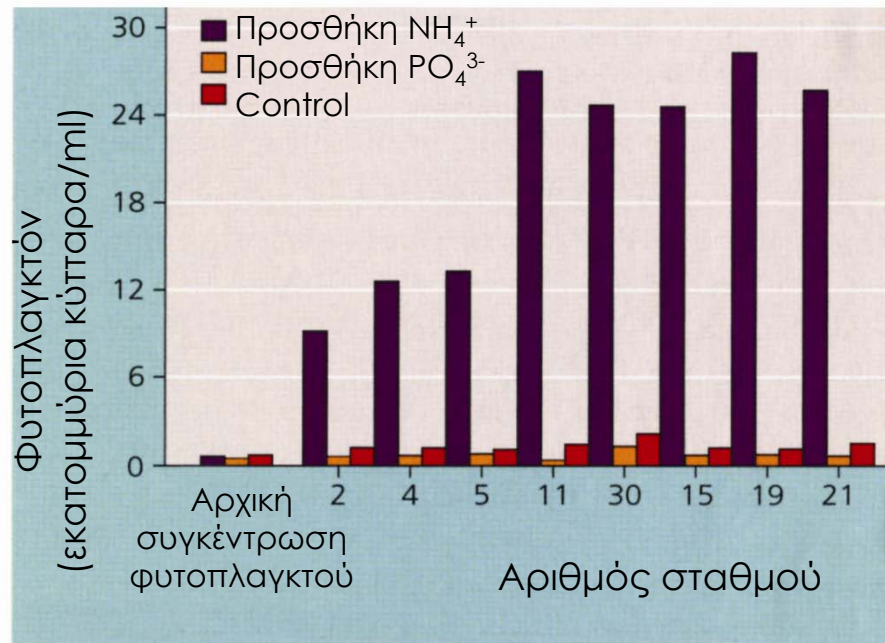
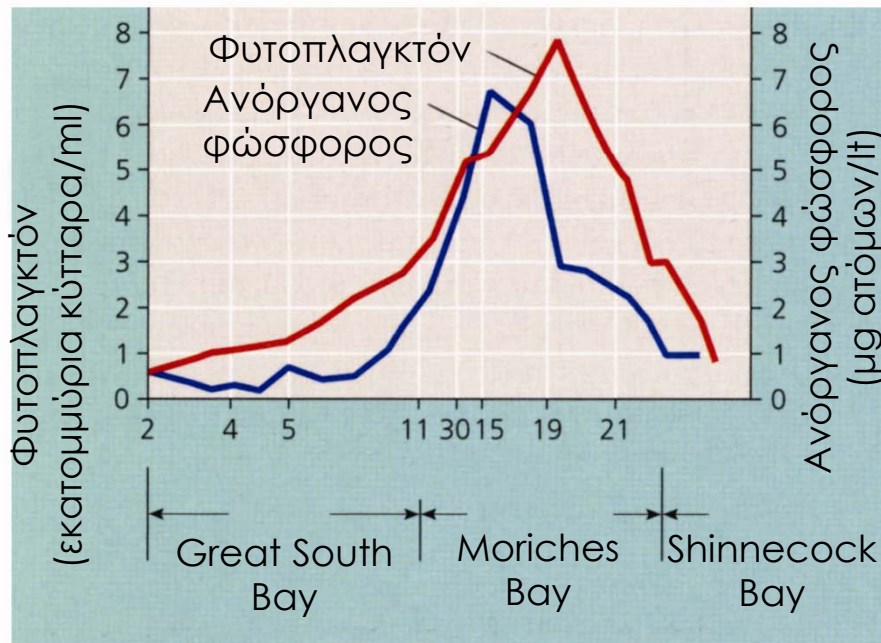
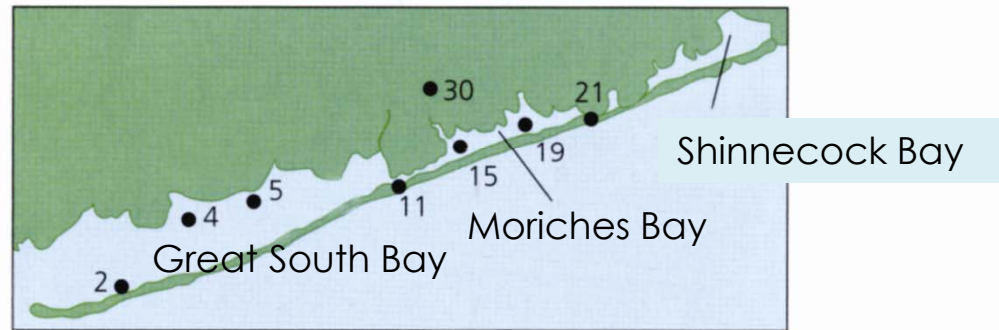
Ο περιορισμός των θρεπτικών παίζει καθοριστικό ρόλο στην πρωτογενή παραγωγή. Τα θρεπτικά που περιορίζουν τη θαλάσσια παραγωγή είναι το άζωτο και ο φώσφορος.

Στην εύφωτη ζώνη, όπου ζει το φυτοπλαγκτόν, το Ν και ο Ρ είναι πολύ περιορισμένα.

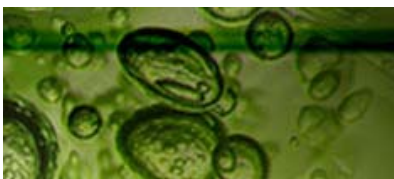


Η ακτή του Long Island, New York

Οι αριθμοί στο χάρτη συμβολίζουν τους σταθμούς συλλογής δεδομένων.



Η αύξηση του φυτοπλαγκτού είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο νερό



Nannochloris atomus

Η προσθήκη NH_4^+ προκαλεί υπέρμετρη αύξηση του φυτοπλαγκτού καθώς η συγκέντρωση του αζώτου στο νερό είναι ελάχιστη.

Σε αντίθεση, η προσθήκη PO_4^{3-} δεν έχει καμιά επίδραση, εφόσον η συγκέντρωση φωσφόρου στο νερό είναι ήδη αυξημένη.

Επίδραση διαφόρων συνδυασμών θρεπτικών στοιχείων στην πρωτογενή παραγωγικότητα σε δείγματα νερού, τα οποία πάρθηκαν από τη θάλασσα των Σαργασών

Θρεπτικά στοιχεία που προσέθηκαν	Σχετική πρόσληψη ^{14}C
Τίποτα	100%
N+P	110%
N+P+μέταλλα χωρίς σίδηρο	108%
N+P+μέταλλα (συμπεριλαμβανομένου του σιδήρου)	1290%
N+P+σίδηρος	1200%



Περιοχές με αυξημένα επίπεδα N, όπως η θάλασσα των Σαργασών (τα πιο διαυγή νερά), έχουν πολύ χαμηλά επίπεδα φυτοπλαγκτού.

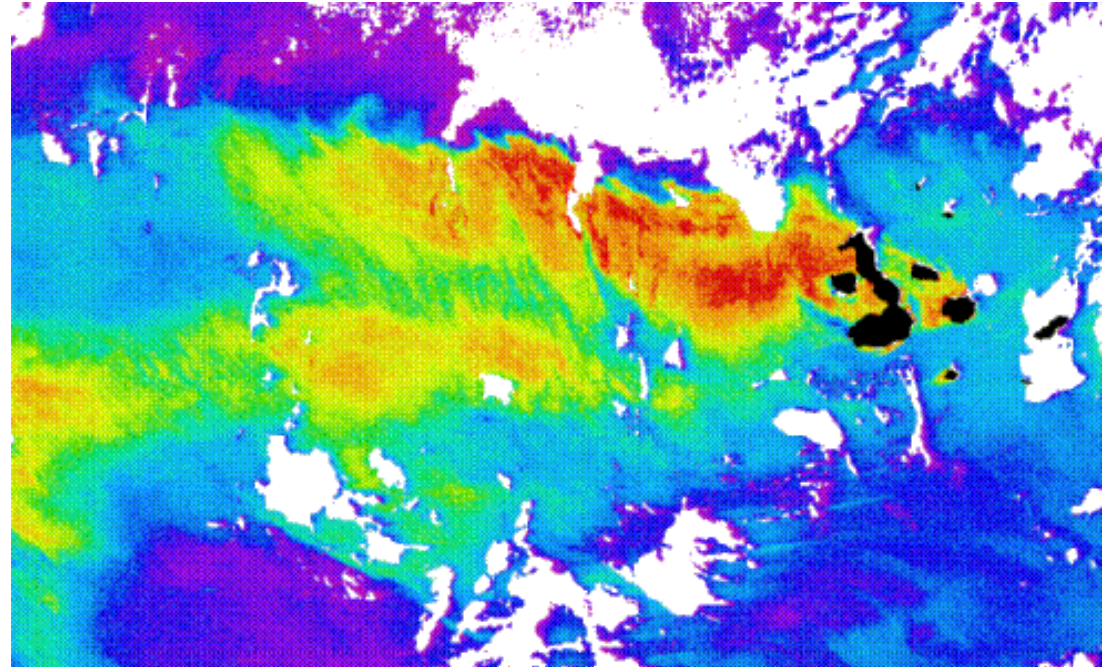
Στη θάλασσα των Σαργασών αυτό οφείλεται στα μειωμένα επίπεδα σιδήρου που ελαττώνουν την παραγωγή φυτοπλαγκτού.



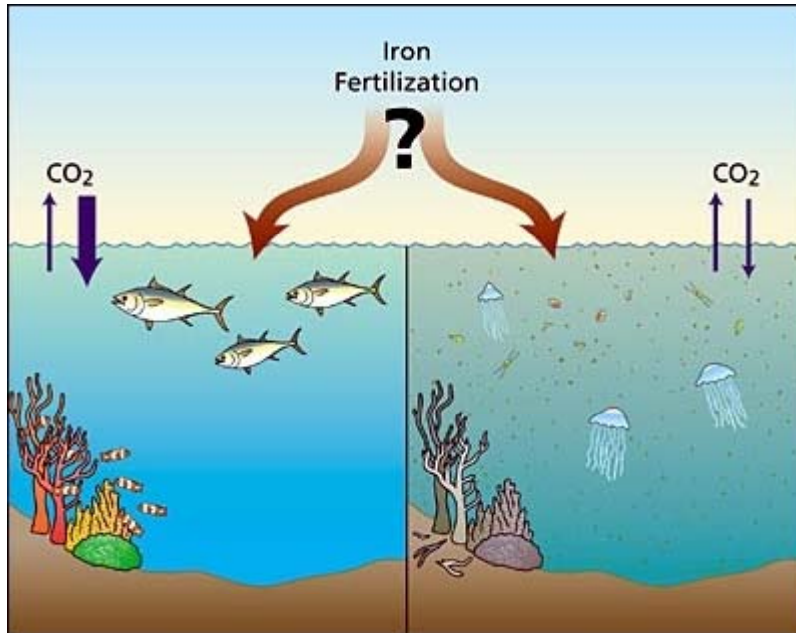
Southern Ocean Iron Release Experiment (SOIREE)

Επιστήμονες πρόσθεσαν σίδηρο σε έκταση 72χλμ και στη συνέχεια μέτρησαν τη συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού για 7 ημέρες.

Η συγκέντρωση φυτοπλαγκτού και χλωροφύλλης αυξήθηκε 27 φορές.



$Fe \rightarrow$ διεγείρει την αύξηση των κυανοβακτηρίων \rightarrow δέσμευση $N_2 \rightarrow$ παραγωγή φυτοπλαγκτού



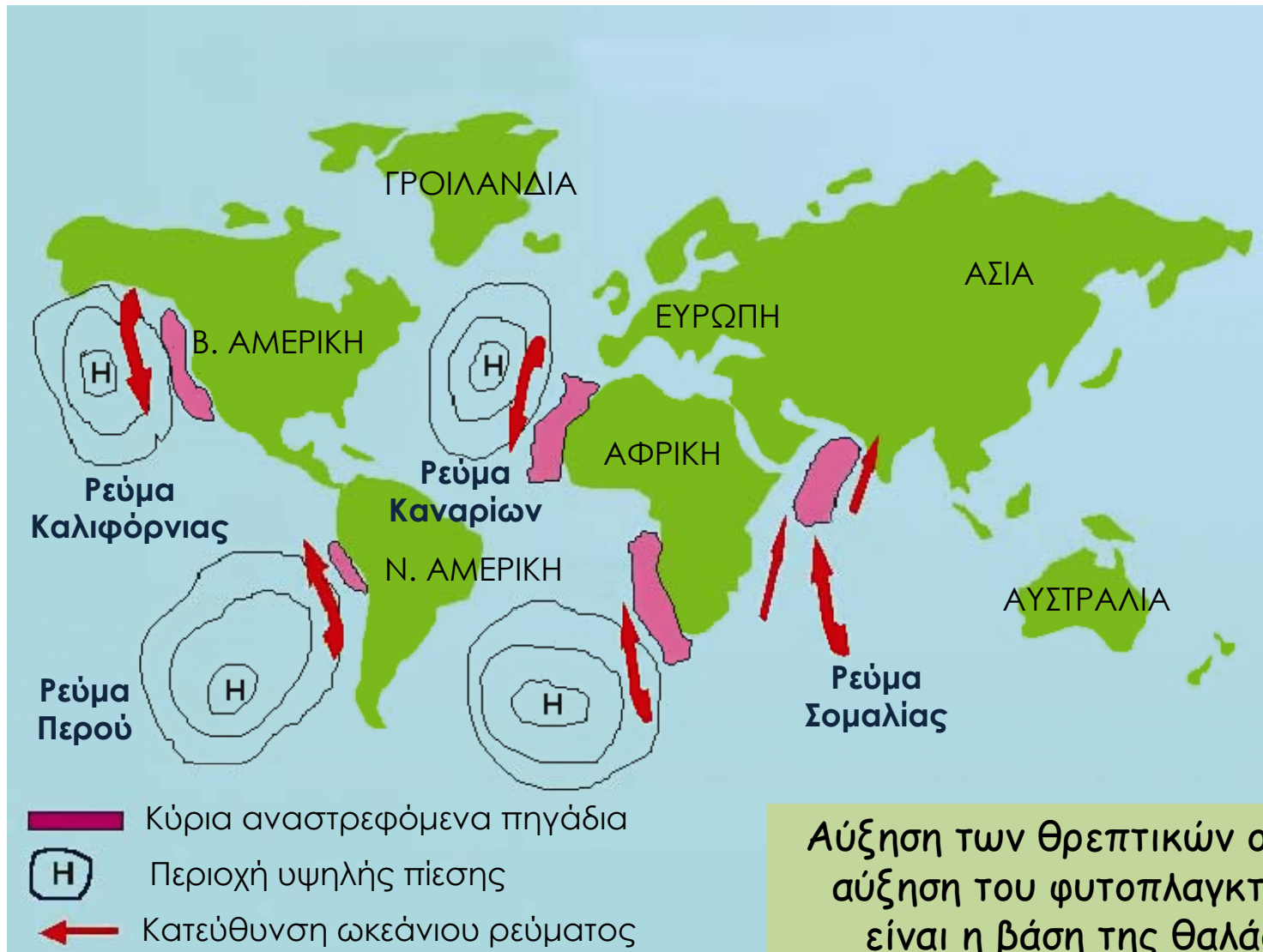
Σίδηρος

Διεγείρει την αύξηση κυανοβακτηρίων

Αυξάνεται η δέσμευση N₂

Αυξάνεται η παραγωγή φυτοπλαγκτού

Οι σημαντικότερες περιοχές όπου παρατηρούνται αναστρεφόμενα πηγάδια, τα οποία εμπλουτίζουν τα επιφανειακά νερά με θρεπτικά



Αύξηση των θρεπτικών οδηγεί σε αύξηση του φυτοπλαγκτού που είναι η βάση της θαλάσσιας τροφικής πυραμίδας.

Πειραματικός ευτροφισμός σε μια λίμνη

Το 1974, η λίμνη αυτή χωρίστηκε στα δύο, με ένα πλαστικό υλικό. Στο ένα μέρος της προστέθηκαν ανόργανες πηγές άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου, και σε δύο μήνες γέμισε με κυανοβακτήρια, τα οποία προσέδωσαν στη λίμνη ένα άσπρο χρώμα. Στο άλλο μέρος της λίμνης, όπου προστέθηκαν μόνο άνθρακας και άζωτο δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή.



Προσθήκη
φωσφόρου

κυανοβακτήρια





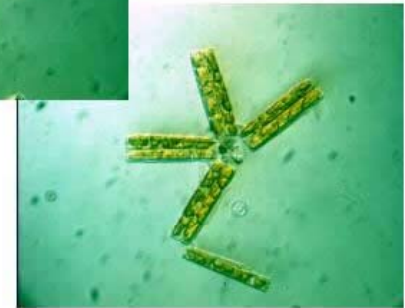
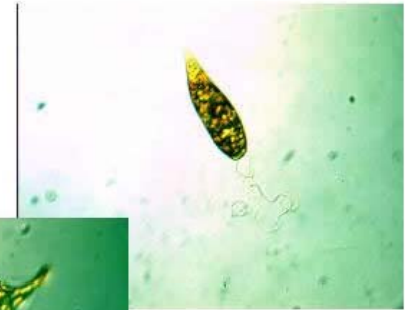
Προσθήκη φωσφόρου



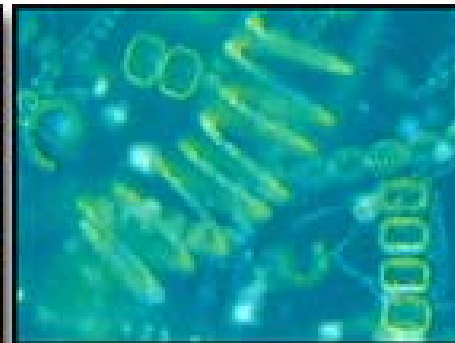
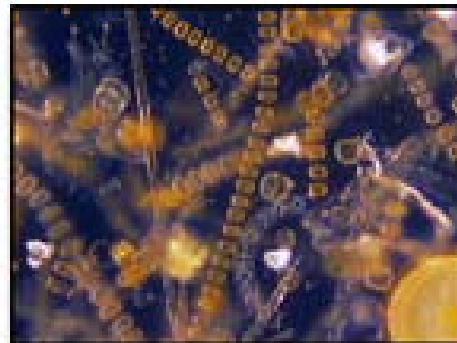
cyanobacteria



algae



Η προσθήκη
φωσφόρου αυξάνει
τα κυανοβακτήρια.

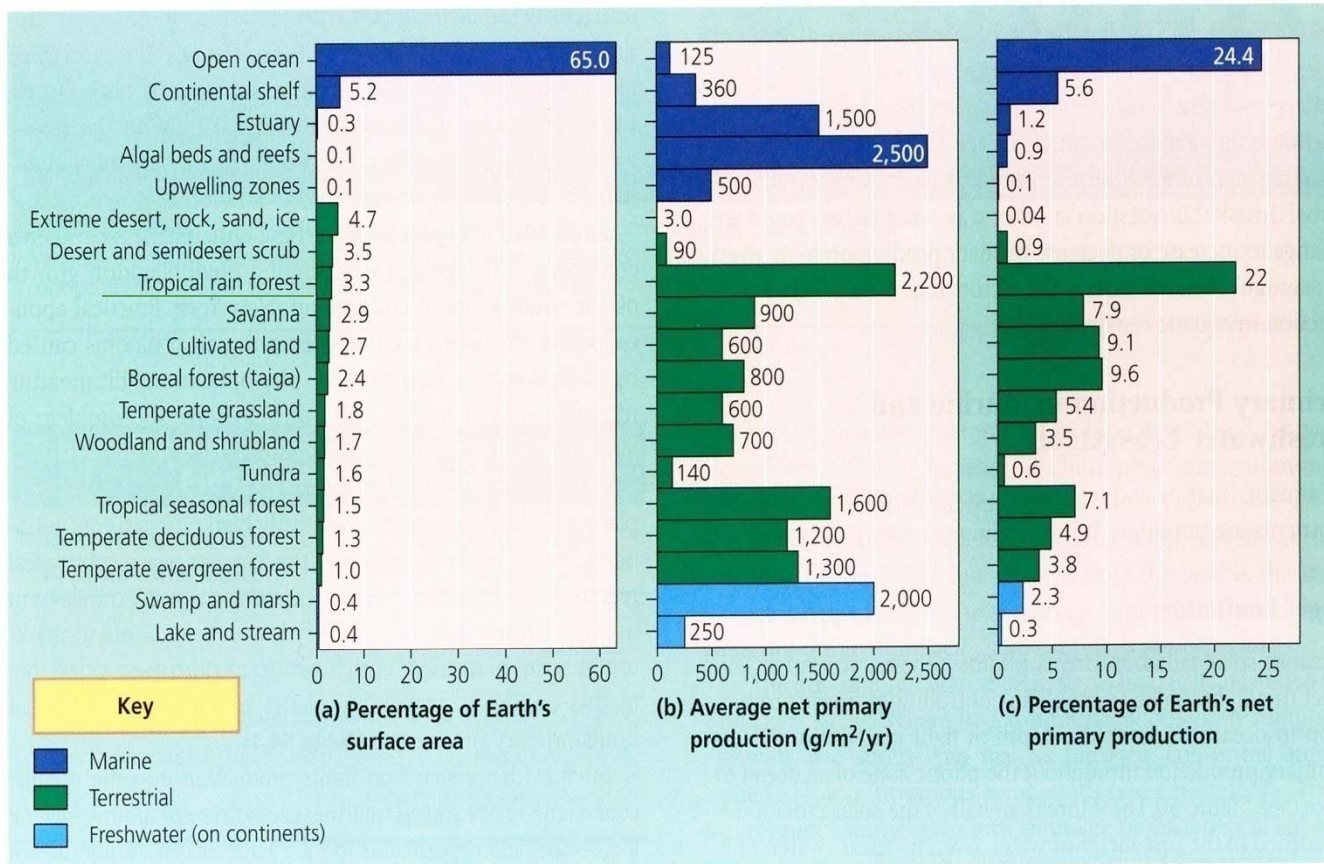


Diatom phytoplankton bloom early in the Spring in the Gulf of Maine.

Images courtesy D. Townsend, University of Maine.

Παράγοντες που περιορίζουν την πρωτογενή παραγωγή σε χερσαία οικοσυστήματα

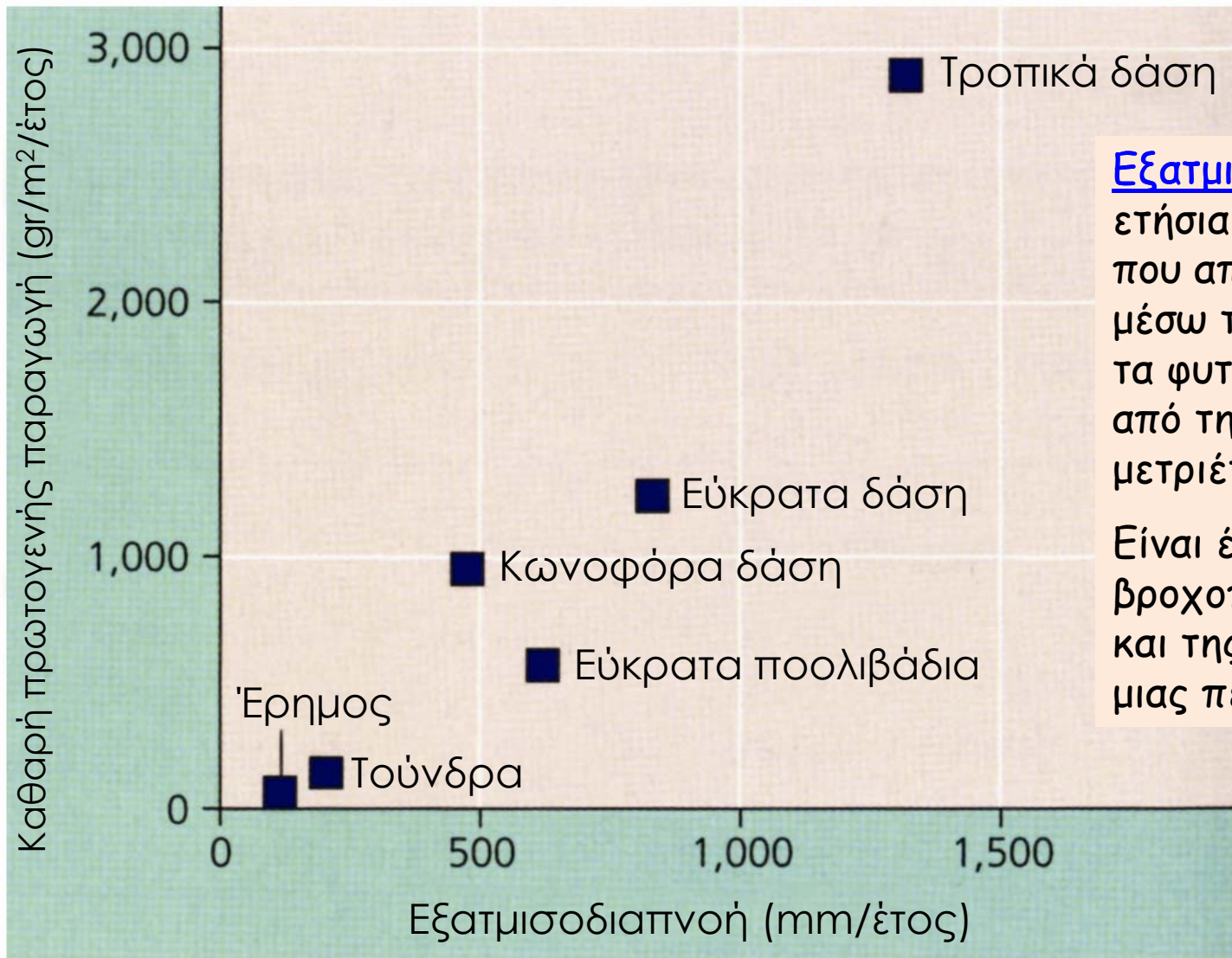
Η θερμοκρασία και η υγρασία είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρωτογενή παραγωγή στα χερσαία οικοσυστήματα.



Το τροπικό υγρό δάσος εμφανίζει τη μεγαλύτερη πρωτογενή παραγωγή, από όλα τα χερσαία οικοσυστήματα

▲ **Figure 54.4 Net primary production of different ecosystems.** The geographic extent (a) and the net primary production per unit area (b) of different ecosystems determine their total contribution to worldwide net primary production (c).

Η καθαρή πρωτογενής παραγωγή στα χερσαία οικοσυστήματα αυξάνεται με την αύξηση της εξατμισοδιαπνοής



Εξατμισοδιαπνοή: η ετήσια ποσότητα νερού που απομακρύνεται μέσω της διαπνοής από τα φυτά και εξατμίζεται από την ξηρά. Συνήθως μετριέται σε mm.

Είναι ένας δείκτης των βροχοπτώσεων καθώς και της θερμοκρασίας μιας περιοχής.



Hudson bay salt marsh

Κυρίως το άζωτο, αλλά και ο φώσφορος σε συνδυασμό με το άζωτο, επηρεάζουν την καθαρή πρωτογενή παραγωγή στα χερσαία οικοσυστήματα.

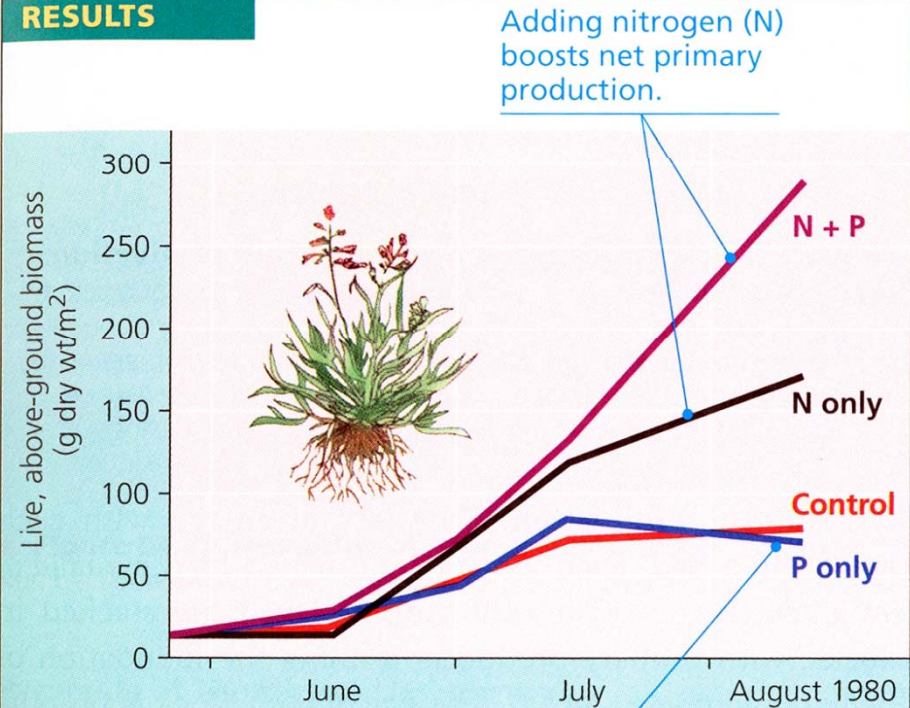
Figure 54.9

Inquiry Is phosphorus or nitrogen the limiting nutrient in a Hudson Bay salt marsh?

EXPERIMENT

Over the summer of 1980, researchers added phosphorus to some experimental plots in the salt marsh, nitrogen to other plots, and both phosphorus and nitrogen to others. Some plots were left unfertilized as controls.

RESULTS



Experimental plots receiving just phosphorus (P) do not outproduce the unfertilized control plots.

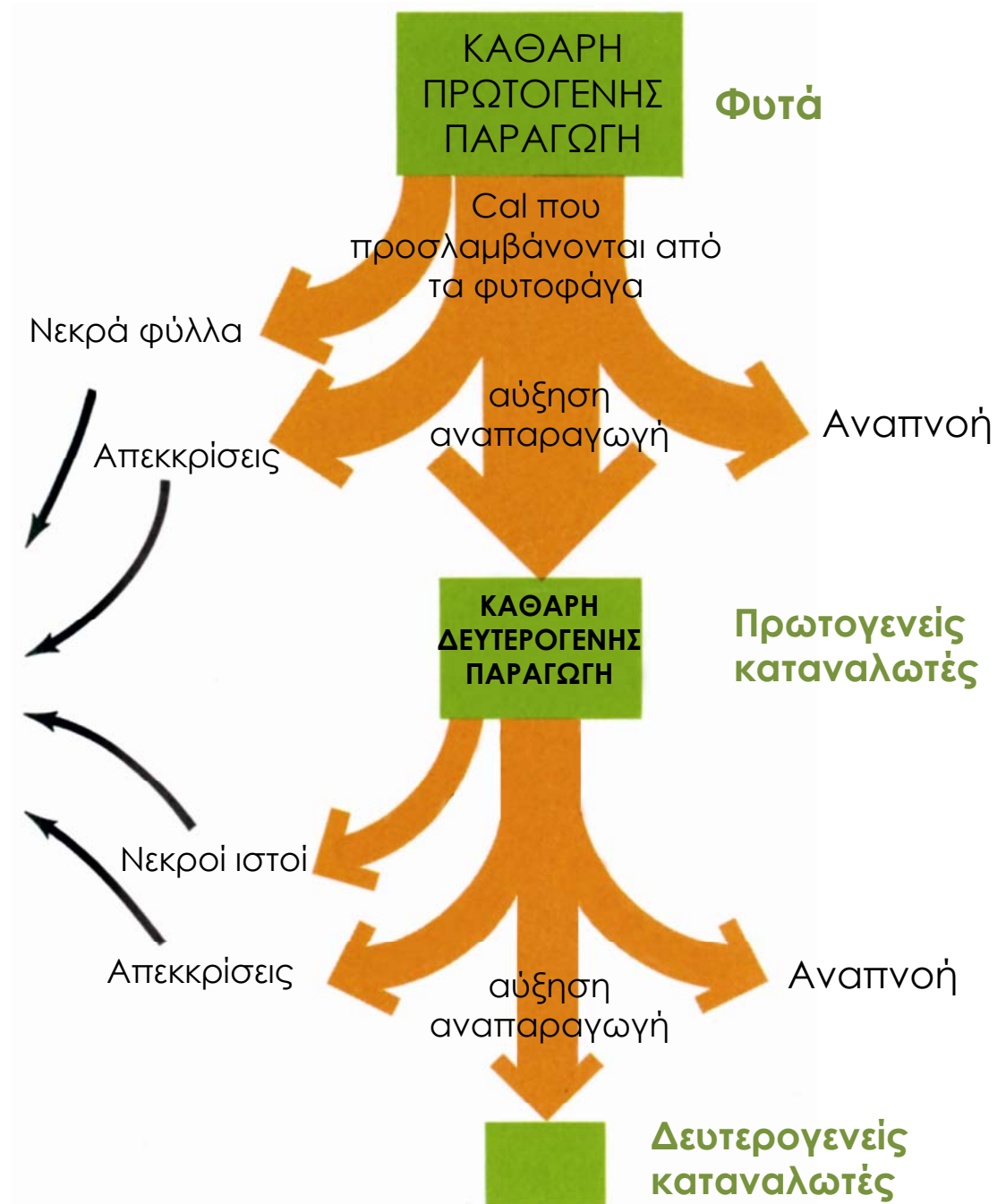
CONCLUSION

These nutrient enrichment experiments confirmed that nitrogen was the nutrient limiting plant growth in this salt marsh.

Η καθαρή πρωτογενής παραγωγή ακολουθεί τρεις πορείες.

Ένα μέρος της παραμένει στα φυτά χρησιμεύοντας για αύξηση της βιομάζας τους.

Ένα δεύτερο μέρος μεταφέρεται στους πρωτογενείς καταναλωτές (φυτοφάγα ζώα) και ένα τρίτο μέρος μεταφέρεται ως νεκρή οργανική ύλη στους αποικοδομητικούς οργανισμούς.

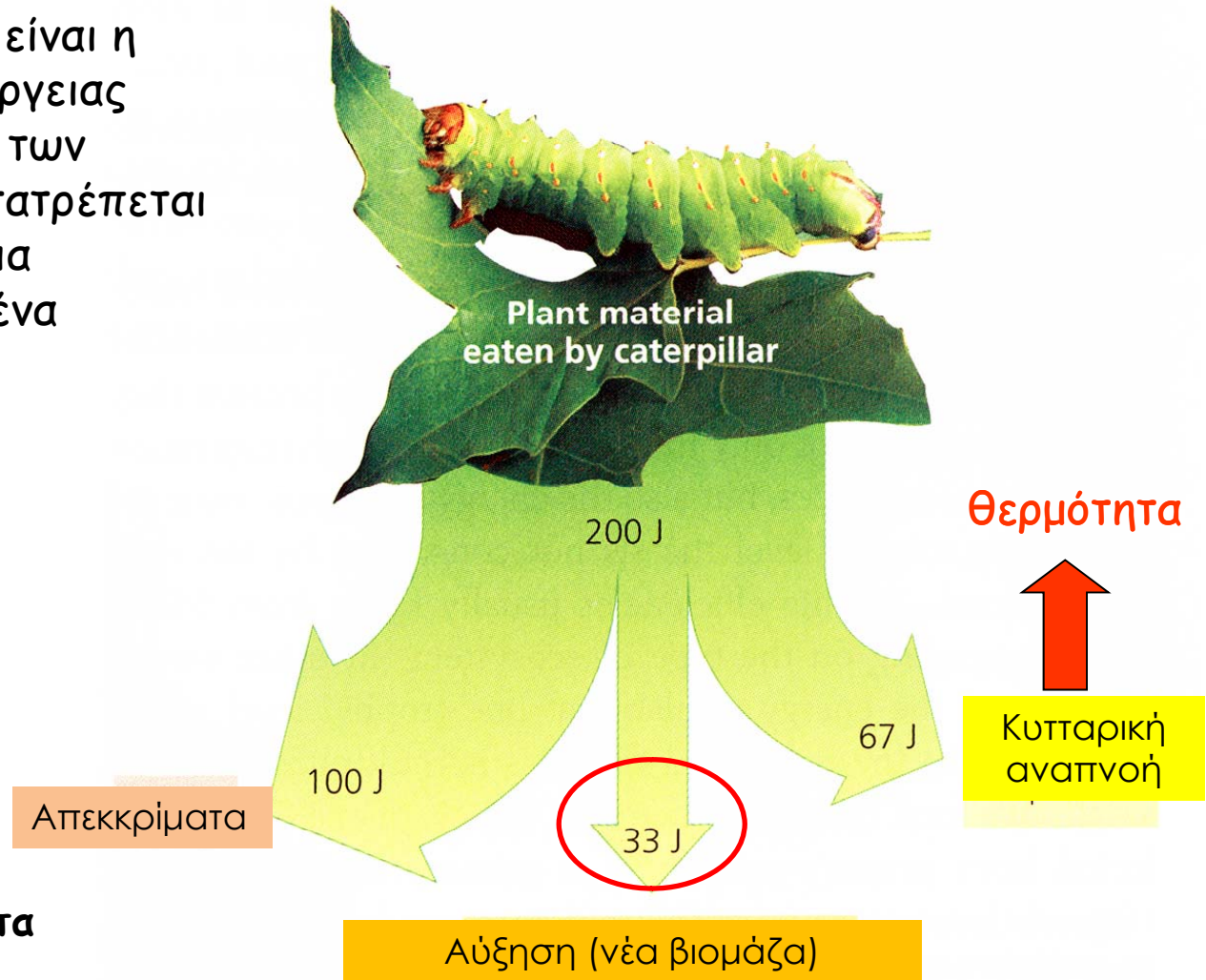


2. Η μεταφορά ενέργειας ανάμεσα στα τροφικά επίπεδα είναι λιγότερο από 20% αποτελεσματική

Δευτερογενής παραγωγή: είναι η ποσότητα της χημικής ενέργειας που βρίσκεται στην τροφή των καταναλωτών, η οποία μετατρέπεται σε καινούρια βιομάζα σε μια συγκεκριμένη περίοδο σε ένα οικοσύστημα.

Όταν μια κάμπια τρέφεται από ένα φύλλο, μόνο τα 33 από τα 200J (1/6) χρησιμοποιείται για δευτερογενή παραγωγή ή αύξηση.

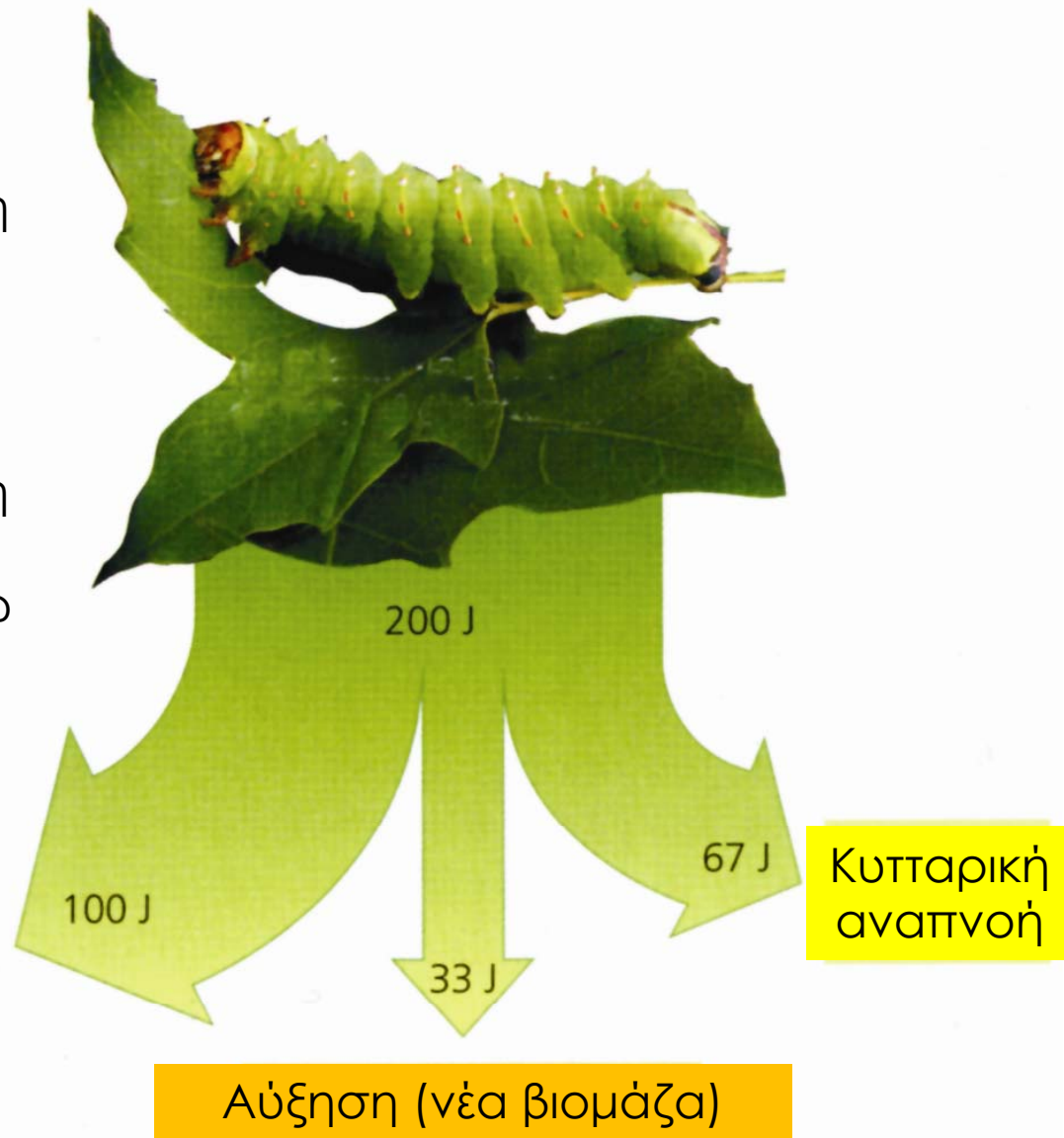
Η ενέργεια που βρίσκεται στα περιττώματα παραμένει στο οικοσύστημα και καταναλώνεται από τους αποικοδομητές.



▲ **Figure 54.10 Energy partitioning within a link of the food chain.** Less than 17% of the caterpillar's food is actually used for secondary production (growth).

Από τα 200 Joule που περικλείει ένα φύλλο φυτού, η κάμπια χρησιμοποιεί μόλις το 17% (δηλ. 33 J) για την καθαρή δευτερογενή παραγωγή, δηλαδή την αύξηση και την αναπαραγωγή της. Τα 67 J τα οποία χρησιμοποιεί για την κυτταρική της αναπνοή χάνονται υπό μορφή θερμότητας, ενώ τα 100J μέσω των απεκκριμάτων της επιστρέφουν στο περιβάλλον.

Απεκκρίματα



Η αποτελεσματικότητα της παραγωγής είναι $33/(33+67) = 33\%$

Όμως, δεν καταναλώνεται όλη η πρωτογενής παραγωγή από τα φυτοφάγα, παρά μόνο ένα μικρό μέρος της.

$$\text{Αποτελεσματικότητα παραγωγής} = \frac{\text{Καθαρή δευτερογενής παραγωγή}}{\text{Αφομοιώσιμη πρωτογενής παραγωγή}}$$

Καθαρή δευτερογενής παραγωγή: είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται σε βιομάζα και χρησιμοποιείται για αύξηση και αναπαραγωγή

Αφομοιώσιμη πρωτογενής παραγωγή: είναι η ολική ενέργεια που χρησιμοποιείται για αύξηση, αναπαραγωγή και διαπνοή

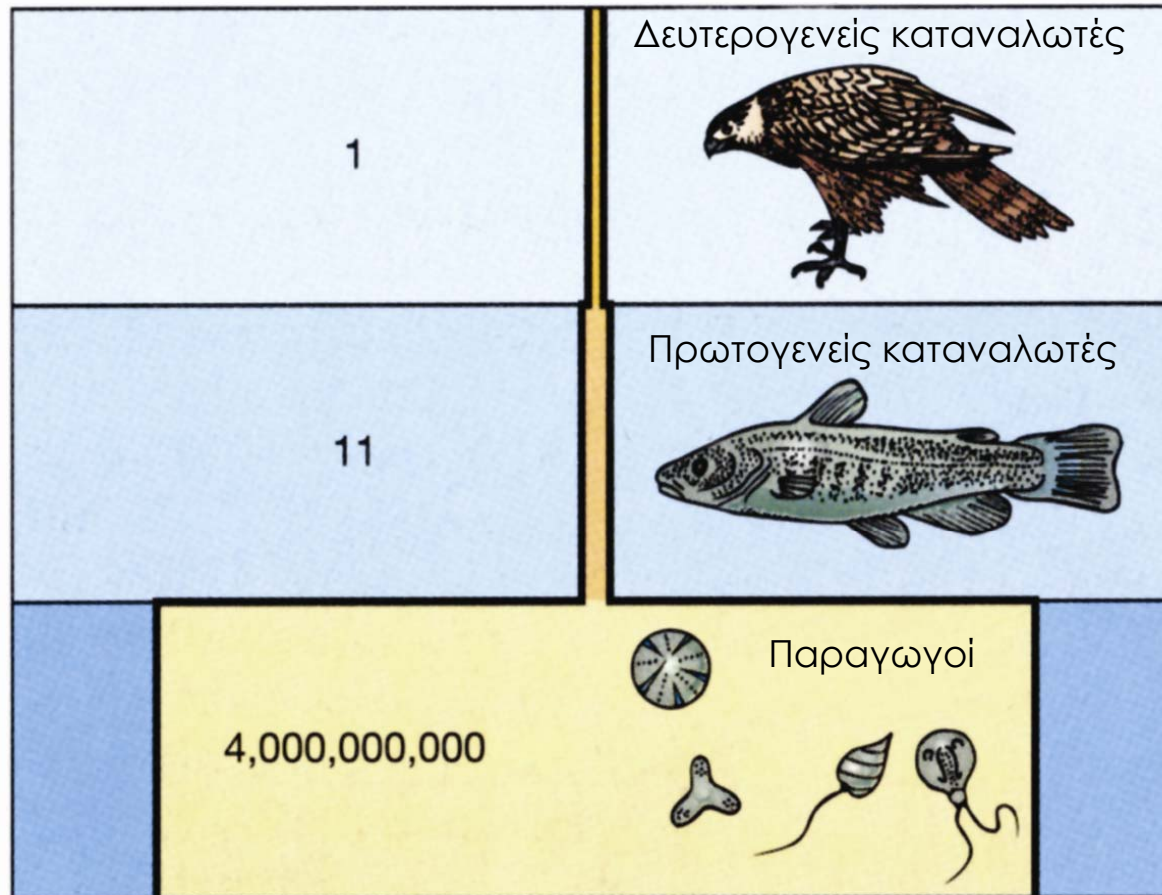
Τα πουλιά και τα θηλαστικά έχουν χαμηλή αποτελεσματικότητα (1-3%) γιατί χρησιμοποιούν πολλή ενέργεια για να διατηρήσουν σταθερή τη θερμοκρασία τους.

Τα ψάρια έχουν αποτελεσματικότητα 10%, ενώ τα έντομα 40%.

Η πυραμίδα αριθμών βασίζεται στον αριθμό των οργανισμών σε κάθε τροφικό επίπεδο

Αριθμός ατόμων

Τροφικό επίπεδο



Πυραμίδα βιομάζας που αφορά
ένα εύκρατο ποολιβάδι

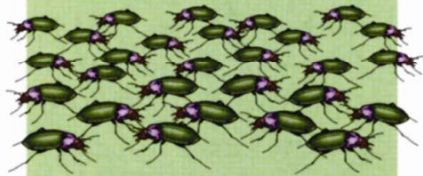
Τριτογενείς
καταναλωτές



Δευτερογενείς
καταναλωτές



Πρωτογενείς
καταναλωτές

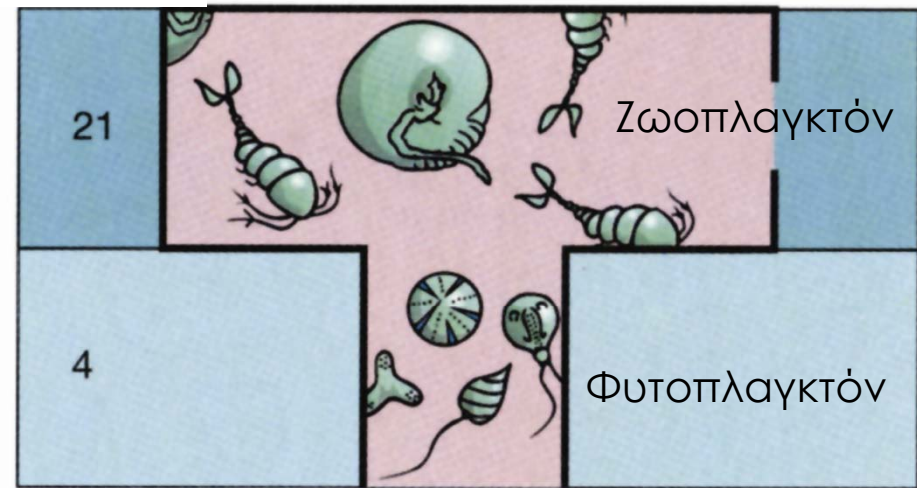


Βιομάζα (gr/m^2)

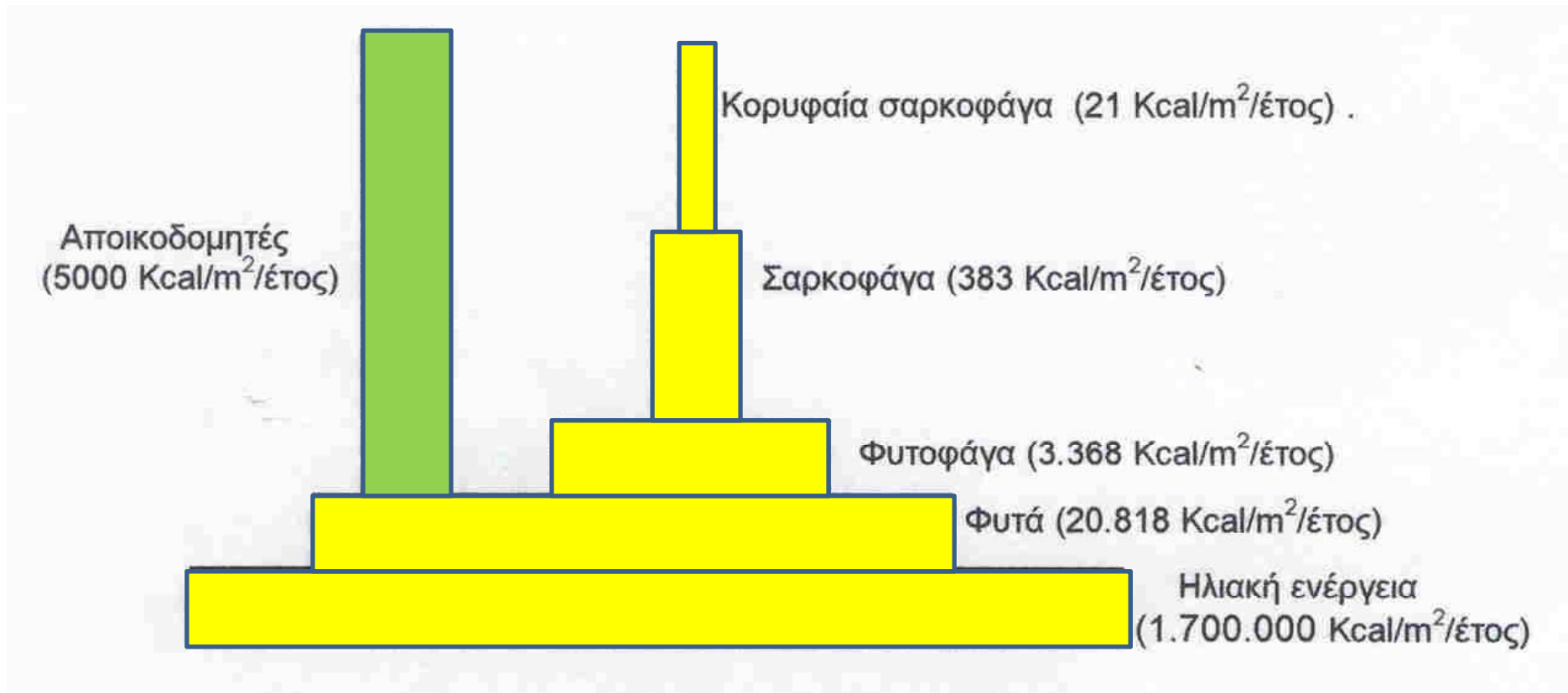
Ανεστραμμένη πυραμίδα βιομάζας,
όπου το επίπεδο των καταναλωτών
περιλαμβάνει μικροσκοπικό
φυτοπλαγκτόν, με πολύ ψηλούς
ρυθμούς αναπαραγωγής.

Βιομάζα
(gr/m^2)

Τροφικό επίπεδο



Πυραμίδα ενέργειας



Τροφική αποτελεσματικότητα το % της παραγωγής που μεταφέρεται από ένα τροφικό επίπεδο σε ένα άλλο (5-20%).

Είναι χαμηλότερη από την αποτελεσματικότητα παραγωγής γιατί εκτός από τις απώλειες Ε στην αναπνοή και στα περιττώματα, λαμβάνει υπόψιν της και την ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται από το ένα επίπεδο στο άλλο

The green world hypothesis



Τα φυτοφάγα καταναλώνουν ετήσια λιγότερο από το 17% της ολικής καθαρής πρωτογενούς παραγωγής

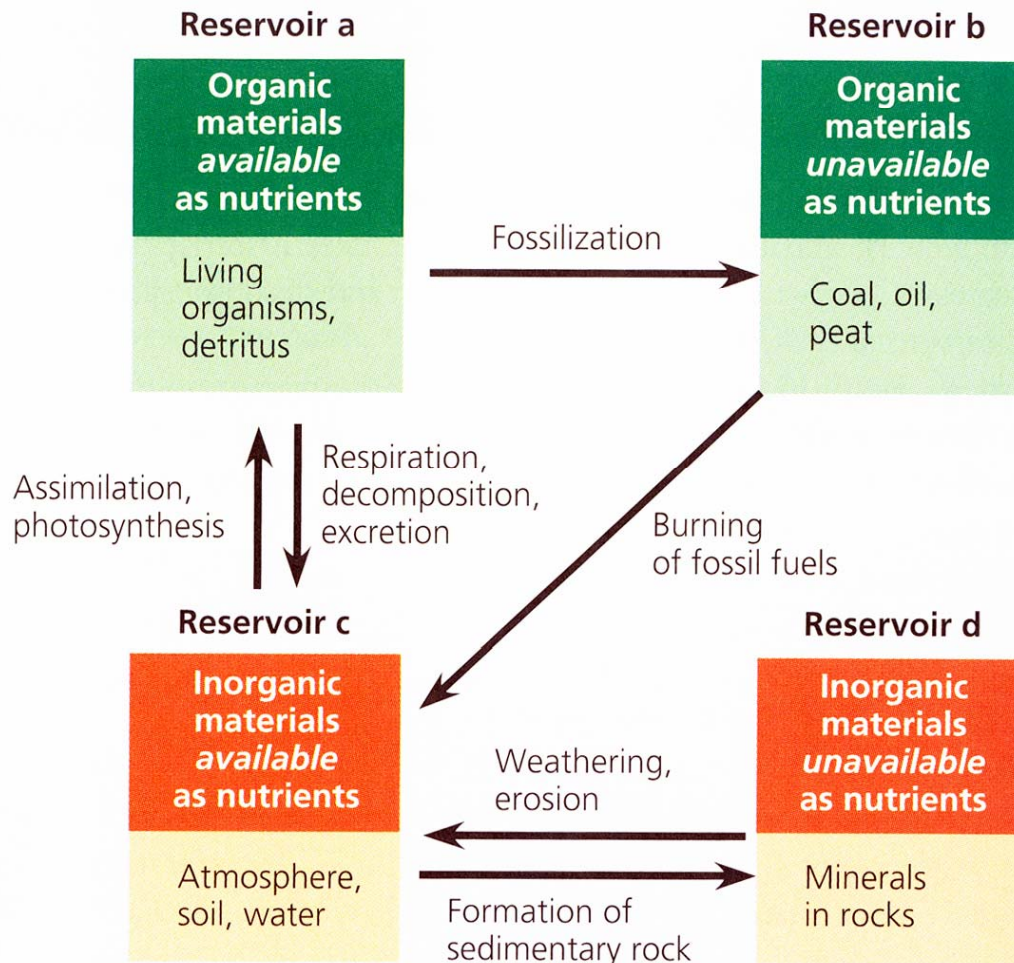
Γιατί είναι τόσο πράσινος ο κόσμος μας?

1. Τα φυτά έχουν αμυντικά χαρακτηριστικά ενάντια στα φυτοφάγα
2. Τα θρεπτικά συστατικά (όχι τα αποθέματα ενέργειας) αποτελούν περιοριστικό παράγοντα των φυτοφάγων
3. Αβιοτικοί παράγοντες (κλιματικές συνθήκες) περιορίζουν την εξάπλωση των φυτοφάγων
4. Διαειδικός ανταγωνισμός περιορίζει τον αριθμό των φυτοφάγων
5. Ενδοειδικός ανταγωνισμός κρατάει σταθερό τον αριθμό ενός πληθυσμού φυτοφάγων



3. Βιολογικές και γεωχημικές διαδικασίες μεταφέρουν τα θρεπτικά από οργανικά σε ανόργανα μέρη του οικοσυστήματος

Βιογεωχημικοί κύκλοι: η κυκλική πορεία που ακολουθούν τα θρεπτικά υλικά από το αβιοτικό περιβάλλον προς τους ζωντανούς οργανισμούς και η επιστροφή τους στο αβιοτικό περιβάλλον.

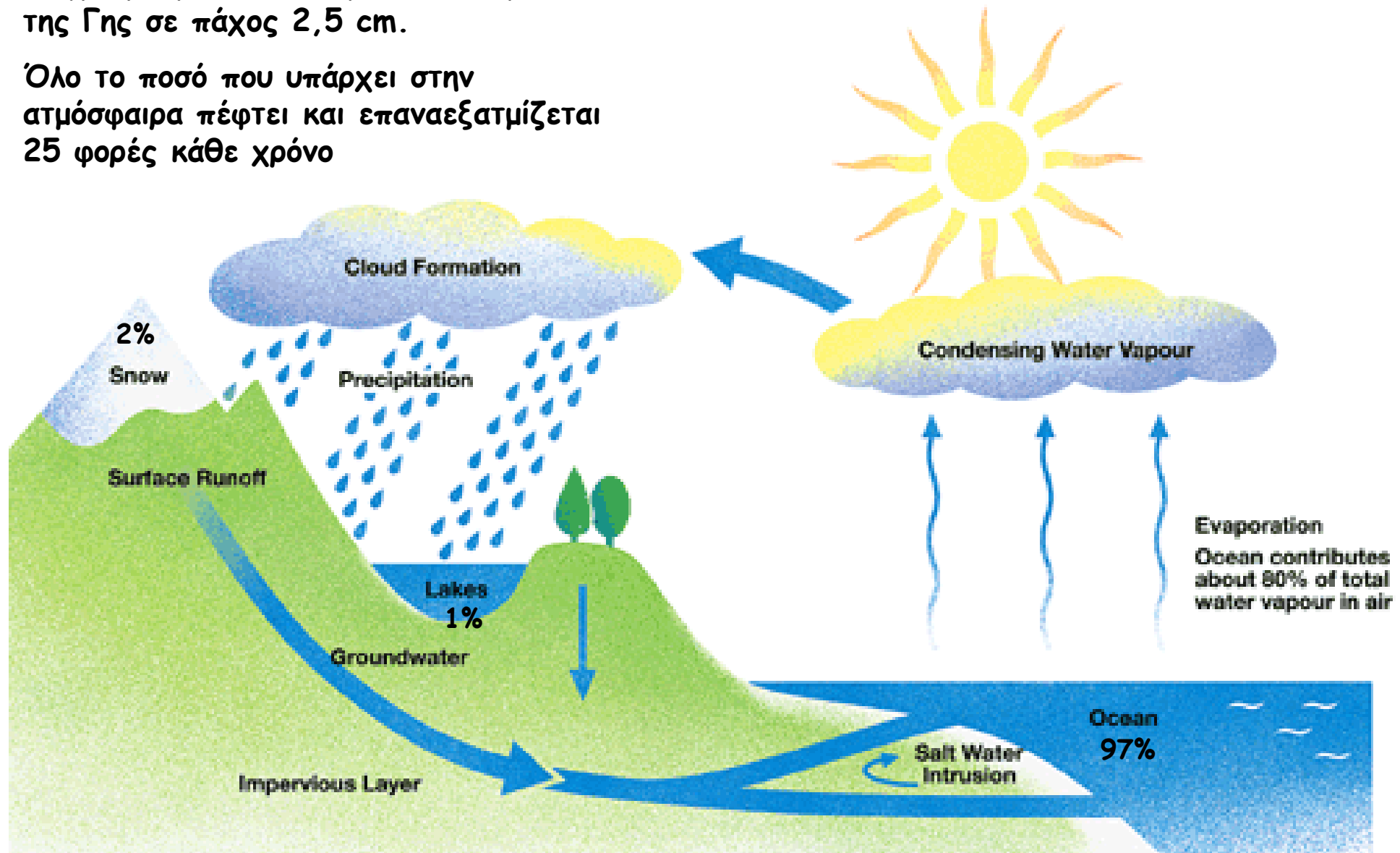


▲ **Figure 54.16 A general model of nutrient cycling.** Arrows indicate the processes that move nutrients between reservoirs.

Η ποσότητα των υδρατμών που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα ανά πάσα στιγμή μπορεί να καλύψει την επιφάνεια της Γης σε πάχος 2,5 cm.

Όλο το ποσό που υπάρχει στην ατμόσφαιρα πέφτει και επαναεξατμίζεται 25 φορές κάθε χρόνο

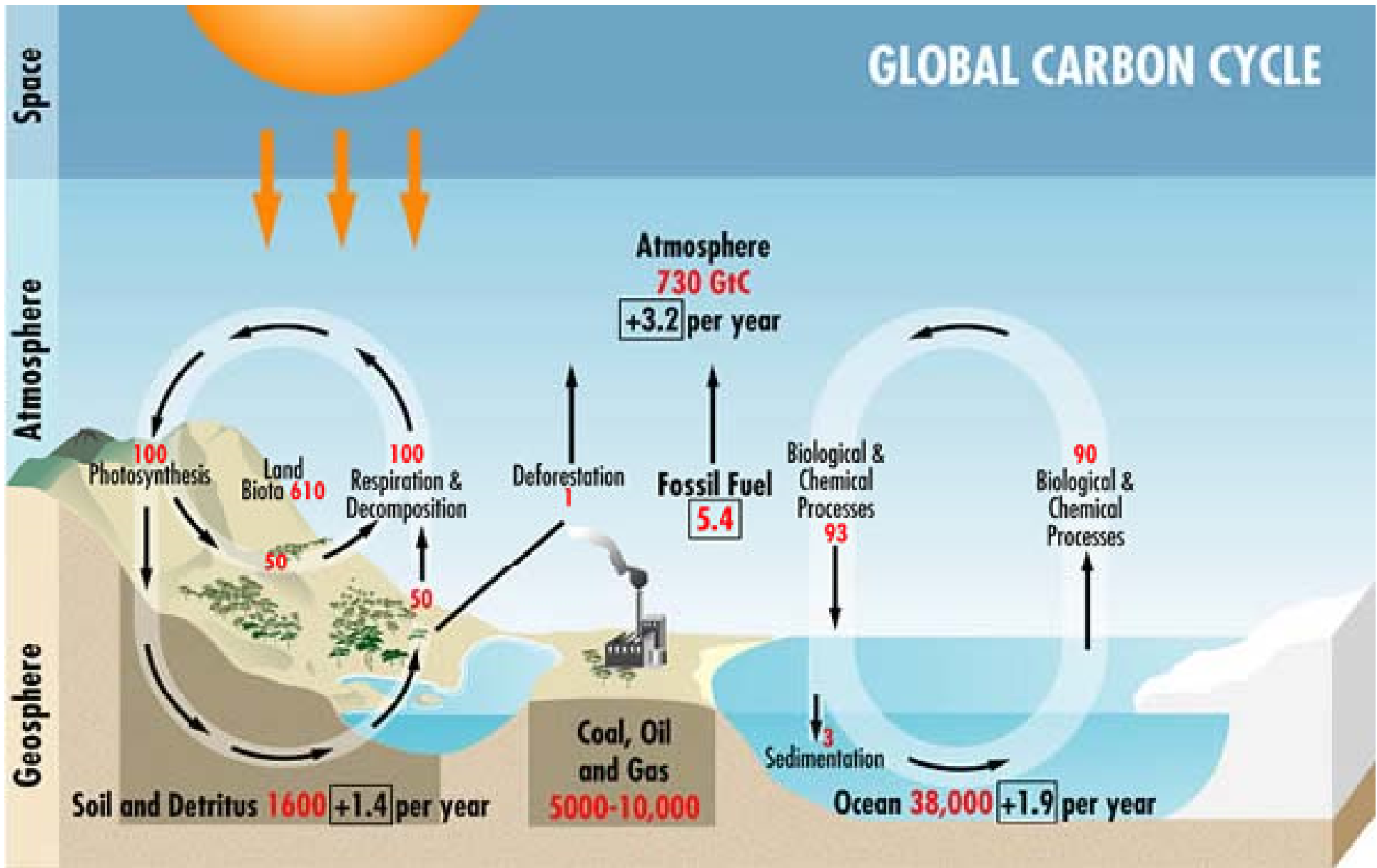
Ο κύκλος του Νερού



Η χαρακτηριστική διαφορά από τους άλλους κύκλους είναι ότι το νερό σε κάθε στάδιο του κύκλου υπάρχει πάντα ως H_2O



GLOBAL CARBON CYCLE



Carbon Cycle

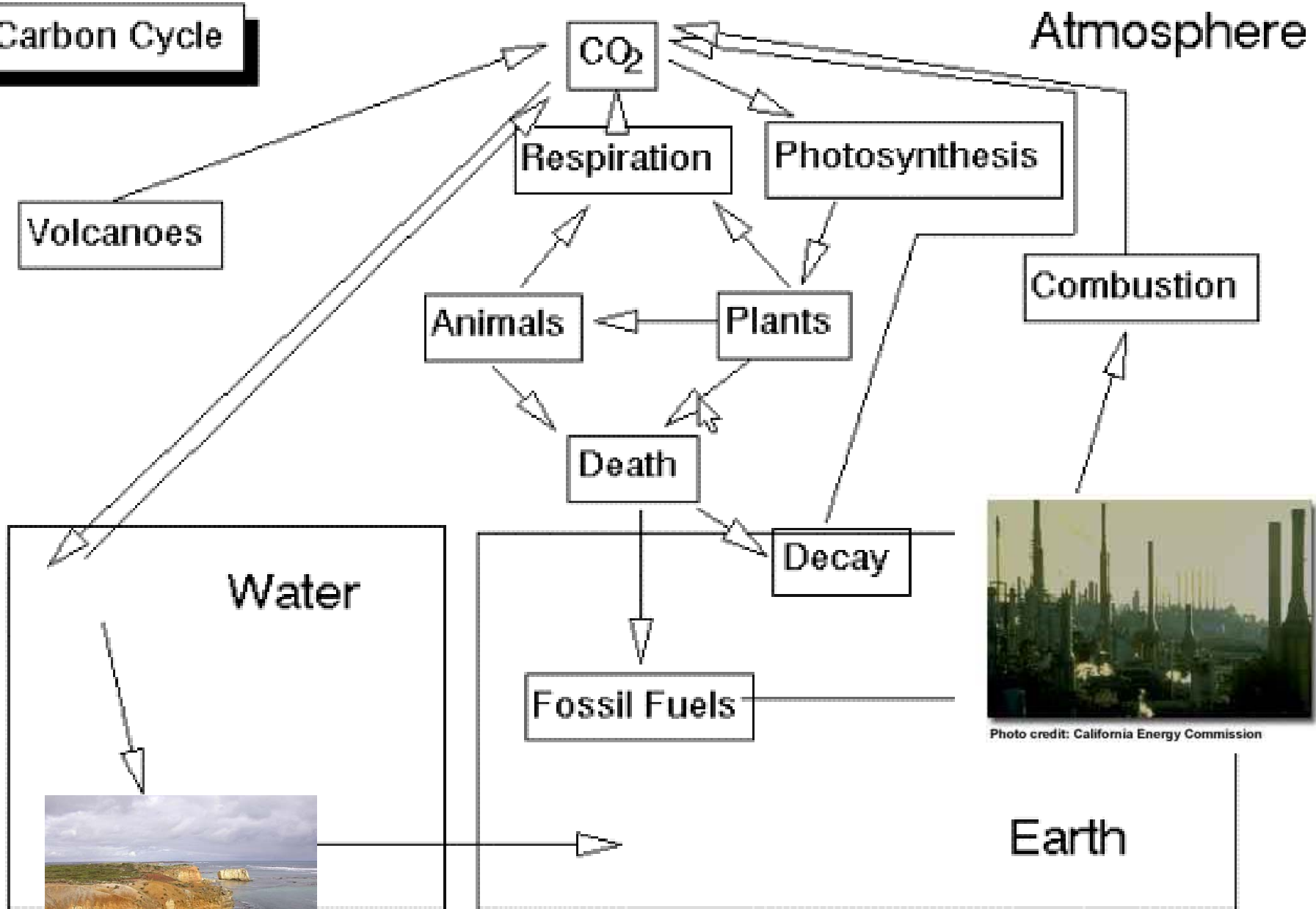


Photo credit: California Energy Commission



Ασβεστολιθικά πετρώματα

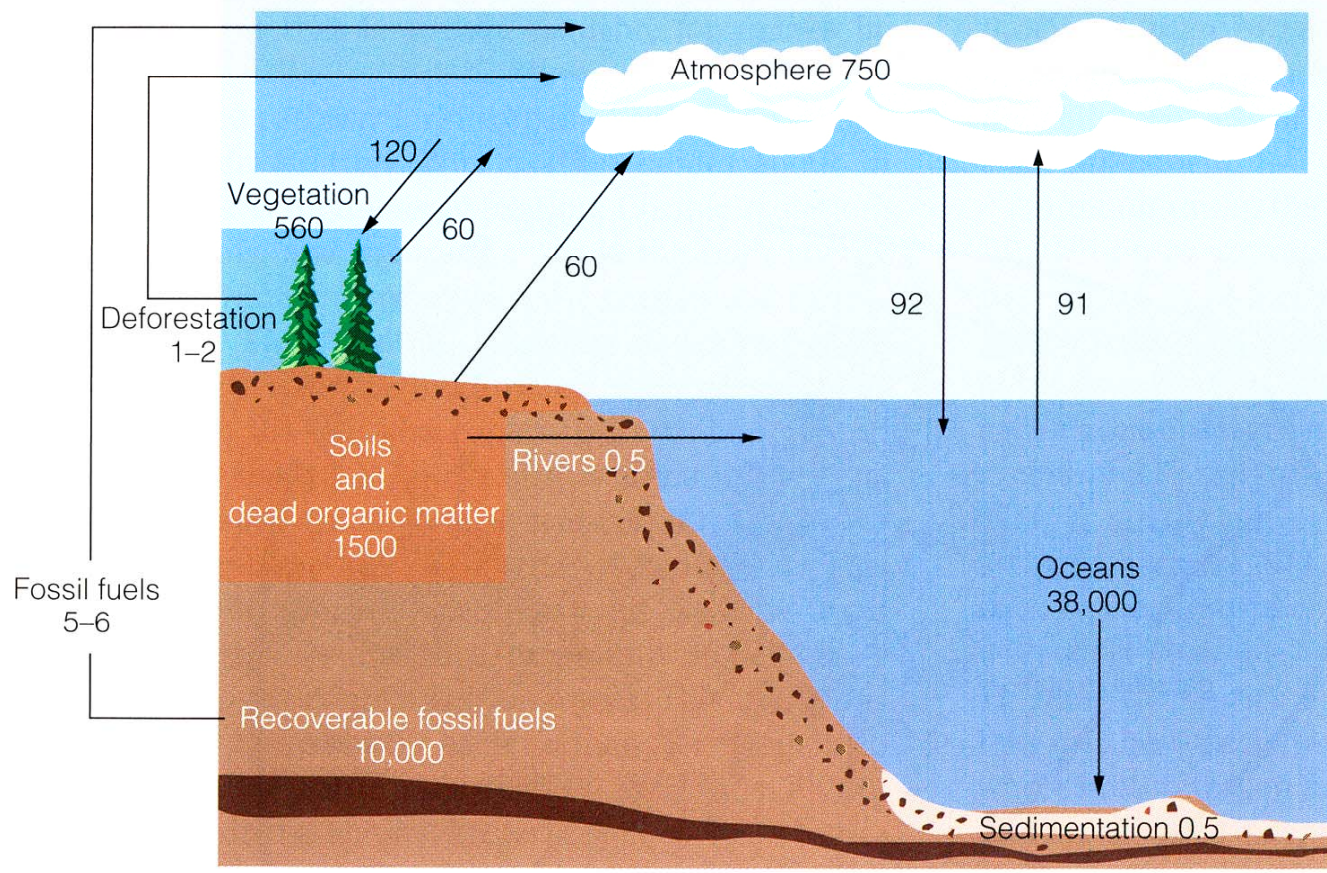
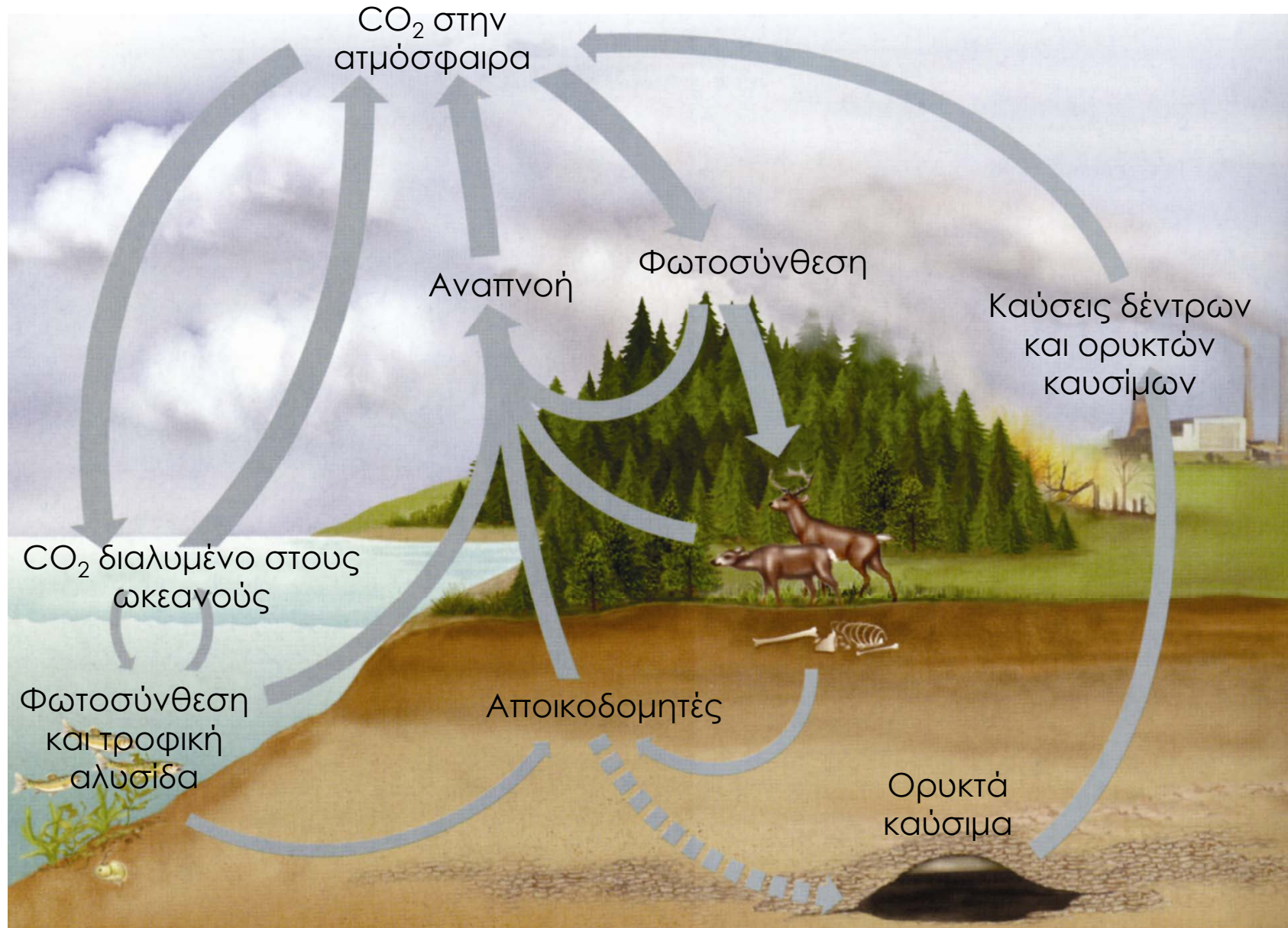


Figure 22.5 | The global carbon cycle. Boxes show the sizes of the major pools of carbon, and arrows indicate the major exchanges (fluxes) among them. All values are in gigatons (Gt) of carbon and exchanges are on an annual timescale. The largest pool of carbon, geologic, is not included because of the slow rates (geologic timescale) of transfer with other active pools. (Adapted from Edmonds 1992.)

Ο κύκλος του άνθρακα



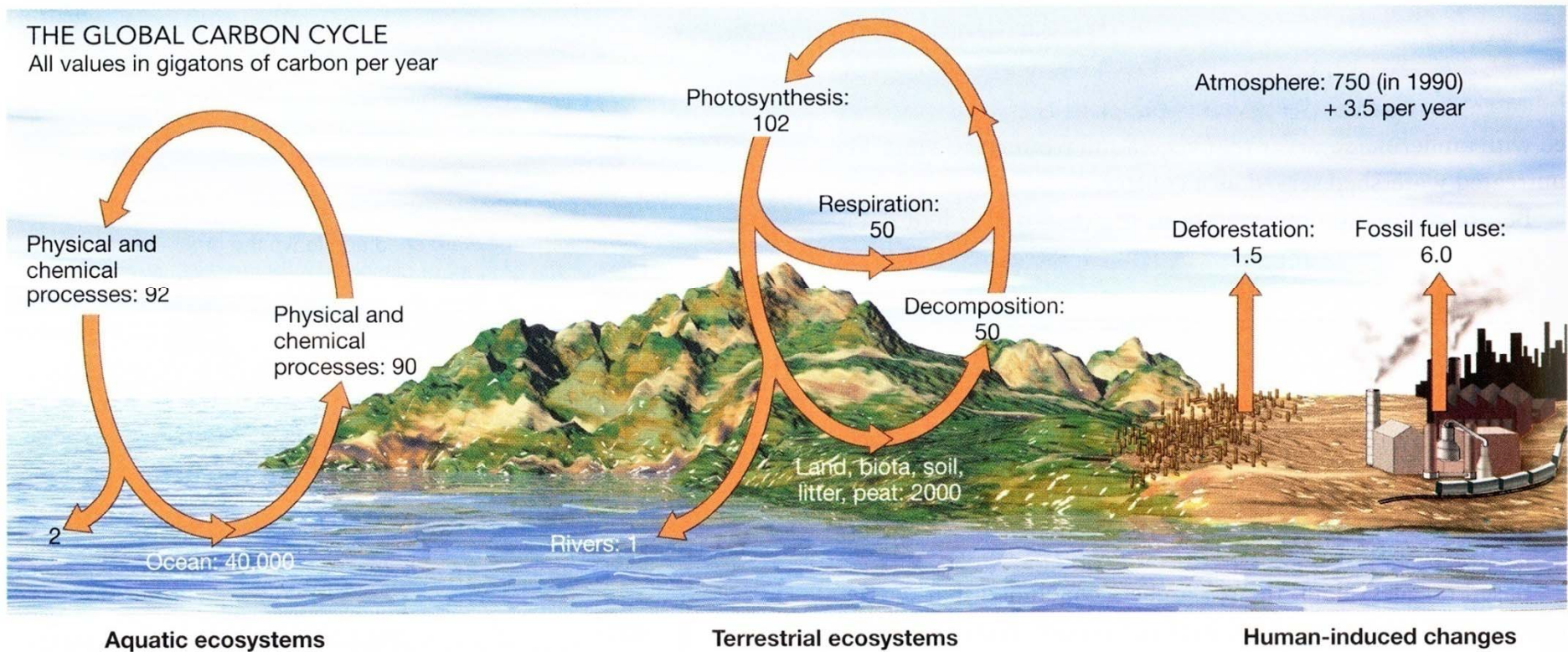
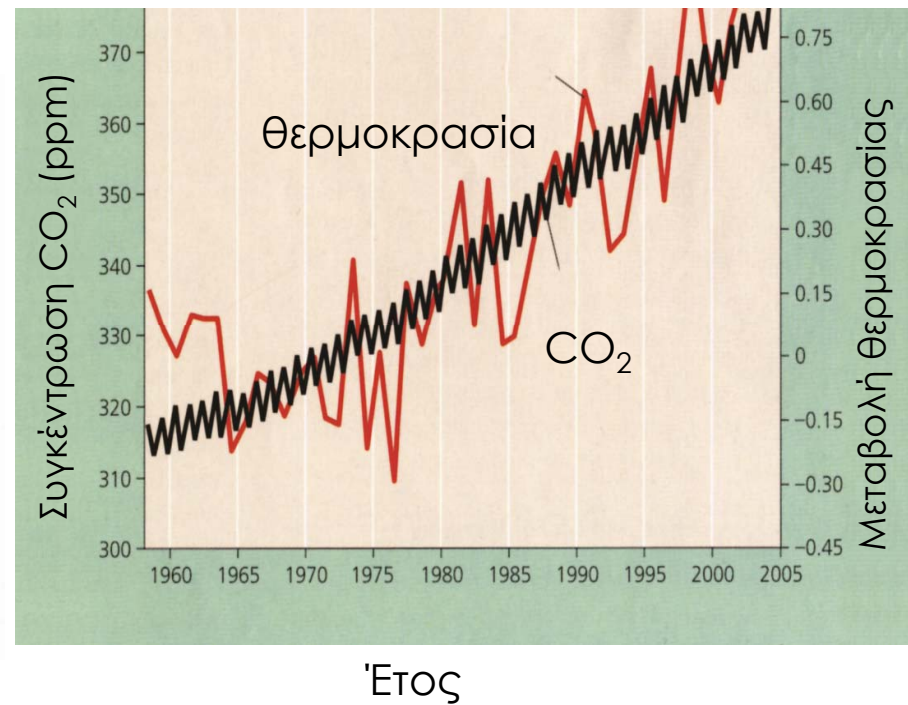
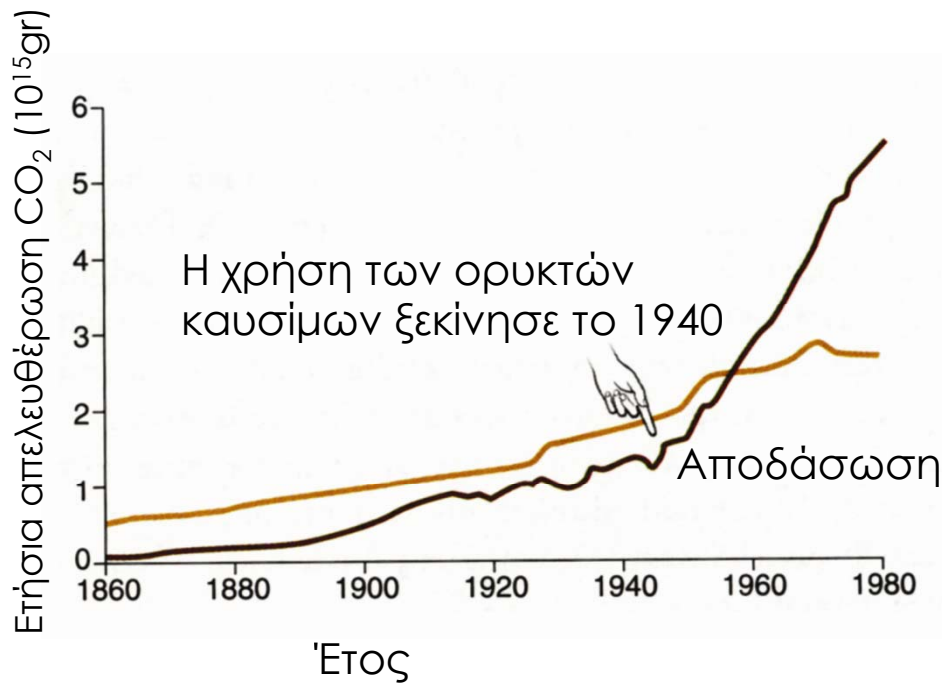


FIGURE 51.11 The Global Carbon Cycle

The arrows in this diagram indicate how carbon moves into and out of ecosystems. Note that deforestation and fossil fuel use are adding 7.5 gigatons of carbon to the atmosphere each year. Of this 7.5 gigatons, two are fixed by photosynthesis in terrestrial ecosystems and two are fixed by physical and chemical processes in the oceans.

Η απελευθέρωση CO₂ λόγω της εκμετάλλευσης των ορυκτών καυσίμων και της αποδάσωσης αυξάνεται συνεχώς από το 1860

Μέτρηση της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO₂ στο όρος Μαυνα Λοα της Χαβάης, αναπαριστά τη συγκέντρωση του CO₂ στο βόρειο ημισφαίριο. Η αύξηση του CO₂ έχει σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος προς υψηλότερες θερμοκρασίες.



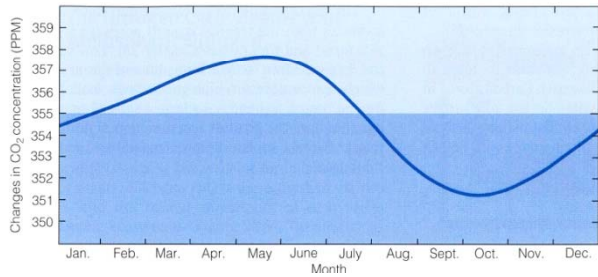
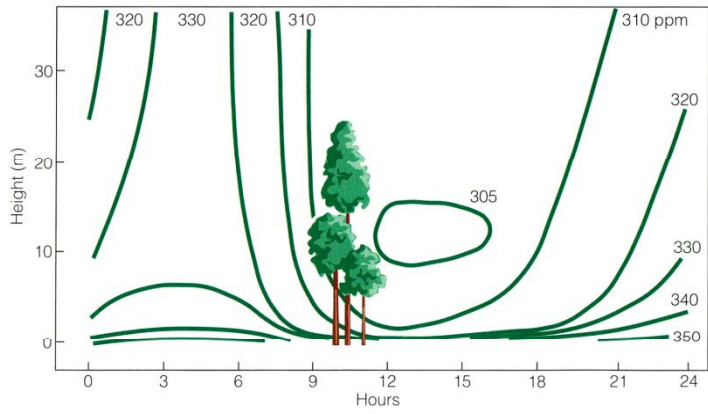


Figure 22.4 | Variation in atmospheric concentration of CO₂ during a typical year at Barrow, Alaska. Concentrations increase during the winter months, declining with the onset of photosynthesis during the growing season (May–June). (Adapted from Pearman and Hyson 1981.)

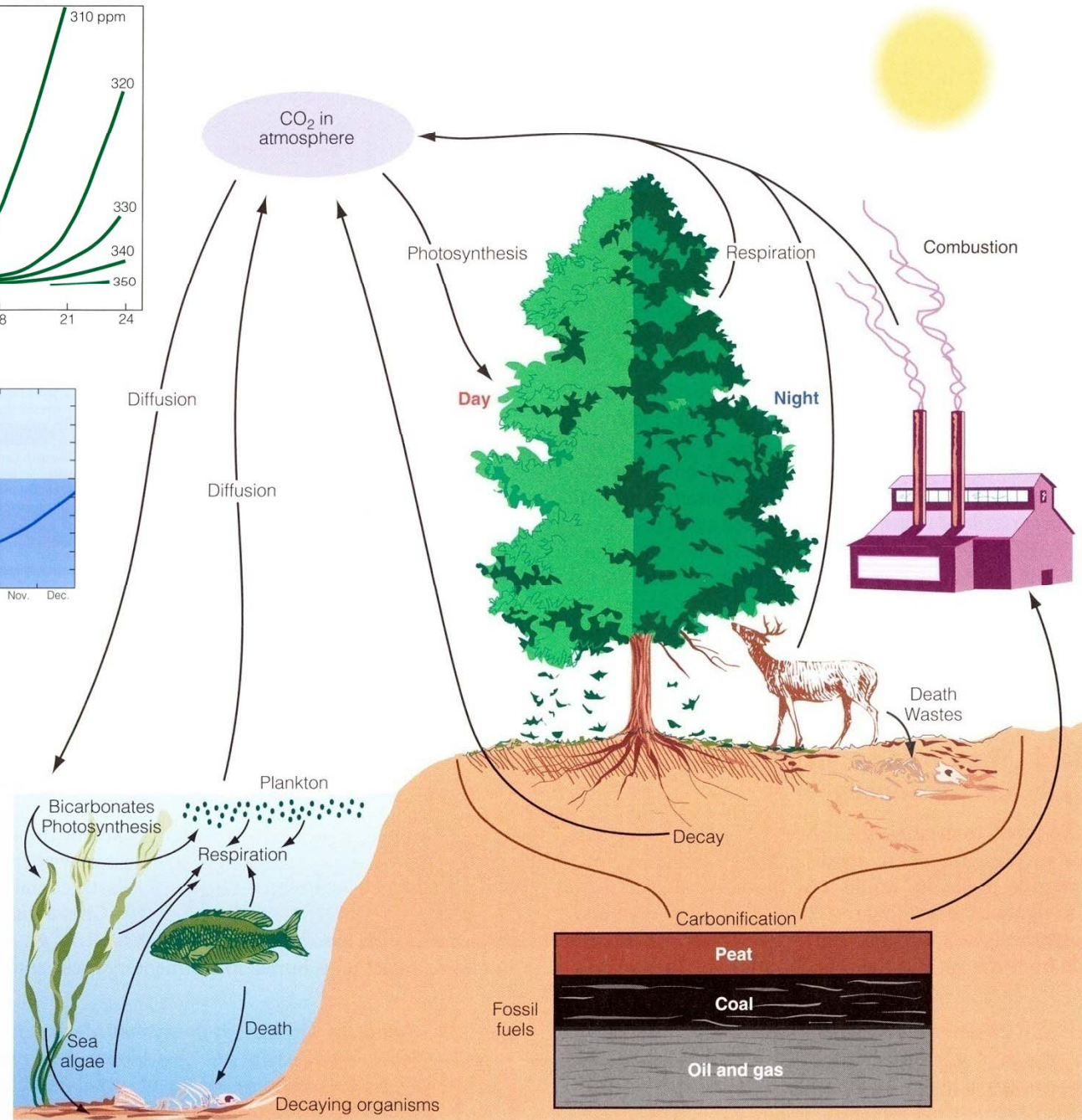


Figure 22.2 | The carbon cycle as it occurs in both terrestrial and aquatic ecosystems.

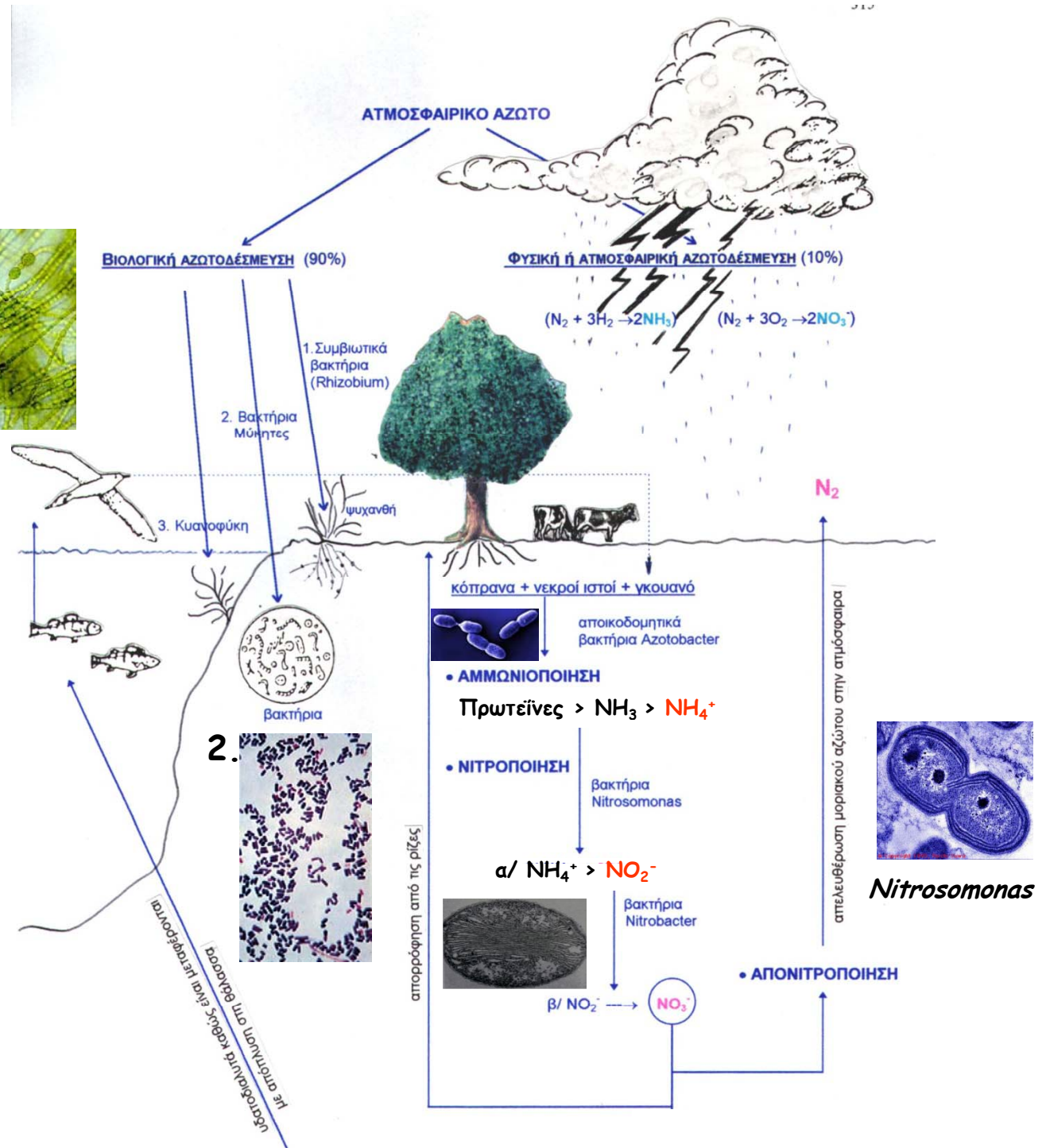
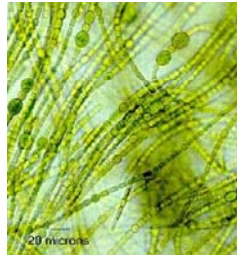
Ο κύκλος του αζώτου



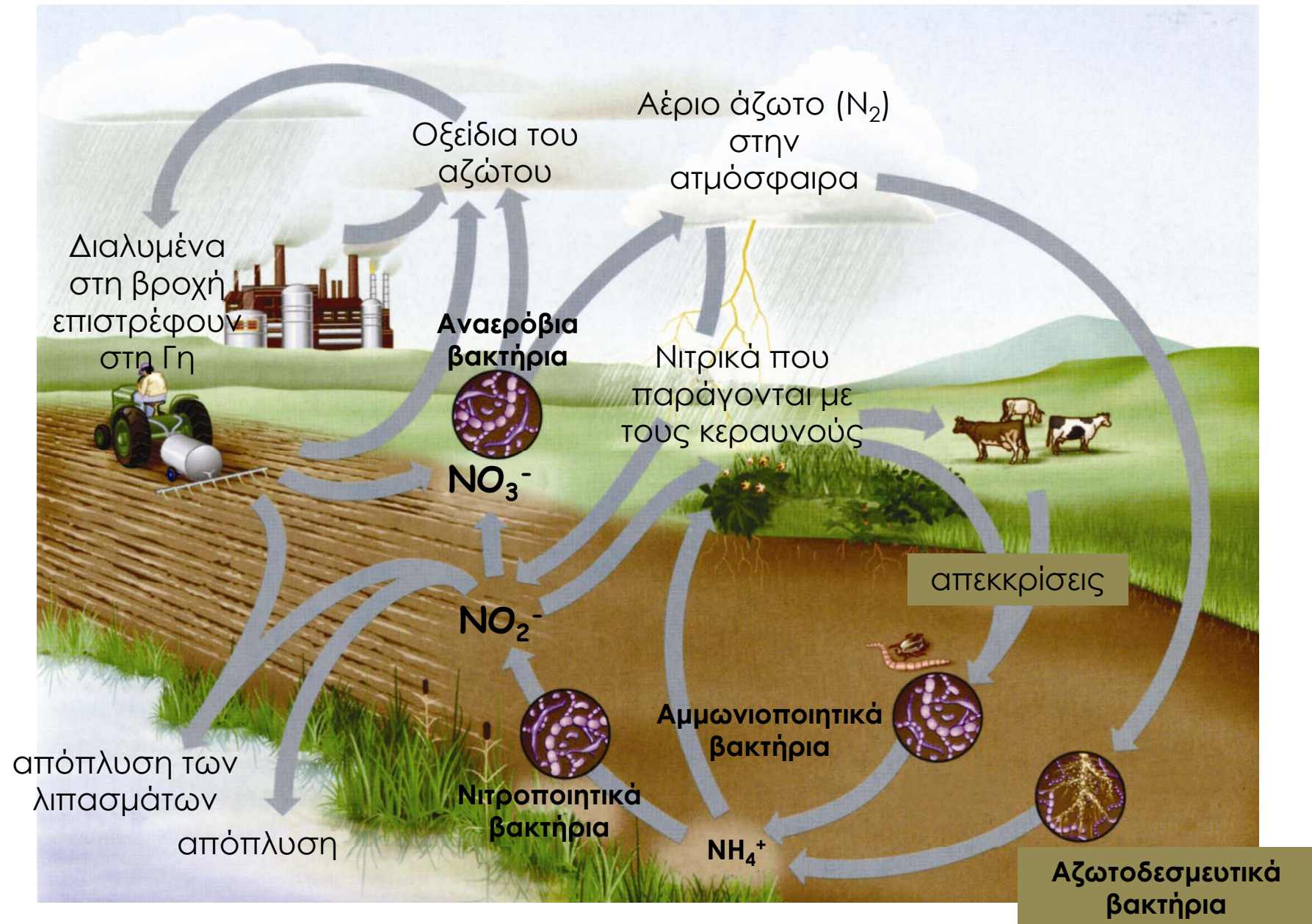
Rhizobium

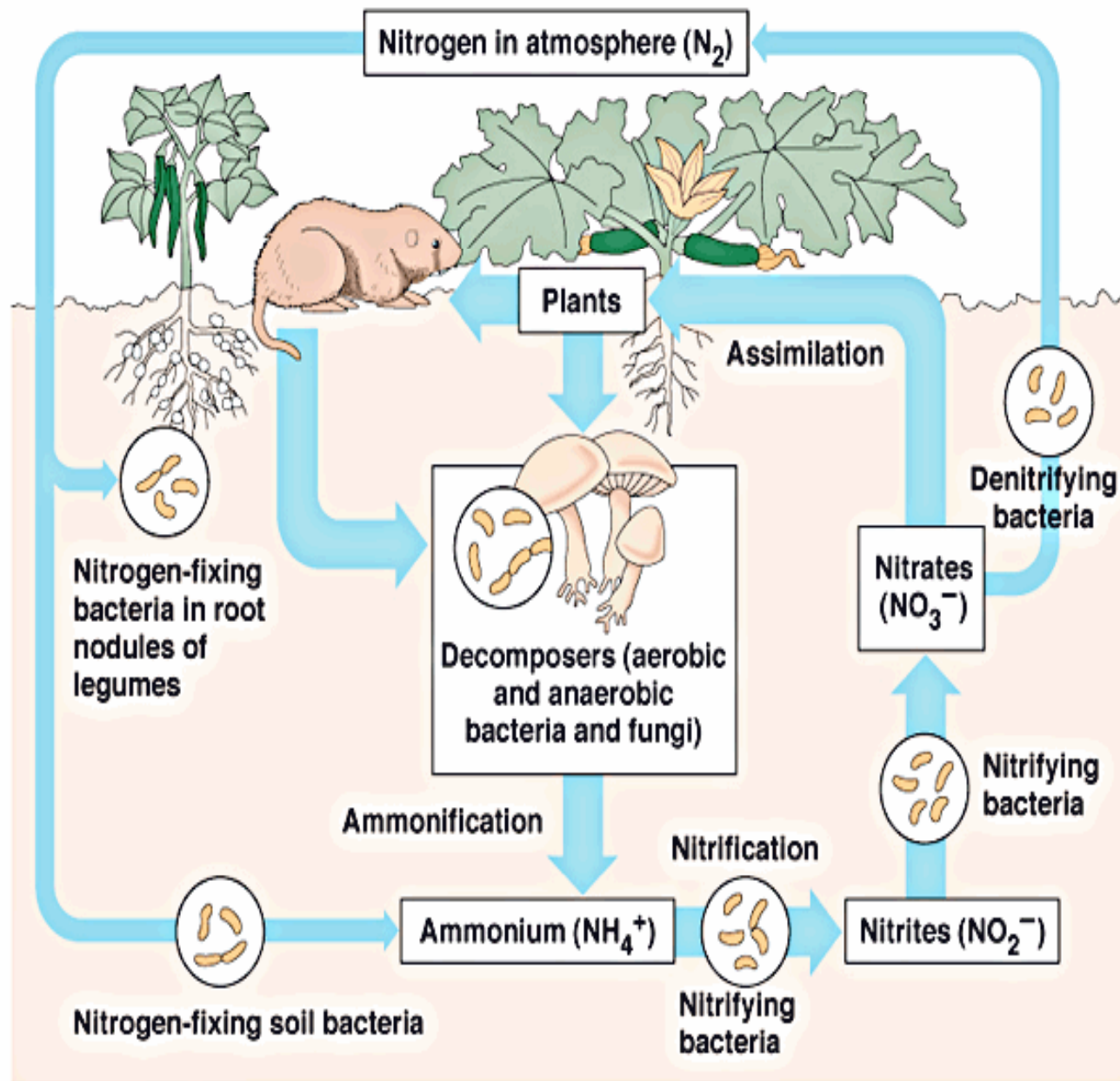
Για να δεσμεύσουν 1g N, παίρνουν από το φυτό 50g γλυκόζης.

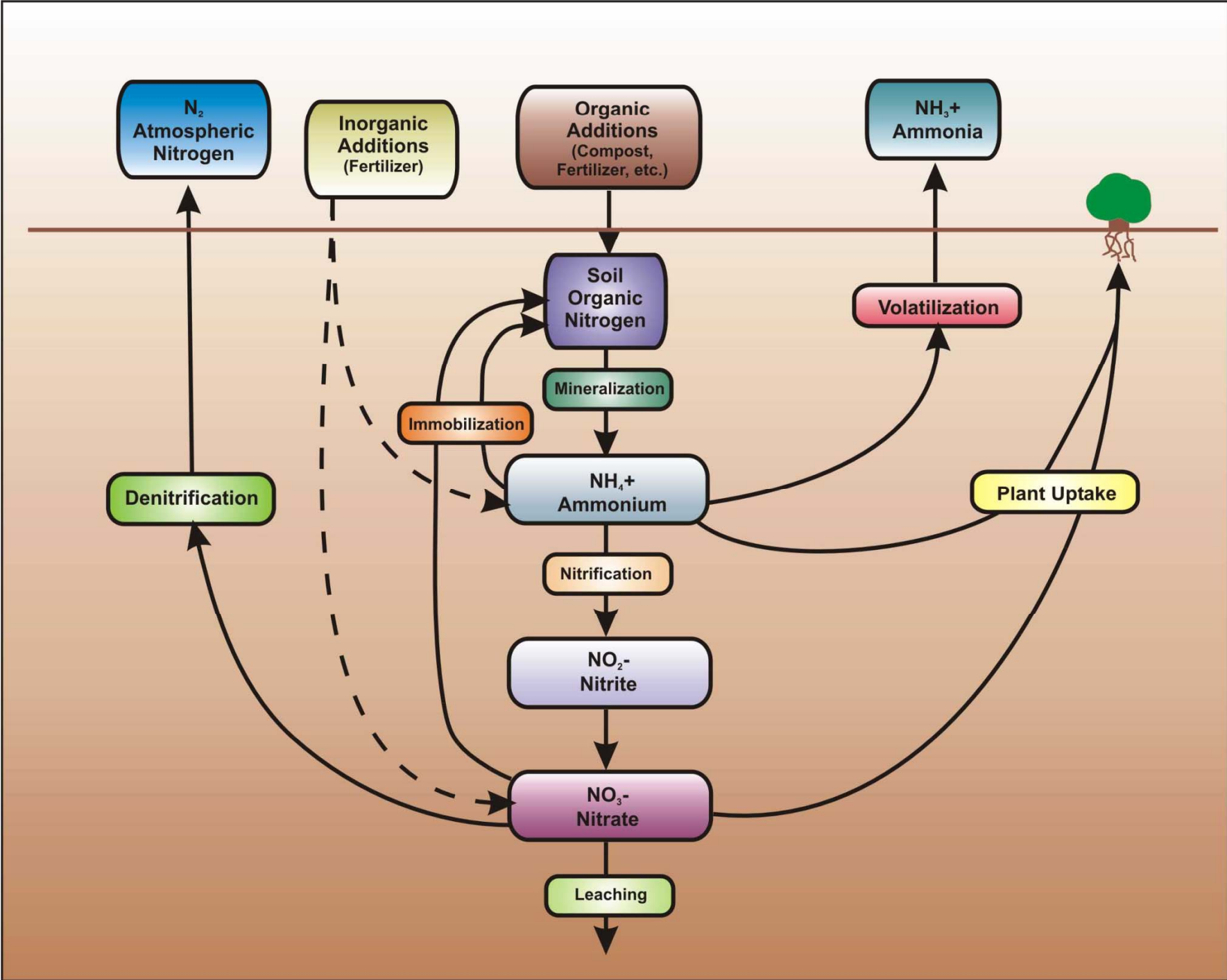
3.

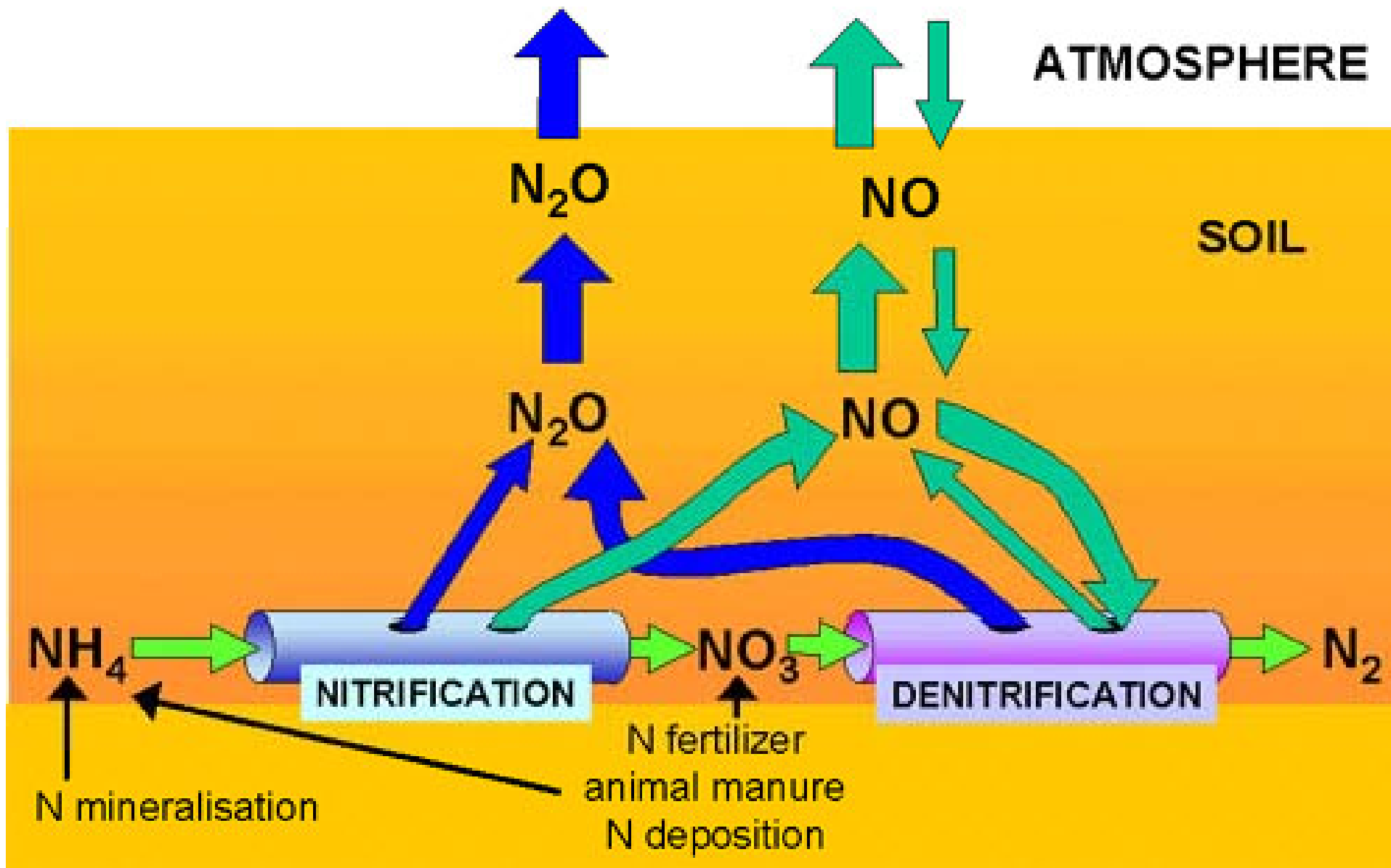


Ο κύκλος του αζώτου









Στρατόσφαιρα : $\text{NO} \rightarrow \text{N} + \text{O} \rightarrow \text{O}_3$

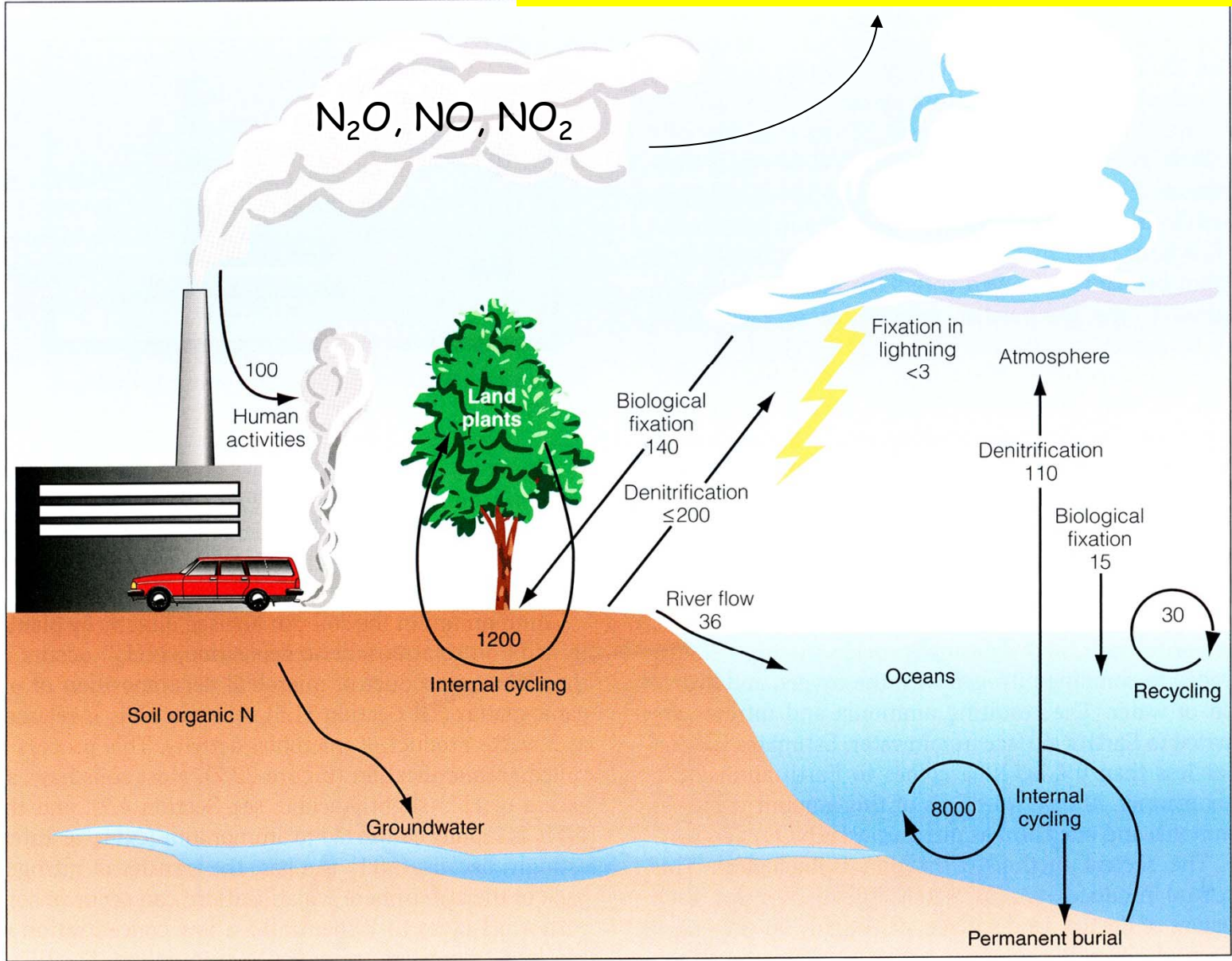
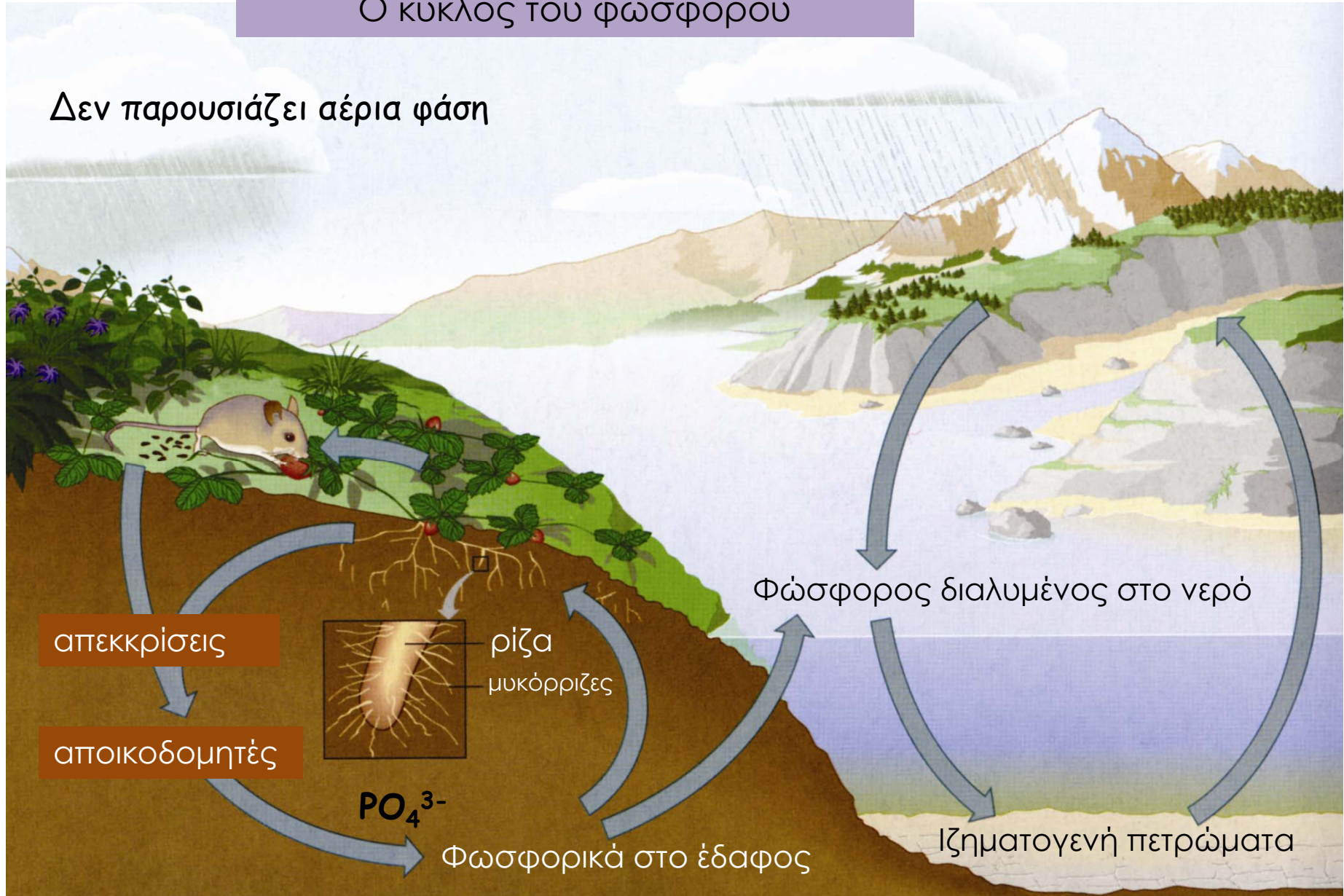
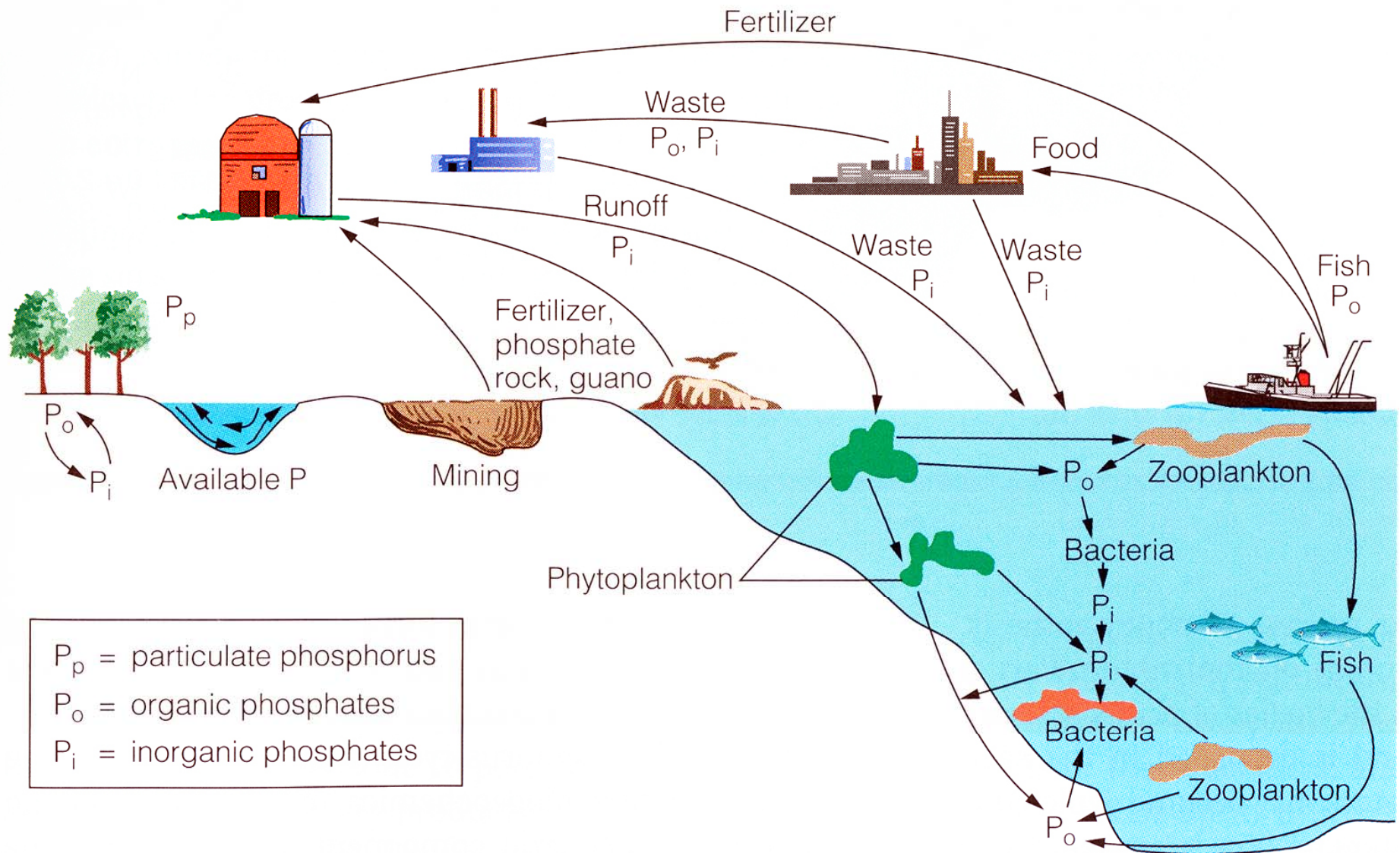


Figure 22.8 | The global nitrogen cycle. Each flux is shown in units of 10^{12} g N/yr. (Adapted from Schlesinger 1997.)

Ο κύκλος του φωσφόρου

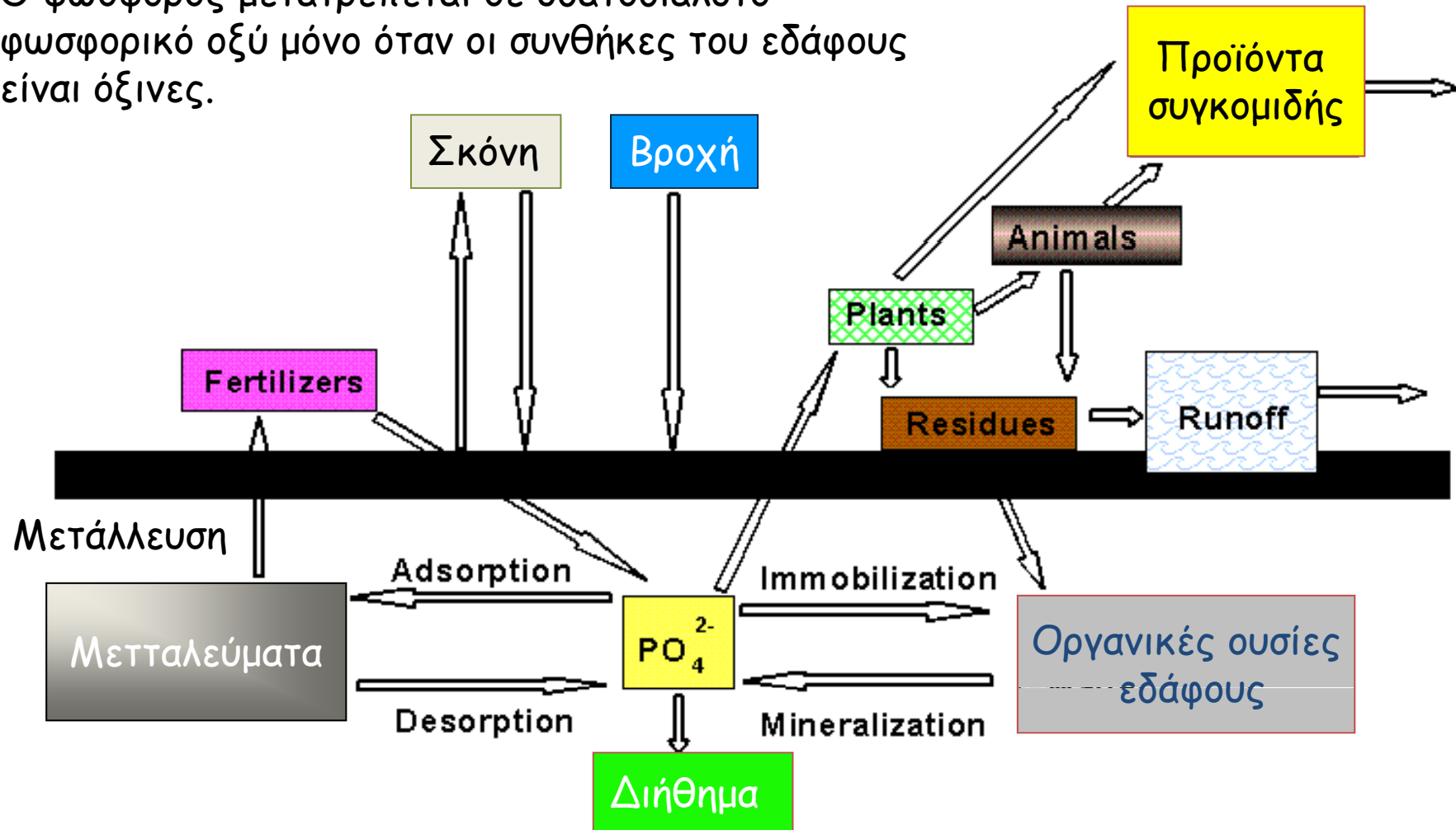
Δεν παρουσιάζει αέρια φάση





Τα φυτά μπορούν να προσλάβουν το φώσφορο μόνο υπό μορφή υδατοδιαλυτών φωσφορικών ιόντων.

Ο φώσφορος μετατρέπεται σε υδατοδιαλυτό φωσφορικό οξύ μόνο όταν οι συνθήκες του εδάφους είναι όξινες.



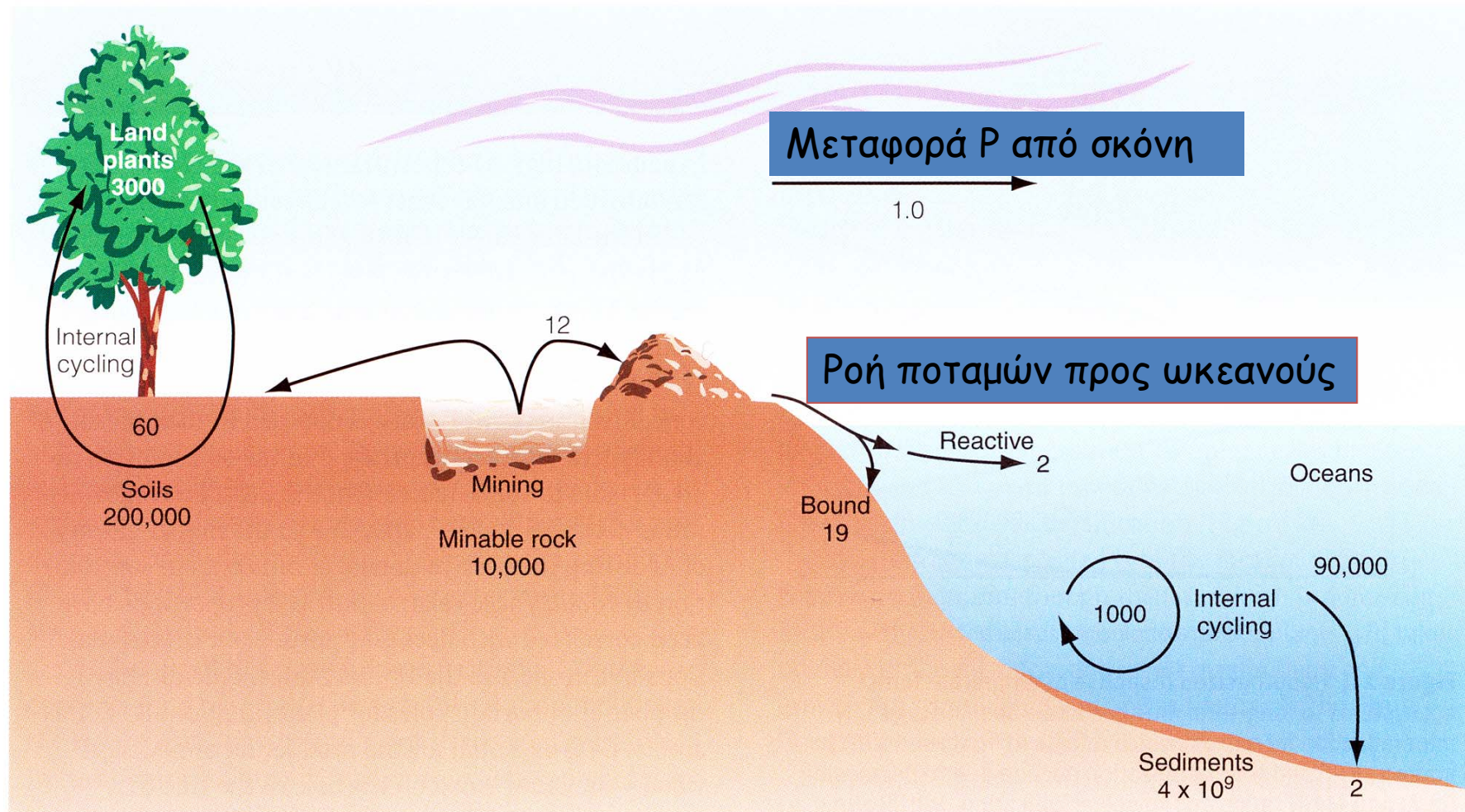


Figure 22.10 | The global phosphorus cycle. Each flux is shown in units of 10^{12} g P/yr. (Adapted from Schlesinger 1997.)





Θειοβακτήρια

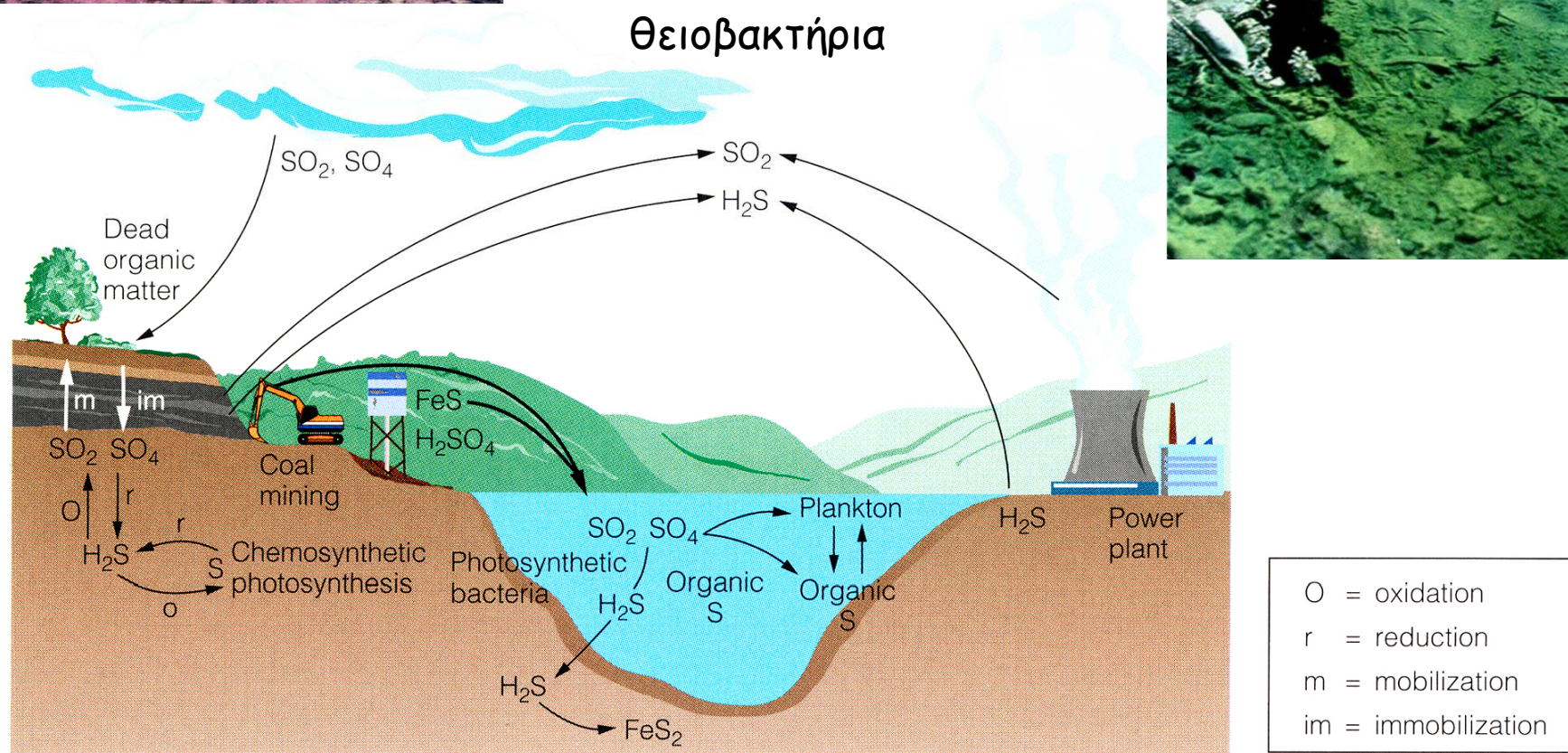


Figure 22.11 | The sulfur cycle. Note the two components: sedimentary and gaseous. Major sources from human activity are the burning of fossil fuels and acidic drainage from coal mines.

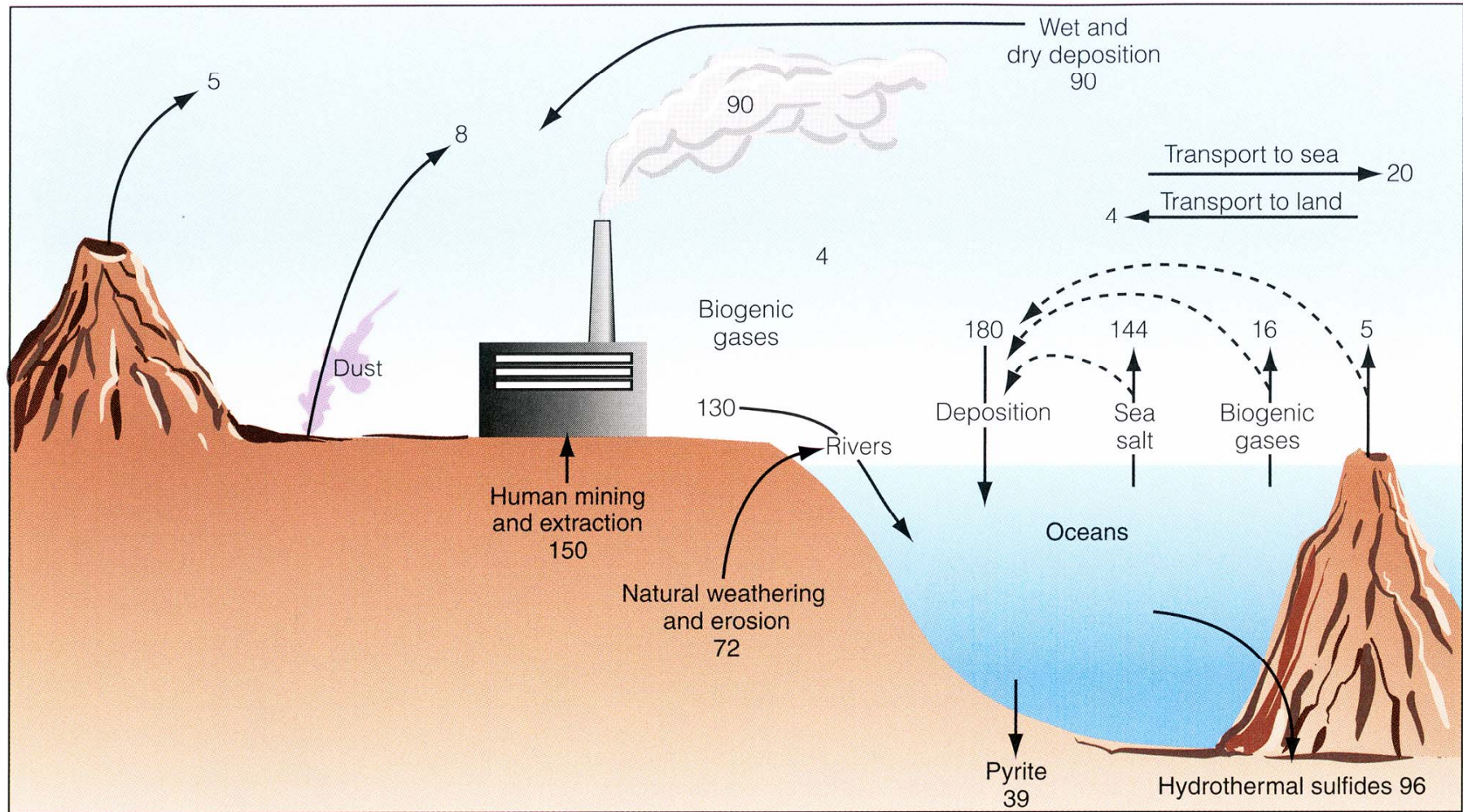
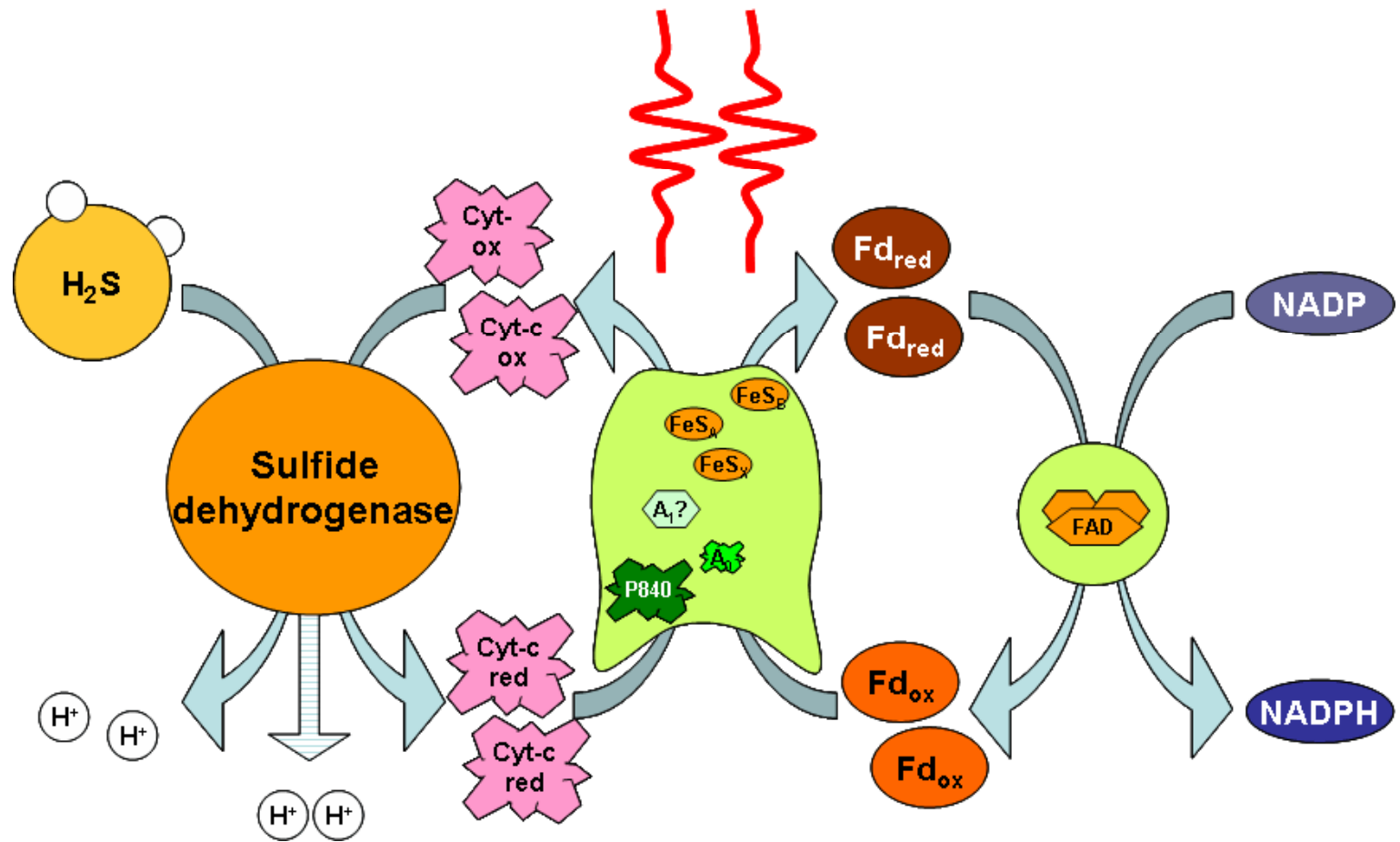
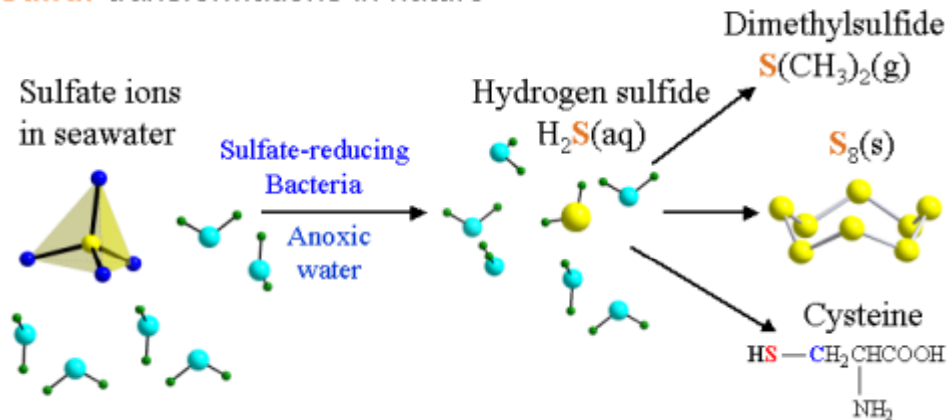


Figure 22.12 | The global sulfur cycle. Each flux is shown in units of 10^{12} g S/yr. (Adapted from Schlesinger 1997.)

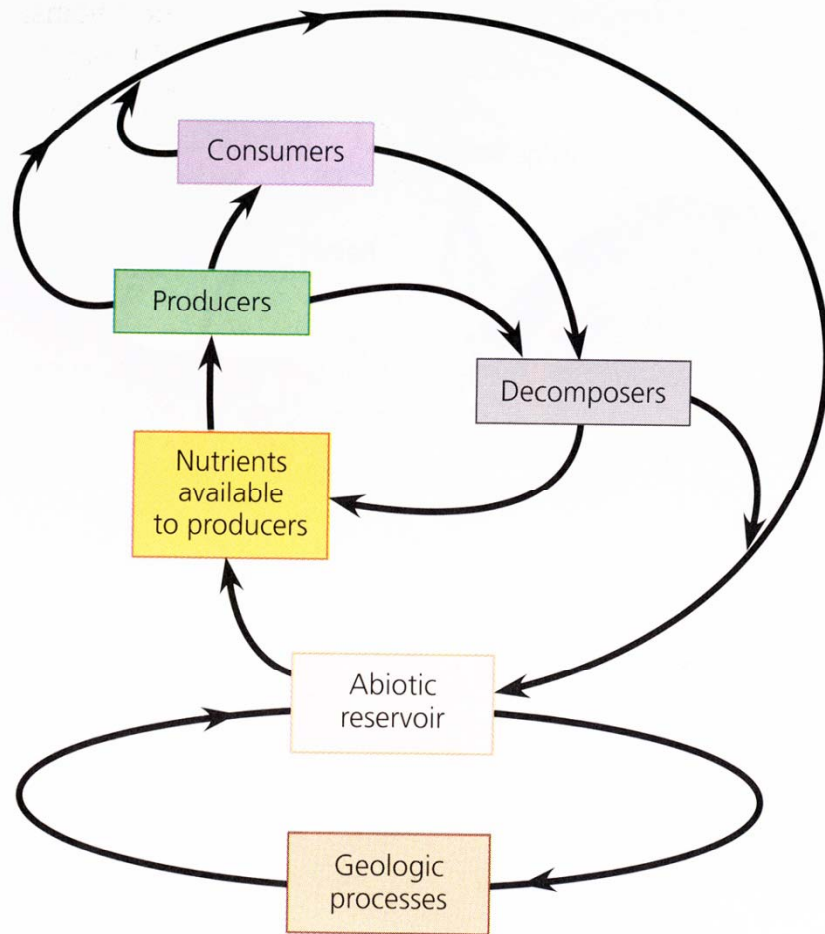


Sulfur transformations in nature



Τα αναερόβια πράσινα θειοβακτήρια που χρησιμοποιούν το H_2S ως δέκτη ηλεκτρονίων (το οξειδώνουν) και το μετατρέπουν σε S^0 .

Στη συνέχεια τα *Sulfuromonas* ανάγουν το S^0 σε H_2S .



▲ **Figure 54.18 Review: Generalized scheme for biogeochemical cycles.**

Αποικοδόμηση:

Σε τροπικά δάση: μήνες

Σε εύκρατα δάση: >6χρόνια

Σε υδάτινα οικοσυστήματα > 50 χρόνια



Tropical rainforest

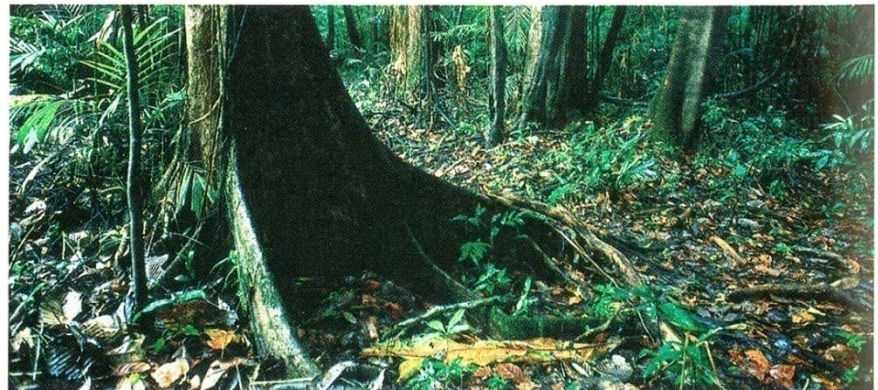
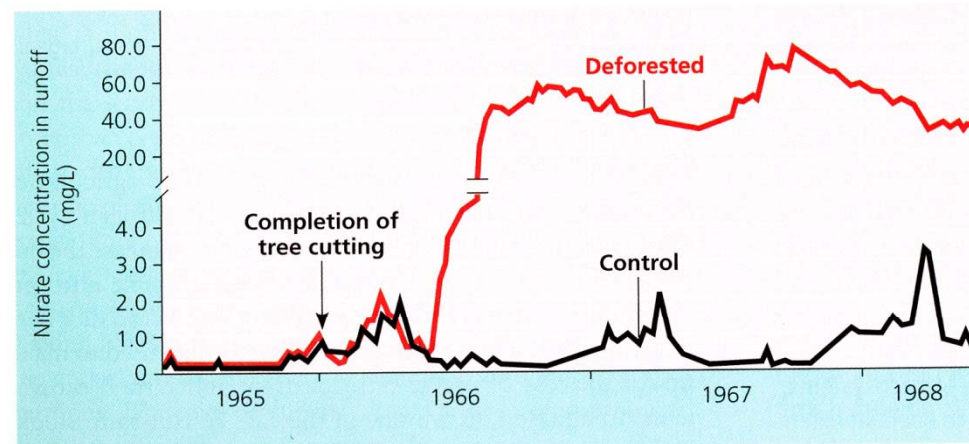


FIGURE 51.9 Temperature and Moisture Affect Decomposition Rates

In boreal forests, decomposition rates are limited by cold soil temperatures. The input of detritus into the soil thus exceeds the decomposition rate, and organic matter builds up. In tropical rain forests, warm temperatures allow decomposition to proceed rapidly so that organic matter does not build up.



Μελετήθηκαν οι κύκλοι θρεπτικών από το 1963.



(c) The concentration of nitrate in runoff from the deforested watershed was 60 times greater than in a control (unlogged) watershed.

▲ **Figure 54.19** Nutrient cycling in the Hubbard Brook Experimental Forest: an example of long-term ecological research.