

Η οργάνωση στο επίπεδο των οικοσυστημάτων

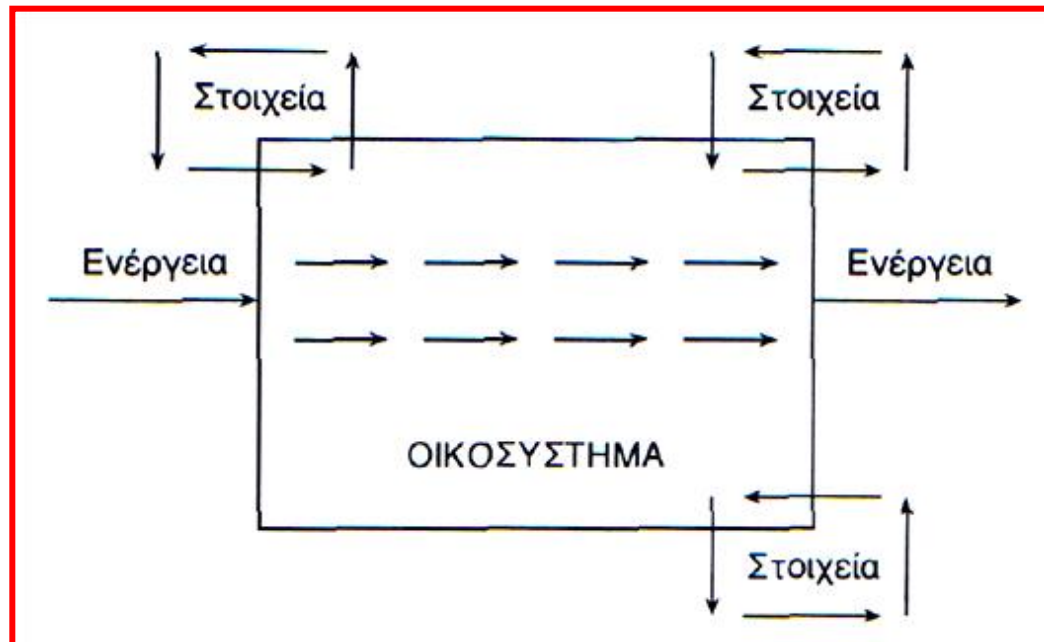
◆Ροή ενέργειας ☒ κινητήρια δύναμη για τη λειτουργία του οικοσυστήματος



Όχι κυκλική αλλά γραμμική

◆Μετατροπές: φωτεινή ☒ χημική ☒ θερμότητα (υποβαθμισμένη μορφή ενέργειας)

◆Διακοπή ροής ενέργειας ☒ κατάρρευση οργάνωσης οικοσυστήματος



Βασικές έννοιες: Βιομάζα & Παραγωγή



Βιομάζα: περιεχόμενο σε ενέργεια (ή σε οργανική ύλη) ενός οργανισμού / πληθυσμού / οικοσυστήματος

Παραγωγή: ποσό κατά το οποίο αυξάνεται η βιομάζα

Παραγωγικότητα: παραγωγή / χρονική περίοδο

Ενεργειακές μονάδες
ή μονάδες μάζας

Μονάδες μάζας /
χρόνο & επιφάνεια

Κατανάλωση – Αφομοίωση – Απορρίμματα - Αναπνοή

ΤΡΟΦΙΚΗ ΣΧΕΣΗ



Βιομάζα που αφαιρείται από πληθυσμό θηράματος (κατώτερο τροφικό επίπεδο)

Κατανάλωση σε πληθυσμό θηρευτή (ανώτερο τροφικό επίπεδο)



Αφομοίωση + Απορρίμματα



Θερμότητα (αποβολή με αναπνοή) +

Παραγωγή ανώτερου τροφικού επιπέδου = τροφή σε ανώτερο τροφικό επίπεδο

$$C = A + W$$

$$A = R + P$$



C: κατανάλωση, A: αφομοίωση, W: απορρίμματα, R: αναπνοή, P: παραγωγή

Τροφικές αλυσίδες - Τροφικές σπάθμες

Παραγωγοί (αυτότροφοι – φωτοσυνθετικοί οργανισμοί) –
πρωτογενής παραγωγή



Καταναλωτές (ετερότροφοι – χημειοσυνθετικοί οργανισμοί) –
δευτερογενής παραγωγή



Αποικοδομητές (βακτήρια – μύκητες)



Carnivore



Carnivore



Carnivore



Herbivore



Plant

Quaternary
consumers

Tertiary
consumers

Secondary
consumers

Primary
consumers

Primary
producers

A terrestrial food chain



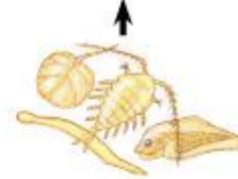
Carnivore



Carnivore



Carnivore



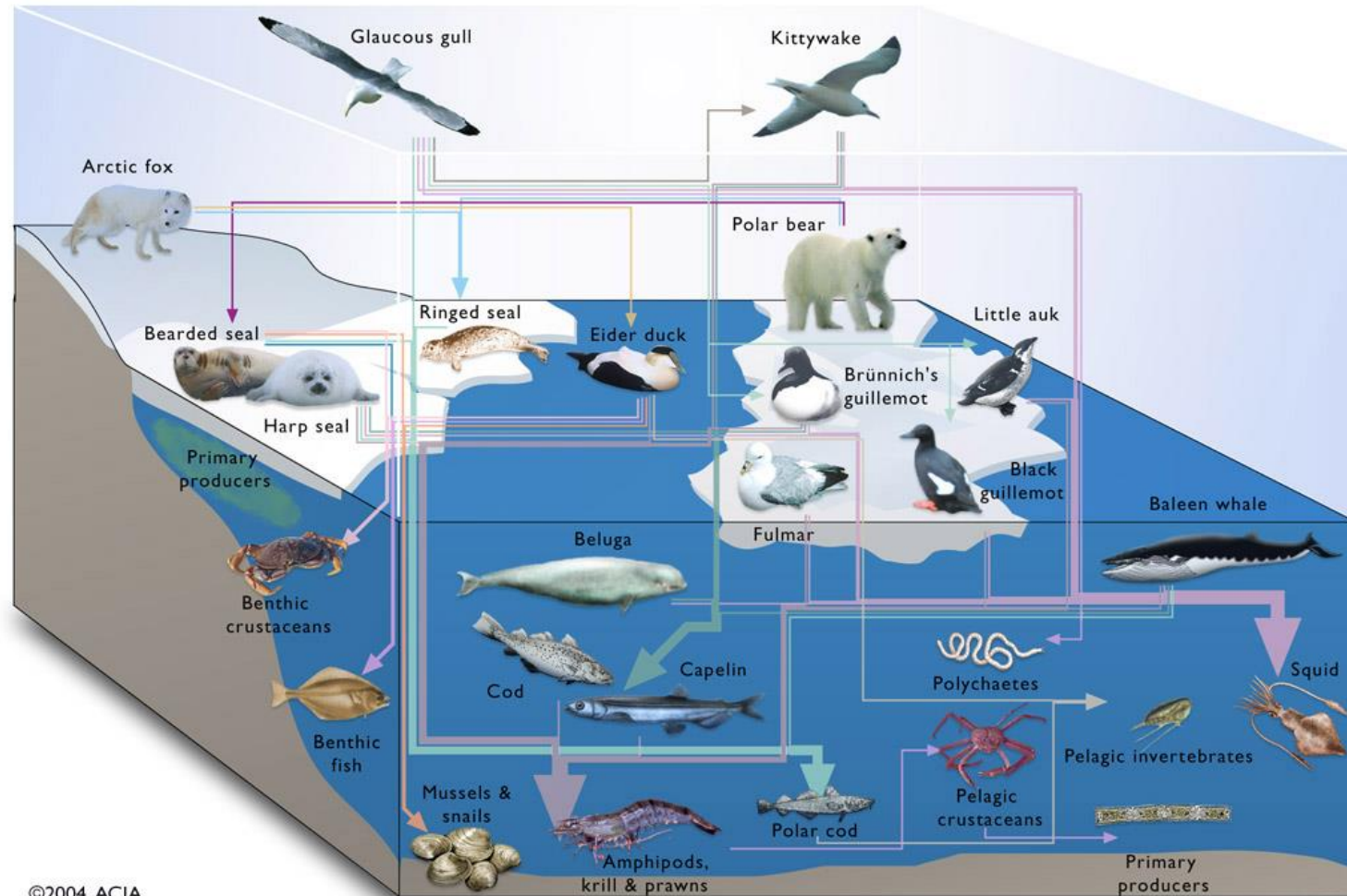
Zooplankton



Phytoplankton

A marine food chain

●Σύνδεση τροφικών αλυσίδων ☒ τροφικά πλέγματα (δίκτυα) που χωρίζονται σε τροφικές στάθμες ή τροφικά επίπεδα



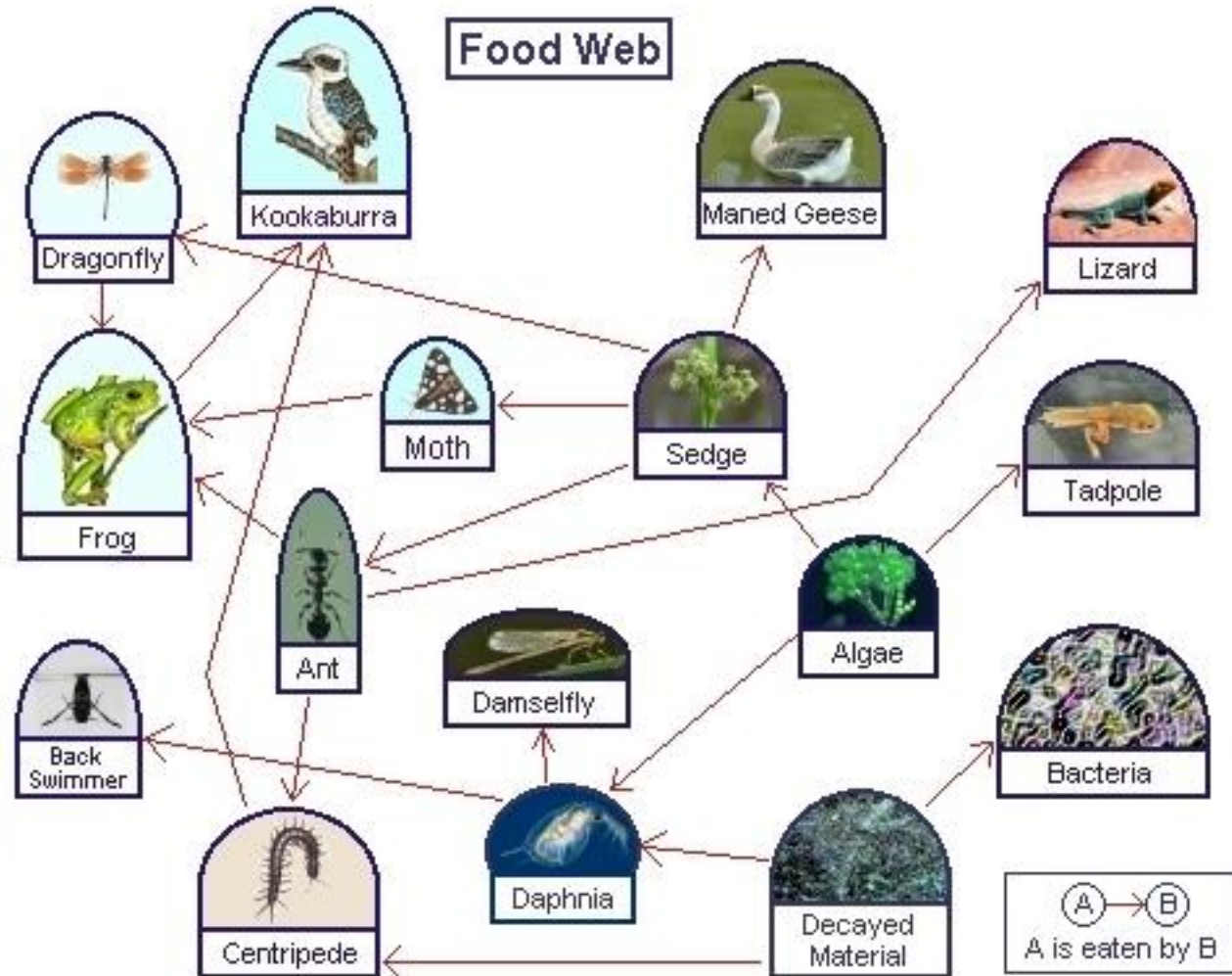
🔴 1ο επίπεδο: φυτά & άλγη

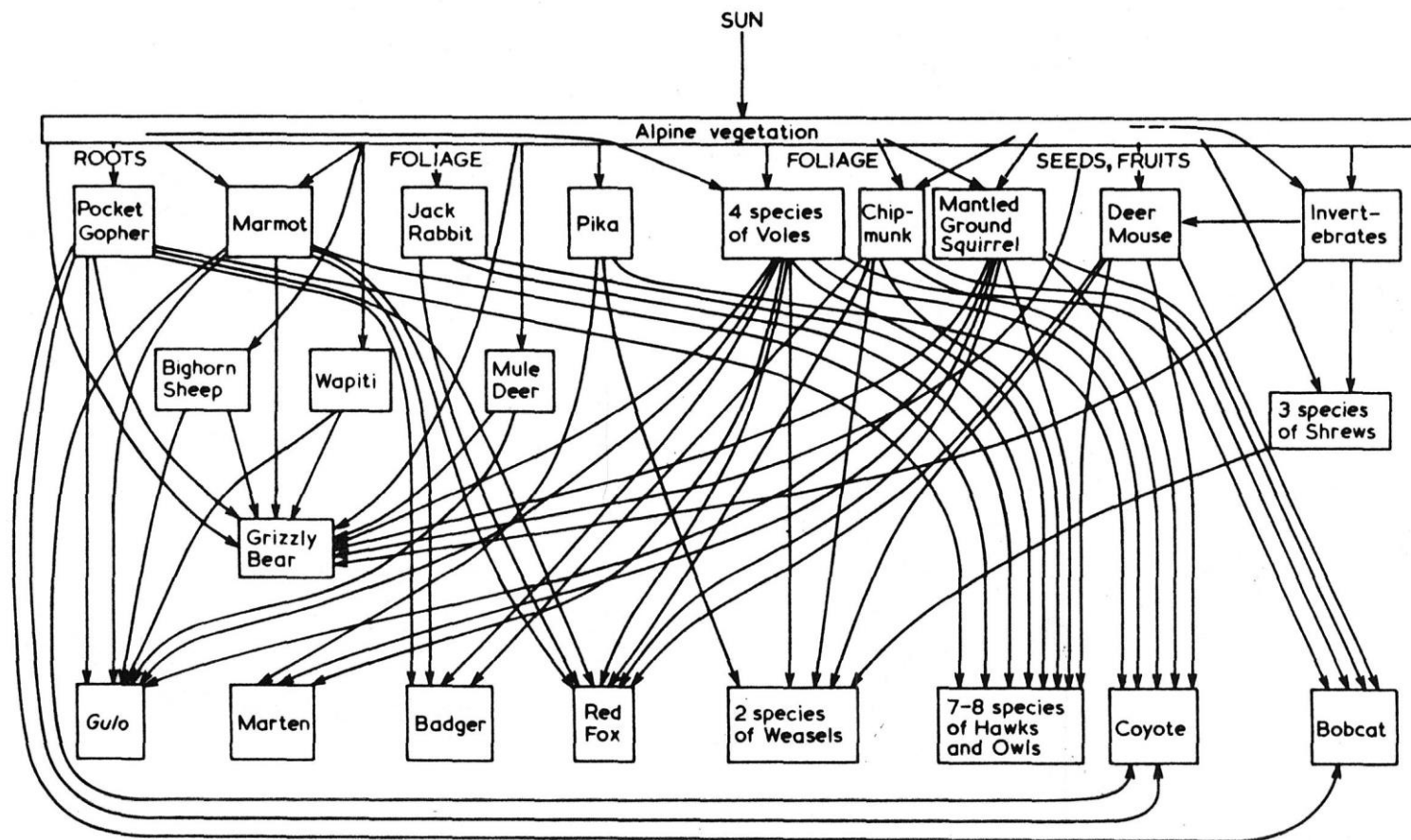
2ο επίπεδο:
φυτοφάγα ζώα &
ζωοπλαγκτόν

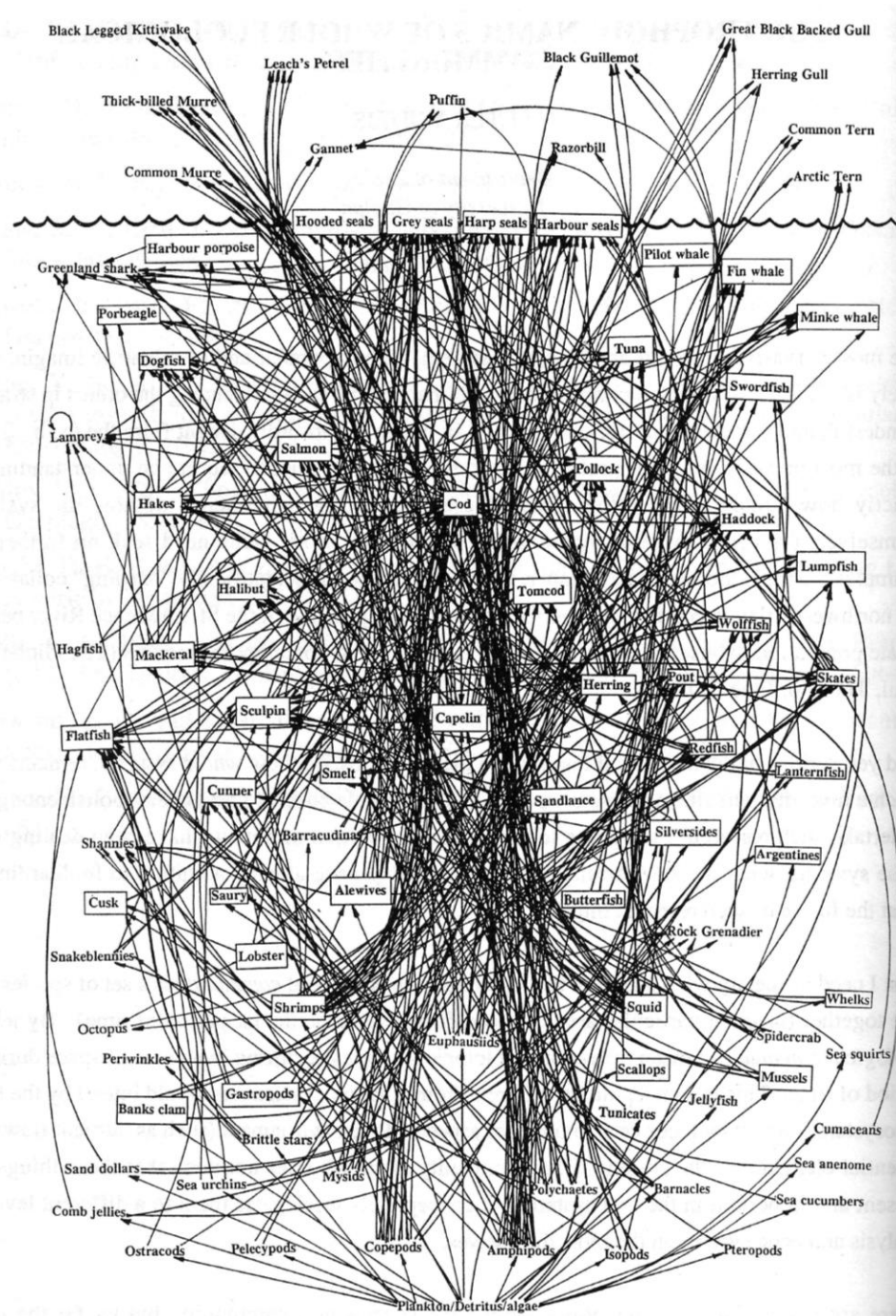
3ο επίπεδο: πρώτα σαρκοφάγα ζώα

🔴 4ο επίπεδο: δεύτερα σαρκοφάγα ζώα...

**🔴 Παμφάγα ζώα ☒ δεν
κατατάσσονται μόνο σε
μία τροφική στάθμη**



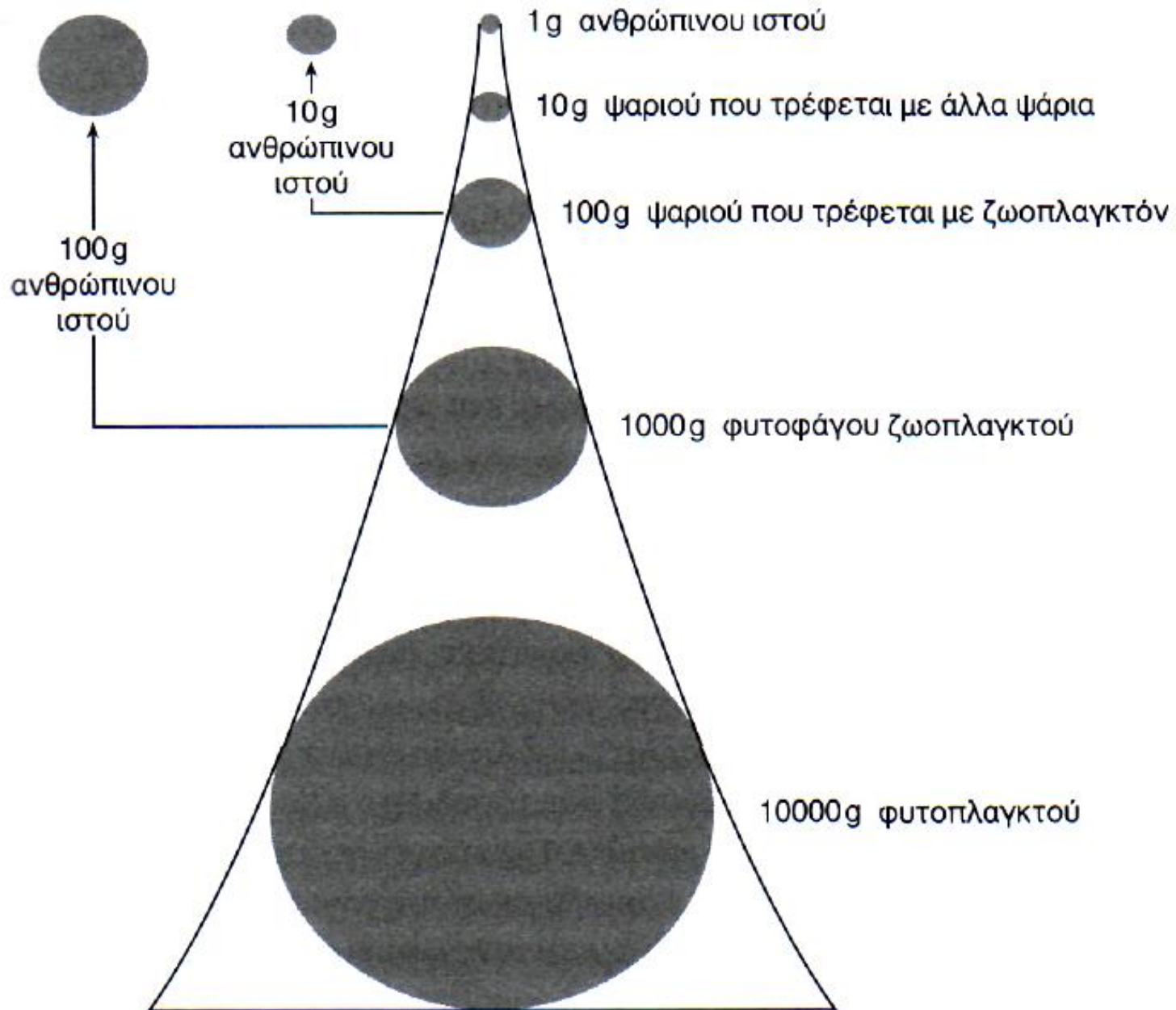




● Κατά τη ροή ενέργειας ελαττώνεται η διαθέσιμη ενέργεια

● Ενεργειακή αποδοτικότητα κατά Lindeman:

$$\alpha = A_n / A_{n-1} \text{ ή } \alpha = (R_n + P_n) / (C_{n-1} - W_{n-1})$$



● **Μεγάλες ενεργειακές απώλειες ☒ μικρές τροφικές αλυσίδες στη φύση**

● **Συνήθως 3 έως 5 τροφικά επίπεδα**

● **Τελευταίος κρίκος τροφικής αλυσίδας ☒ ανώτατος θηρευτής με μικρό πληθυσμιακό μέγεθος & μεγάλο κίνδυνο εξάλειψης**

● **Παρουσία ανώτατων θηρευτών ☒ ένδειξη καλής υγείας οικοσυστήματος**

● **Βιολογική μεγέθυνση – βιοσυσσώρευση ☒ αύξηση τοξικών επιπτώσεων ρύπων που δεν διασπώνται εύκολα**

Ενεργειακό μοντέλο οικοσυστήματος

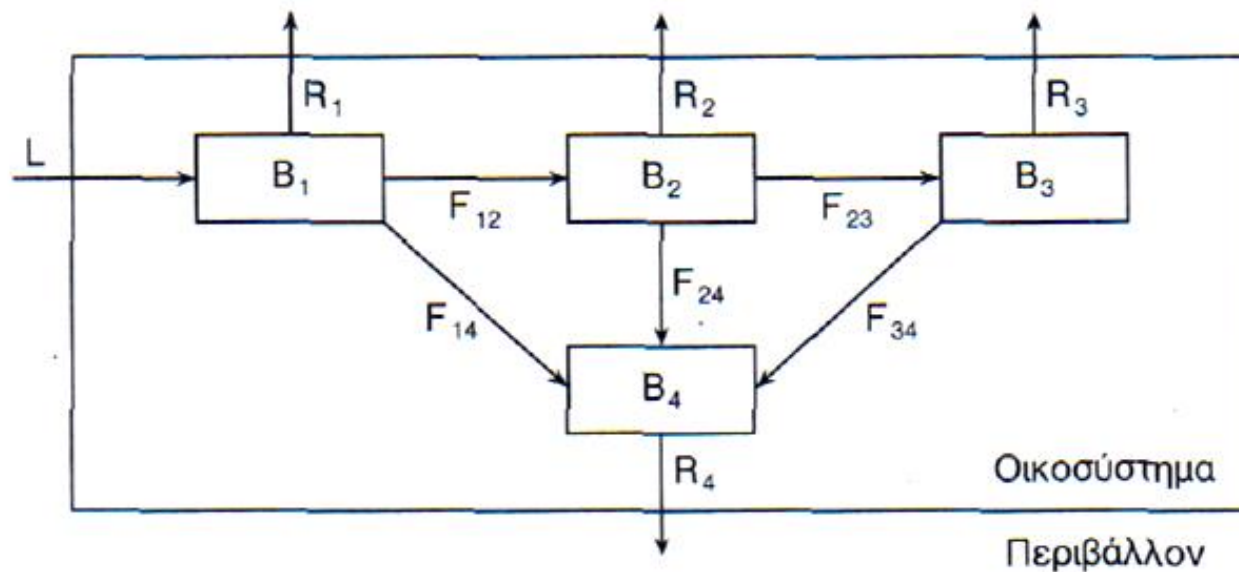
■ Φωτοσύνθεση & αναπνοή $\boxtimes$ καθορίζουν ροή ενέργειας & κυκλοφορία C & O₂ στη βιόσφαιρα

■ Μοντέλα με διαμερίσματα: διαίρεση συστήματος σε πεπερασμένο αριθμό διαμερισμάτων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ποσοτικές ανταλλαγές.

■ Κατάσταση συστήματος $\boxtimes$ καθορίζεται από τις τιμές περιεχομένων των διαμερισμάτων.

■ Χρονική μεταβολή συστήματος $\boxtimes$ εξαρτάται από τιμές ροών μεταξύ των διαμερισμάτων.

■ Διερεύνηση σημείων ισορροπίας συστήματος



Ενεργειακό μοντέλο οικοσυστήματος.

B_1 : παραγωγοί (φυτά ή άλγη)

B_2 : πρωτοβάθμιοι καταναλωτές (φυτοφάγα ζώα, ζωοπλαγκτόν)

B_3 : δευτεροβάθμιοι καταναλωτές (σαρκοφάγα ζώα)

B_4 : αποσυνθέτες

L : ακτινοβολία απορροφώμενη με φωτοσύνθεση

R_v : αναπνοή διαμερίσματος v

$F_{v\mu}$: ροή μεταξύ διαμερισμάτων v και μ .

■ Κατάσταση οικοσυστήματος $\boxtimes$ καθορίζεται από τα ενεργειακά περιεχόμενα των διαμερισμάτων $\boxtimes$ βιομάζες $B_1 - B_2 - B_3 - B_4$

■ Δυναμική συστήματος $\boxtimes$

$$dB_1/dt = H - R_1 - F_{12} - F_{14}$$

$$dB_2/dt = F_{12} - R_2 - F_{23} - F_{24}$$

$$dB_3/dt = F_{23} - R_3 - F_{34}$$

$$dB_4/dt = F_{14} + F_{24} + F_{34} - R_4$$

■ Η μεταβολή της βιομάζας ή η ενεργειακή μεταβολή του οικοσυστήματος είναι:

$$E = dB_1/dt + dB_2/dt + dB_3/dt + dB_4/dt$$

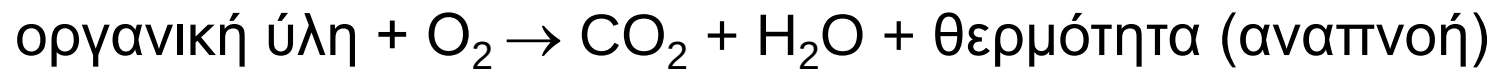
■ Αν τεθεί $B_1 + B_2 + B_3 + B_4 = B$ και δεδομένου ότι με βάση το μοντέλο του οικοσυστήματος, το ισοζύγιο ενέργειας είναι:

$$E = L - R_1 - R_2 - R_3 - R_4 \quad \boxtimes$$

η μεταβολή της βιομάζας του οικοσυστήματος = με τη διαφορά της φωτοσύνθεσης από τη συνολική αναπνοή:

$$\frac{dB}{dt} = L - R_1 - R_2 - R_3 - R_4$$

Η ροή της ενέργειας από το οικοσύστημα προς το περιβάλλον και αντίστροφα εξαρτάται κυρίως από τις βασικές χημικές αντιδράσεις φωτοσύνθεσης και αναπνοής:



■ Σχέση μεταξύ εισερχόμενης ενέργειας (ακτινοβολία) & εξερχόμενης (θερμότητα) ☒ ανάλογη σχέση μεταξύ εισερχόμενης & εξερχόμενης ποσότητας CO_2 & εξερχόμενης & εισερχόμενης ποσότητας O_2

■ $E = 0$

■ ☒ ενεργειακή ισορροπία οικοσυστήματος με περιβάλλον (ώριμη – σταθερή κατάσταση)

■ Αμετάβλητη η συνολική βιομάζα του

■ $E > 0$

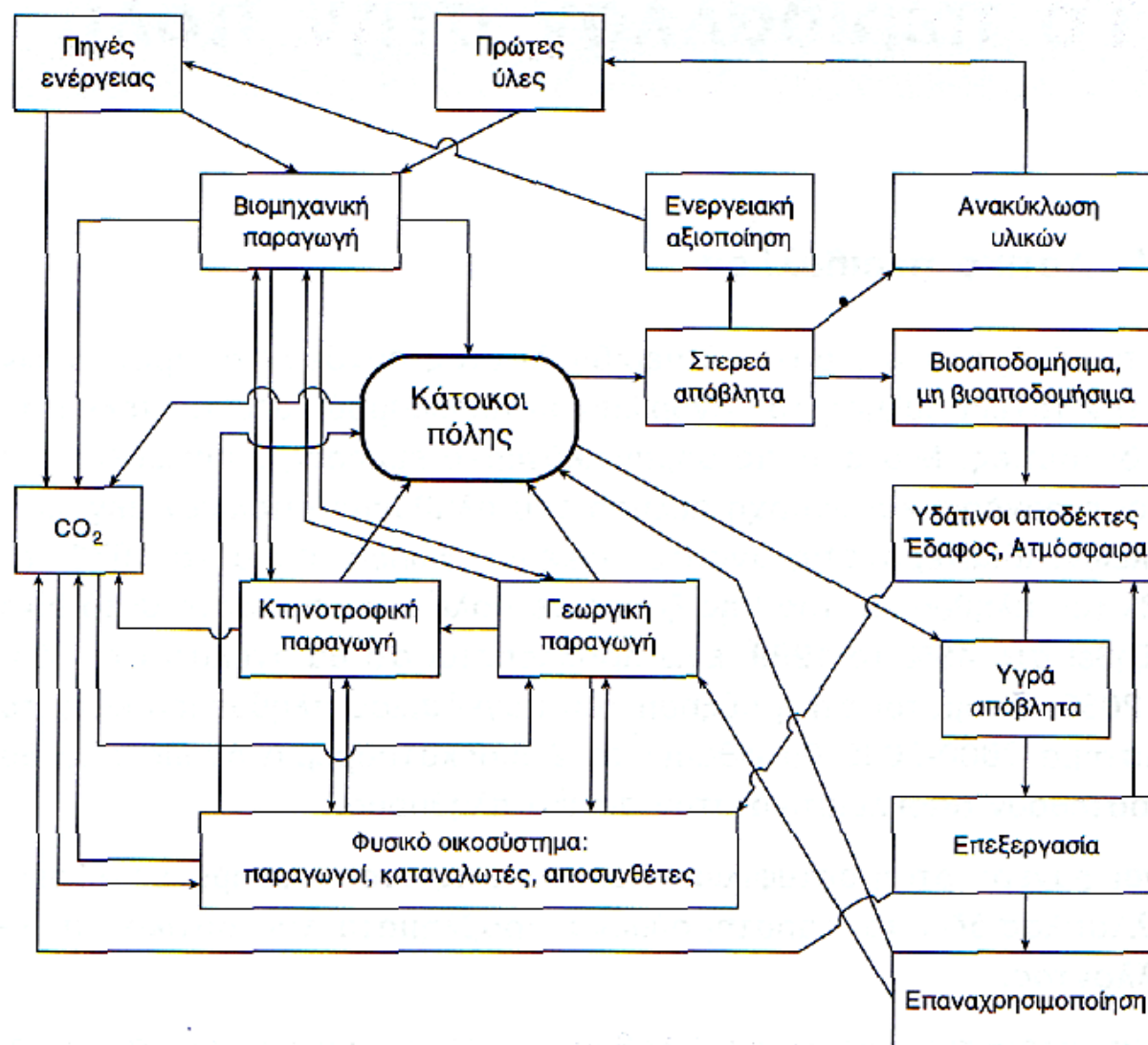
■ Οικοσύστημα ☒ παραγωγός O_2 & καταναλωτής CO_2

■ Εισαγωγή ενέργειας στο οικοσύστημα & παραγωγή βιομάζας (αναπτυξιακή φάση)

■ $E < 0$

■ Οικοσύστημα ☒ καταναλωτής O_2 & παραγωγός CO_2

■ Αρνητικό ενεργειακό ισοζύγιο & μείωση βιομάζας (φάση συρρίκνωσης)



Ροή ύλης και ενέργειας στο αστικό σύστημα.

Περιοριστικοί παράγοντες σε διάφορα περιβάλλοντα

Νόμος του ελαχίστου: ποσότητα ζωντανής ύλης σε δεδομένο περιβάλλον περιορίζεται από παράγοντα που χαρακτηρίζεται από τη μικρότερη διαθεσιμότητα, με την προϋπόθεση ότι δεν παρεμβαίνουν άλλοι παράγοντες αρνητικοί

- Σε χερσαία οικοσυστήματα: H_2O ή CO_2
- Υδάτινα οικοσυστήματα: συνήθως στοιχεία P - N
- Ένας μόνο περιοριστικός παράγοντας σε κάθε τμήμα & φάση του οικοσυστήματος.
- Αλλάζει όταν διαφοροποιηθούν οι συνθήκες.

Πρωτογενής παραγωγικότητα

Εξαρτάται από παράγοντες (ένας από αυτούς είναι ο περιοριστικός κατά περίπτωση).

1. Ακτινοβολία
2. Θερμοκρασία ☒ περιοριστικός παράγοντας σε ακραίες τιμές
3. Υγρασία ☒ περιοριστικός παράγοντας στα χερσαία οικοσυστήματα
4. Ποιότητα εδάφους & παρουσία θρεπτικών αλάτων ή ιχνοστοιχείων

5. Συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων ή ιχνοστοιχείων στο νερό

☒ περιοριστικός παράγοντας για υδάτινα οικοσυστήματα

6. Συγκέντρωση CO₂ στον αέρα ή στο νερό ☒ περιοριστικός

παράγοντας για βιόσφαιρα σε μεγάλη κλίμακα χρόνου

7. Δυσμενείς επιδράσεις από παράσιτα – ρύπανση –

ανθρωπογενείς επεμβάσεις



Ανθρωπογενείς περιοριστικοί παράγοντες που σχετίζονται με τη ρύπανση:

Ουσίες που βλάπτουν λόγω αυξημένης συγκέντρωσης (δεν είναι ξένες προς τα φυσικά οικοσυστήματα – πχ νεκρή οργανική ύλη στο νερό).

Ουσίες που βλάπτουν λόγω τοξικότητας ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις – πχ βαρέα μέταλλα & ραδιενεργές ουσίες.

Παραγωγικότερα χερσαία οικοσυστήματα: κοντά στον ισημερινό

⇒ αυξημένες ηλιοφάνεια & υγρασία

Παραγωγικότερα υδάτινα οικοσυστήματα: μακριά από τον

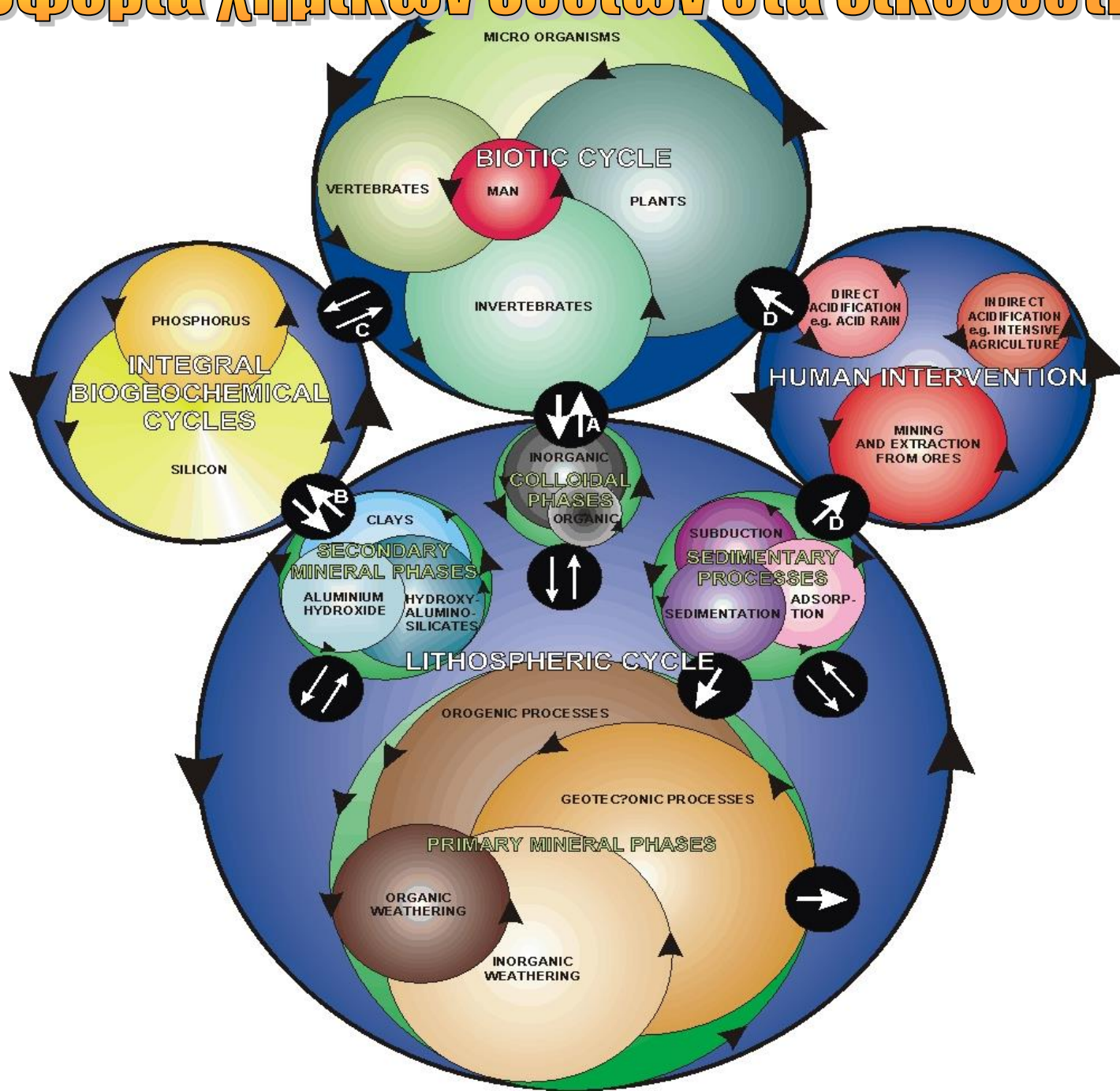
ισημερινό ⇒ όπου υπάρχουν ανοδικά ρεύματα που φέρνουν

θρεπτικά άλατα από βυθό στην επιφάνεια

Πρωτογενής παραγωγικότητα και βιομάζα διαφόρων κατηγοριών οικοσυστημάτων της Βιόσφαιρας (Lieth and Wittaker, 1975, τροποπ.)

Τύπος οικοσυστήματος	Επιφάνεια (10 ⁶ τ. χλμ.)	Πρωτογενής παραγωγικότητα ανά μονάδα επιφάνειας (gr/m ² /έτος)	Πρωτογενής παραγωγή Βιόσφαιρας (10 ⁹ t/έτος)	Παγκόσμια βιομάζα (10 ⁹ t)
Βροχόφιλα τροπικά δάση	17.0	1000-3500	37.4	765
Φυλλοβόλα τροπικά δάση	7.5	1000-2500	12.0	260
Εύκρατα δάση κωνοφόρων	5.0	600-2500	6.5	175
Εύκρατα φυλλοβόλα δάση	7.0	600-2500	8.4	210
Βόρεια δάση (τάιγκα)	12.0	400-2000	9.6	240
Θαμνώνες	8.5	250-1200	6.0	50
Σαβάνες	15.0	200-2000	13.5	60
Τούντρα	8.0	10-400	1.1	5
Έρημοι και ημιέρημοι με θάμνους	18.0	10-250	1.6	13
Άγονοι έρημοι και πολικές ζώνες	24.0	0-10	0.07	0.5
Αγροσυστήματα	14.0	100-3500	9.1	14
Υγρότοποι	2.0	800-3500	4.1	30
Λίμνες και ποταμοί	2.0	100-1500	0.5	0.05
Σύνολο χερσαίων οικοσυστημάτων	149		115	1837
Ανοικτός ωκεανός	332	2-4000	41.5	1.0
Ζώνες ανοδικών ρευμάτων	0.4	400-1000	0.2	0.008
Υφαλοκρηπίδα	26.6	200-600	9.6	0.27
Κοραλλιογενείς ύφαλοι	0.6	500-4000	1.6	1.2
Ποταμόκολποι	1.4	200-3500	2.1	1.4
Σύνολο θαλάσσιων οικοσυστημάτων	361		55.0	3.9
Σύνολο Βιόσφαιρας	510		170	1841

Κυκλοφορία χημικών ουσιών στα οικοσυστήματα



■ Σε κάθε οικοσύστημα $\Rightarrow$ αδιάκοπη κυκλοφορία υλικών ουσιών, με εναλλασσόμενη ανόργανη και οργανική μορφή.

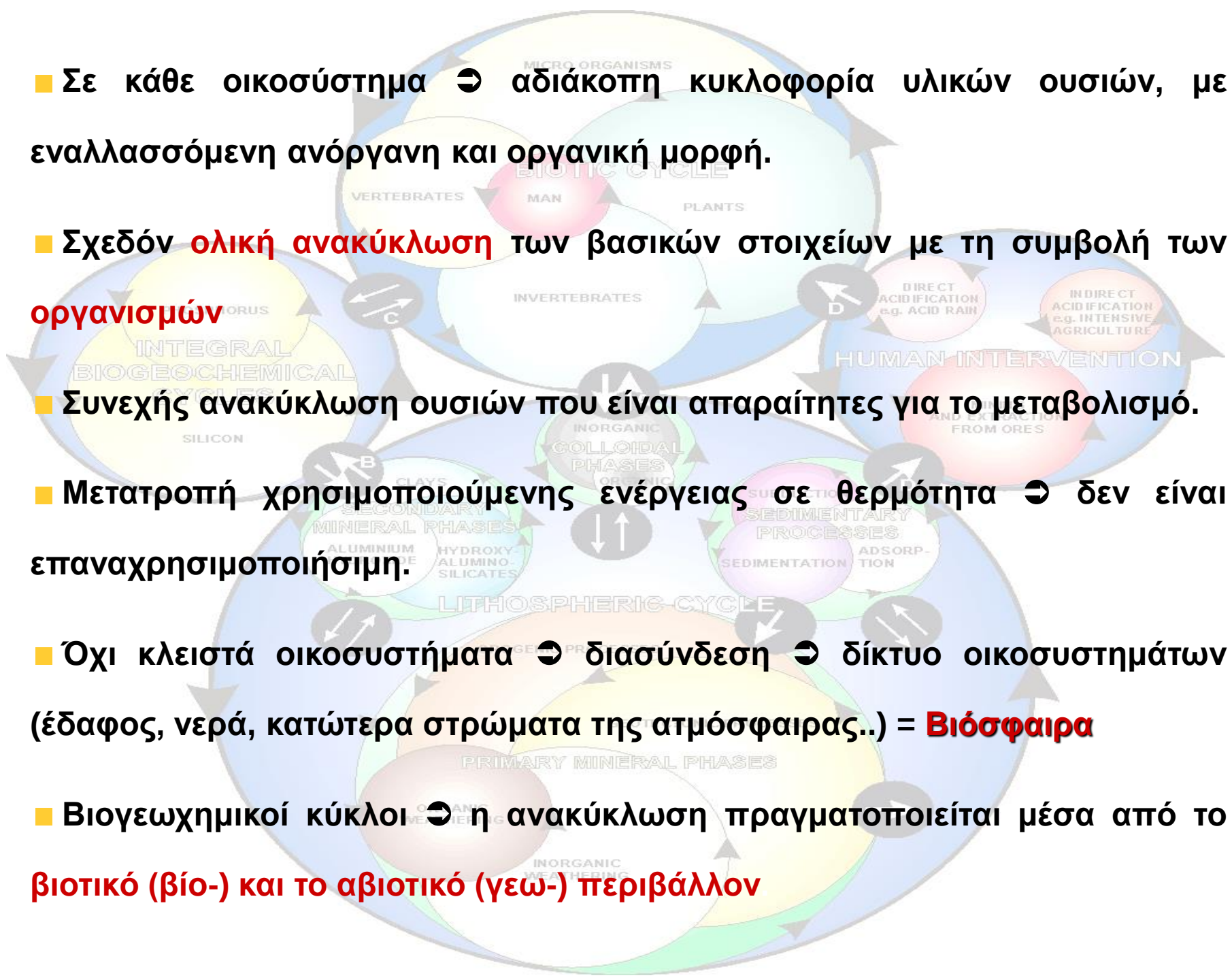
■ Σχεδόν **ολική ανακύκλωση** των βασικών στοιχείων με τη συμβολή των **οργανισμών**

■ Συνεχής ανακύκλωση ουσιών που είναι απαραίτητες για το μεταβολισμό.

■ Μετατροπή χρησιμοποιούμενης ενέργειας σε θερμότητα $\Rightarrow$ δεν είναι επαναχρησιμοποιήσιμη.

■ Όχι κλειστά οικοσυστήματα $\Rightarrow$ διασύνδεση $\Rightarrow$ δίκτυο οικοσυστημάτων (έδαφος, νερά, κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας..) = **Βιόσφαιρα**

■ Βιογεωχημικοί κύκλοι $\Rightarrow$ η ανακύκλωση πραγματοποιείται μέσα από το βιοτικό (βίο-) και το αβιοτικό (γεω-) περιβάλλον



■ Αυτορυθμιζόμενοι κύκλοι $\Rightarrow$ μακρόχρονη σταθερότητα των διαφόρων οικοσυστημάτων

■ **Ταμιευτής:** κάποια βιοτική ή αβιοτική συνιστώσα του οικοσυστήματος όπου αποθηκεύεται η ύλη για κάποιο χρονικό διάστημα.

■ **Ταμίσυμα:** αποθηκευμένη ποσότητα ύλης

■ **Ταχύτητα ροής:** ενέργεια που μεταβιβάζεται μεταξύ των ταμιευτών ανά μονάδα χρόνου.

■ Σε οικοσύστημα που βρίσκεται σε **ισορροπία**

■ R_i (άθροισμα ταχυτήτων εισροής) = R_k (άθροισμα ταχυτήτων εκροής)

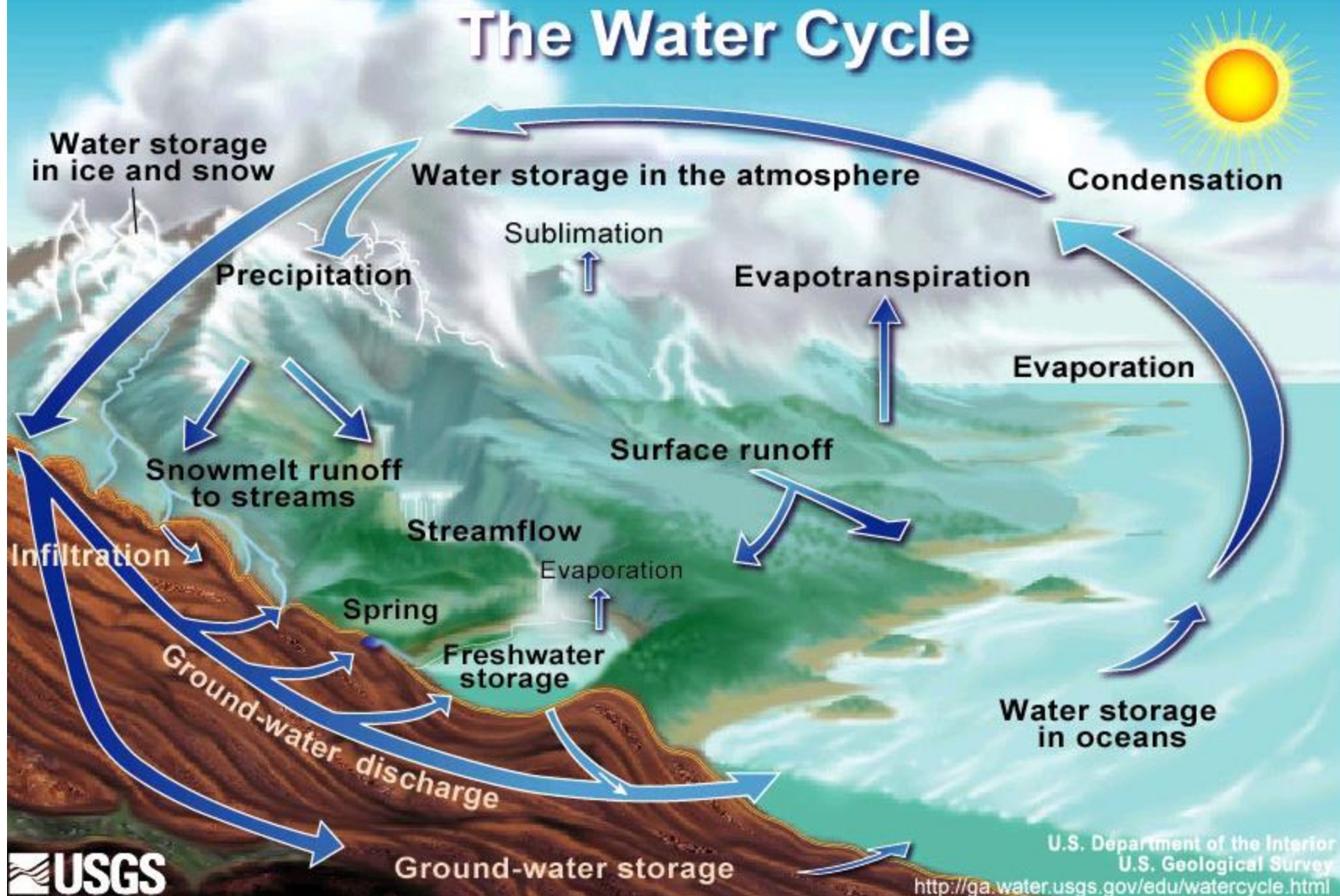
■ Χρόνος αντικατάστασης (turnover time) $\Rightarrow$

$$t_0 = M \text{ (ταμείευμα)} / R_k$$

$\Rightarrow$ ο μέσος χρόνος παραμονής της ύλης στον ταμιευτή

$\Rightarrow$ μέτρο ευαισθησίας του οικοσυστήματος έναντι των μεταβολών που προκαλεί η ανθρώπινη δραστηριότητα στους βιογεωχημικούς κύκλους (μεγαλύτεροι χρόνοι t_0 σημαίνουν μεγαλύτερη αντίσταση στις μεταβολές των ταχυτήτων ροής).

The Water Cycle



Κύκλος του νερού

- Άνιση κατανομή.
- Το μεγαλύτερο μέρος του κύκλου του νερού πραγματοποιείται ανάμεσα στη θάλασσα και στην ατμόσφαιρα.
- Οι υδρατμοί υγροποιούνται στα σύννεφα και η κάθοδος στην επιφάνεια της γης γίνεται με τη μορφή βροχής, χιονιού, χαλαζιού, δροσιάς ή πάχνης.
- Το νερό που φτάνει στην επιφάνεια της στεριάς μπορεί να ακολουθήσει τρεις δρόμους:

■ διείσδυση στο έδαφος



Συγκράτηση & αποθήκευση του νερού στο έδαφος (ρόλο παίζουν η βλάστηση και η οργανική ύλη του χώματος)

εξατμισοδιαπνοή



το νερό επιστρέφει γρήγορα στην ατμόσφαιρα, είτε με άμεση εξάτμιση είτε μέσω της διαπνοής των φυτών

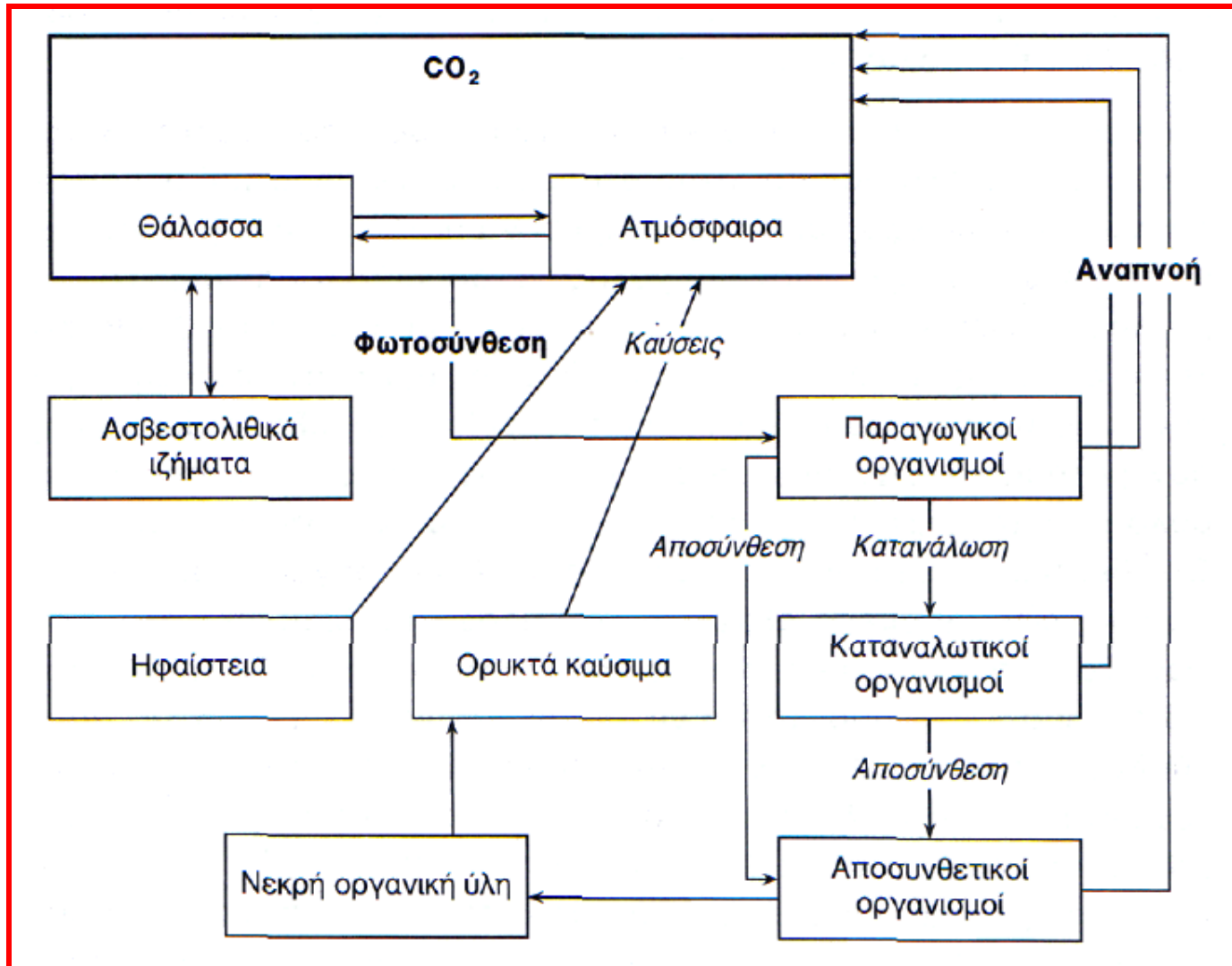
επιφανειακή ροή



αποτελεί τον κυριώτερο παράγοντα διάβρωσης των εδαφών – ευνοείται από έλλειψη βλάστησης

Κύκλος του άνθρακα

- Ο τελειότερος από τους βιογεωχημικούς κύκλους.

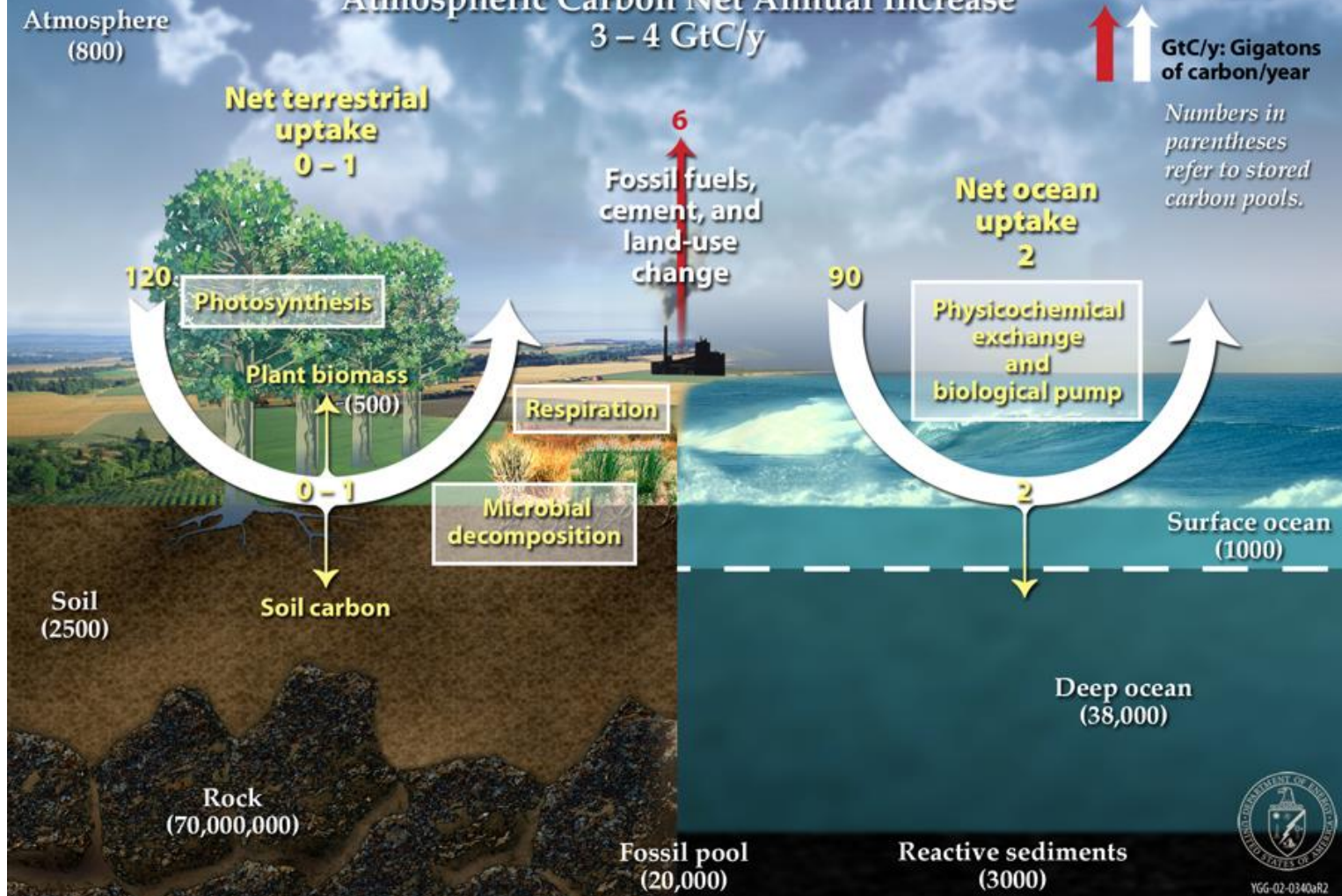


Simplified Global Carbon Cycle

Atmospheric Carbon Net Annual Increase
3 – 4 GtC/y

  **GtC/y: Gigatons of carbon/year**

Numbers in parentheses refer to stored carbon pools.



YGG-02-0340aR2

■ Η θάλασσα περικλείει μία ποσότητα CO_2 περίπου 50 φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι η ατμόσφαιρα

■ $\Rightarrow$ φωτοσύνθεση στα άλγη και στα θαλασσινά φυτά

δεξαμενή που μπορεί να απορροφά ή να αποδίδει CO_2 στην ατμόσφαιρα (ρυθμιστικός ρόλος)

■ CO_2 υδάτινων οικοσυστημάτων $\Rightarrow (\text{HCO}_3)^-$ κατά το μεγαλύτερο μέρος του [διαλυμένος άνθρακας στο νερό $\Rightarrow \text{CO}_2$, H_2CO_3 , $(\text{HCO}_3)^-$, $(\text{CO}_3)^=$ σε φυσικοχημική ισορροπία].

■ Σημαντικές ποσότητες άνθρακα αποθηκευμένες στη βιομάζα των ζωντανών οργανισμών, στο έδαφος και στα ορυκτά καύσιμα.

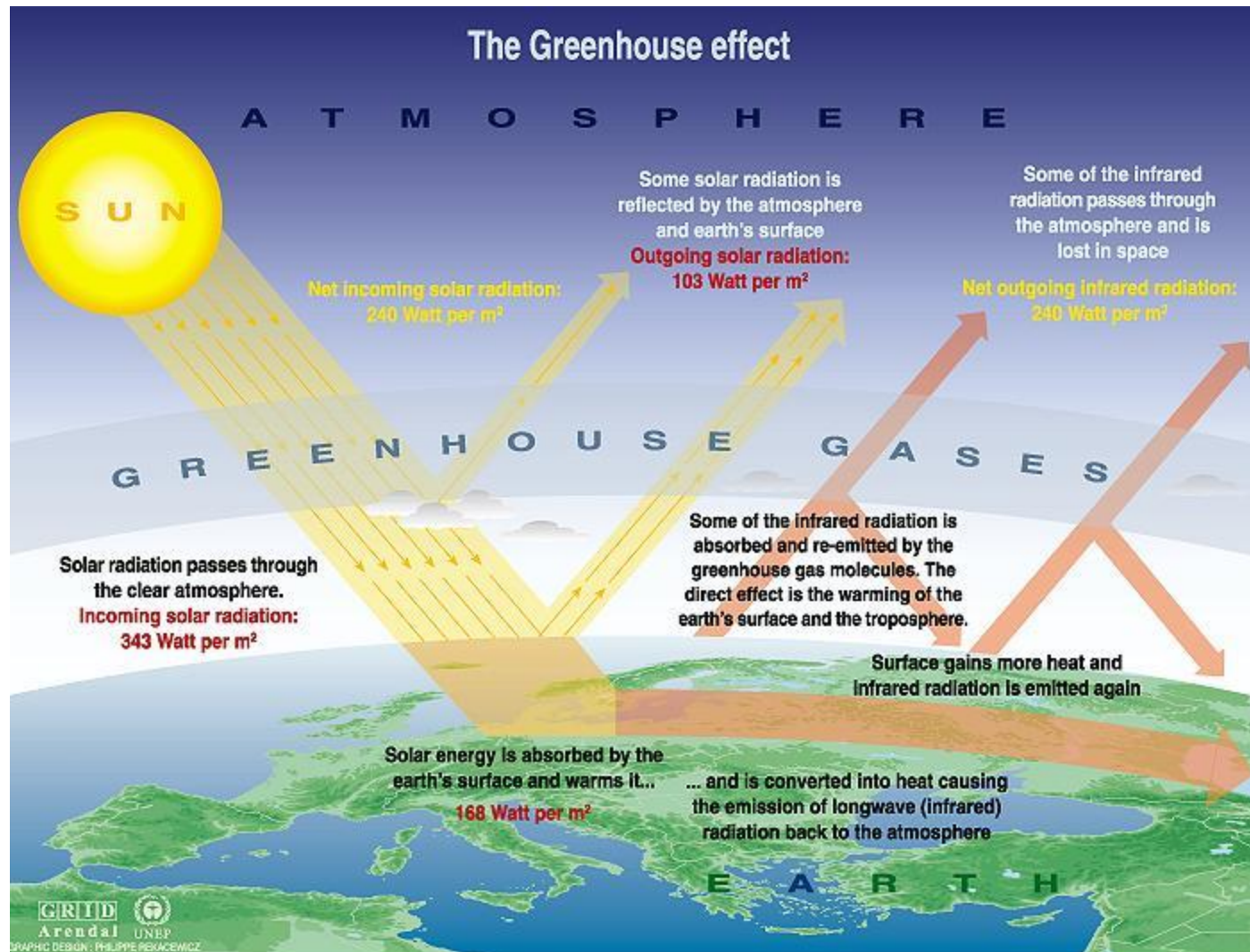
■ Επιβράδυνση κυκλοφορίας του άνθρακα μεταξύ οικοσυστημάτων, ατμόσφαιρας και υδρόσφαιρας εξαιτίας **συσσώρευσης νεκρών ουσιών στο έδαφος (χούμος).**

■ μετατροπή του χούμου σε ανόργανα υλικά, με ταυτόχρονη έκλυση CO_2

■ πολύ αργά στις εύκρατες και στις πολικές ζώνες

■ ταχύτερη στις τροπικές ζώνες

Διαταραχή του κύκλου του άνθρακα – Φαινόμενο θερμοκηπίου



Sources: Okanagan university college in Canada, Department of geography, University of Oxford, school of geography; United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge university press, 1996.

■ Άνθρωπος → Εκτεταμένη καύση ορυκτών καυσίμων

■ Επαναφορά στην ατμόσφαιρα αποθηκευμένου άνθρακα →

αύξηση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα

■ Εγκλωβίζεται όλο και μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής

ακτινοβολίας → αύξηση θερμοκρασίας του πλανήτη

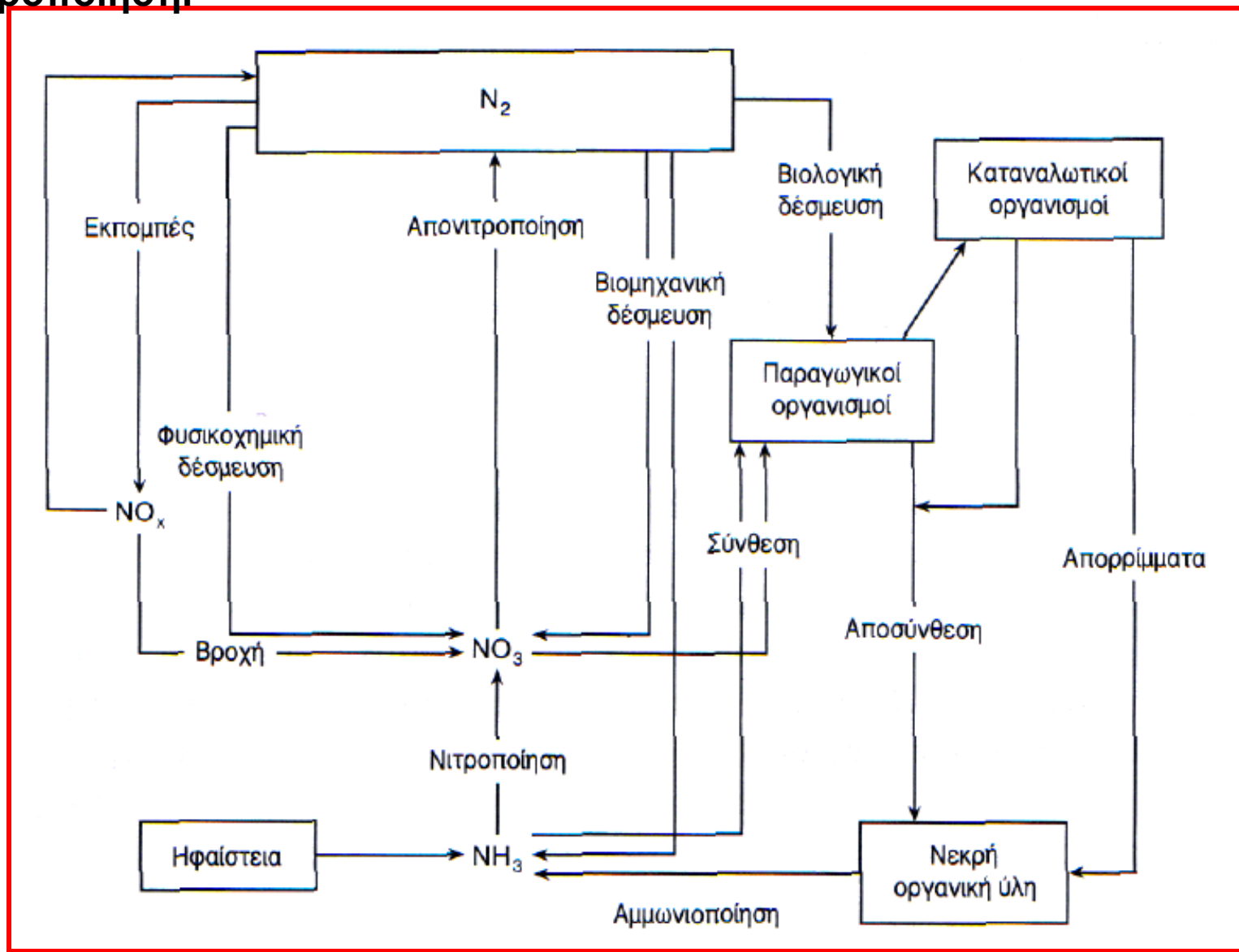
■ Αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον

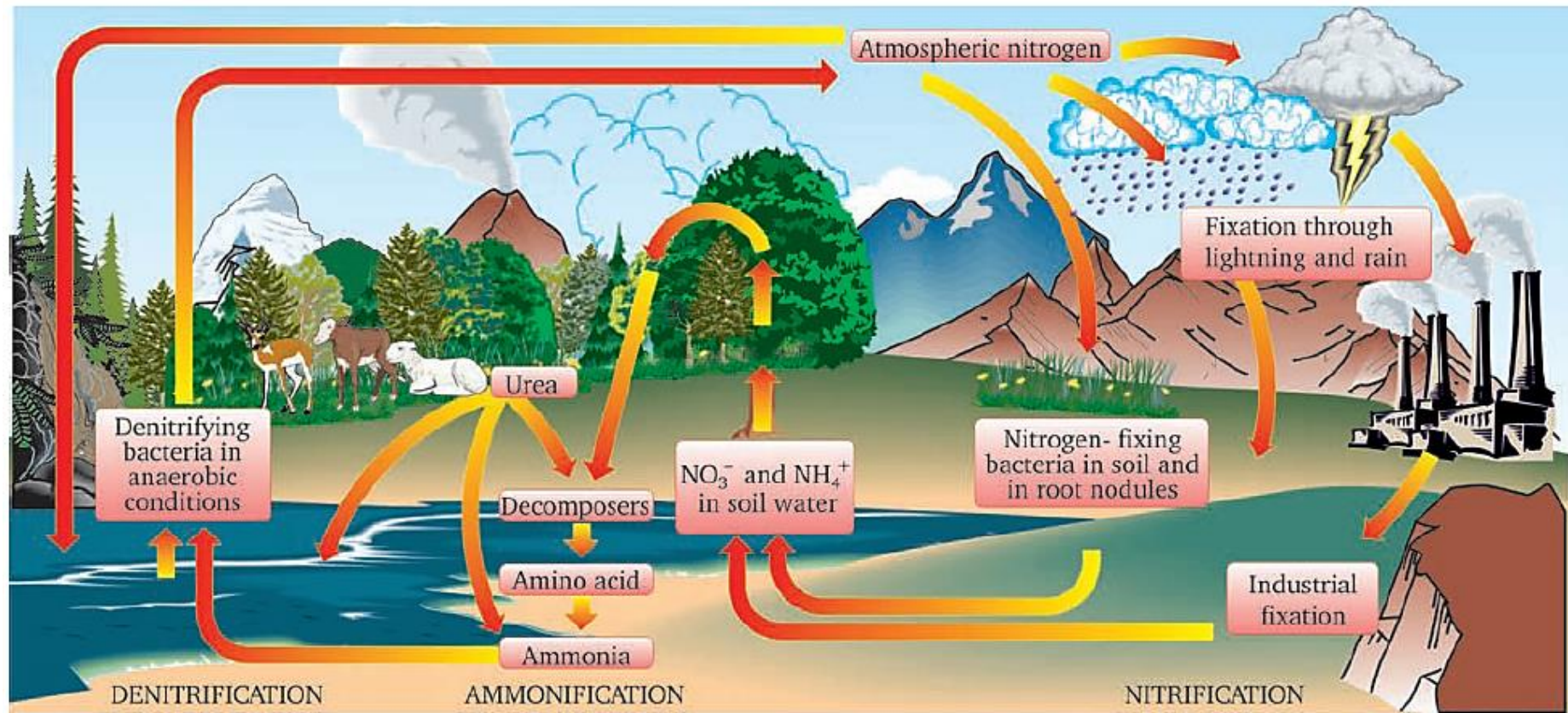
Κύκλος του αζώτου

- Περιορίζεται από την ταχύτητα μετατροπής του ατμοσφαιρικού N_2 στις χρησιμοποιήσιμες δεσμευμένες μορφές (δεσμευμένες μορφές του αμμωνιακού αζώτου $(NH_4)^+$ και του νιτρικού αζώτου $(NO_3)^-$).
- Από τους παραγωγικούς οργανισμούς εφοδιάζονται με το αναγκαίο οργανικό άζωτο όλοι οι υπόλοιποι οργανισμοί.
- Διάφοροι ειδικευμένοι αποσυνθέτες διασπούν τις αζωτούχες ενώσεις της νεκρής οργανικής ύλης.
 - Το μεγαλύτερο μέρος απ' αυτό το άζωτο παραμένει στο έδαφος ή στο νερό με μορφή νιτρικών ή αμμωνιακών αλάτων και ξαναχρησιμοποιείται από τα φυτά.
 - Ένα μικρότερο μέρος ελευθερώνεται ως αέριο N_2 στην ατμόσφαιρα και κλείνει τον κύκλο.

■ Κάποιες ποσότητες N_2 βγαίνουν από τον κύκλο, διότι καταλήγουν ως ιζήματα στο βυθό των ωκεανών.

■ Κύριες γραμμές ροής του N_2 : δέσμευση, αμμωνιοποίηση, νιτροποίηση & απονιτροποίηση.





■ Συνέπειες διαταραχής κύκλου αζώτου:

- ευτροφισμός των υδατικών οικοσυστημάτων που έχουν ως περιοριστικό παράγοντα το άζωτο.



■ επιβάρυνση υδάτινων σωμάτων (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες, υπόγεια νερά) με νιτρικά ή με αμμωνία.

■ επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με οξείδια του αζώτου, τα οποία είναι τοξικά, συντελούν στη δημιουργία όξινης βροχής και εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Κύκλος του οξυγόνου

■ Το πιο άφθονο στοιχείο τόσο στο φλοιό της Γης, όσο και στο σύνολο της ζωντανής ύλης, υπάρχει δε σε πάρα πολλές χημικές ενώσεις.

■ Επιτρέπει τη διεργασία της αερόβιας αναπνοής.

■ Σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικό για τους οργανισμούς και προκαλεί αυτόματη ανάφλεξη της ξερής βλάστησης ή της βιομάζας.

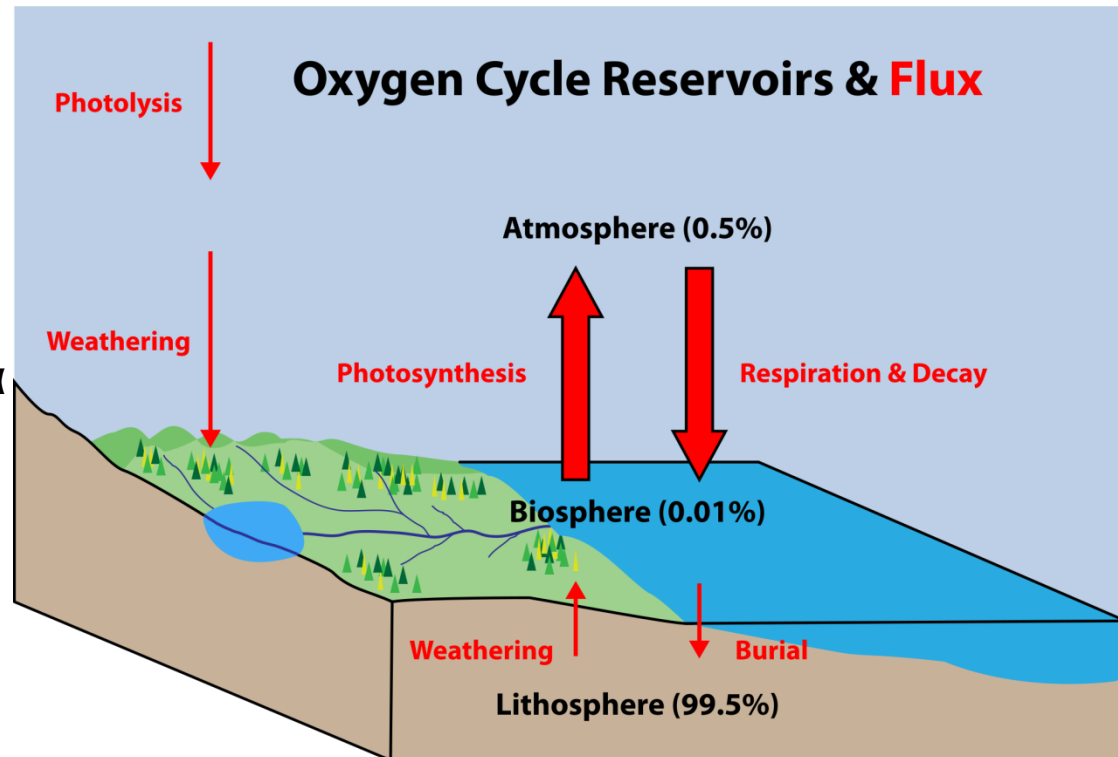
■ Ο κύκλος του είναι πολύπλοκος και εμφανίζει ιδιαίτερα τμήματα στην ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη λιθόσφαιρα.

■ Πραγματοποιείται κατά το μεγαλύτερο μέρος ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και τη Βιόσφαιρα, μέσω της φωτοσύνθεσης που παράγει O_2 και της αναπνοής που το καταναλώνει

☒ αντίστροφη εικόνα του κύκλου του άνθρακα.

■ Βιογενής προέλευση O_2

☒ δημιουργήθηκε αποκλειστικά από τη δράση των φυτικών οργανισμών.



■ Η ανθρώπινη δράση επεμβαίνει στον κύκλο του O_2 μέσω της καταστροφής της φυσικής βλάστησης και της χρησιμοποίησης των ορυκτών καυσίμων.

■ Δεν διαταράσσεται ο κύκλος λόγω αφθονίας O_2 (21%) στην ατμόσφαιρα.

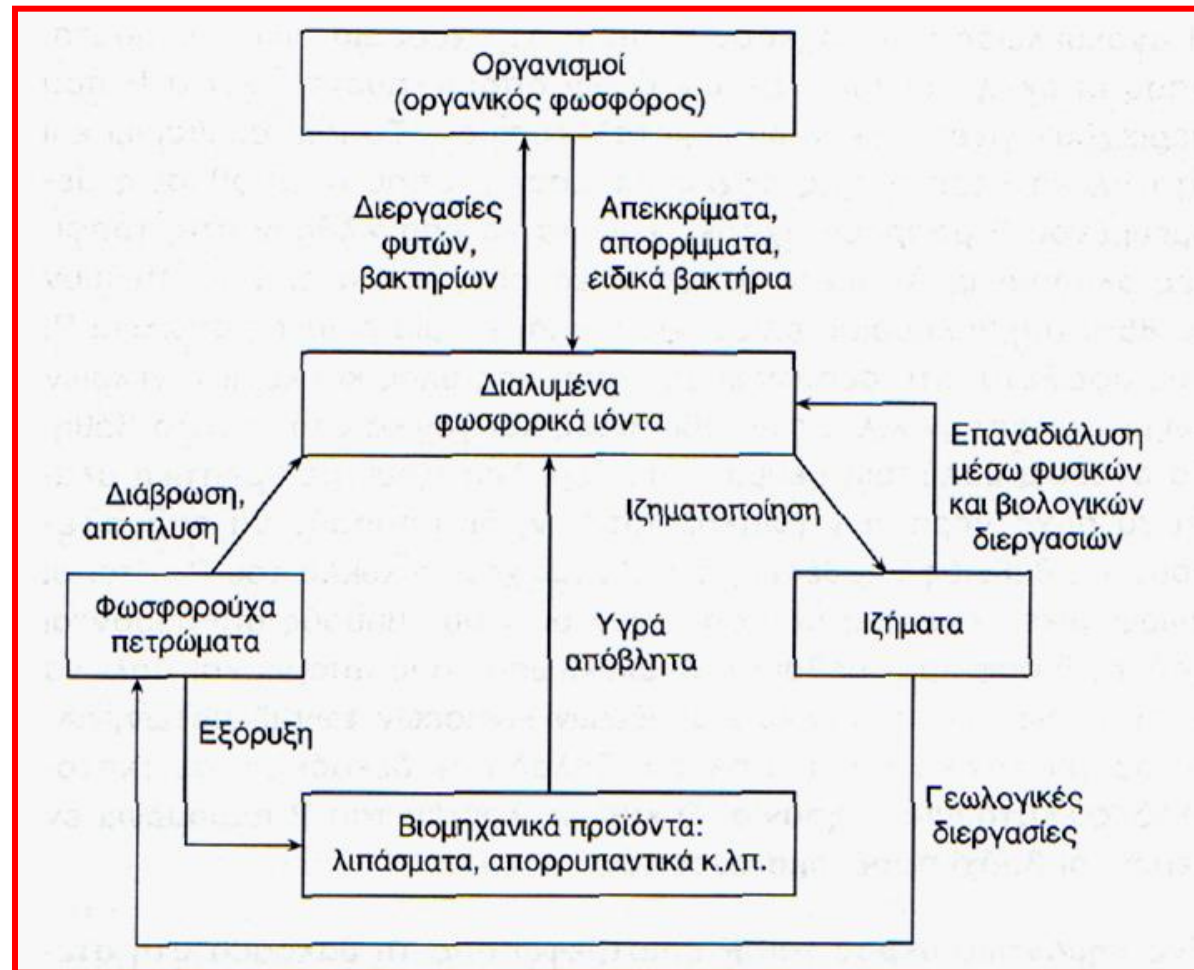
■ Σημαντικές επεμβάσεις

⊗ μείωση του στρώματος του όζοντος

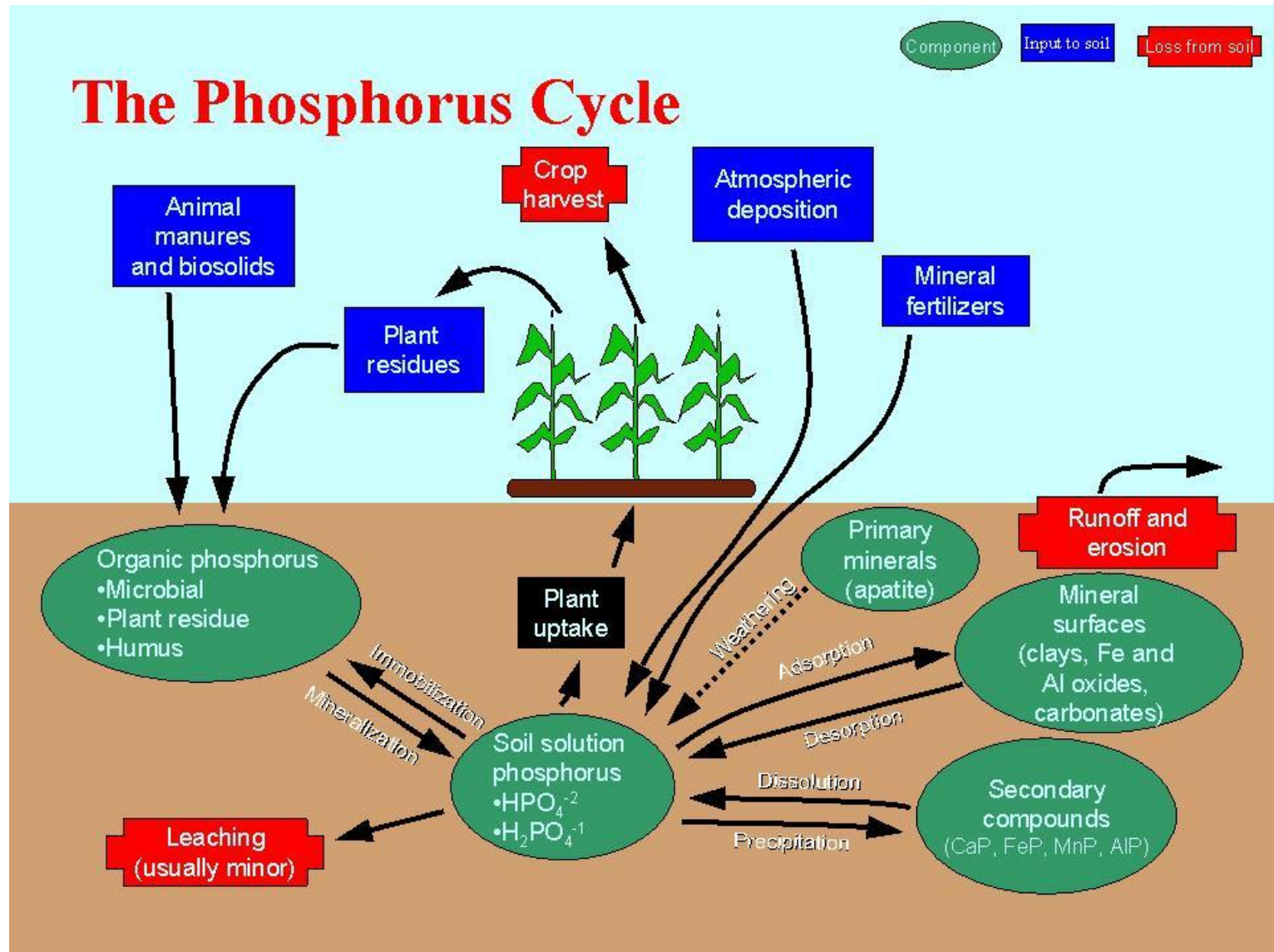
⊗ προβλήματα αποξυγόνωσης ⊗ γίνεται περιοριστικός παράγοντας για ορισμένους πληθυσμούς (υδάτινο περιβάλλον).

Κύκλος του φωσφόρου

- ✚ Ο Ρ θεωρείται ο μεγάλος ρυθμιστής των άλλων βιογεωχημικών κύκλων.
- ✚ Αδύνατος κρίκος στην αλυσίδα της ζωής πάνω στη Γη, διότι ο κύκλος του είναι σχετικά ατελής και ανοικτός.
- ✚ Όλο το απόθεμα του Ρ περιέχεται στη λιθόσφαιρα και εισέρχεται στην κυκλοφορία της Βιόσφαιρας με την απόπλυση της επιφάνειας του εδάφους.
- ✚ Μέσω της ροής του νερού φτάνει στα χερσαία και υδατικά οικοσυστήματα.



The Phosphorus Cycle



✚ Η ανακύκλωση είναι σχεδόν πλήρης στα χερσαία οικοσυστήματα / γλυκά νερά / ρηχές θάλασσες, όπου οι σκελετοί των νεκρών ζώων αποσυντίθενται και ο P που περιέχουν γίνεται εκ νέου εκμεταλλεύσιμος.

✚ Το αντίθετο συμβαίνει στους ωκεανούς ☒ μεγάλα βάθη ☒ ανοιχτός κύκλος.

✚ Ανθρώπινη δραστηριότητα ☒ βιομηχανία λιπασμάτων ή απορρυπαντικών ☒ ευτροφικές καταστάσεις

✚ P: περιοριστικός παράγοντας σε περισσότερες περιπτώσεις από κάθε άλλο στοιχείο.

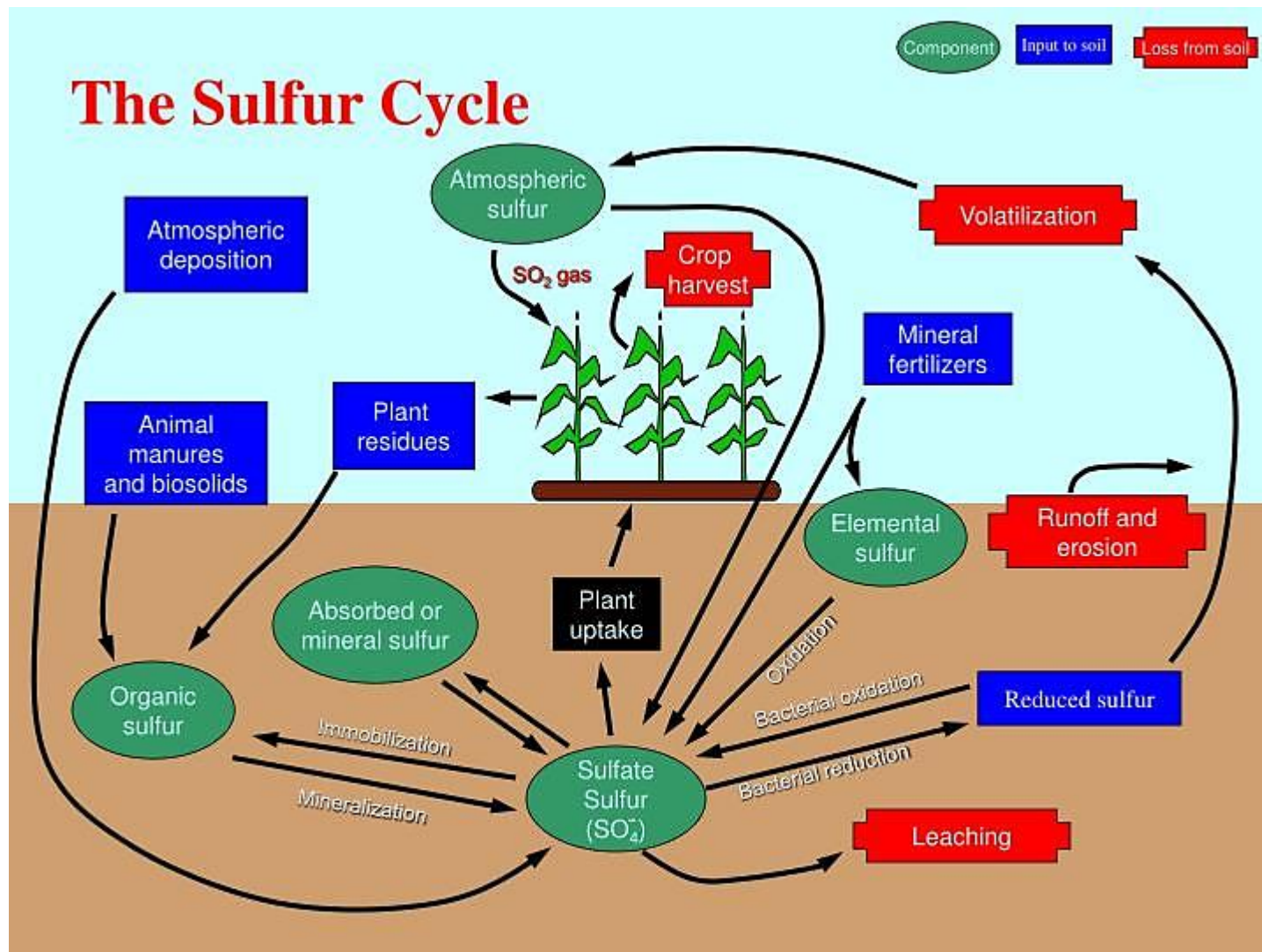
✚ ευκολία σχηματισμού αδιάλυτων ενώσεων, οι οποίες δεν λαμβάνονται από τα φυτά και δεν μεταφέρονται με τα επιφανειακά και υπόγεια νερά.

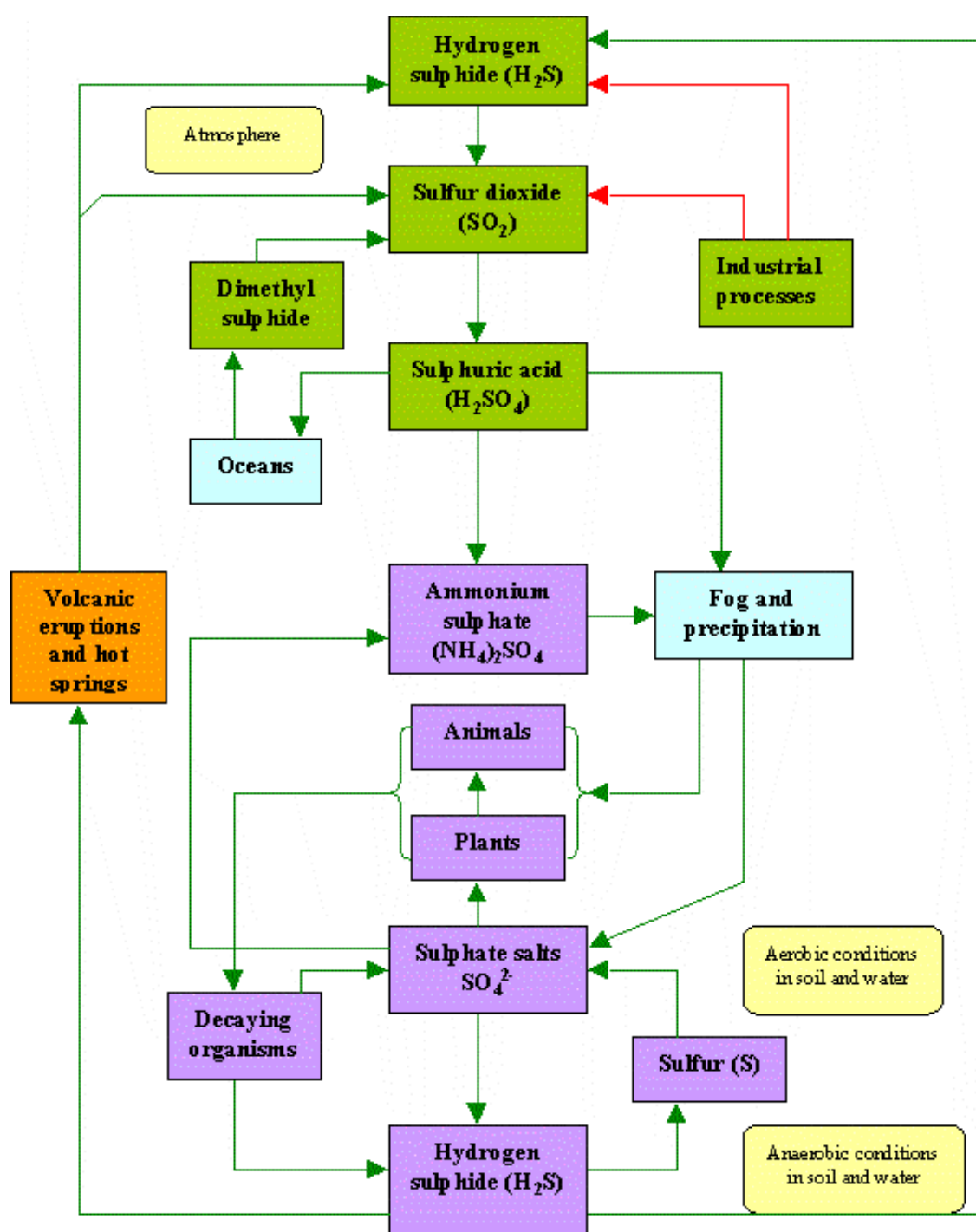
✚ δεν σχηματίζει στο φυσικό περιβάλλον αέριες ενώσεις ☒ όχι ατμοσφαιρική κυκλοφορία.

Κύκλος του Θείου

- Πραγματοποιείται κυρίως στα νερά και το έδαφος
- Οι αέριες θειικές ενώσεις όπως το SO_2 και το H_2S παίζουν δευτερεύοντα ρόλο στην κυκλοφορία του στη Βιόσφαιρα.
- Βασική πηγή: θειικά άλατα διαλυμένα στα νερά ☒ απορροφώνται από τα φυτά που τα χρησιμοποιούν για την παρασκευή πρωτεϊνών ☒ τροφικές αλυσίδες ☒ αποσύνθεση από ειδικά βακτήρια που παράγουν υδρόθειο.
- Μικροοργανισμοί σε αναερόβιες συνθήκες (βυθός θαλασσών...) ☒ παράγουν ενέργεια που τους χρειάζεται με τη αναγωγή των θειϊκών ενώσεων.
- Αντίστροφα ☒ αυτότροφα βακτήρια οικοδομούν τις οργανικές ουσίες χάρη στην ενέργεια που παράγουν από την οξείδωση του υδρόθειου σε θειικές ενώσεις.

The Sulfur Cycle





● Ένα μέρος του S που βρίσκεται στους βυθούς κατακάθεται μέσα στα ιζήματα με τη μορφή θειούχου σιδήρου, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται από τα ιζήματα φωσφόρος, ο οποίος περνά σε διαλυτή μορφή μέσα στο νερό ➡ παράδειγμα συνδυασμού και αλληλορύθμισης δύο διαφορετικών κύκλων.

● Εμπλουτισμός βιόσφαιρας με ηφαιστειακή δραστηριότητα & ανθρωπογενείς δράσεις (καύση ορυκτών καυσίμων).