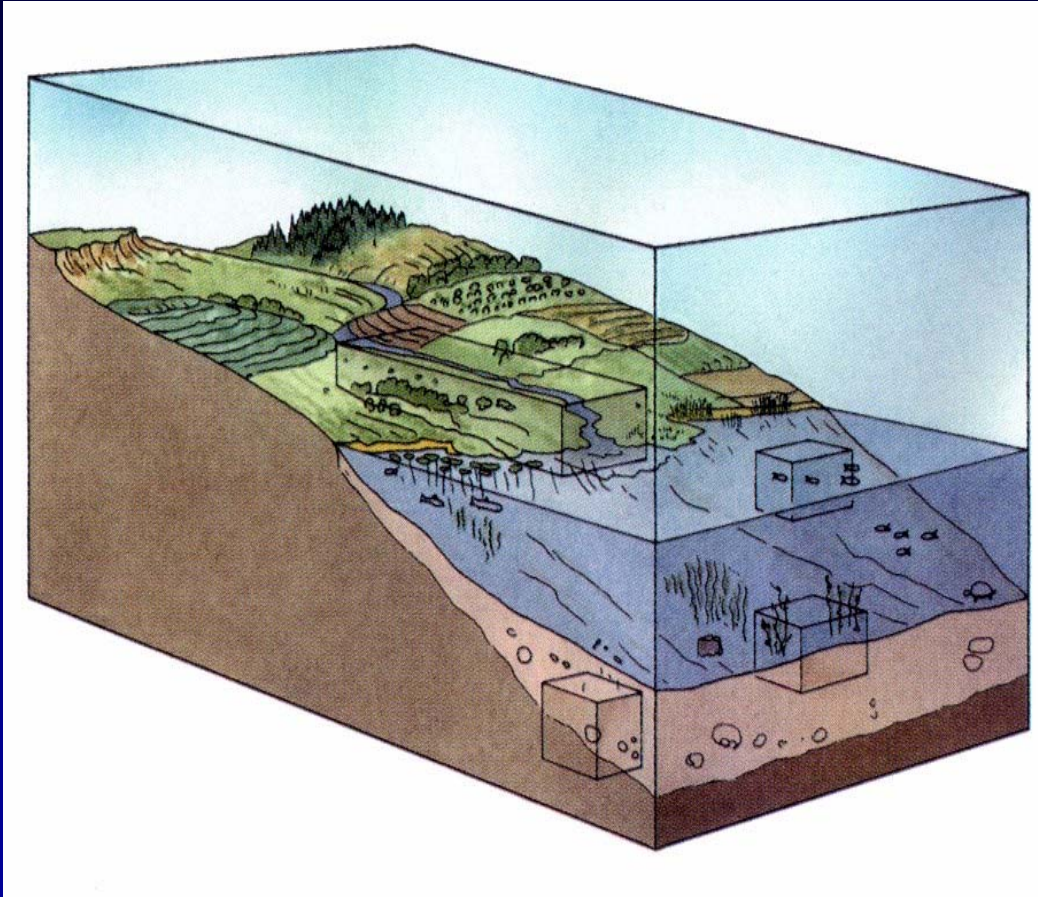


Zemské systémy a cykly

- dříve ve vědách o Zemi samostatné studium jednotlivých částí (geologických jednotek, oceánů, atmosféry)
- dnes studium jako celku, Země je nahlížena jako jednotný systém

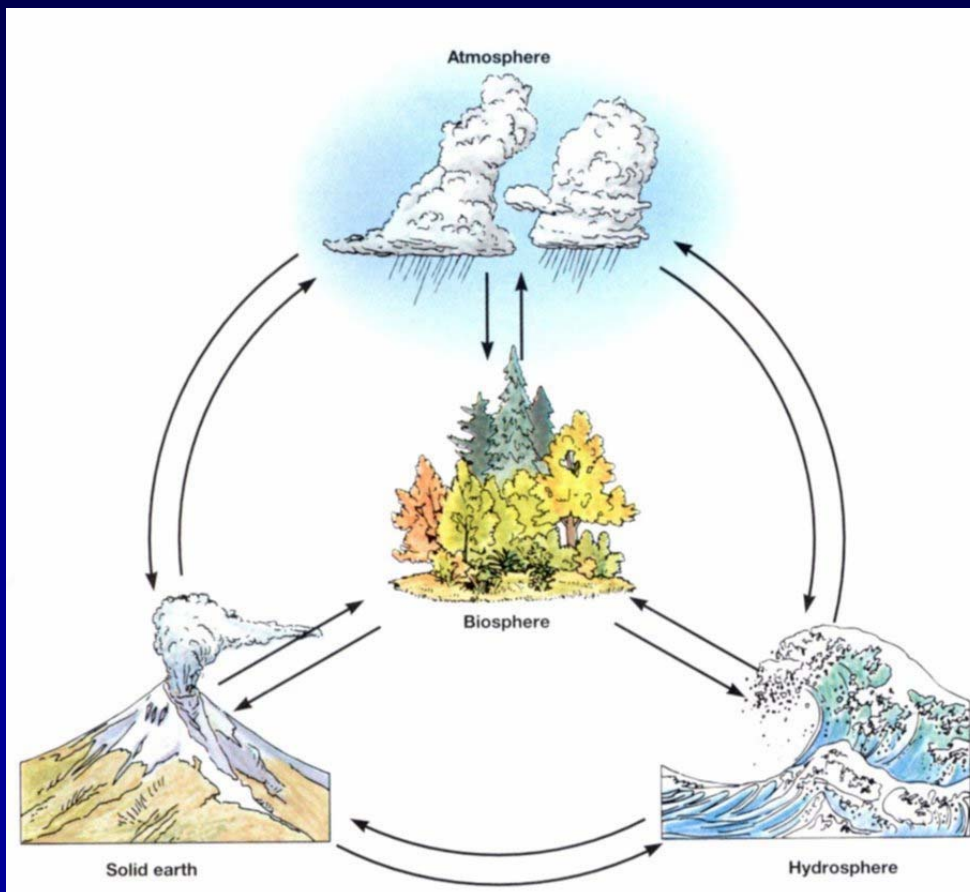
Koncepce systémů



- Systém je jakákoliv část Vesmíru („Všehomíru“), kterou pozorovatel vymezí (velký, malý, jednoduchý, složitý – od atomů po celý Vesmír): jezero, vzorek horniny, oceán, sopka, horský hřbet, kontinent, celá planeta; list je součástí stromu, strom je součástí lesa.
- Začínáme od malých podsystémů, pochopení jejich funkce je však možné jen v kontextu celého systému.

Zemský systém

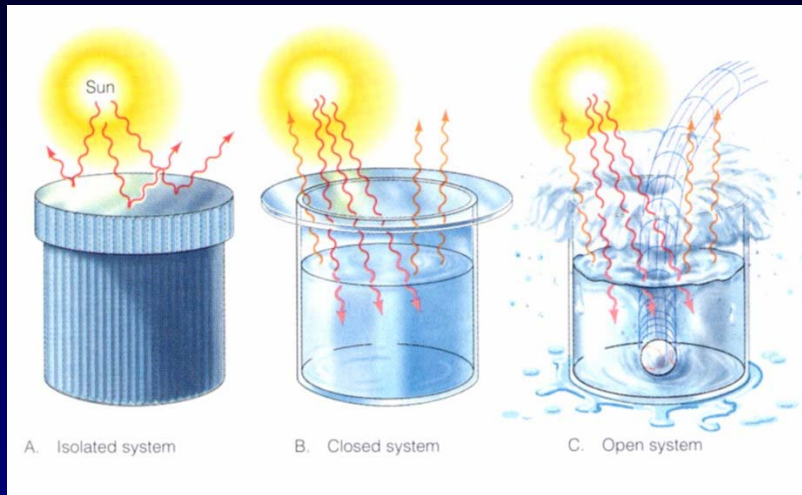
Zemský systém se skládá z menších podsystémů, které spolu intenzivně „komunikují“



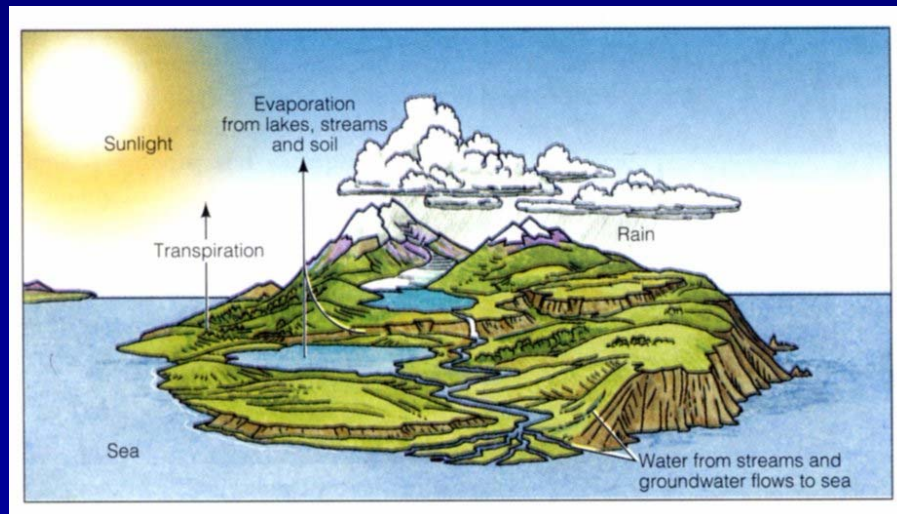
- atmosféra
- hydrosféra
- biosféra
- litosféra

Ty mohou být rozděleny na další podsystémy – hydrosféra = oceány, ledovce, vodní toky, podzemní voda.

Systemy



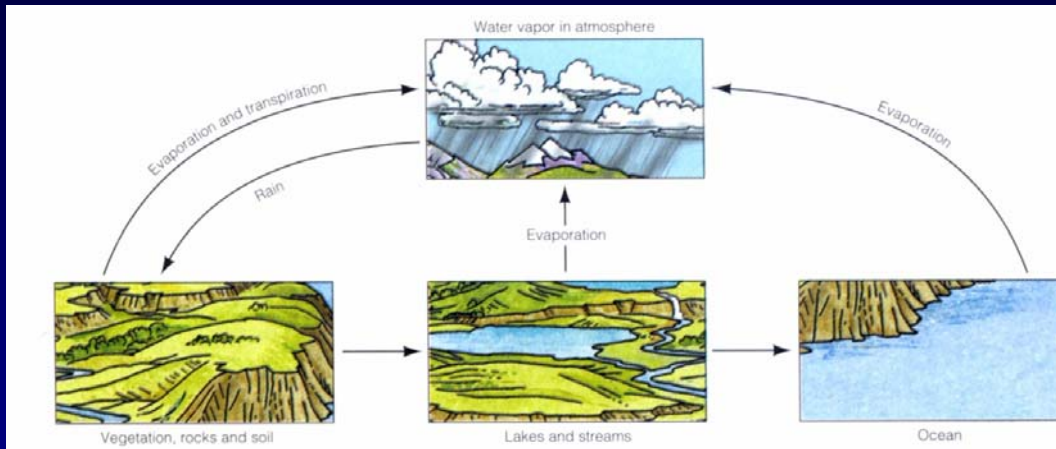
- Izolovaný
- Uzavřený
- Otevřený



Otevřený

„Box“ modely

Systémy se obvykle zobrazují jako „box“ modely (snad „krabičkové“). Výhodou je jednoduchost a pohodlí. Ukazují:



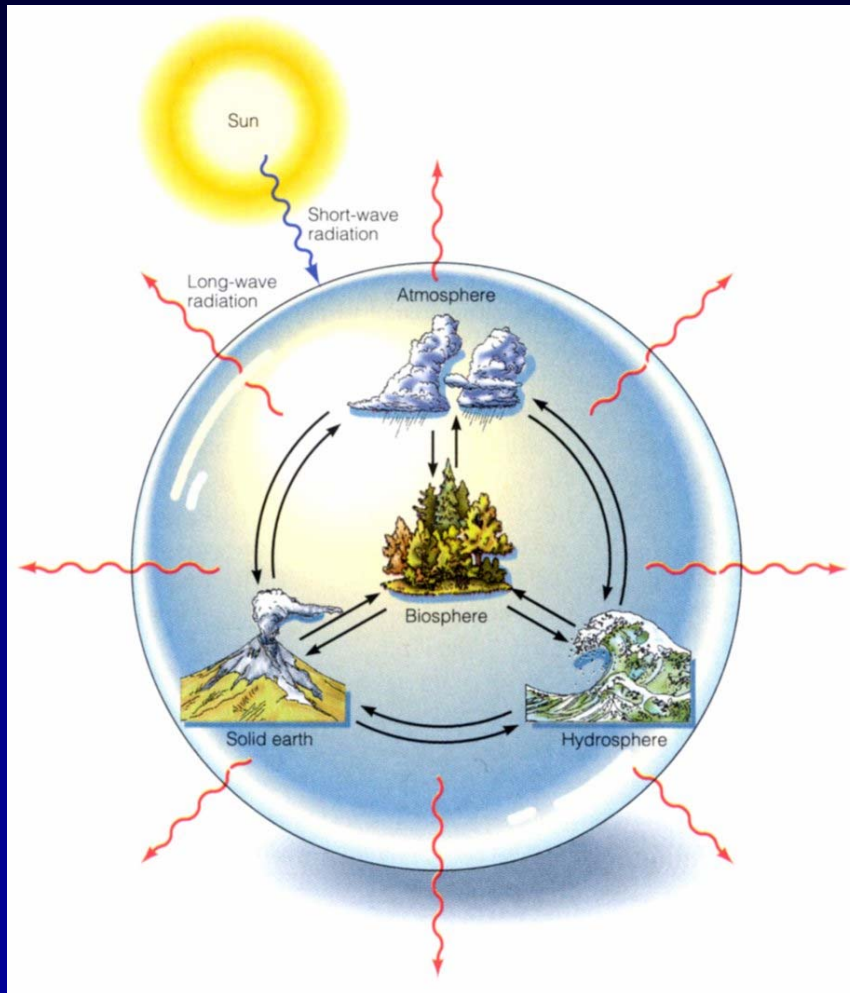
- rychlost toků hmoty a energie z a do systémů
- celkové množství hmoty a energie v systému

Rezervoáry, doba zdržení, vstupy, výstupy, stacionární stav. Velikost rezervoáru je dána celkovou bilancí (vstupy – výstupy)

$$r = k \times m$$

Čím provázanější jsou podsystemy a čím jich je víc, tím vyšší stabilita (mnoho cest, jak reagovat na vnější vychylování). Mnoho cyklů a cest se vzájemně překrývá.

Život v uzavřeném systému



- množství hmoty je stálé a konečné (omezené zdroje, omezené možnosti zbavit se nepohodlných látek)
- změny v jedné části systému se projeví v ostatních částech (podsystemy jsou otevřené) – stavy jemně vybalancovaných a provázaných stacionárních stavů (řetězové přizpůsobení: vulkanická erupce v Indonésii může uvolnit tolik popela do atmosféry, že může dojít ke změně klimatu a záplavám v Jižní Americe a suchům v Kalifornii a tím ovlivnit cenu obilí v západní Africe).

Dynamické interakce mezi systémy

Cyklování a recyklování

Neustálý tok hmoty mezi rezervoáry. Jak to, že...

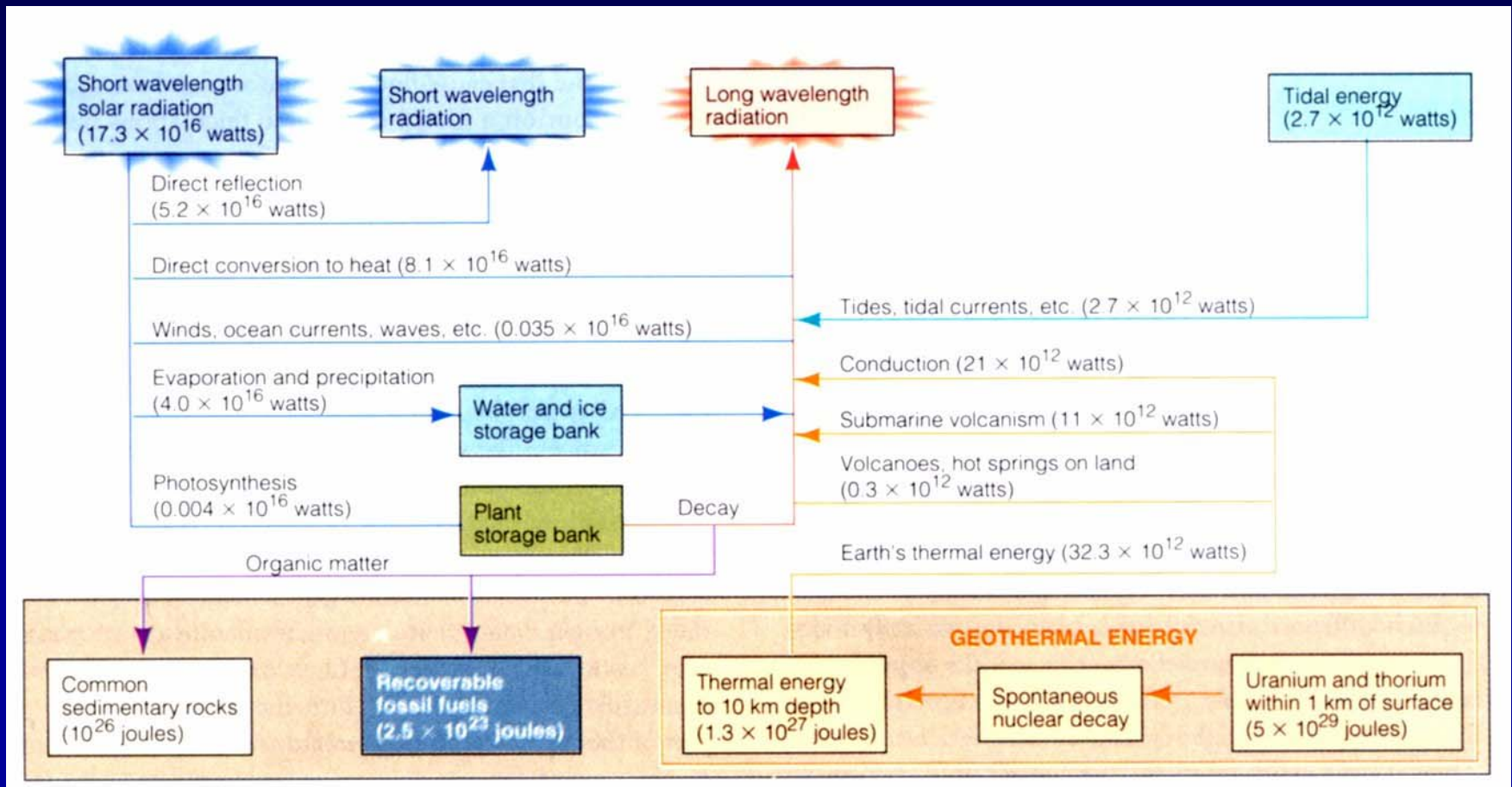
- je složení atmosféry konstantní?
- se nezvyšuje ani nesnižuje salinita oceánů?
- je složení hornin 2 miliardy a 2 miliony let starých stejné?

Přirozený tok hmoty na Zemi: cykly.

Hmota přechází mezi rezervoáry, různé části toků se vzájemně vyrovnávají (jsou obsaženy zpětné vazby): Množství hmoty, které „přiteče“ je rovno množství hmoty, které „odteče“.

Energetický cyklus

Zahrnuje externí a interní zdroje energie – pohání globální systém a všechny jeho podcykly. Celkový „rozpočet“ (příjmy a výdaje) energie je vyrovnaný. Pokud by nebyl, Země by se buď přehřívala nebo chladla až do dosažení rovnováhy.



Energetické vstupy

Celkový příjem 174 000 teraW ($174\,000 \times 10^{12}$ J/s) (člověk užívá 10 teraW za rok)

Sluneční záření 99,986 % z celkového množství – pohání vítr, déšť, oceánské proudy, vlny; fotosyntézu.

Geotermální energie 23 teraW (0,013 % z celkového příjmu) – vulkanická činnost, horninový cyklus

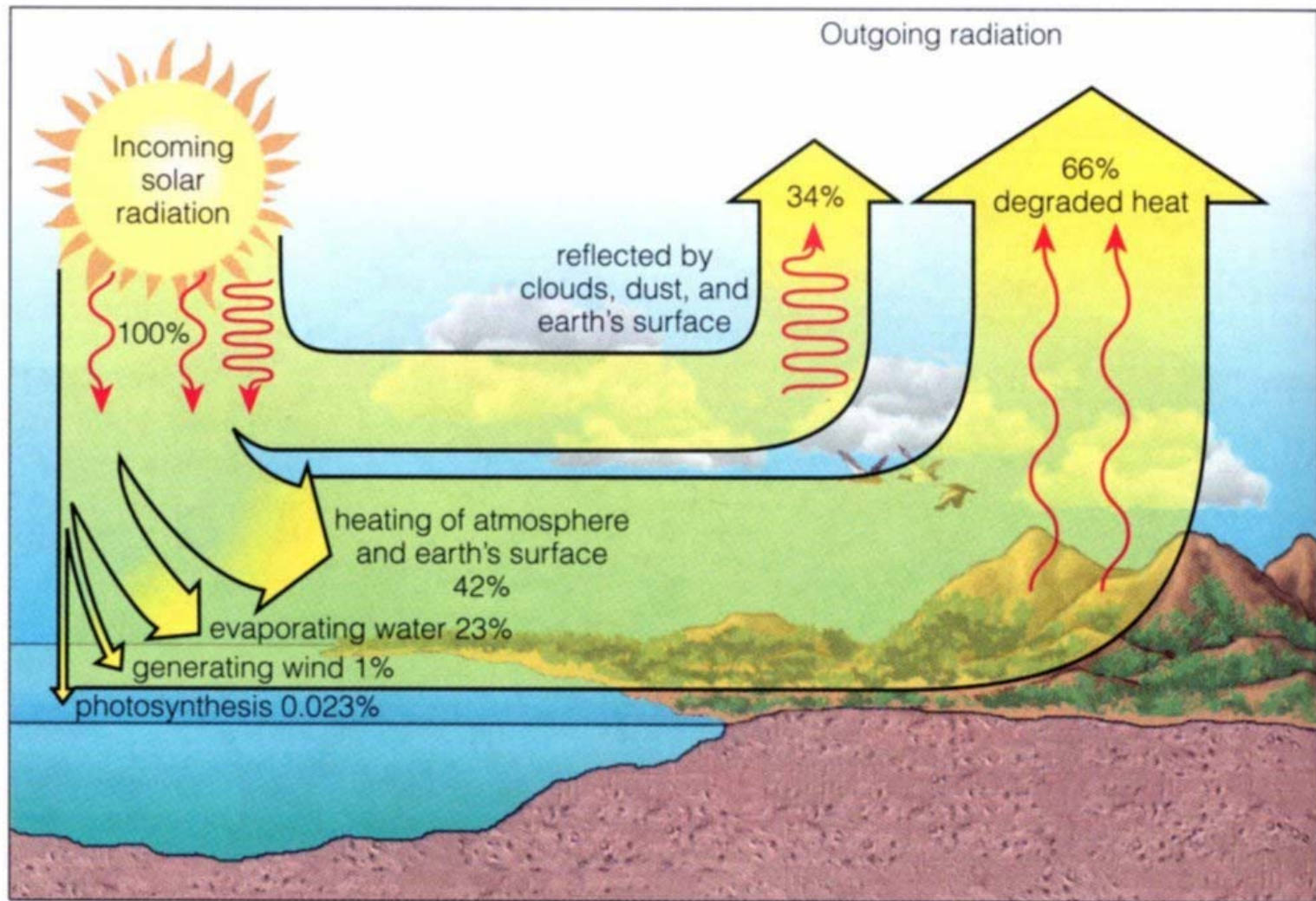
Energie přílivu 3 teraW (0,002 % z celkového příjmu) – rotace Země a gravitační přitažlivost Měsíce; pohyb vodní hmoty vůči horninám působí jako „brzda“ zemské rotace

Energetické výstupy

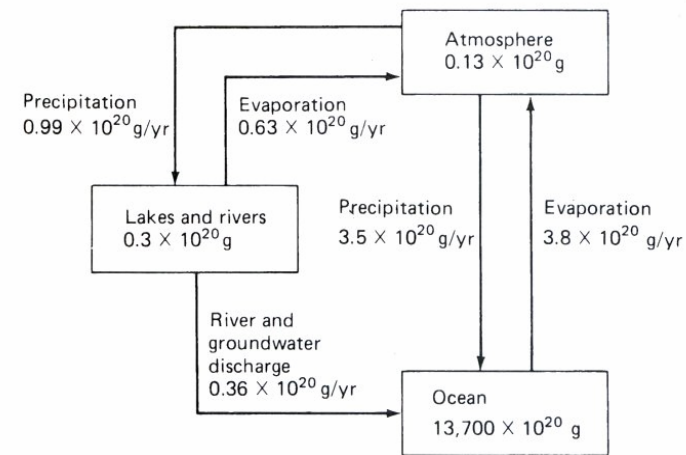
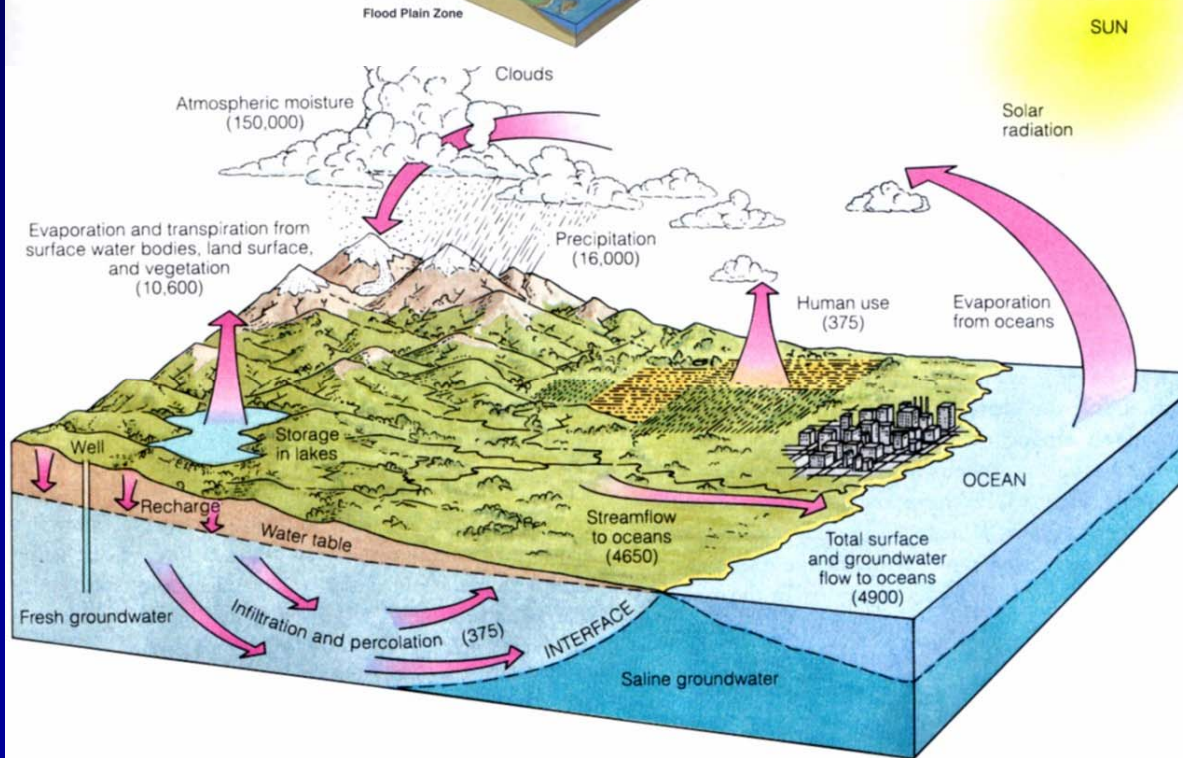
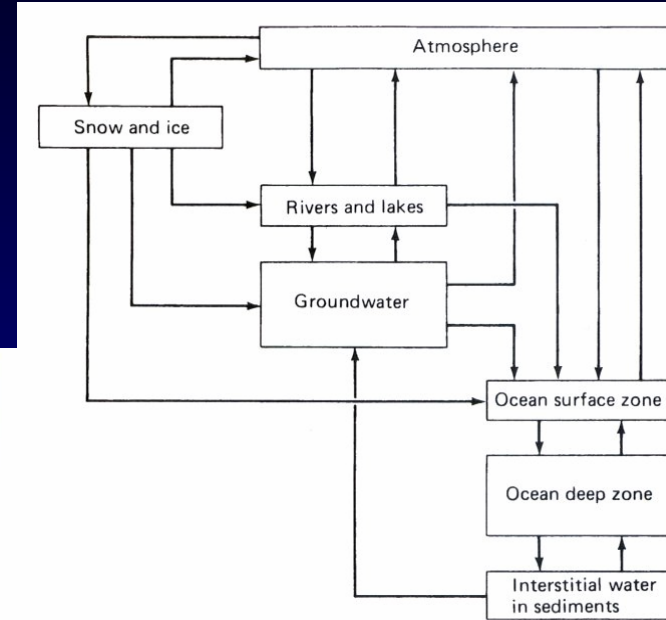
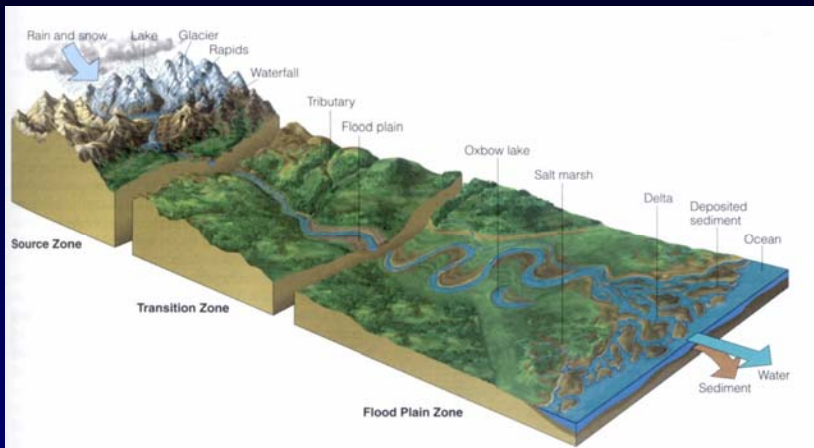
Odras kolem 40 % slunečního záření je nezměněno odraženo zpět (albedo)

Degradace a znovuvyzáření 60 % slunečního záření absorbováno, přechází nevratně z jednoho rezervoáru do druhého až skončí jako teplo, které je opět vyzářeno v dlouhovlnné (infračervené) oblasti.

Energetický cyklus



Hydrologický cyklus



Hydrologický cyklus

Cesty

Odpaření (evaporace)

Srážky → přímé odpaření

→ zachycení rostlinami → odpaření („vypocení“)

→ povrchový odtok

→ vsakování (infiltrace) → mělký oběh

→ rezervoár podzemní vody

Rezervoáry

oceán 97,5 %

sladké vody 2,5 %

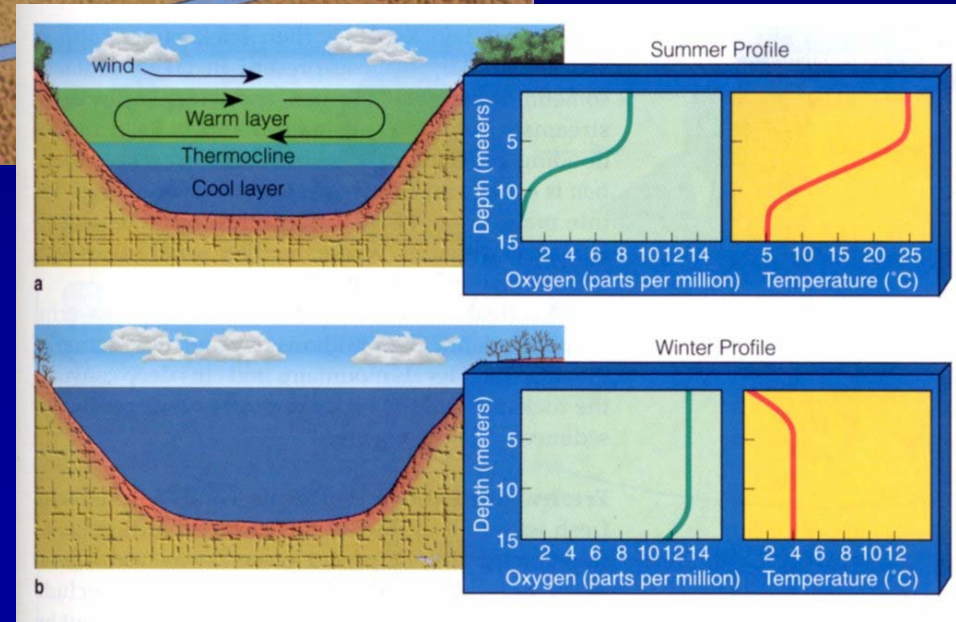
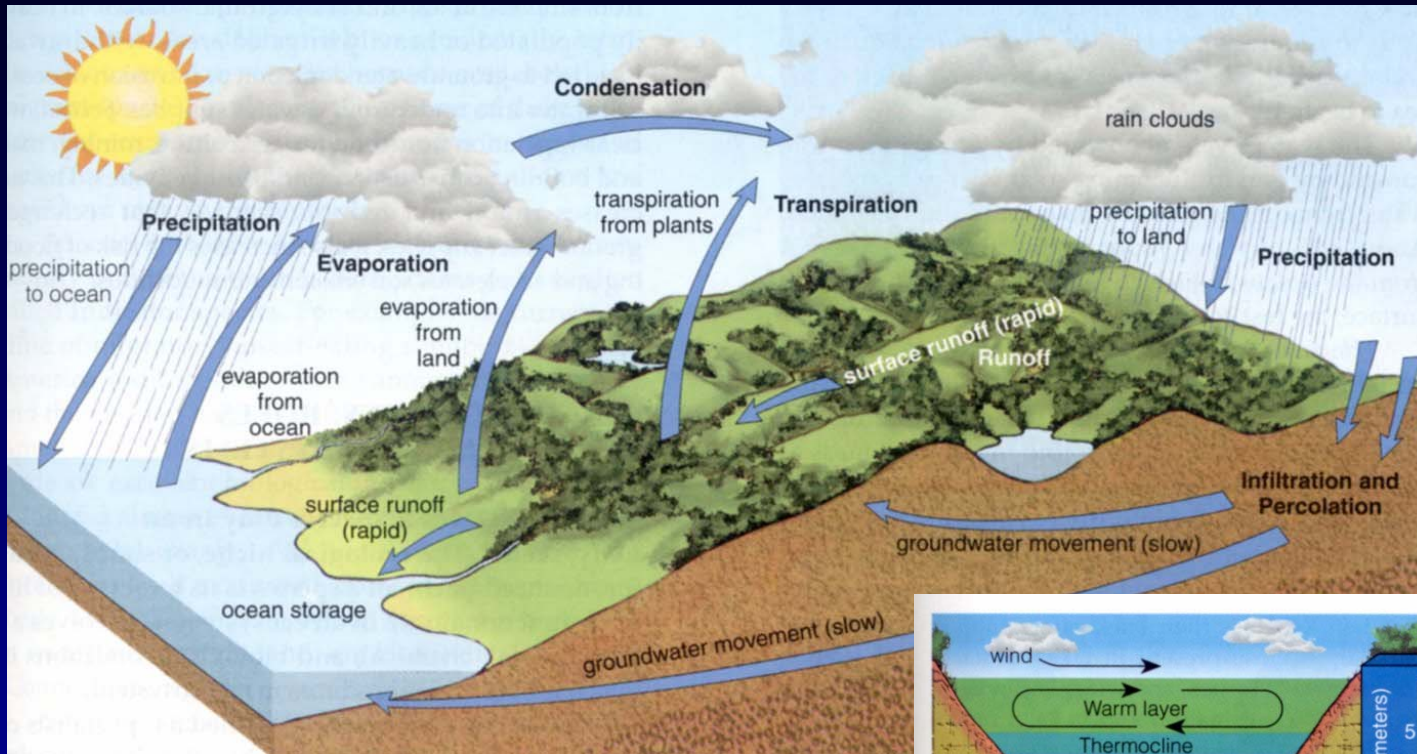
1,85 % (74 % sladkých vod) stále zmrzlé polární

pokryvy

0,64 % (98,5 % zbytku) podzemní voda

0,01 % atmosféra, povrchová voda (toky, jezera)

Hydrologický cyklus



Biogeochemické cykly

biogeochemické cykly popisují pohyb chemických prvků a sloučenin mezi propojenými biologickými a geologickými systémy

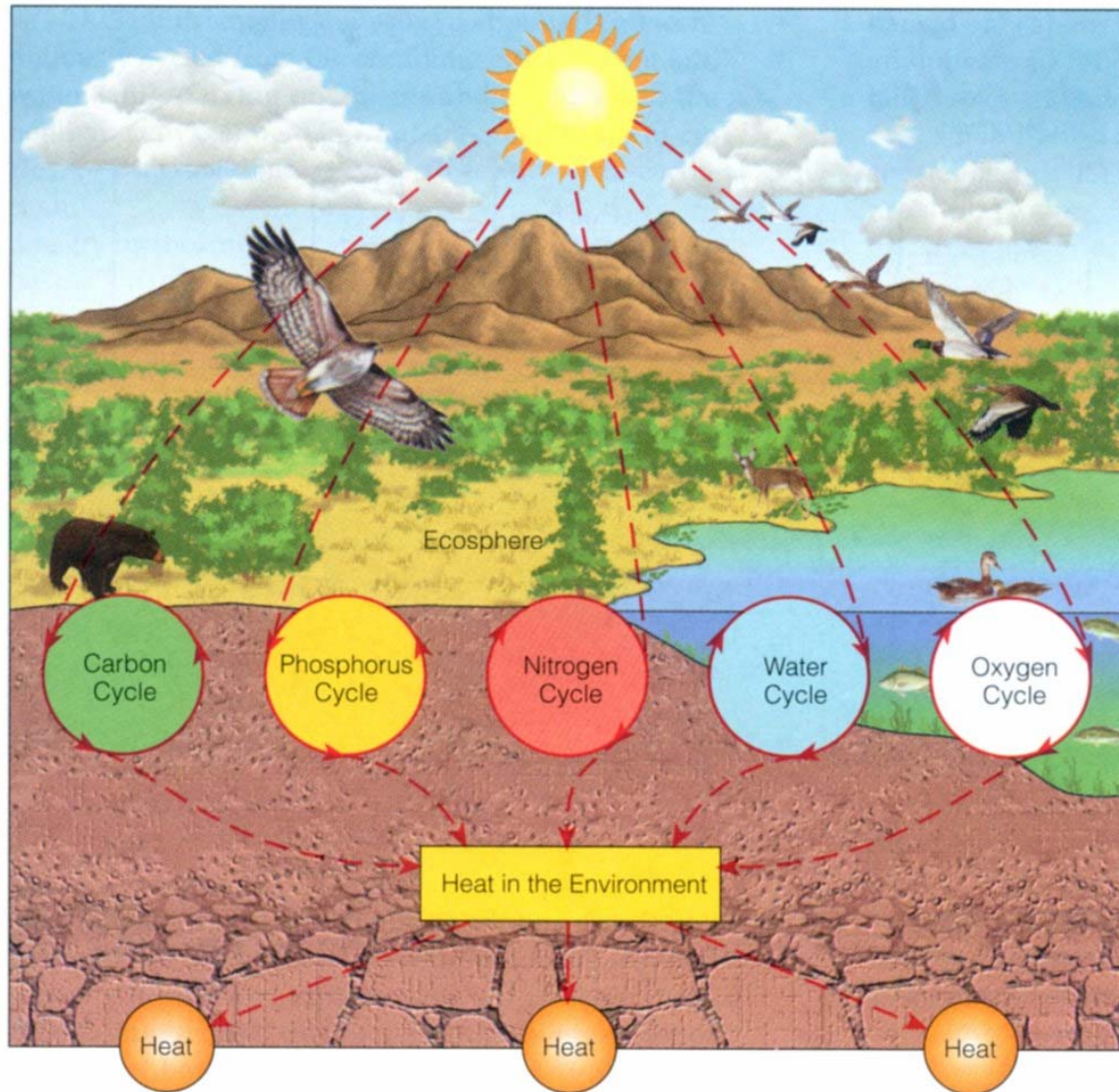
biologické procesy jako dýchání, fotosyntéza a tlení působí v těsném spojení s nebiologickými procesy jako jsou zvětrávání, vznik půdy, sedimentace

živé organismy mohou sloužit jako důležité rezervoáry pro určité prvky

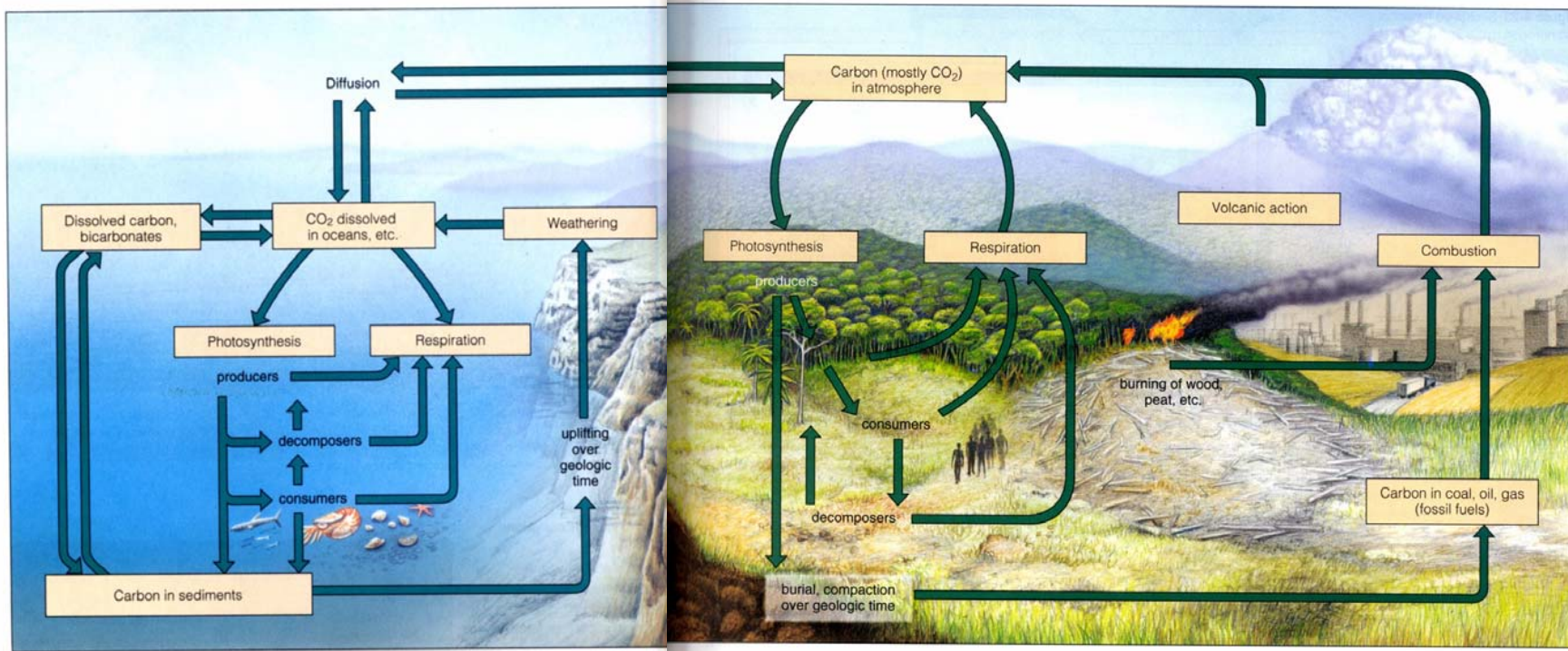
je velmi těžké vytvořit krabičkový model (i velmi zjednodušený), který bude správně popisovat biogeochemické chování prvku v celém zemském systému

nejdůležitější cykly (kritické pro udržení života): uhlík, dusík, síra, fosfor – který z důležitých cyklů chybí?

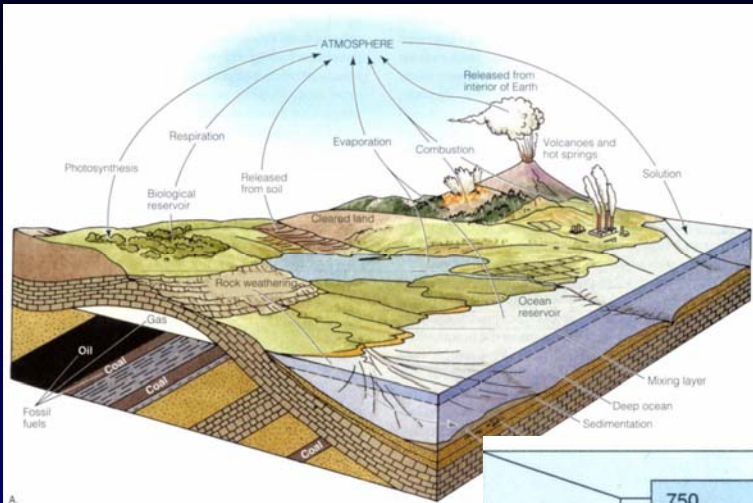
Biogeochemické cykly



Cyklus uhlíku



Cyklus uhlíku



Uhlík se nachází ve všech velkých systémech a rezervoárech

Biosféra: základní stavební částice živých organismů

Litosféra: vápencové horniny, fosilní paliva (uhlí, ropa, podzemní plyn), klatráty (komplexy CH_4 a vody v sedimentech)

Hydrosféra: rozpuštěný CO_2 a karbonátové látky

Atmosféra: CO_2 , CH_4 ...); CO_2 0,036 %

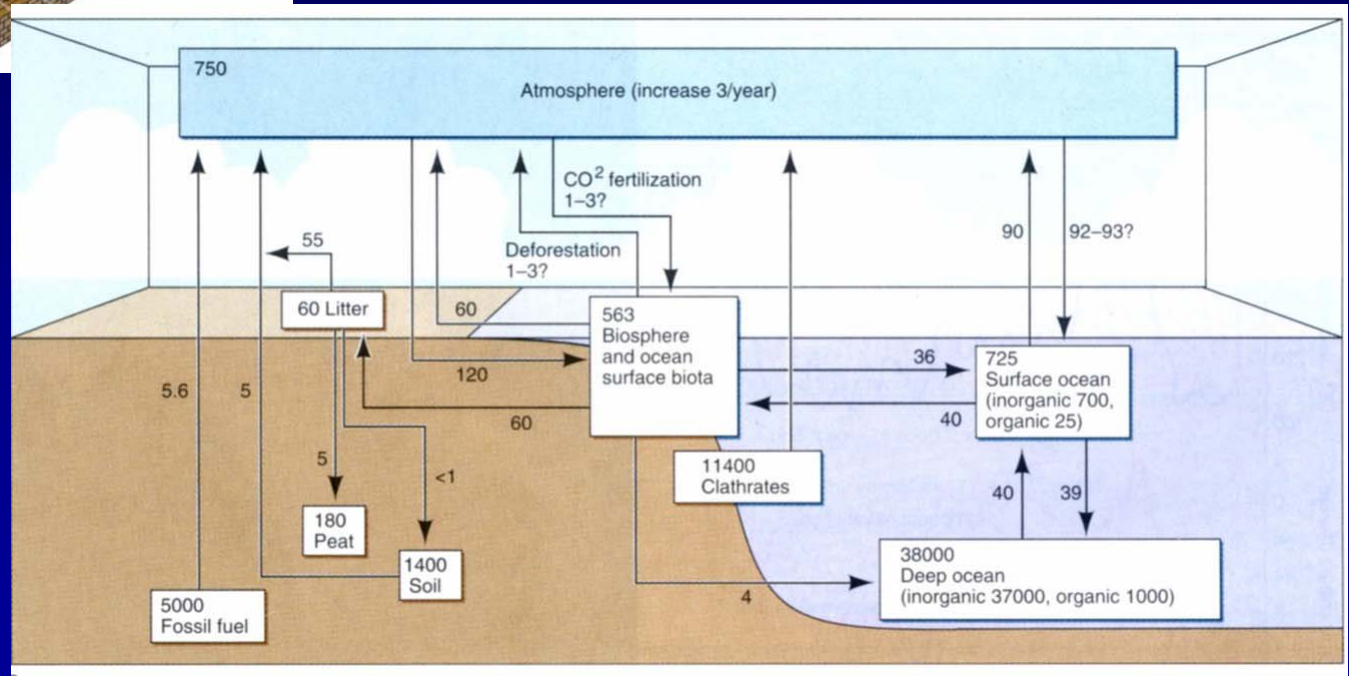
Největším rezervoárem uhlíku jsou oceánské a pevninské sedimenty.

Člověk

do atmosféry 6 miliard tun ročně spalováním fosilních paliv

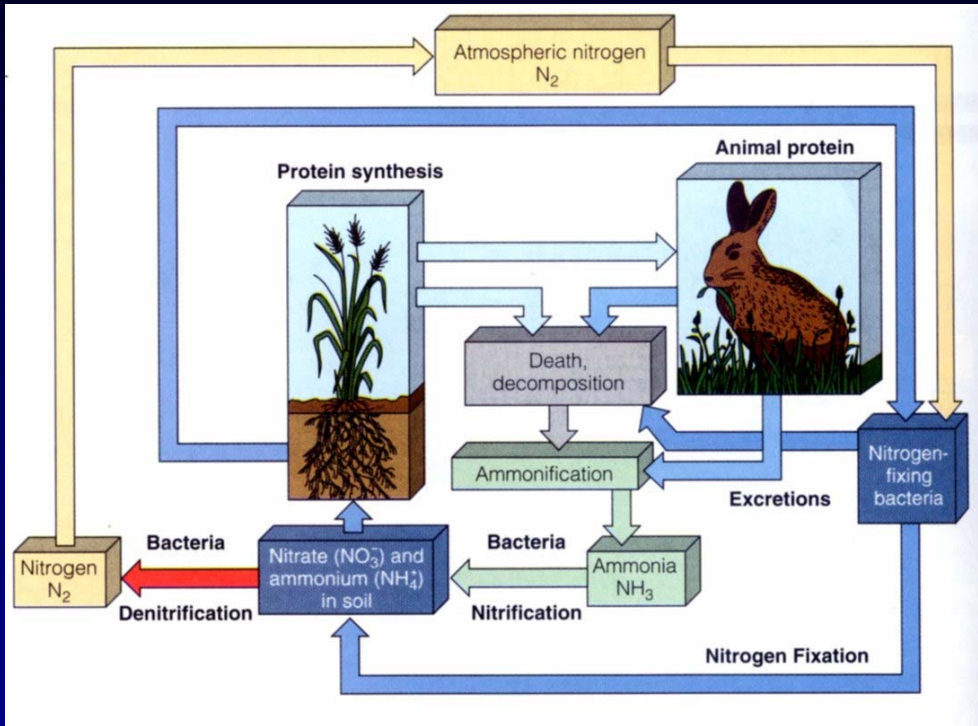
kolem 2 miliard tun ročně odlesňováním (dva

důsledky: místo přirozené spotřeby CO_2 z atmosféry produkce CO_2 do atmosféry)



Toto množství se zdá malé ve srovnání s ostatními toky. Dlouhodobá přirozená celková nevyrovnanost toků je pravděpodobně menší než 1 miliarda tun C ročně = zásah člověka obrovský.

Cyklus dusíku



Člověk

spalování paliv (vznik NO za vysokých teplot z N_2 a O_2), ten se dále oxiduje na NO_2 a s vodou tvoří HNO_3 (kyselý déšť)

N_2O (skleníkový plyn) uvolňován bakteriemi ze zemědělských odpadů
uvolňování z půdy zavlažováním, vypalováním pralesů

hnojení a komunální odpad (→ řasy)

Aminokyseliny jsou důležitými sloučeninami všech živých organismů ($-NH_2$ skupiny; bílkoviny).

Dusík ve třech formách

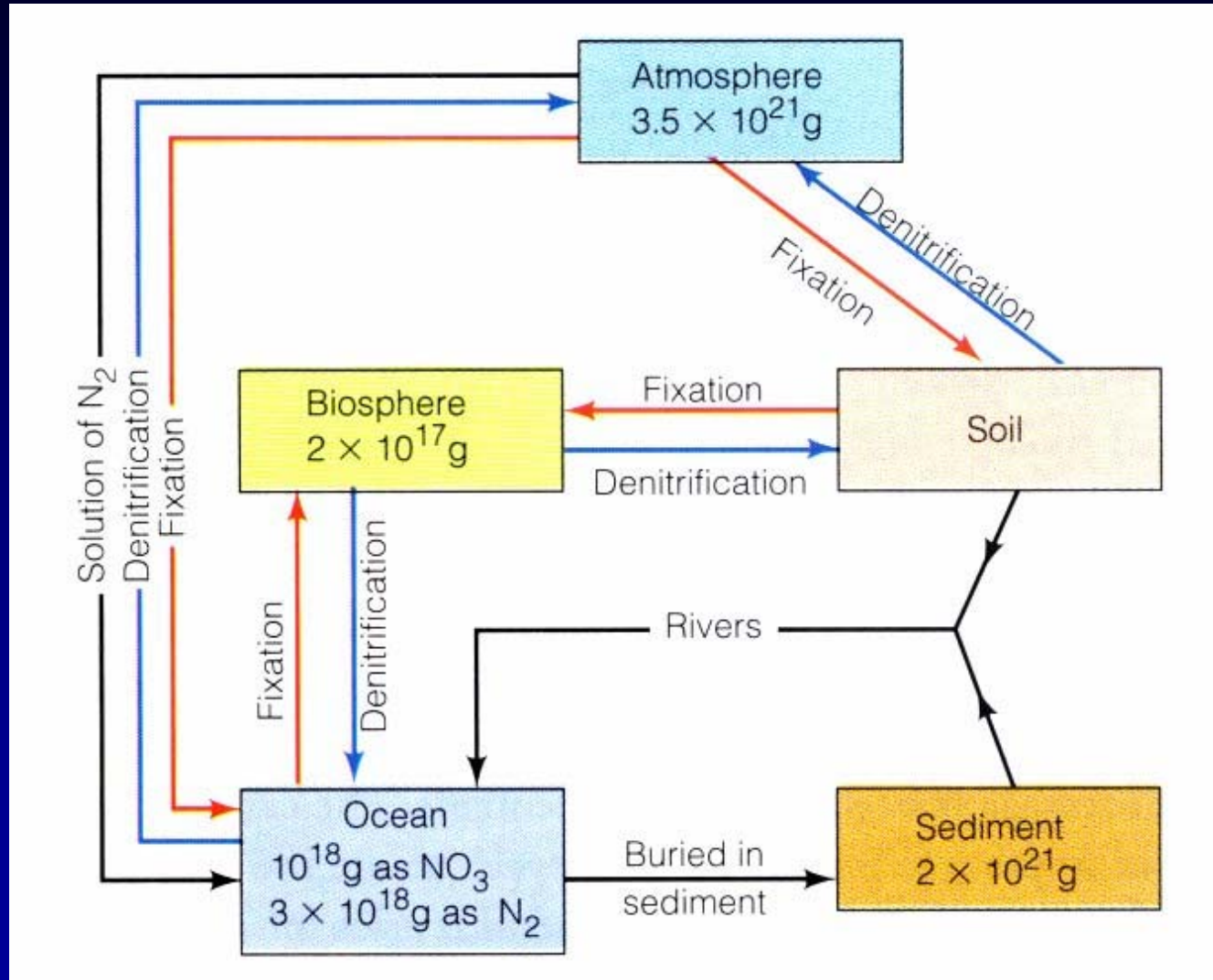
plynný jako prvek N_2

v redukované podobě jako amoniak NH_3

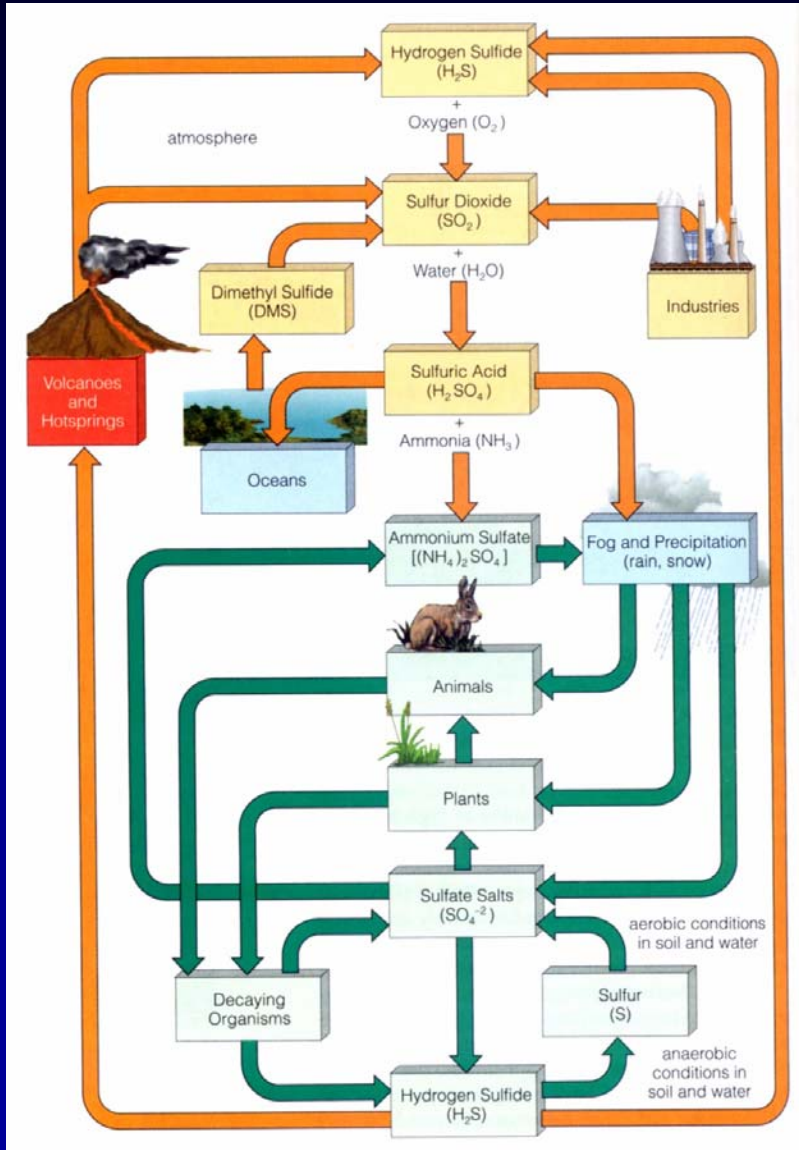
v oxidované podobě jako dusičnanový NO_3^- ion

Pouze jako redukováný se zúčastňuje biochemických reakcí. N_2 nemůže být přímo využíván organismy. Největším rezervoárem dusíku je atmosféra – 78 %

Cyklus dusíku



Cyklus síry



Většina síry vázána minerálně (pyrit, sádrovec).

H_2S a SO_2 uvolňován z aktivních vulkánů

rozkladem organické hmoty

SO_4^{2-} do atmosféry tříštěním slané vody

DMS (dimethylsulfoxid) uvolňován do atmosféry planktonem

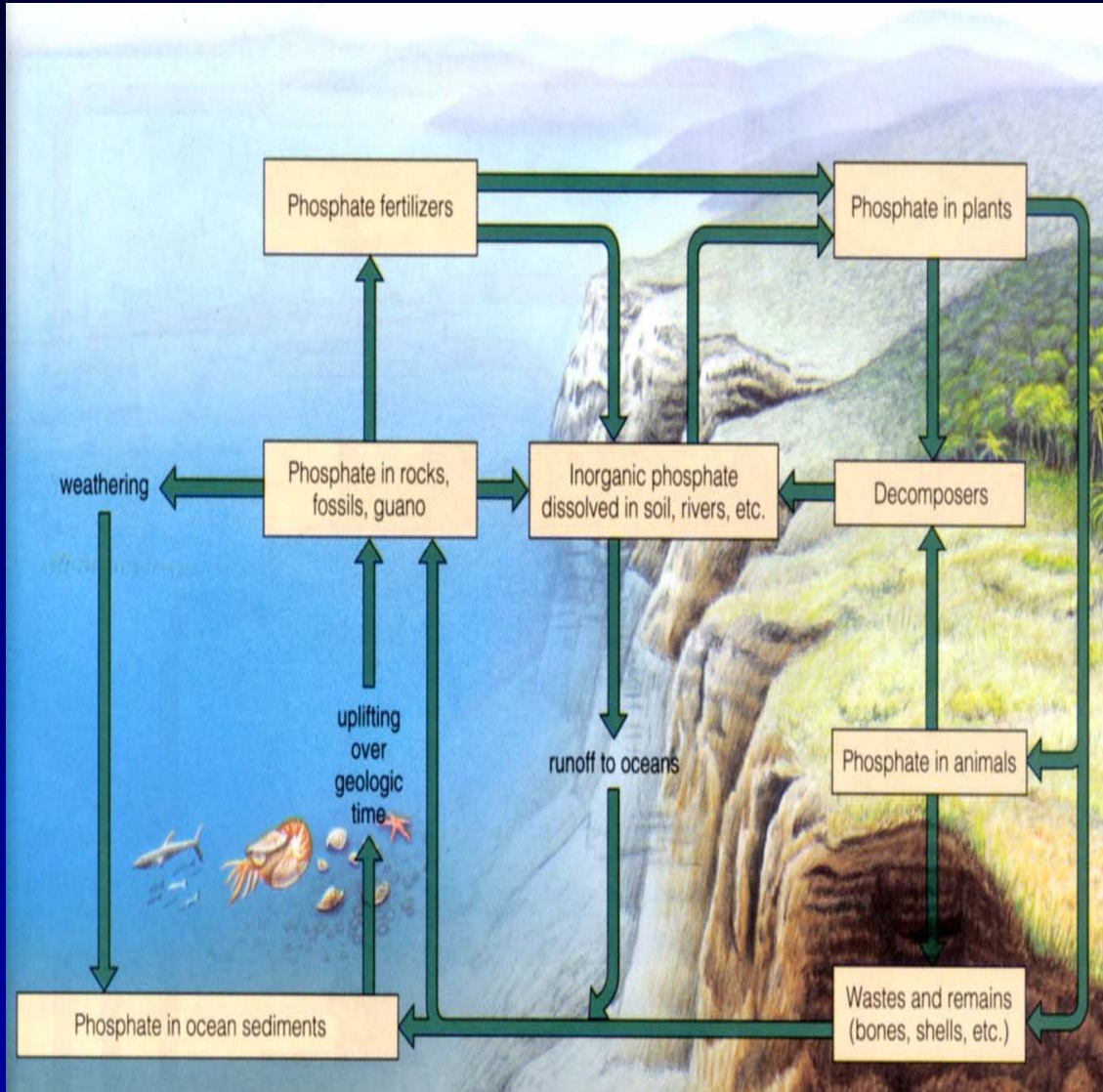
Člověk

kolem 1/3 z celkového množství síry do atmosféry (99 % SO_2)

spalování fosilních paliv (2/3)

zpracování ropy, minerálních zdrojů

Cyklus fosforu



Důležitá složka RNA, DNA a přenašečů energie (ADP, ATP)

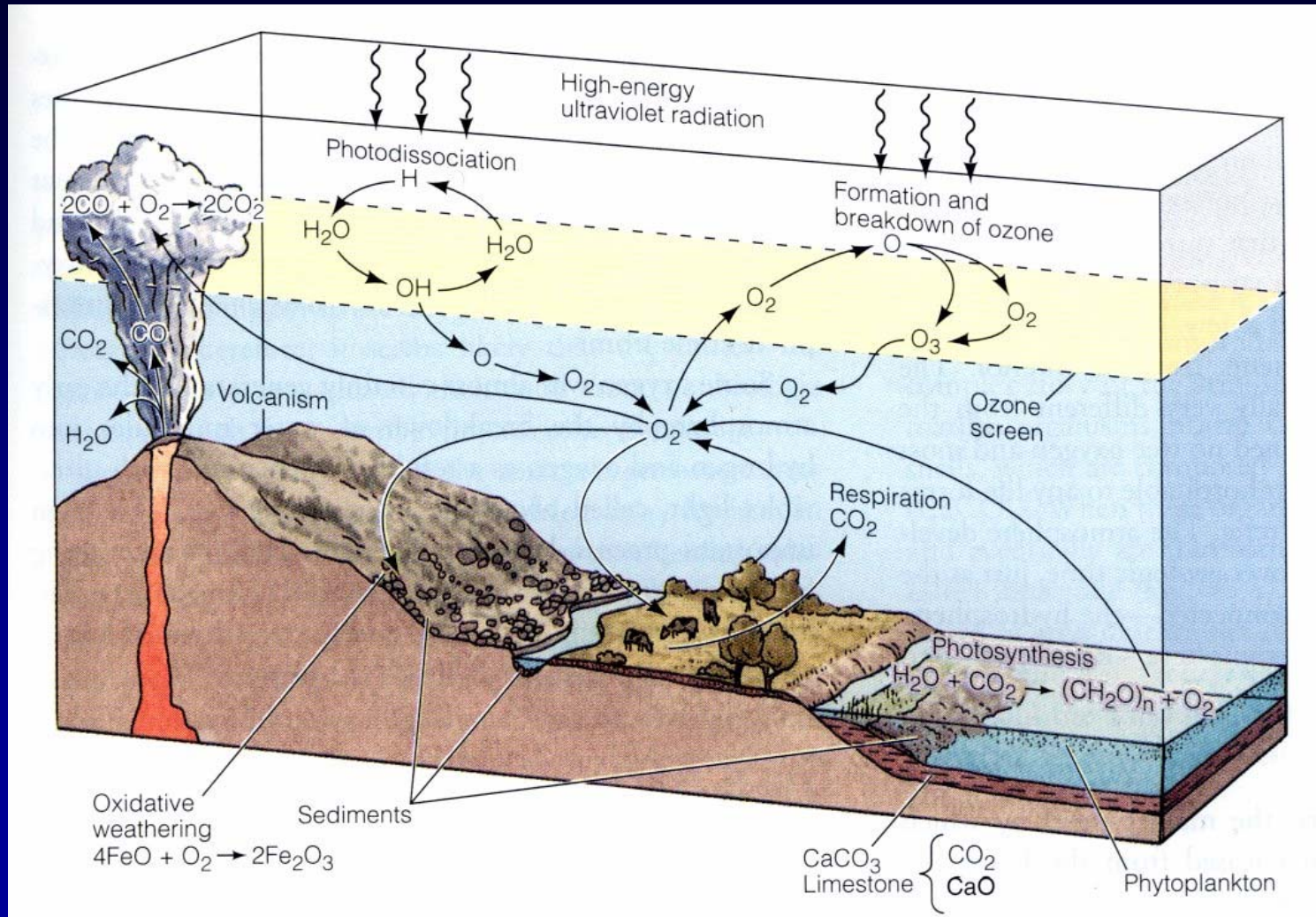
fosfor se jen pomalu uvolňuje z hornin (apatit ...)

nevstupuje do atmosféry
je většinou limitujícím faktorem růstu rostlin

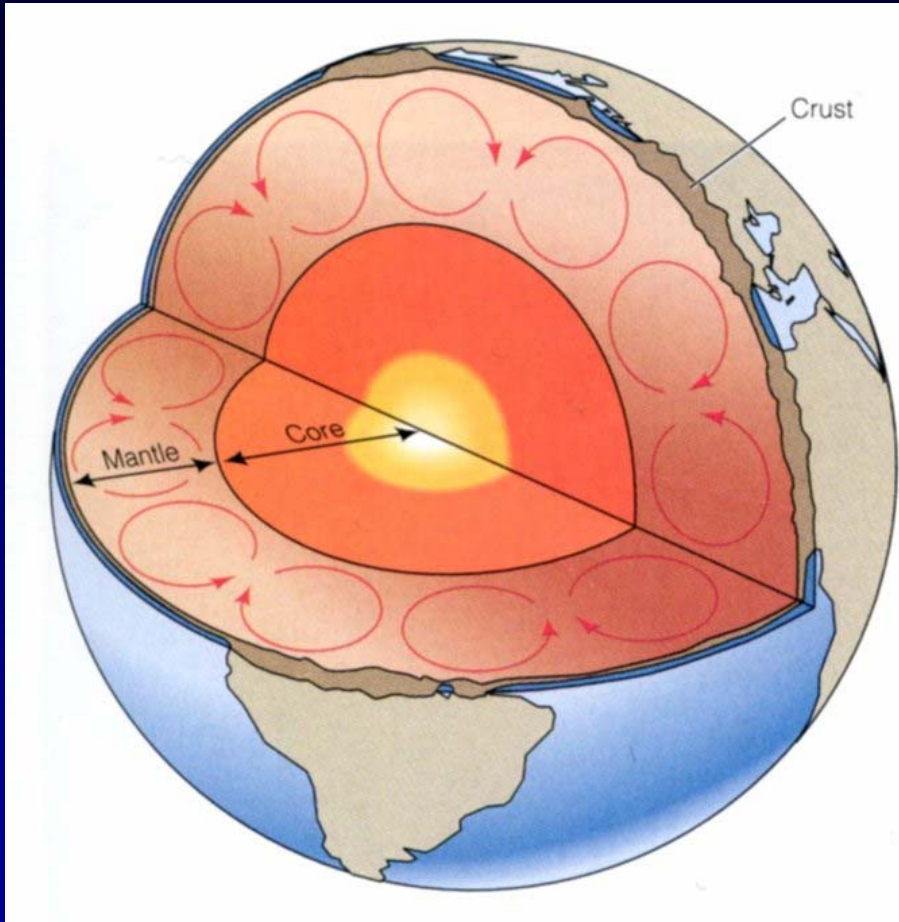
Člověk

hnojiva a prací prostředky
zemědělské a komunální odpady

Cyklus kyslíku



Horninový cyklus



Poháněný geotermální energií (?): teplo je vedeno kondukcí a konvekcí (konvektivní buňky). Povrch planety je tvořen tenoučkou křehkou vrstvou – kůrou. Ta je v důsledku tepelného proudění (?) rozlomena na velký počet zubatých částí označovaných jako litosférické desky, které se pohybují na plastické, snadno deformovatelné vrstvě – astenosféře.

Dnes máme 6 velkých desek a velký počet menších – pohybují se kolem 1 až 10 cm za rok.

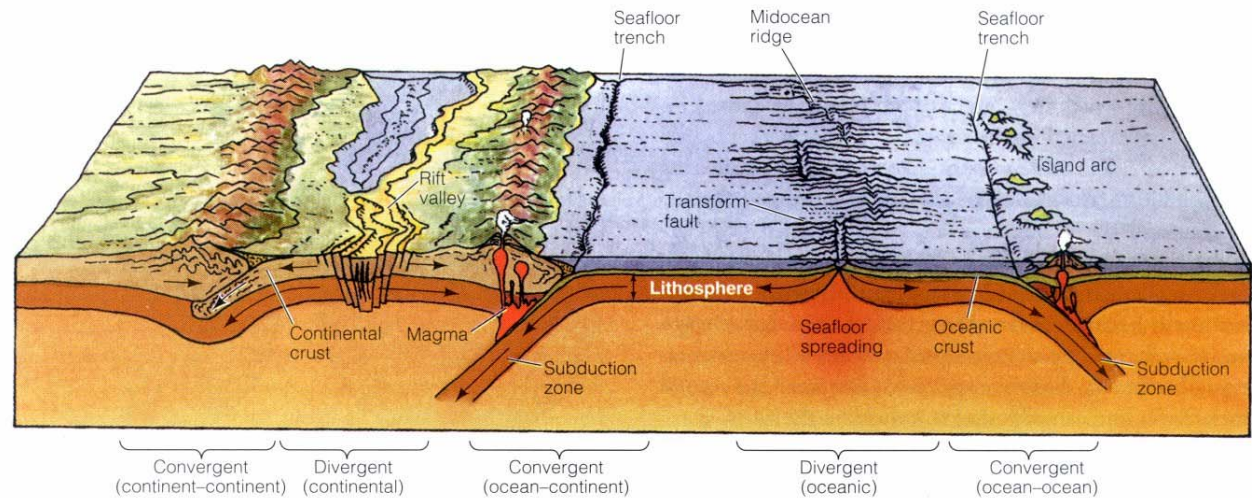
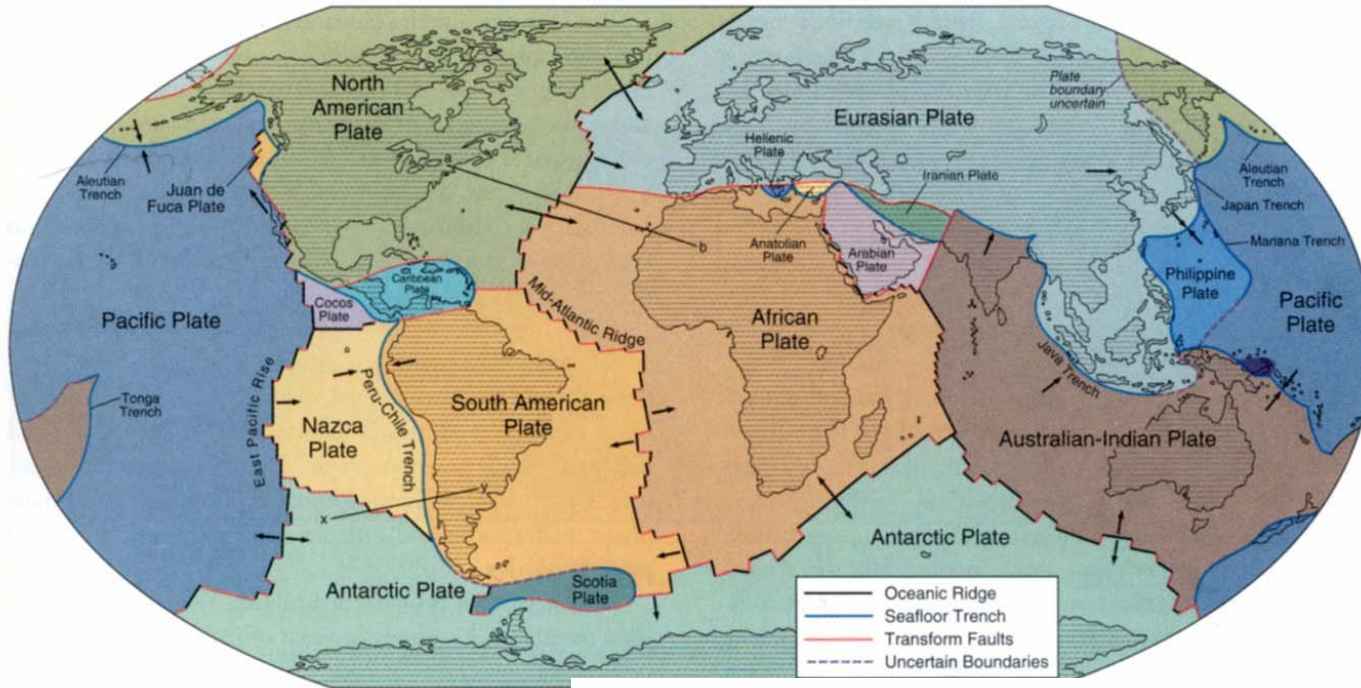
Okraje desek

divergentní – riftová, rozestupující se centra – častá ale slabá zemětřesení

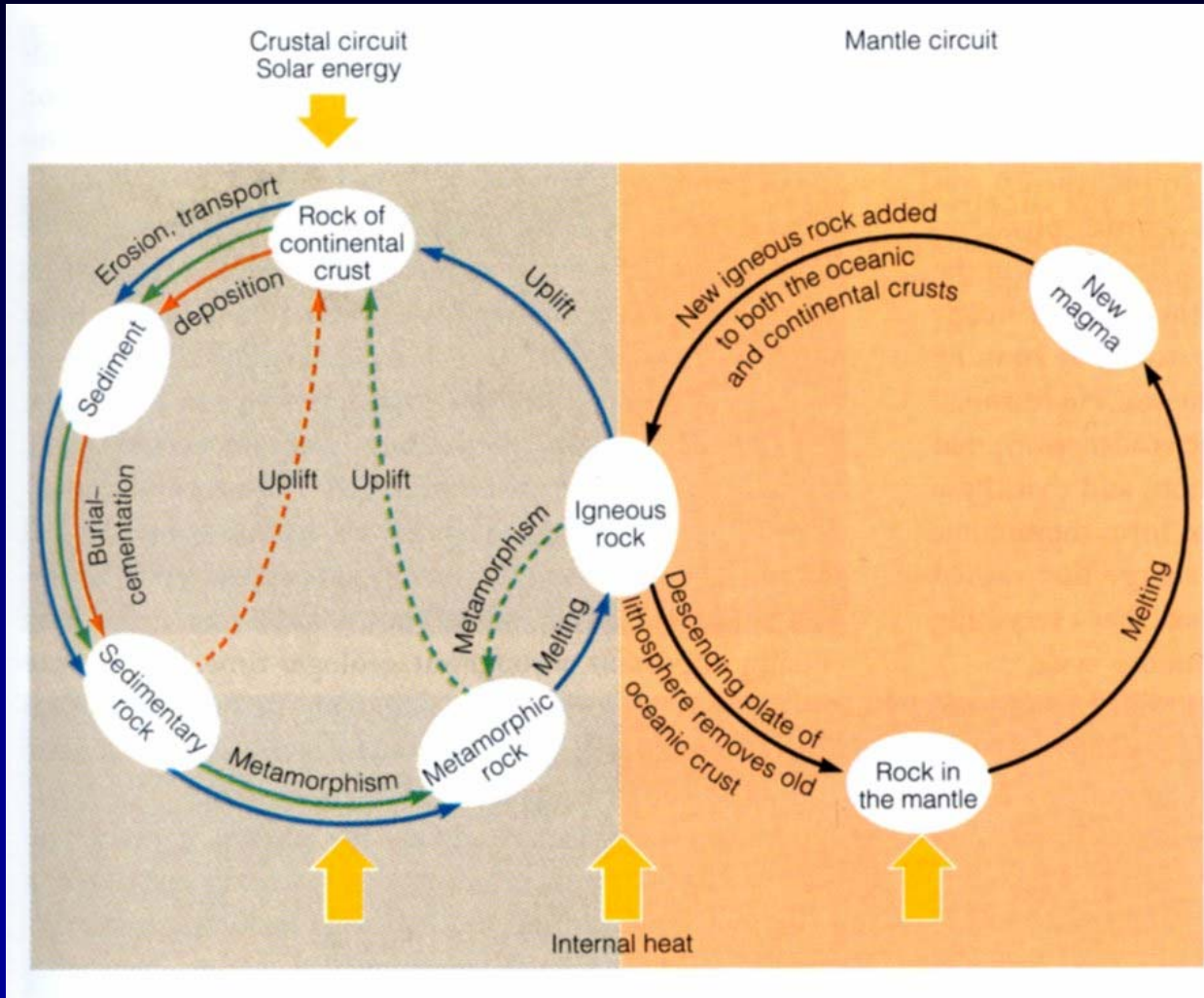
konvergentní – desky se pohybují k sobě; jedna se zasouvá pod druhou (subdukční zóna) nebo se střetávají (kolizní zóna). Místa explosivního vulkanismu a silných zemětřesení.

transformní – desky se pohybují podél sebe, olamují se a obrušují. Silná zemětřesení bez vulkanismu.

Horninový cyklus



Horninový cyklus



V kůře

5 % sedimentárních

95 % vyvřelých

Na povrchu

75 % sedimentárních

25 % vyvřelých

Odhadovaná délka celého horninového cyklu 650 milionů let – oceánský cyklus kratší (nejstarší horniny oceánské kůry kolem 180 milionů let, průměrné stáří kolem 60 milionů let).