

GA921 Geochemie životního prostředí

Josef Zeman



Učebnice

- Manahan S. E.: Environmental Chemistry. CRC Press, c2022. 730 s.
- Appelo C.A.J., D. Postma: Geochemistry, groundwater and pollution. Leiden: A. A. Balkema publishers, c2005. 649 s.
- Langmuir D: Aqueous environmental geochemistry. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, c1997. 600 s.
- Zhu Ch., Anderson G.: Environmental applications of geochemical modeling. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 284 s.

Sylabus

1. Úvod, globální systémy a cykly, pohyb v atmosféře a hydrosféře, hydrologický cyklus, cykly prvků
2. Geochemie vody: Základní vlastnosti, rozpuštěné látky, koloidy, pH, oxidačně-redukční potenciál
3. Geochemie vody: Organická geochemie
4. Mikrobiální biogeochemie
5. Transport kontaminantů v životním prostředí
6. Kontrola složení přírodních vod
7. Přetížení sladkých vod živinami
8. Zvětrávání, vznik půd a zemědělské půdy
9. Podzemní voda a její kontaminace
10. Úvod do toxikologie, znečištění sladkých vod
11. Komunální a odpadní vody
12. Geochemie atmosféry a polutanty

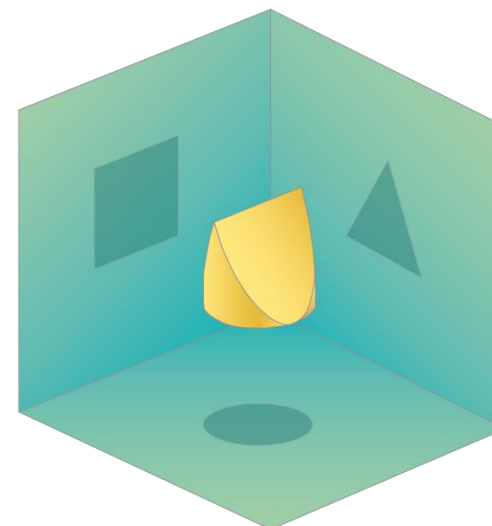
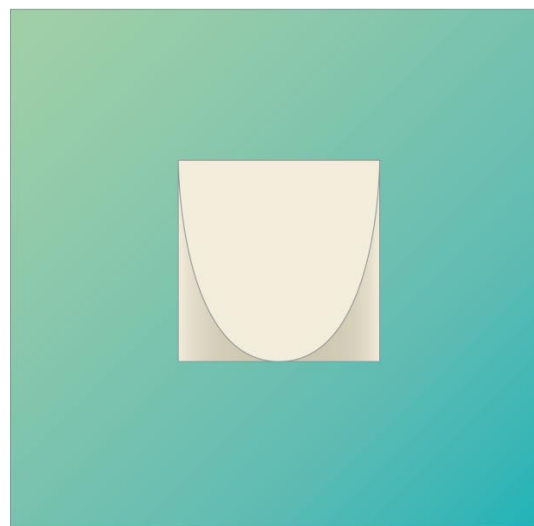
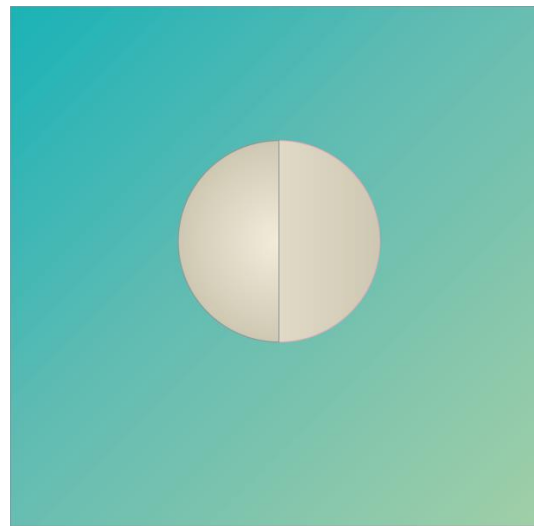
Úvodní poznámky

Globální a lokální chování chemických prvků na povrchu Země

- pochopení přirozených změn na Zemi
 - přirozená distribuci prvků v různých systémech

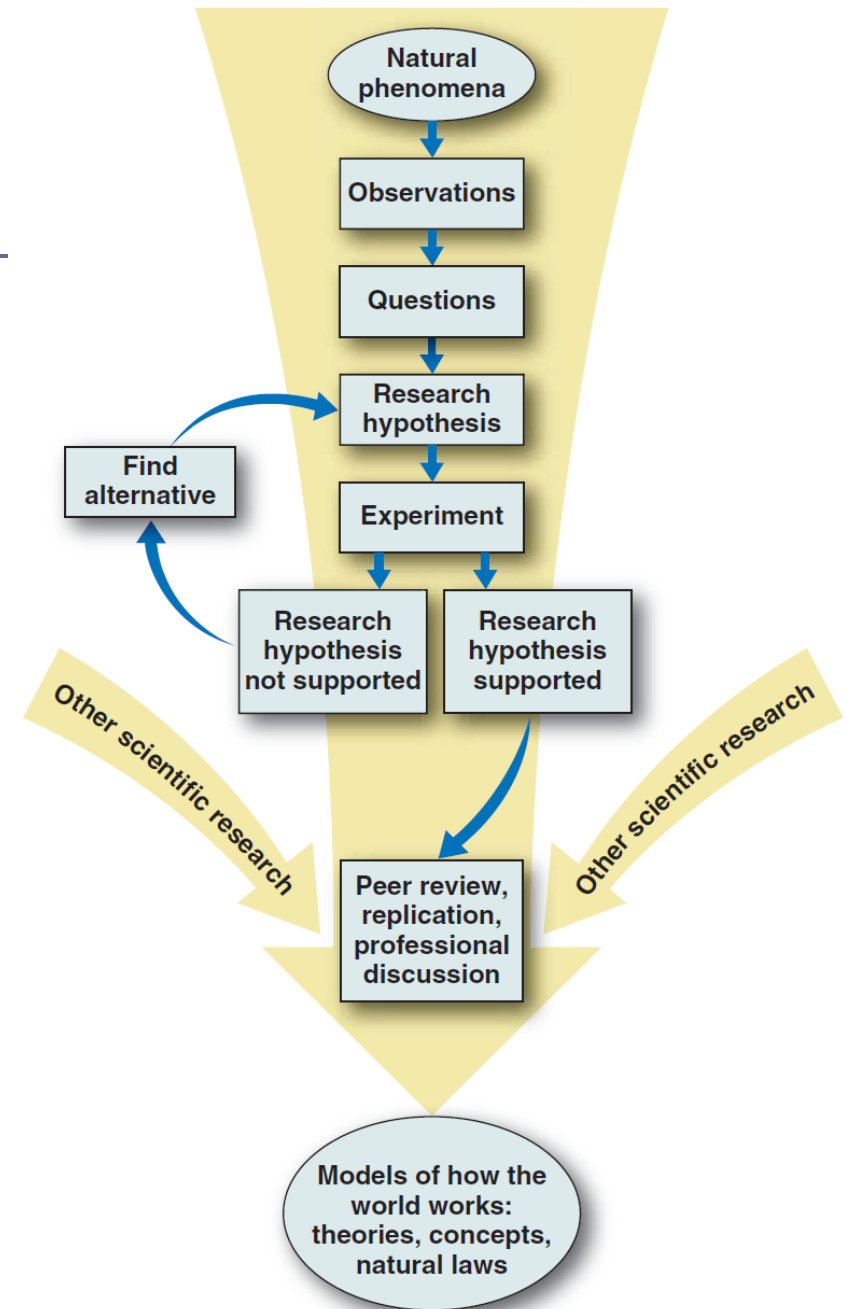
- pochopení odchylek způsobených lidskou činností
 - distribuci v antropogenně vychýlených systémech s využitím základů chemie pro vysvětlení podmínek

Poznání – různé pohledy



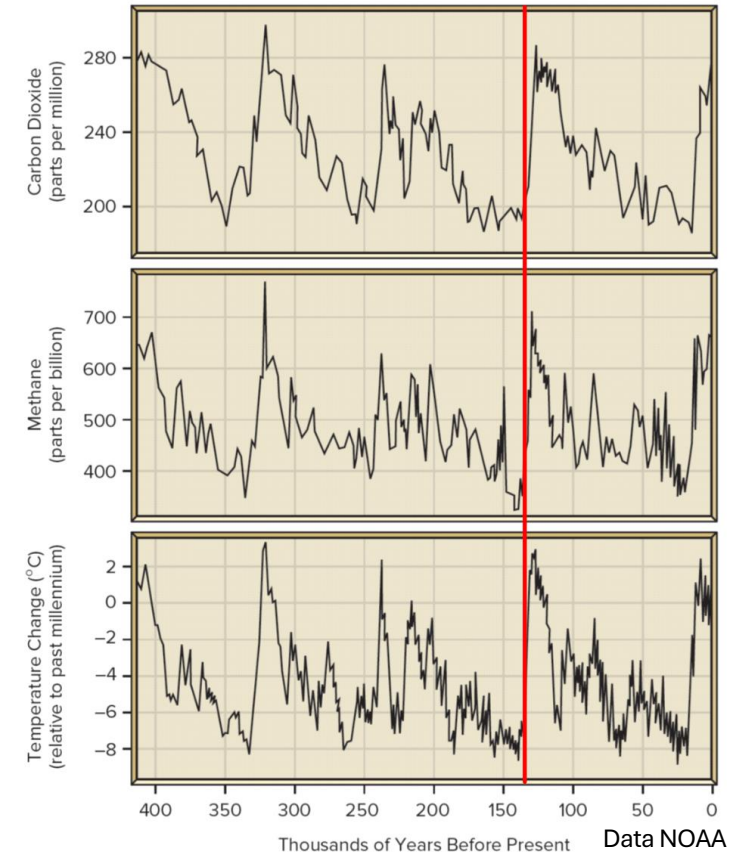
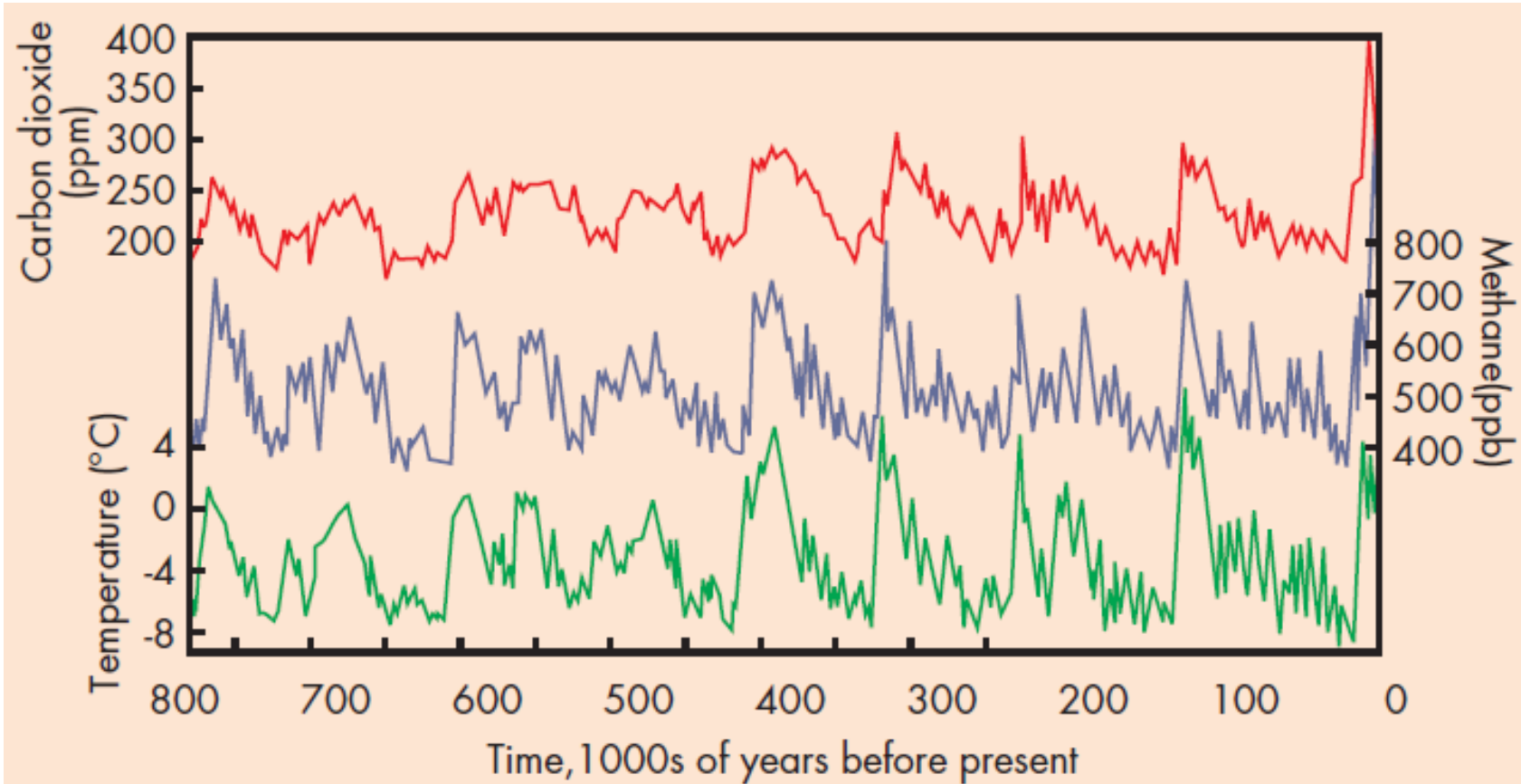
Vědecké poznání

- „postmoderní“ doba – názor, mnoho pravd, politika, extrémní finance
- zemské systémy jsou extrémně složité, možná tušíme jak fungují – globální cyklus uhlíku



Vědecké poznání

□ $T \rightarrow \text{CH}_4 \rightarrow \text{CO}_2$



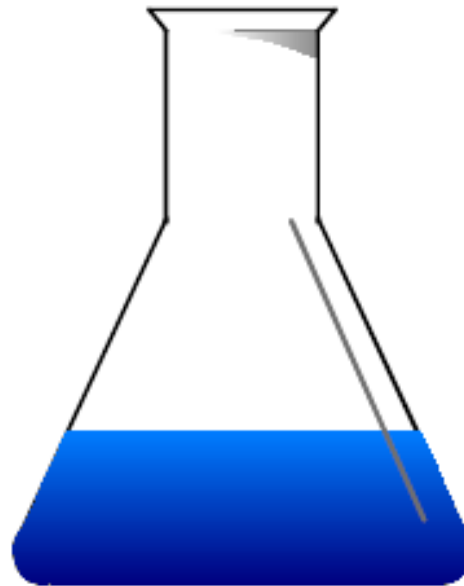
System

vliv člověka:

- ▣ globální – CO₂, stratosférický ozon
- ▣ lokální – splach zemědělských hnojiv, úniky z nádrží

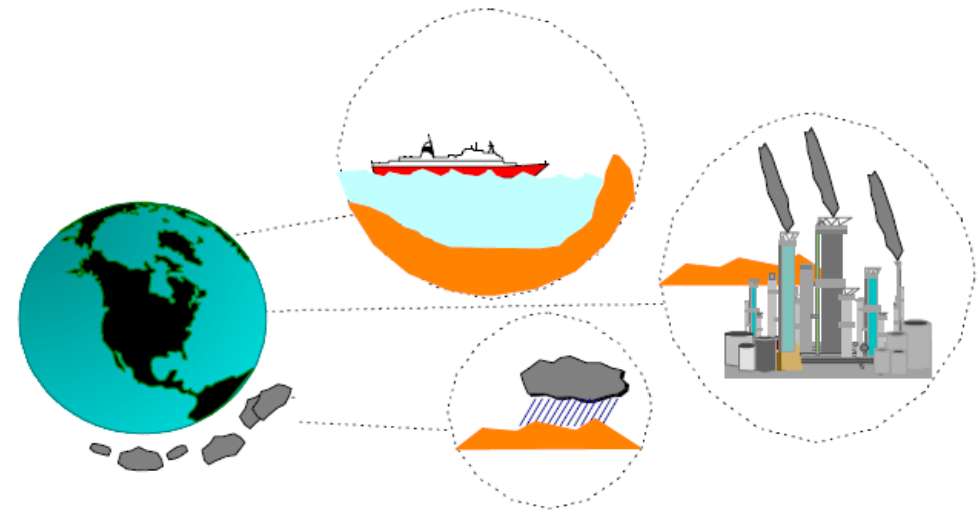
kádinka

jednoduchý systém



prostředí

složité systém



Vymezení

□ Geochemie

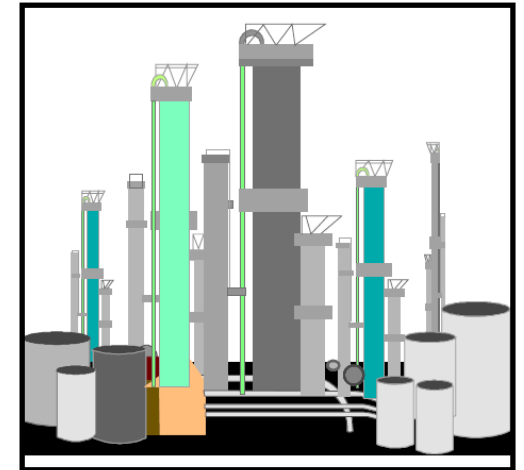
- Studuje zdroje a osud chemických látek v přírodním prostředí.
- Soubor nástrojů, který pomáhá pochopit zemské procesy; tyto nástroje jsou založeny na chemických principech.

□ Environmentální geochemie

- Studuje chemické látky v přírodním prostředí a vliv technologie.
- Porovnání přirozených systémů se systémy ovlivněnými lidskou činností.

Technologie a kontaminanty

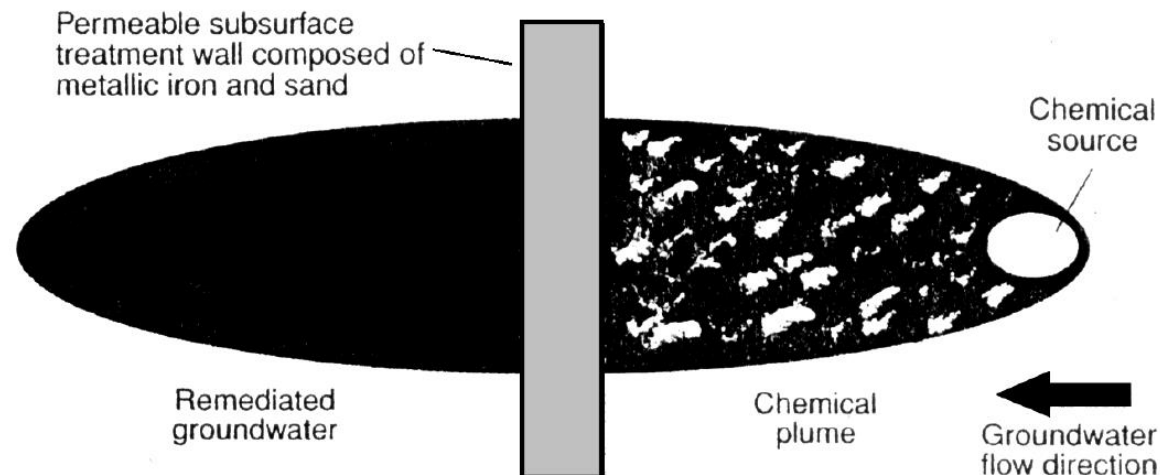
- Lidská **technologie** nevratně změnila funkci zemských systémů
 - Technologie změnila způsob, kterým je energie a hmota přenášena mezi jednotlivými rezervoáry Země.
 - Technologie nám poskytla nástroje pro zlepšení našich životních podmínek.
 - Technologie poskytla nástroje pro dramatickou změnu prostředí, někdy zničující.
- **Kontaminant** je látka, která je v prostředí přítomna ve vyšší koncentraci než je přirozená jako důsledek lidské činnosti.
- Stává se **polutantem**, pokud má škodlivý vliv na prostředí nebo jeho část.
- Stává se **toxický**, pokud poškozují nebo škodí biotě v prostředí.



Chemické látky

- ❑ Lidská aktivita vnesla do prostředí značné množství úplně nových látek (CFC, PCB...).
- ❑ Přírodní látky mohou být klasifikovány jako kontaminanty nebo polutanty. Pak mluvíme o antropogenním obohacení nad přirozenou úroveň.
- ❑ Technologie pro monitorování a kontrolu škodlivého vlivu lidské aktivity na prostředí.

Groundwater treatment wall purifies chemical plume



Úvodní poznámky

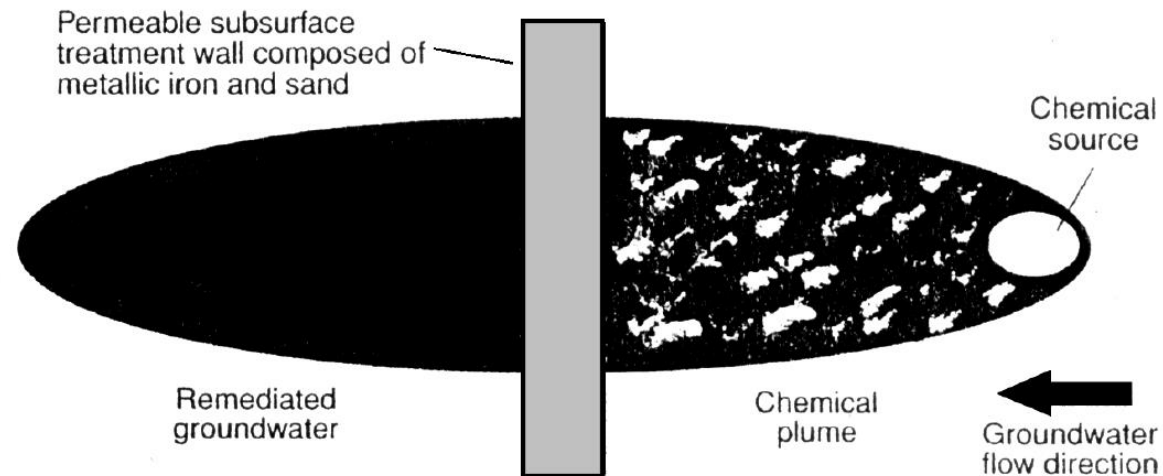
Přírodní × antropogenní sloučeniny

Lidská aktivita vnesla do prostředí značné množství **úplně nových látek** (CFC, PCB...).

Přírodní látky mohou být klasifikovány jako kontaminanty nebo polutanty. Pak mluvíme o antropogenním obohacení nad přirozenou úroveň.

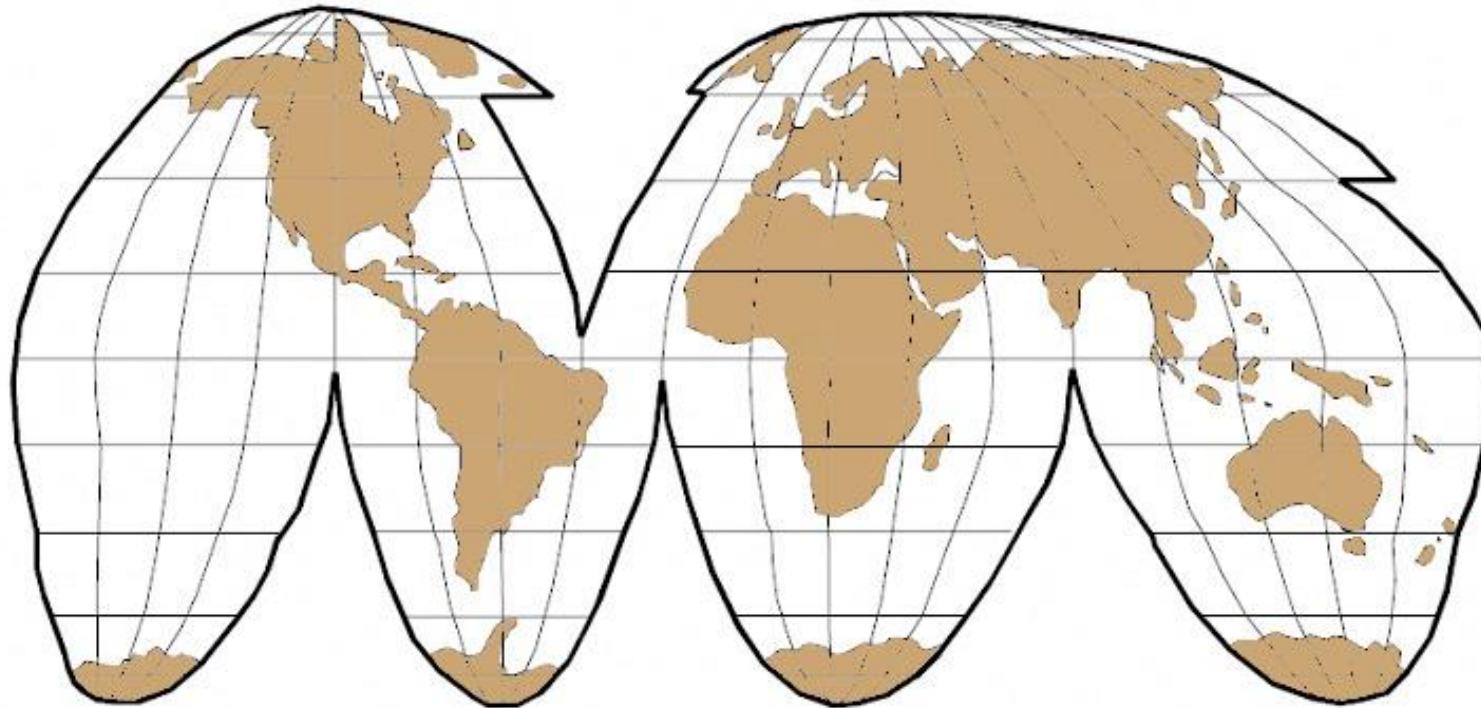
Technologie pro monitorování a kontrolu škodlivého vlivu lidské aktivity na prostředí.

Groundwater treatment wall purifies chemical plume

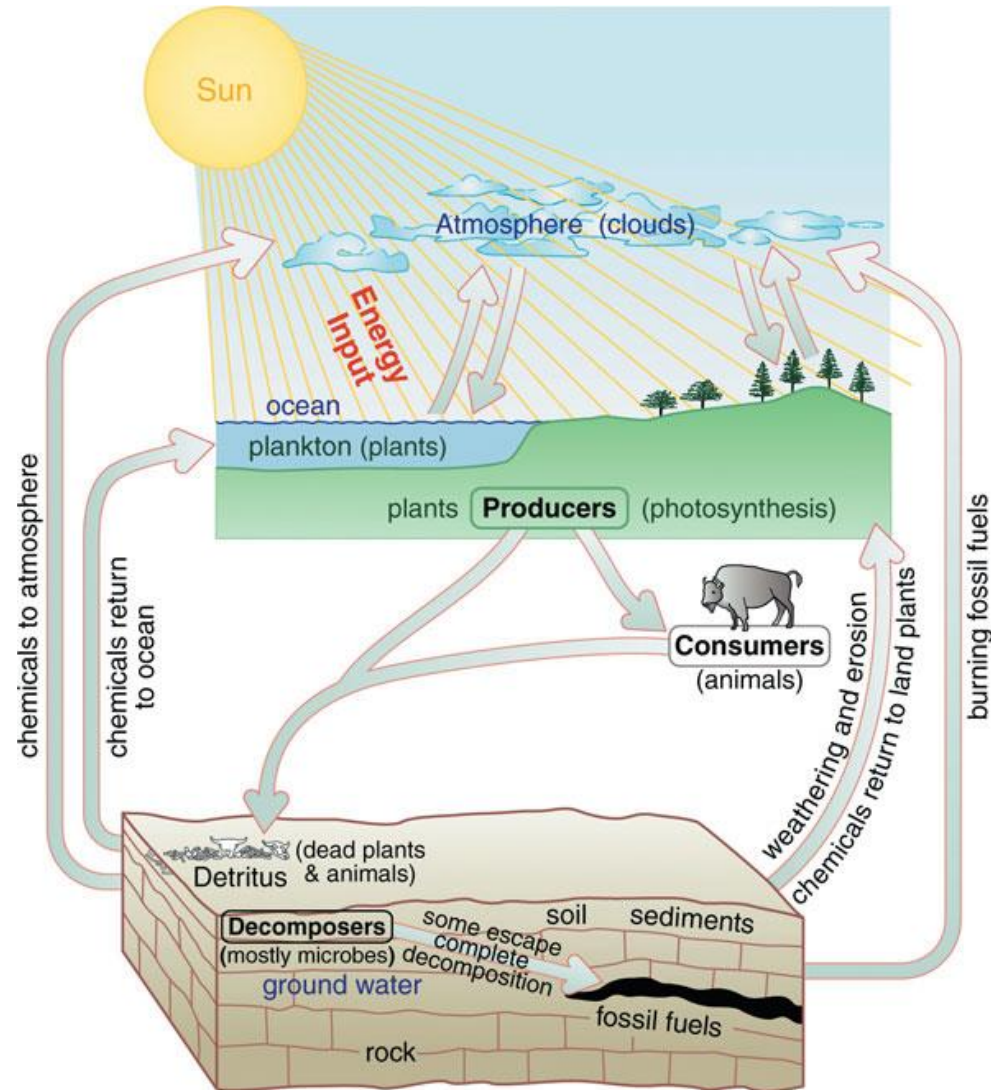


Cykly hmoty

Kombinované síly přírody a člověka způsobují pohyb hmoty na Zemi. Ten je často provázen chemickými přeměnami způsobenými geologickými, hydrologickými, atmosférickými a biologickými činiteli.



Cykly hmoty a energie



- Energy flows through the system and is transformed.
- Chemicals cycle and can be reused.

Cykly hmoty a energie

Ve vědách o Zemi je často vhodné nebo výhodné uvažovat o naší planetě jako o kombinaci zásobníků, mezi nimiž hmota přechází. Tyto zásobníky se označují jako rezervoáry. Pohyb hmoty mezi nimi se označuje jako tok.

- Rezervoár

je jakákoliv fyzikální část přirozeného světa, která se chová nezávisle a v níž se odehrává jeden nebo více procesů. Interakce mezi hlavními rezervoáry na Zemi probíhají v předvídatelných cyklech.

- Cyklus

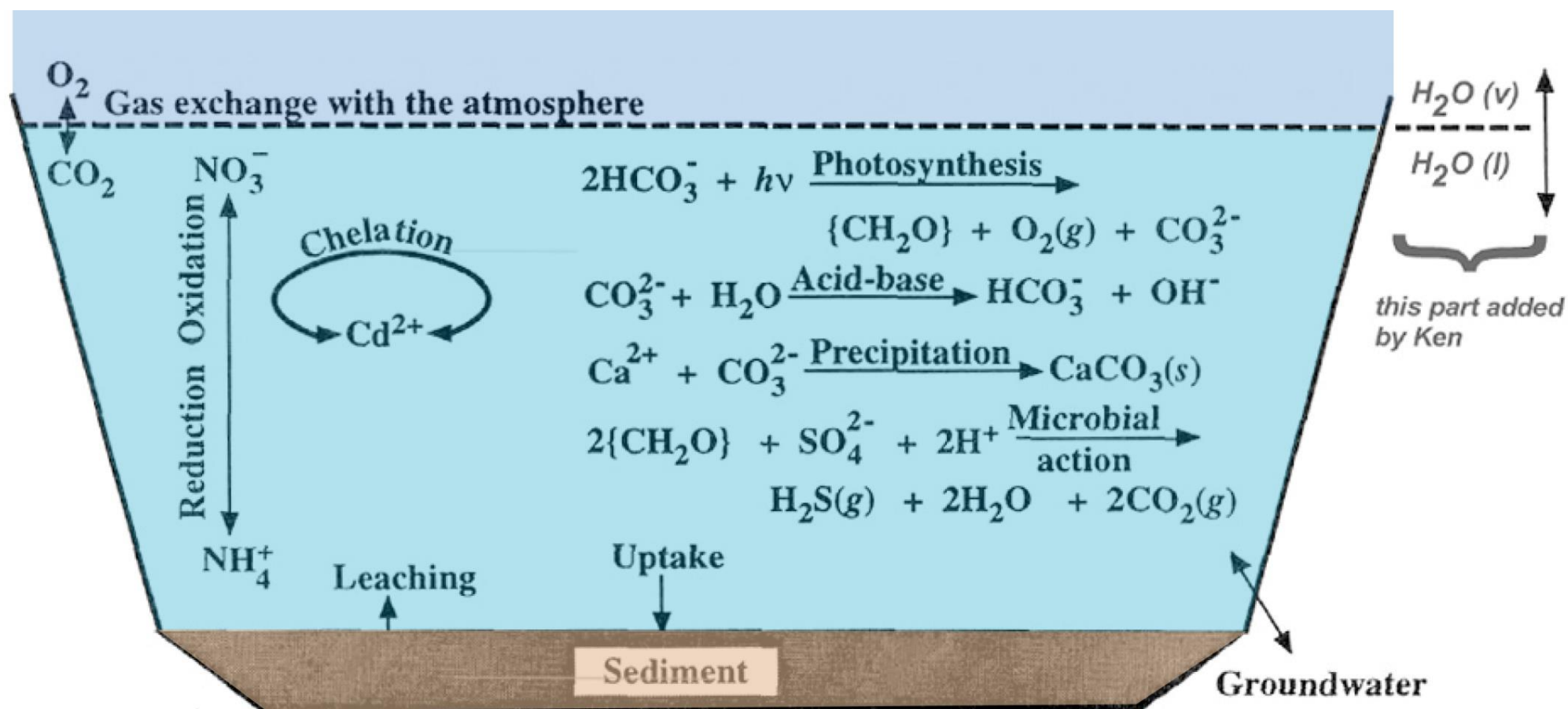
je cesta a rychlost přenosu hmoty nebo energie mezi rezervoáry. V ideálním případě je cyklus uzavřený a celkově musí být toky energie nebo hmoty vyrovnané.

- Biogeochemický cyklus

jsou chemické interakce mezi různými abiotickými rezervoáry a biotou.

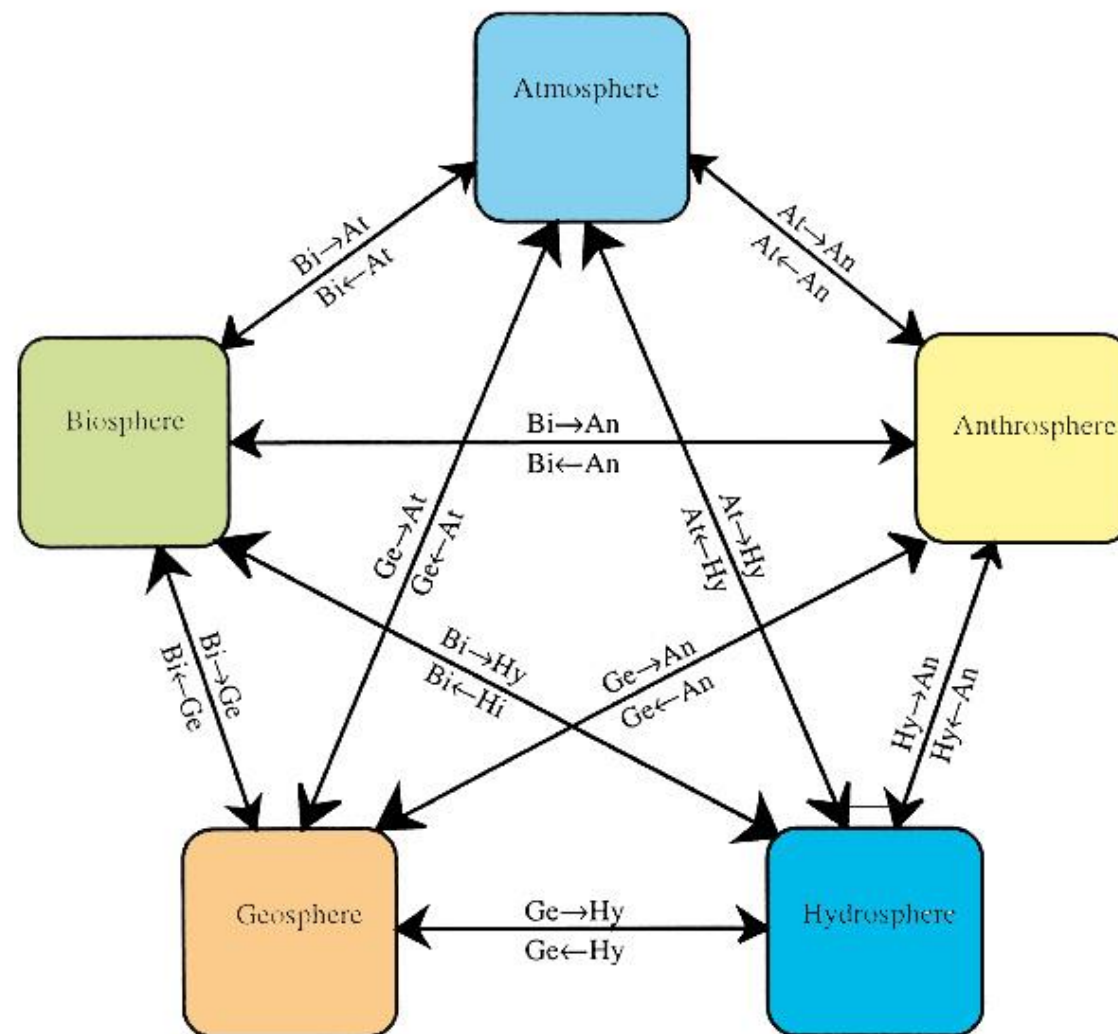
Cykly hmoty a energie

Příklad rezervoáru – jezero. Uvnitř jezera probíhají procesy, s dalšími rezervoáry (atmosférou, sedimentem a podzemní vodou) si jezero vyměňuje látky.



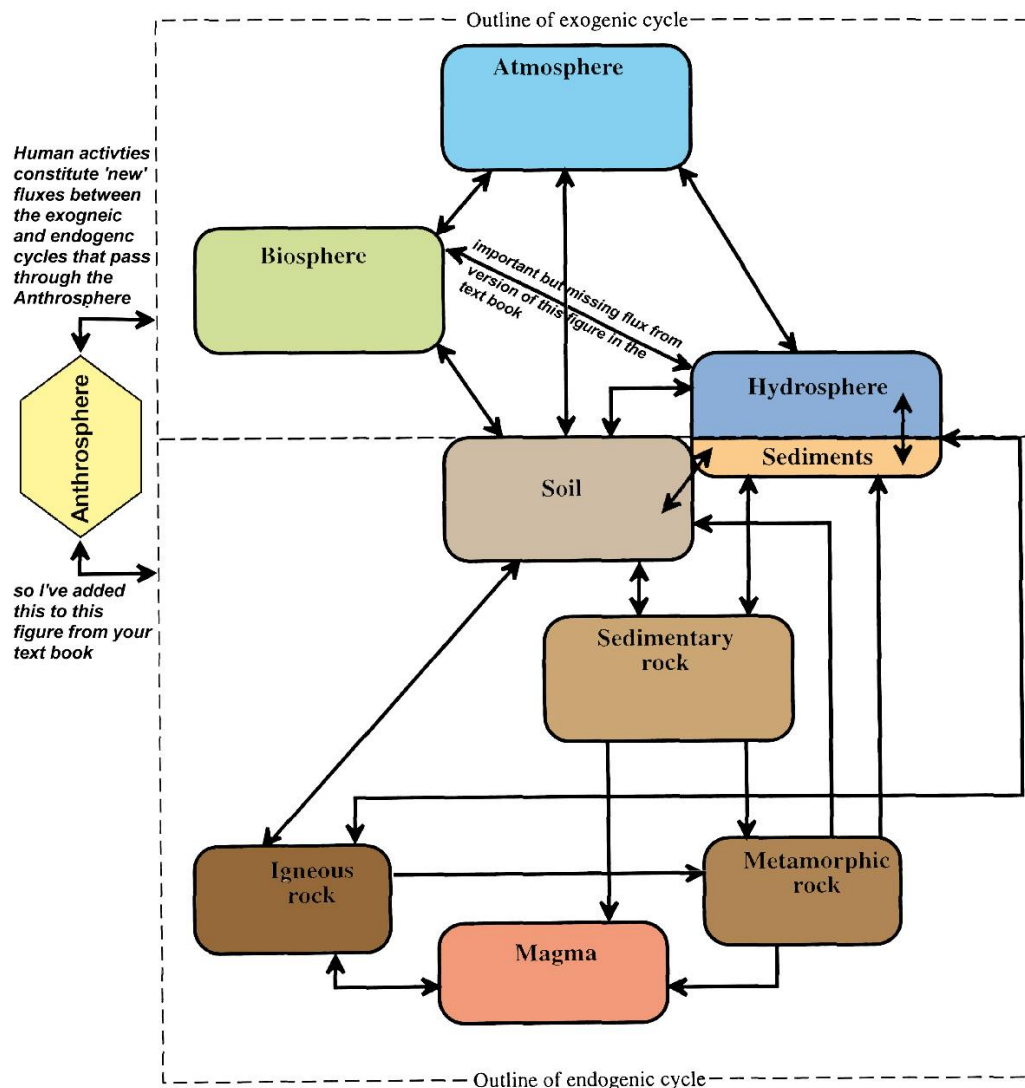
Cykly hmoty a energie

- Relativně formální definice cyklu
 - Jsou vymezeny hlavní rezervoáry a všechny rezervoáry jsou propojeny toky bez ohledu na jejich skutečný význam.



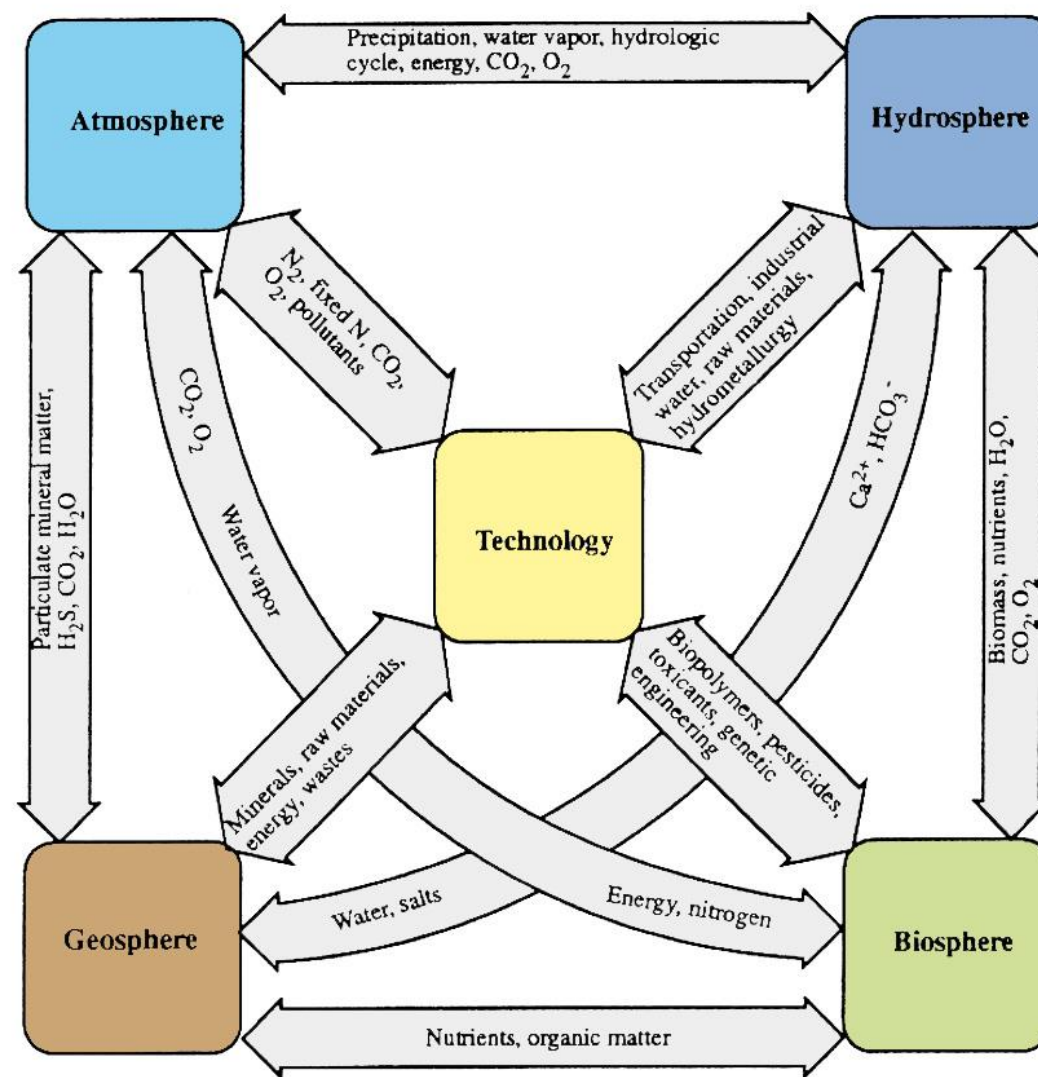
Cykly hmoty a energie

- Reálná definice cyklu s vymezením rezervoárů a rozlišením exogenního a endogenního cyklu
 - Jsou identifikovány reálné rezervoáry a vymezeny skutečné toky mezi nimi.



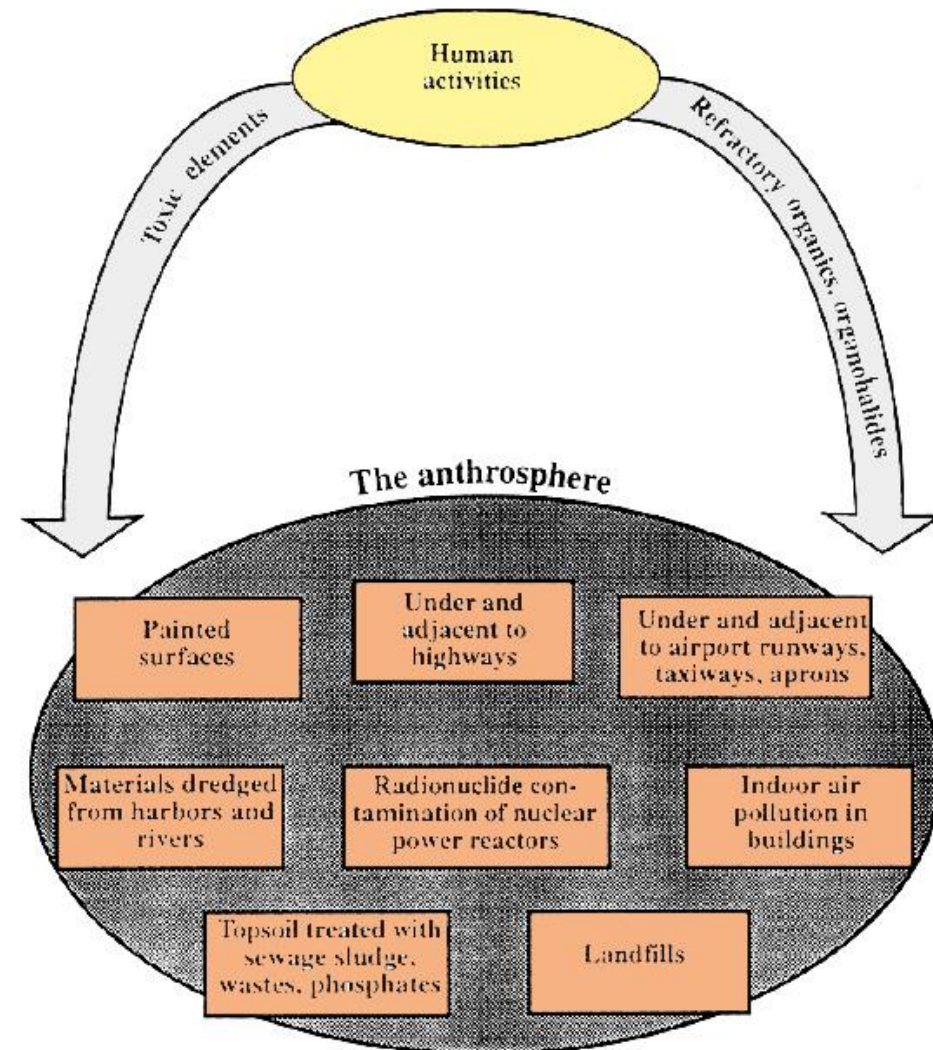
Cykly hmoty a energie

- Nejobecnější diagram cyklu s pěti hlavními zemskými rezervoáry s identifikací hlavních toků významnějších látek.
 - Multikomponentní toky.



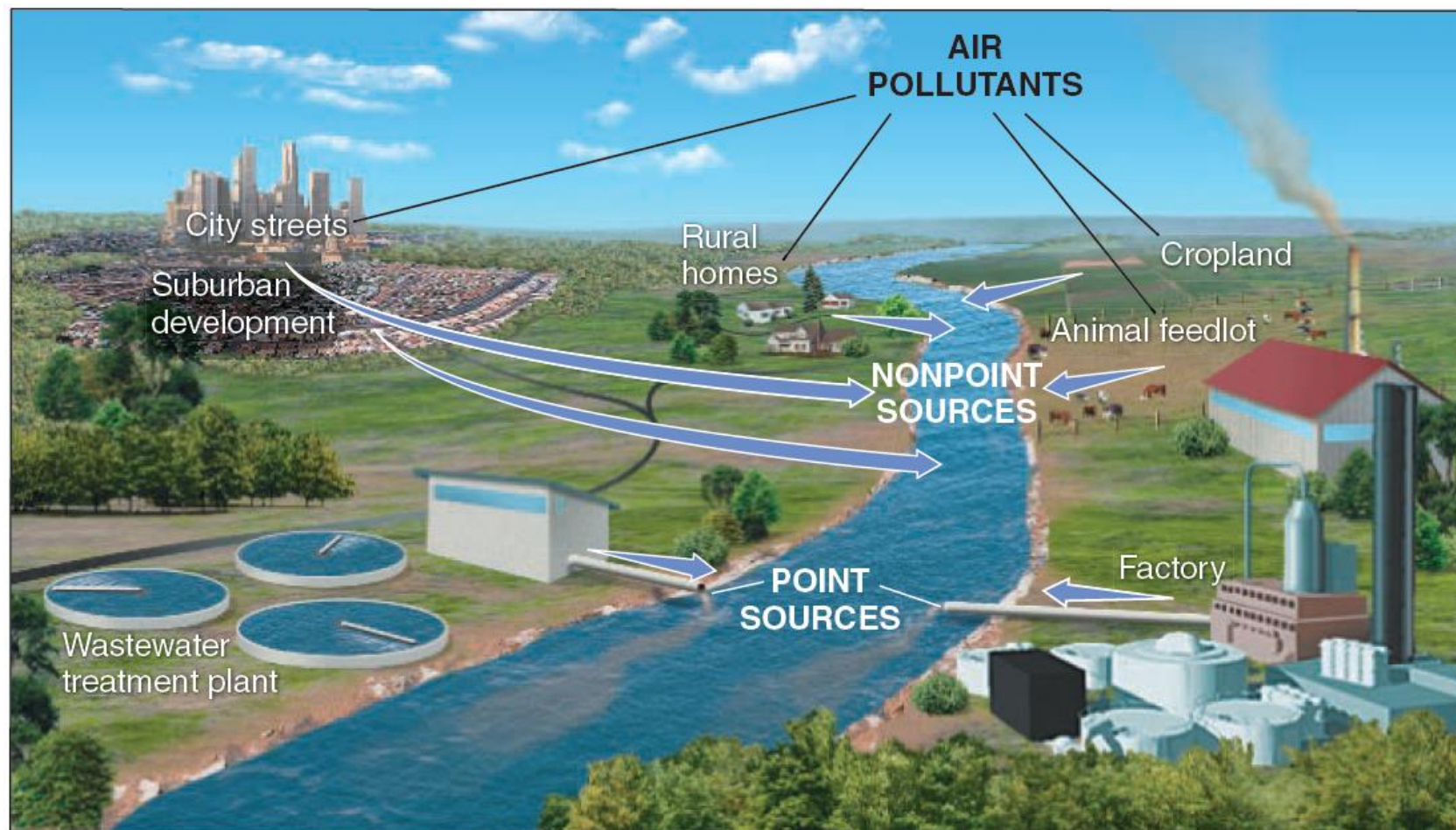
Antroposféra

- Antroposféra – část prostředí, která je vytvořena nebo modifikována pro využití člověkem.



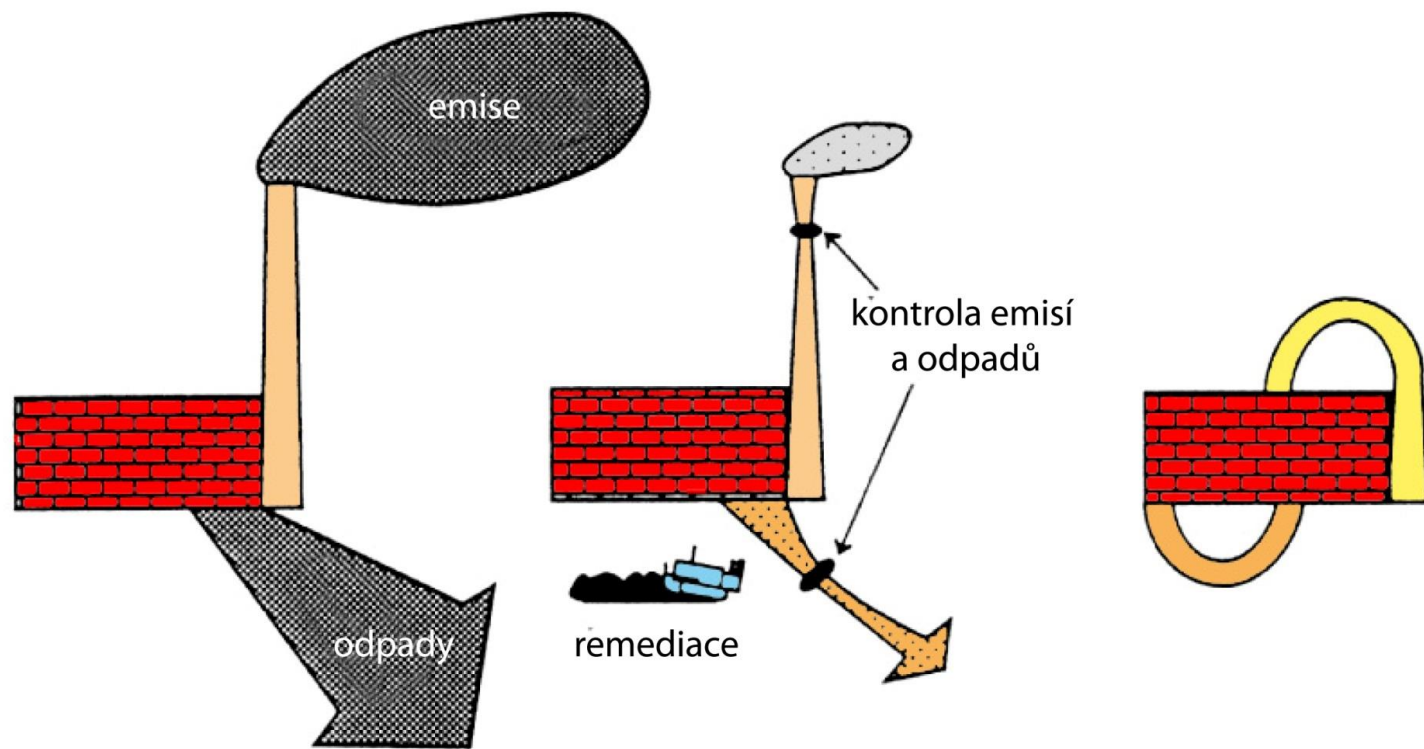
Antroposféra

- antropogenní ovlivnění



Antroposféra

- pozitivní nebo požadovaný vývoj



1. Nekontrolované
vypouštění odpadů

2. Kontrola odpadů a polutantů
poté, co jsou vyprodukovány

3. Uzavřený okruh výroby
bez vypouštění odpadů

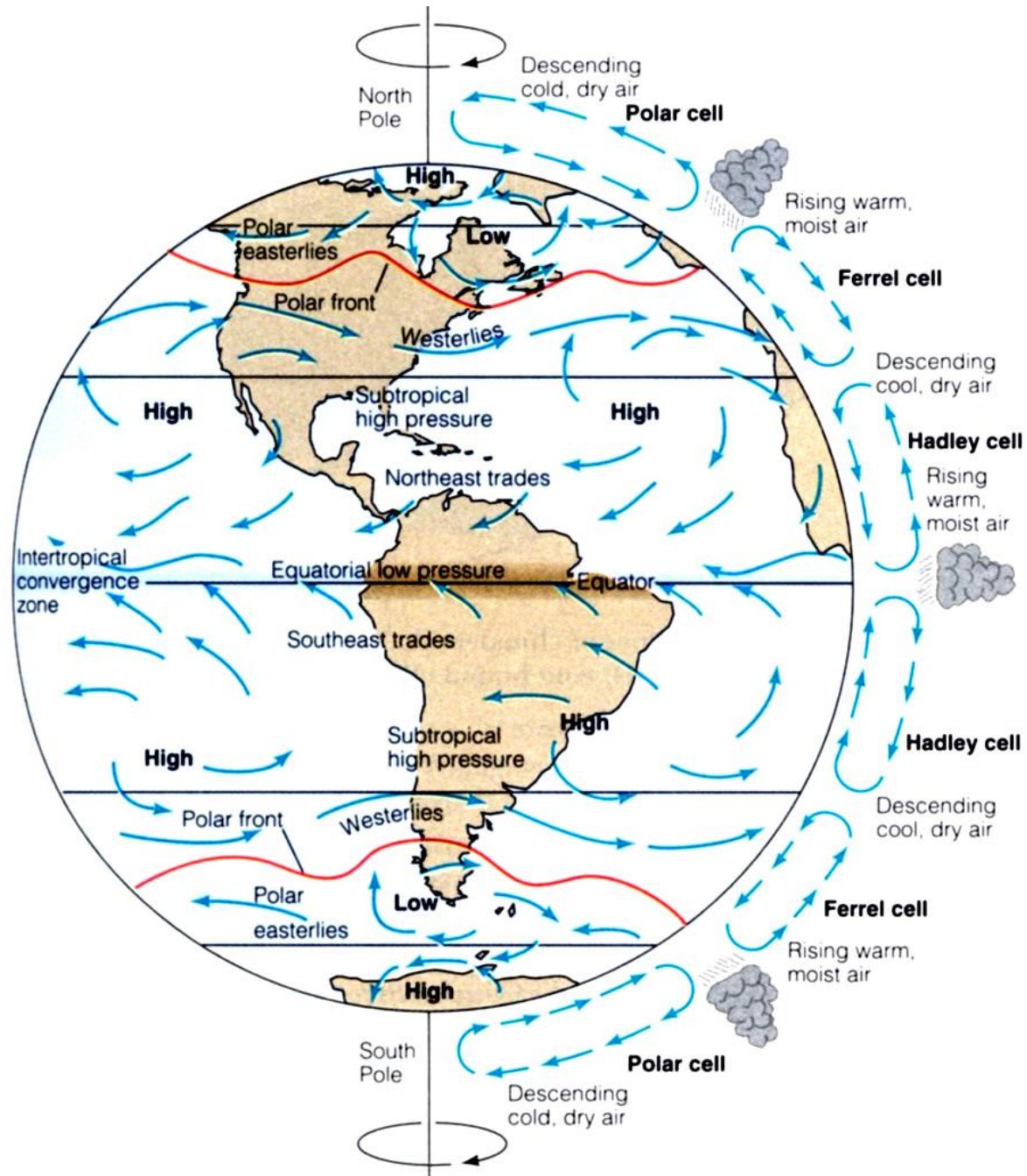
Toky

□ výměna hmoty mezi hlavními rezervoáry zemského cyklu

	Z	Atmosféra	Hydrosféra	Biosféra	Geosféra	Antroposféra
Do						
Atmosféra		–	H ₂ O	O ₂	H ₂ S, částice	SO ₂ , CO ₂
Hydrosféra		H ₂ O	–	(CH ₂ O)	minerální látky	polutanty
Biosféra		O ₂ , CO ₂	H ₂ O	–	minerální výživa	hnojiva
Geosféra		H ₂ O	H ₂ O	organická hmota	–	nebezpečné odpady
Antroposféra		O ₂ , N ₂	H ₂ O	potraviny	minerály	–

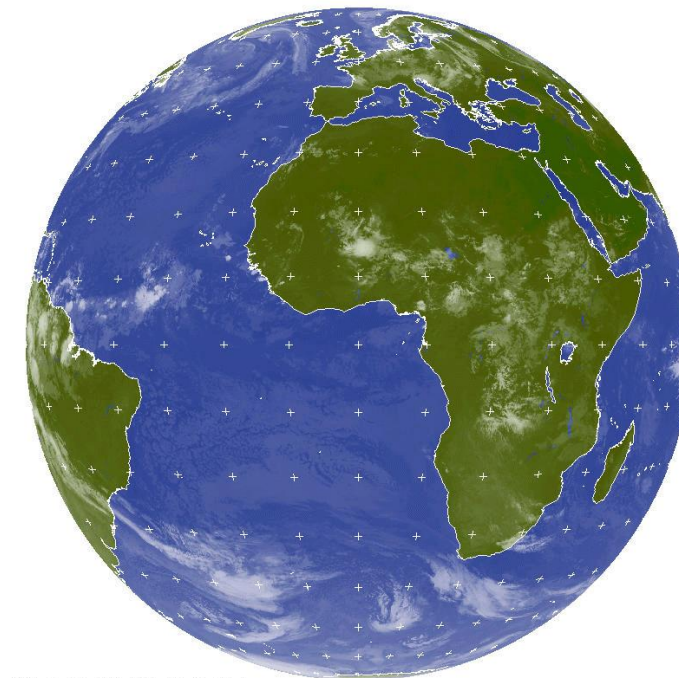
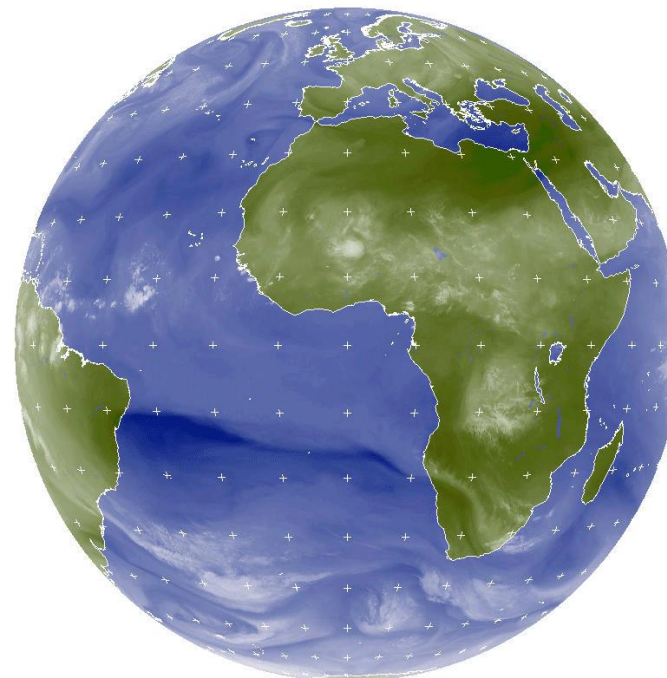
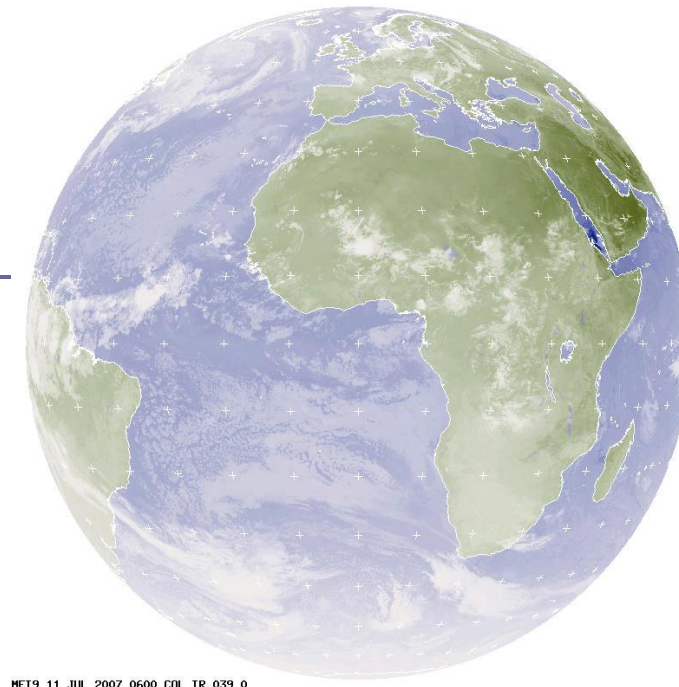
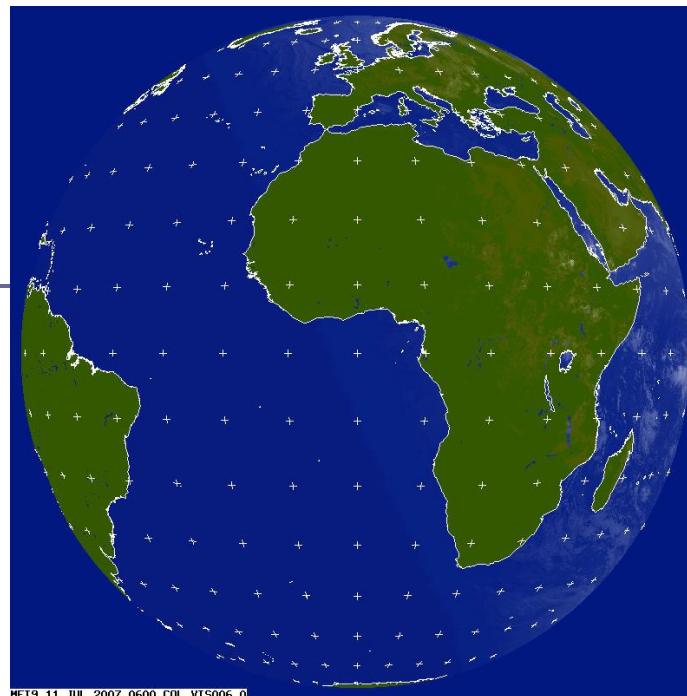
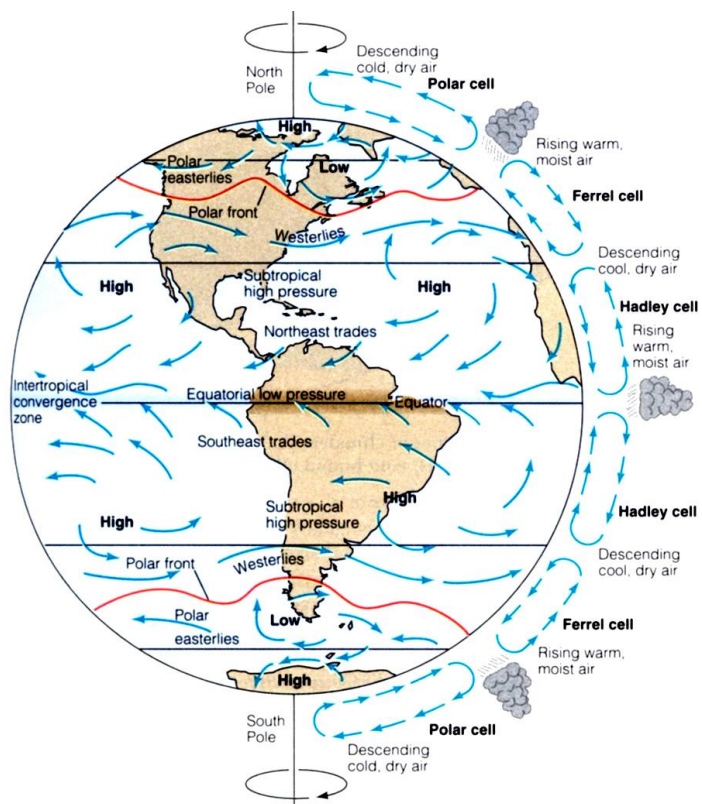
Cirkulace

atmosféra



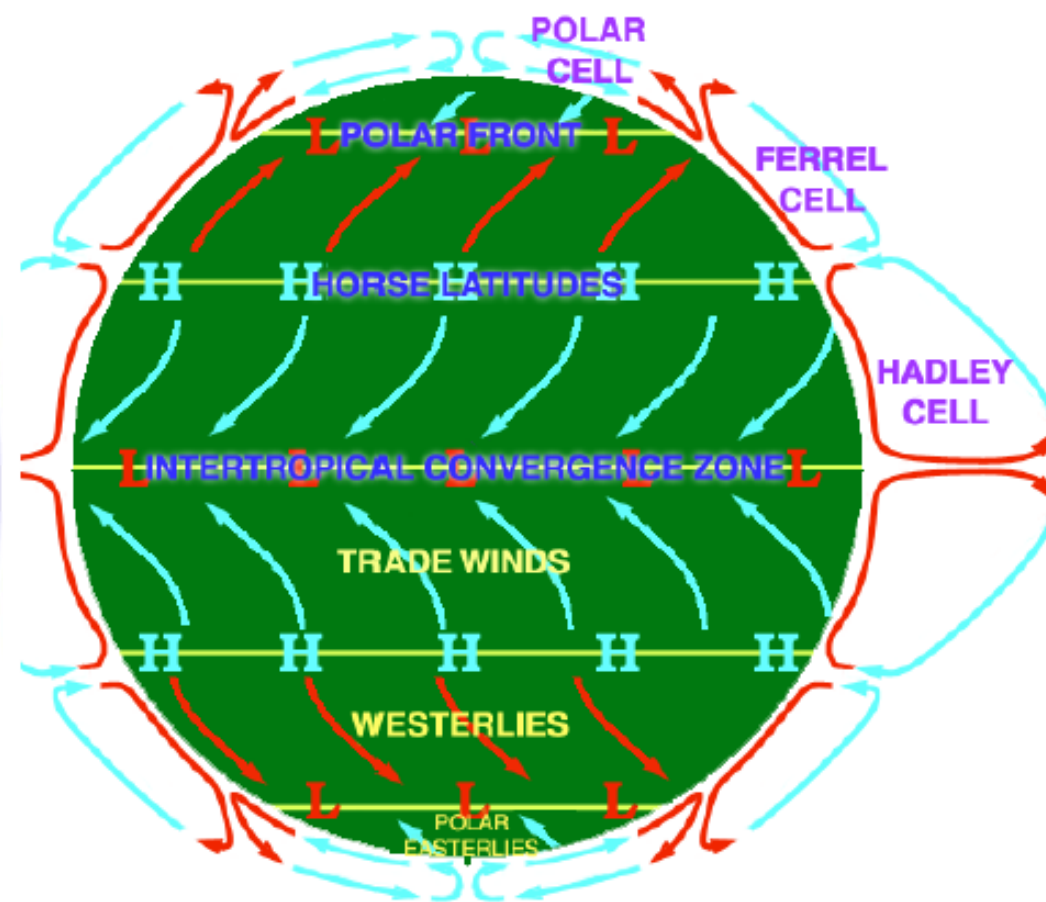
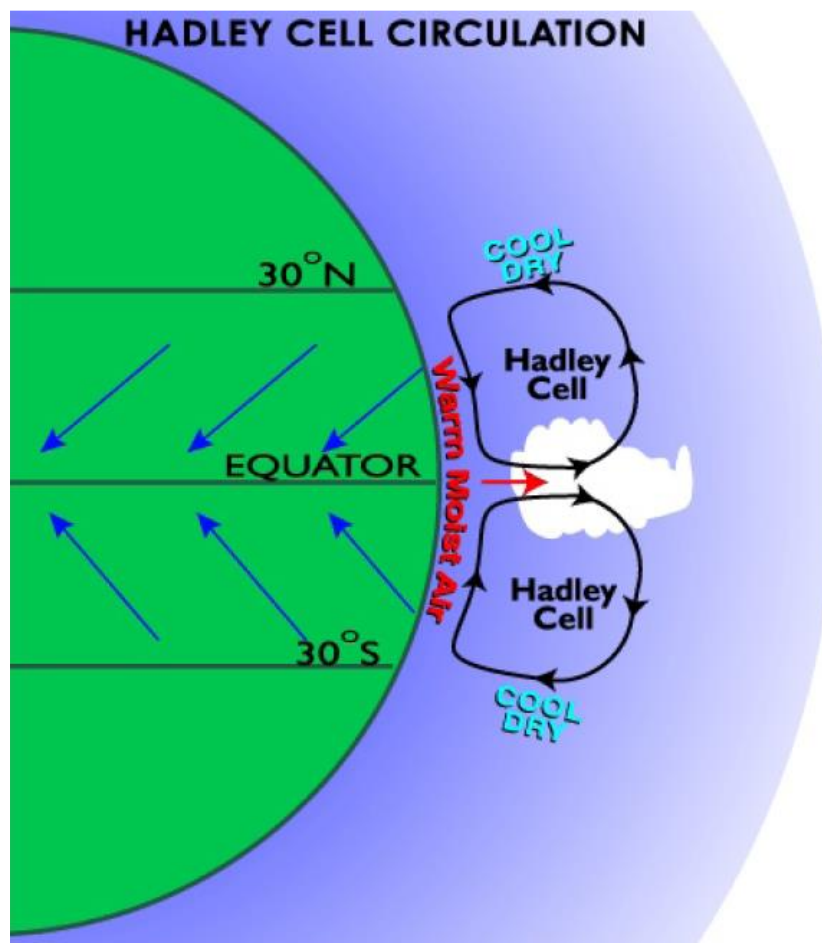
Cirkulace

11.–15. července 2007, snímky pro animaci – EUMETSAT



Cirkulace

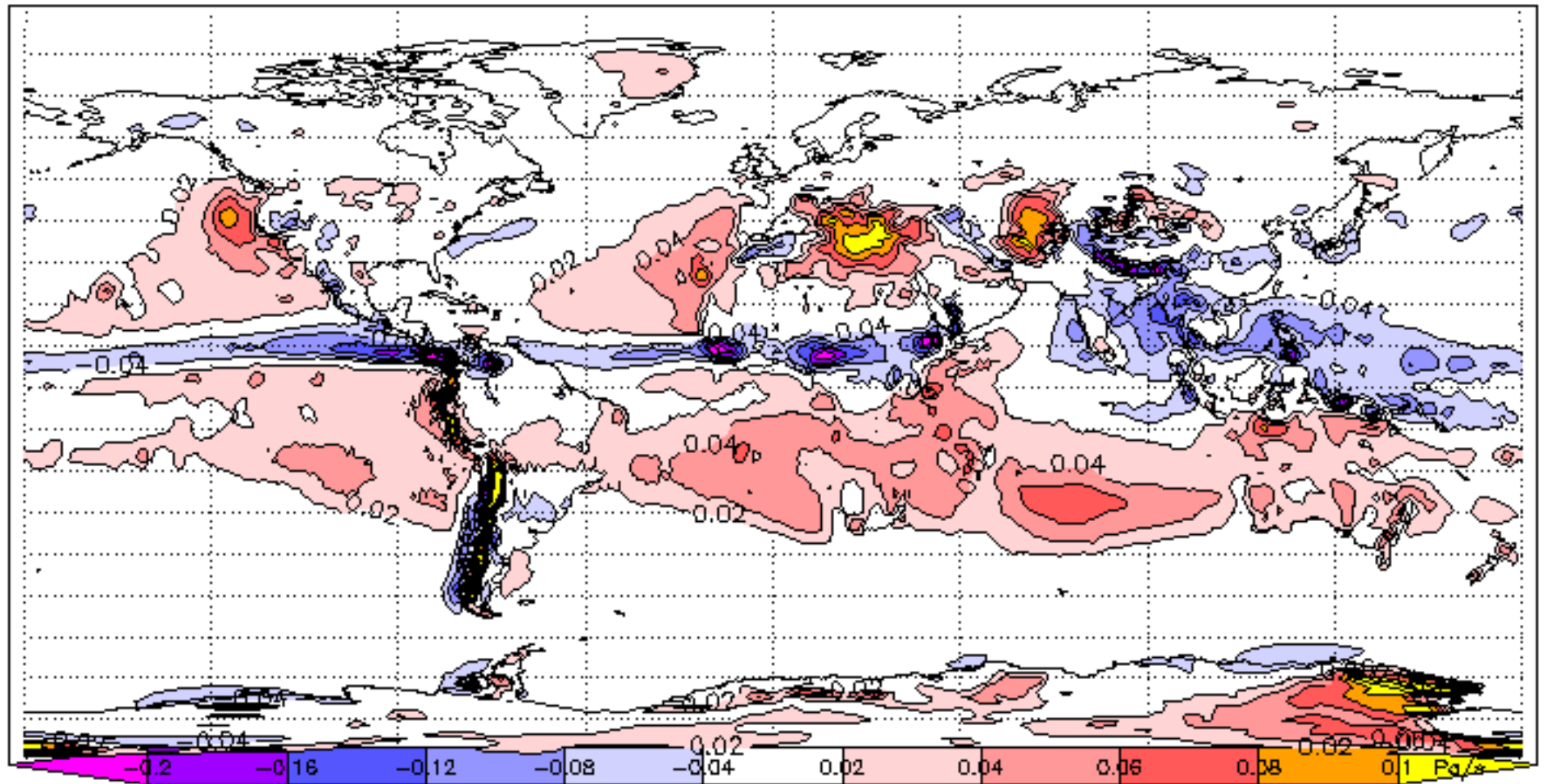
□ atmosféra



Cirkulace

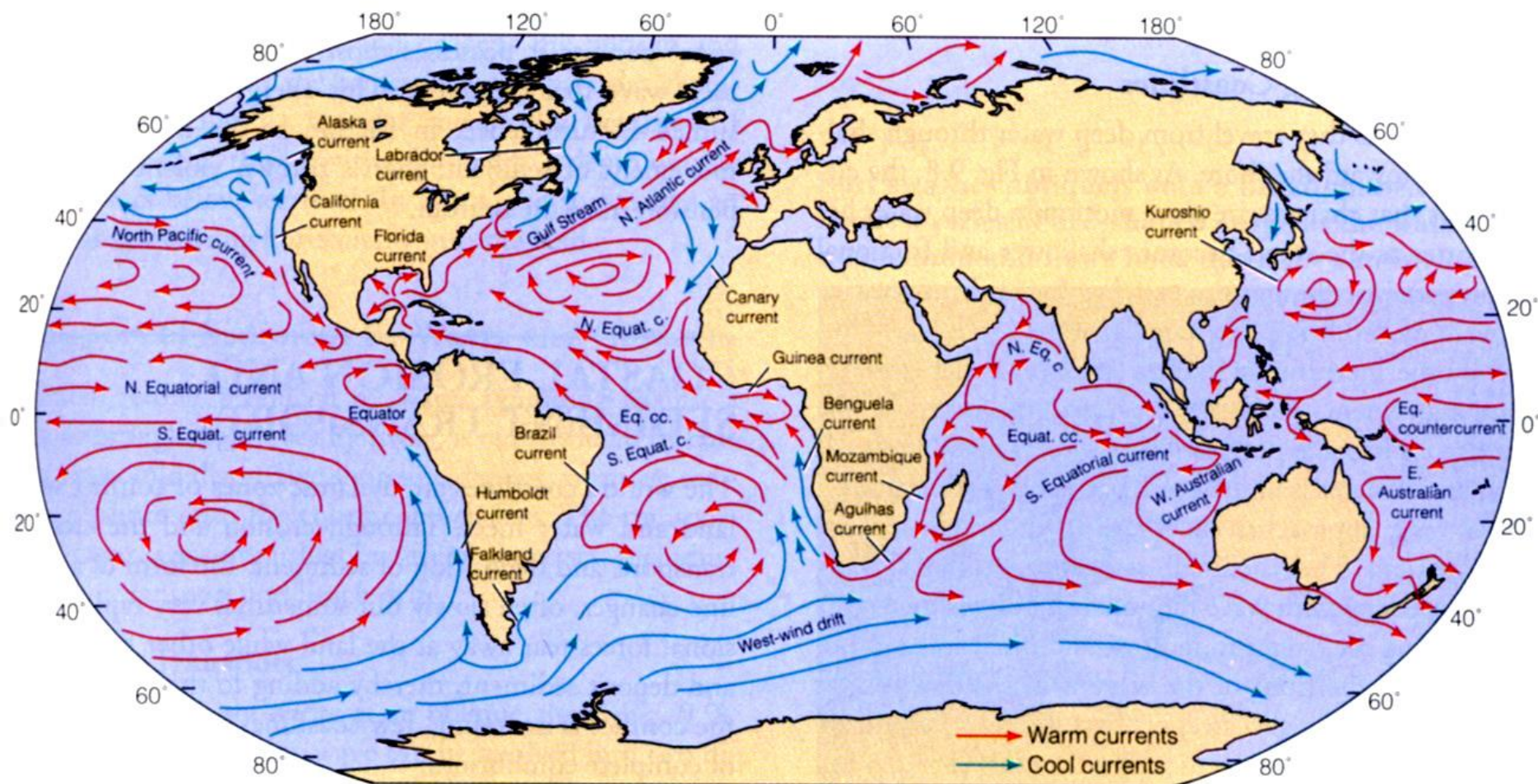
□ atmosféra

Rychlost vertikálního proudění vzduchu (modrá nahoru, červená dolů).



Cirkulace

o oceány

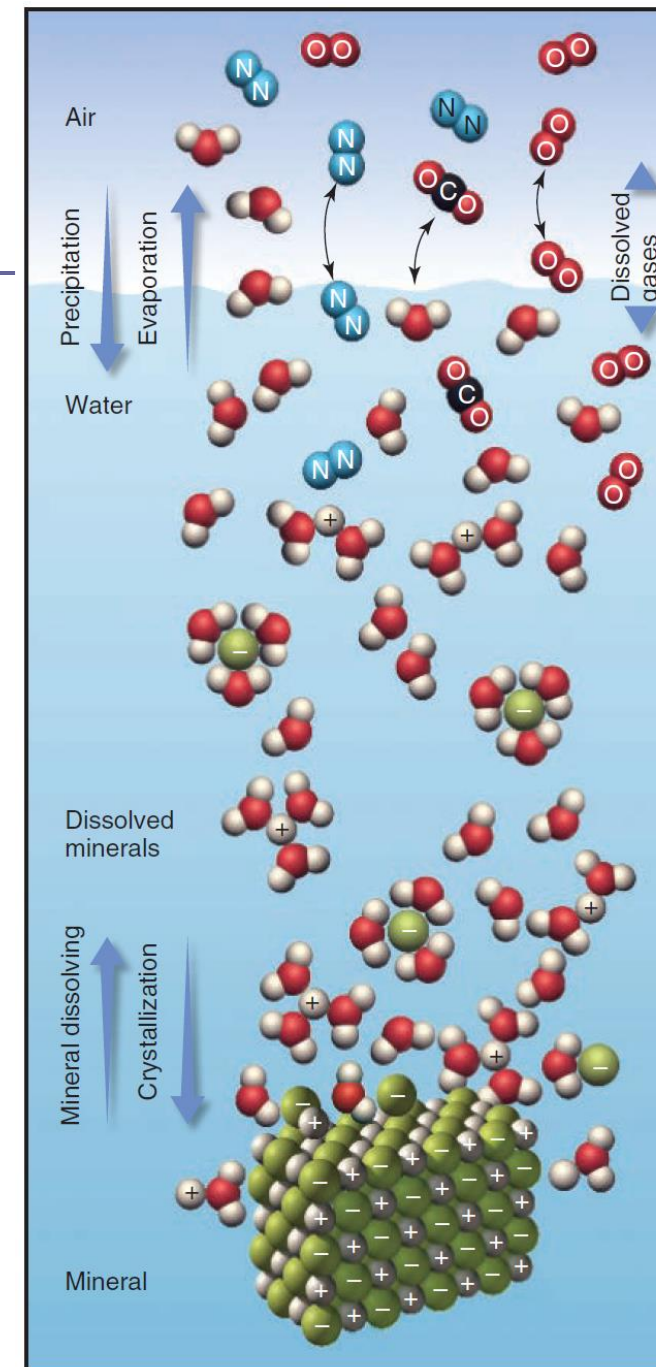


Rezervoáry

- Rezervoáry – lokalizované zásobníky
- Vnitřní pohyb (a v určité míře stratifikace) s hustotou jako hnací silou
- U sladkých vod hustota určena především teplotou (složení má obvykle až druhořadý význam)
- U slaných vod hraje teplota a salinita srovnatelnou roli
- Malá tělesa (jezera) – po celém povrchu stejné podmínky – jednoduchý vnitřní pohyb
- Velká tělesa – vysoce variabilní podmínky – komplikovaný vnitřní pohyb

Interakce

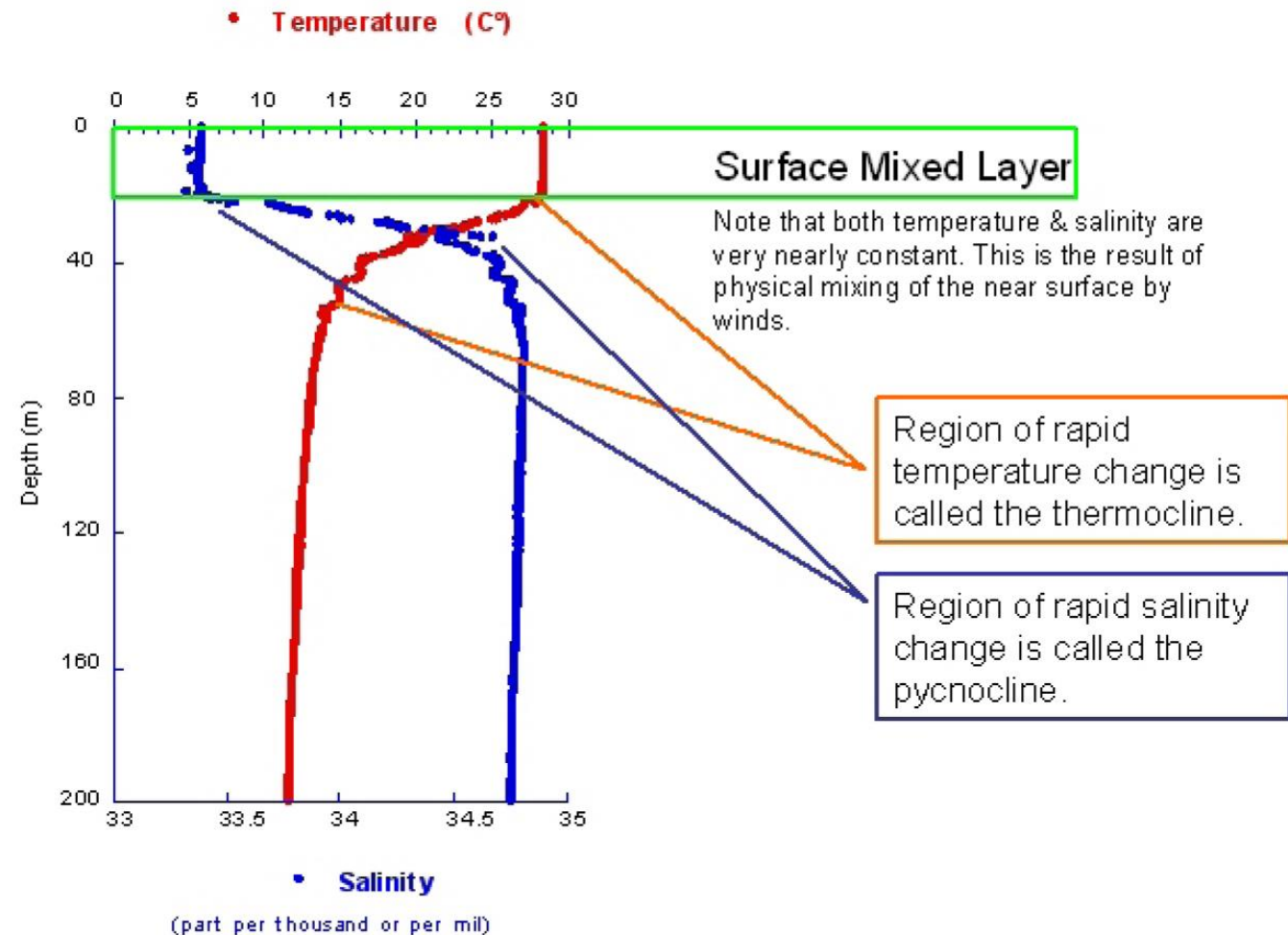
- voda: odpařování-kondenzace
- minerály: rozpouštění srážení
- transport: pravé roztoky-suspenze
- oxidačně-redukční reakce
 - fotosyntéza: produkce kyslíku, spotřeba CO_2
 - dýchání, tlení: spotřeba kyslíku, produkce CO_2
- antropogenní ovlivnění



Stratifikace

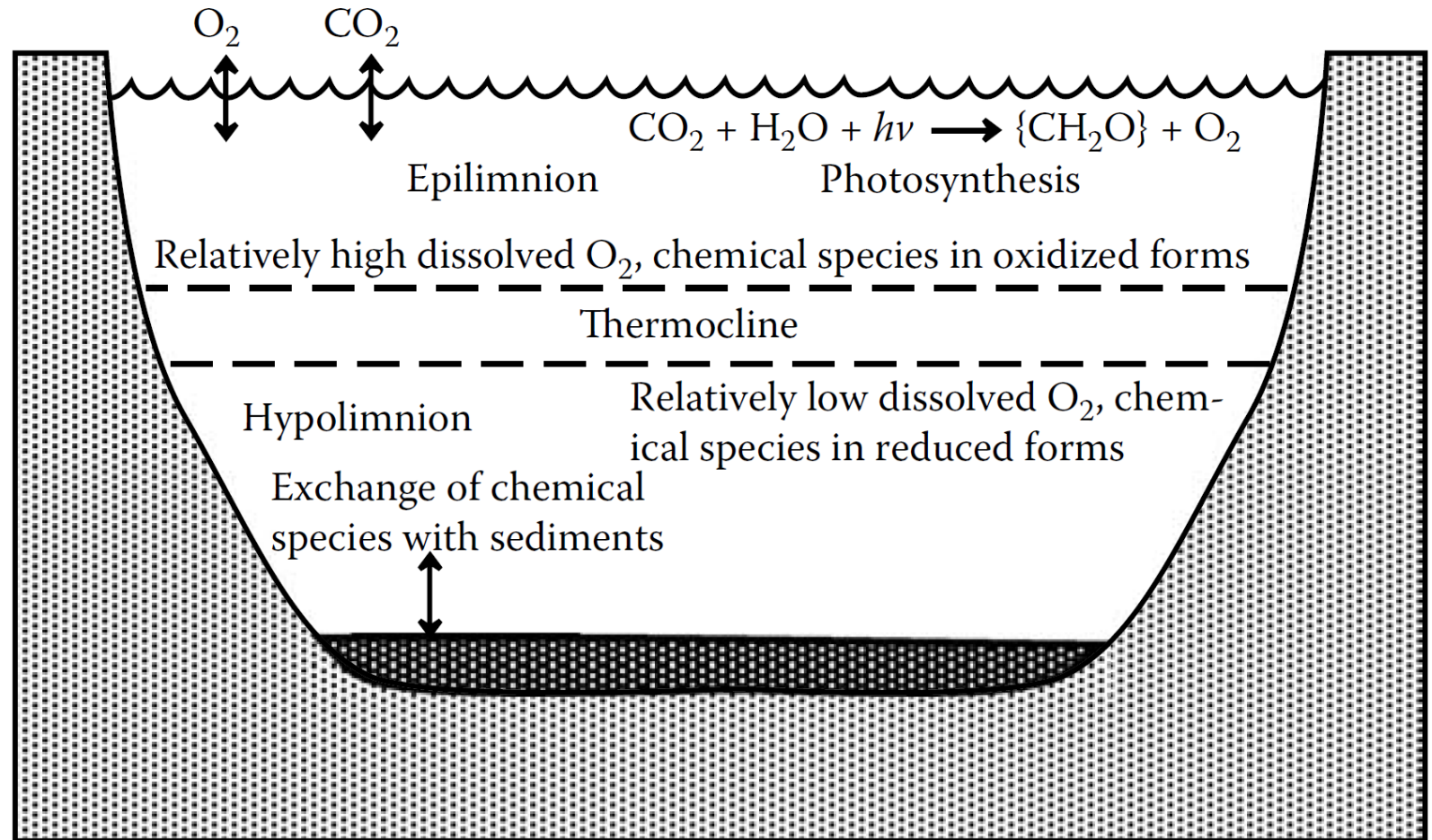
□ Vrstvy

- Hranice mezi vrstvami – termoklina – ostrá změna teploty směrem do hloubky
- Termoklina leží pod vrstvou s téměř konstantní teplotou – směsná, míchaná vrstva (mixed layer) a nad hlubokou vrstvou s konstantní nebo mírně se měnící teplotou



Stratifikace

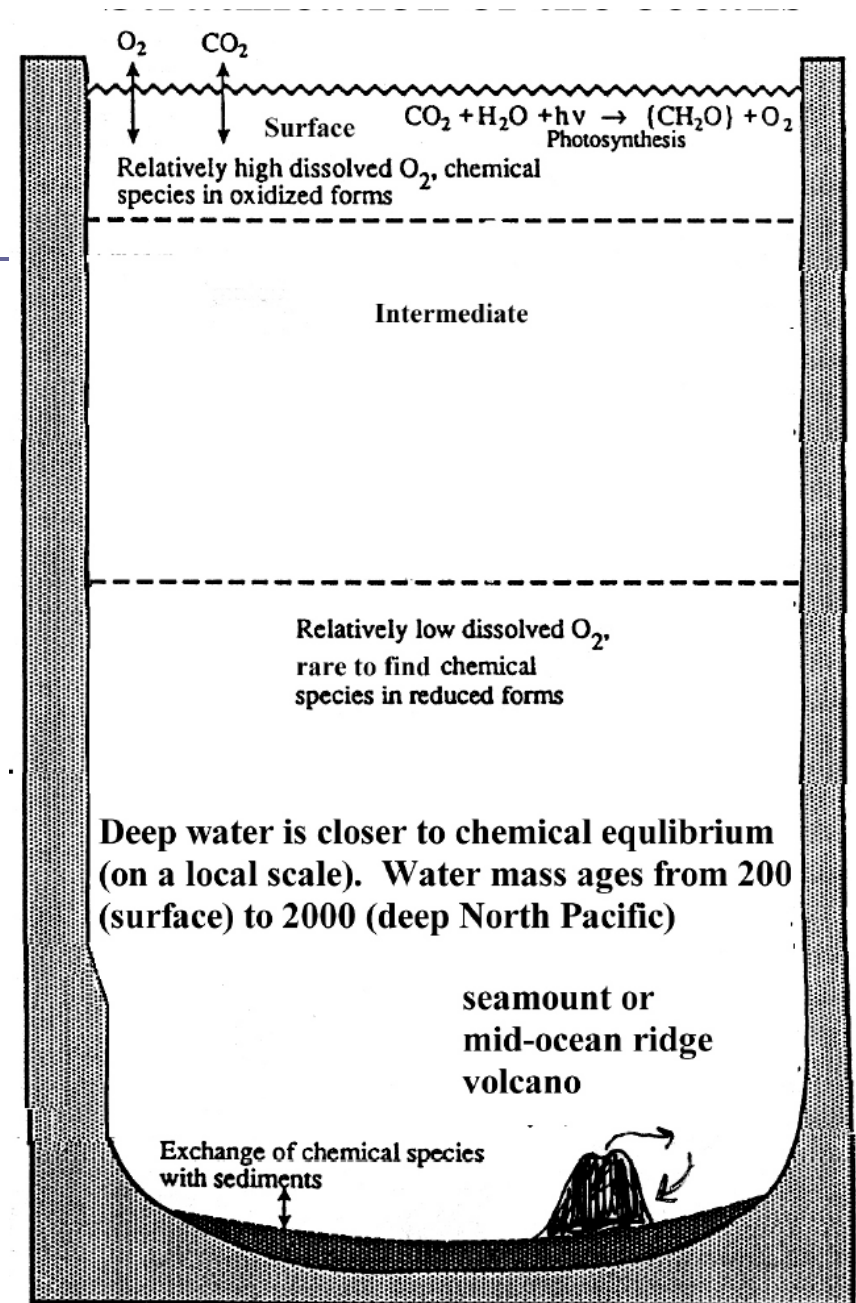
□ jezera



Stratifikace

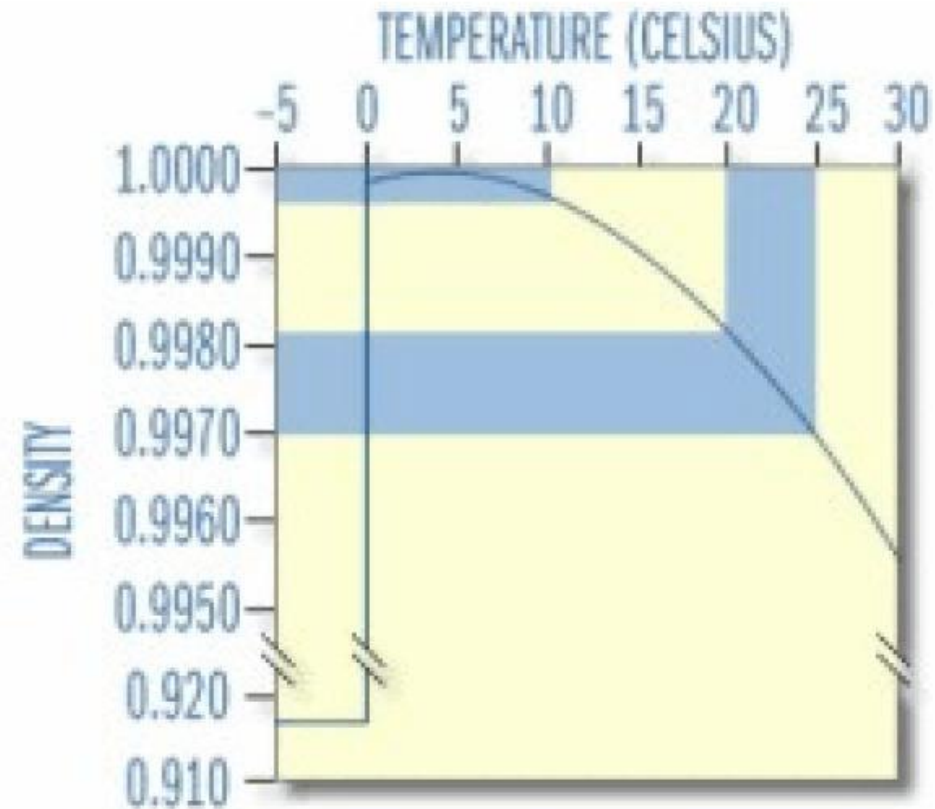
- doba zdržení (residence time)

$$\tau = [A]_{\text{rezervoár}} / \text{tok}(A)_{\text{do nebo z}}$$



Vnitřní pohyb

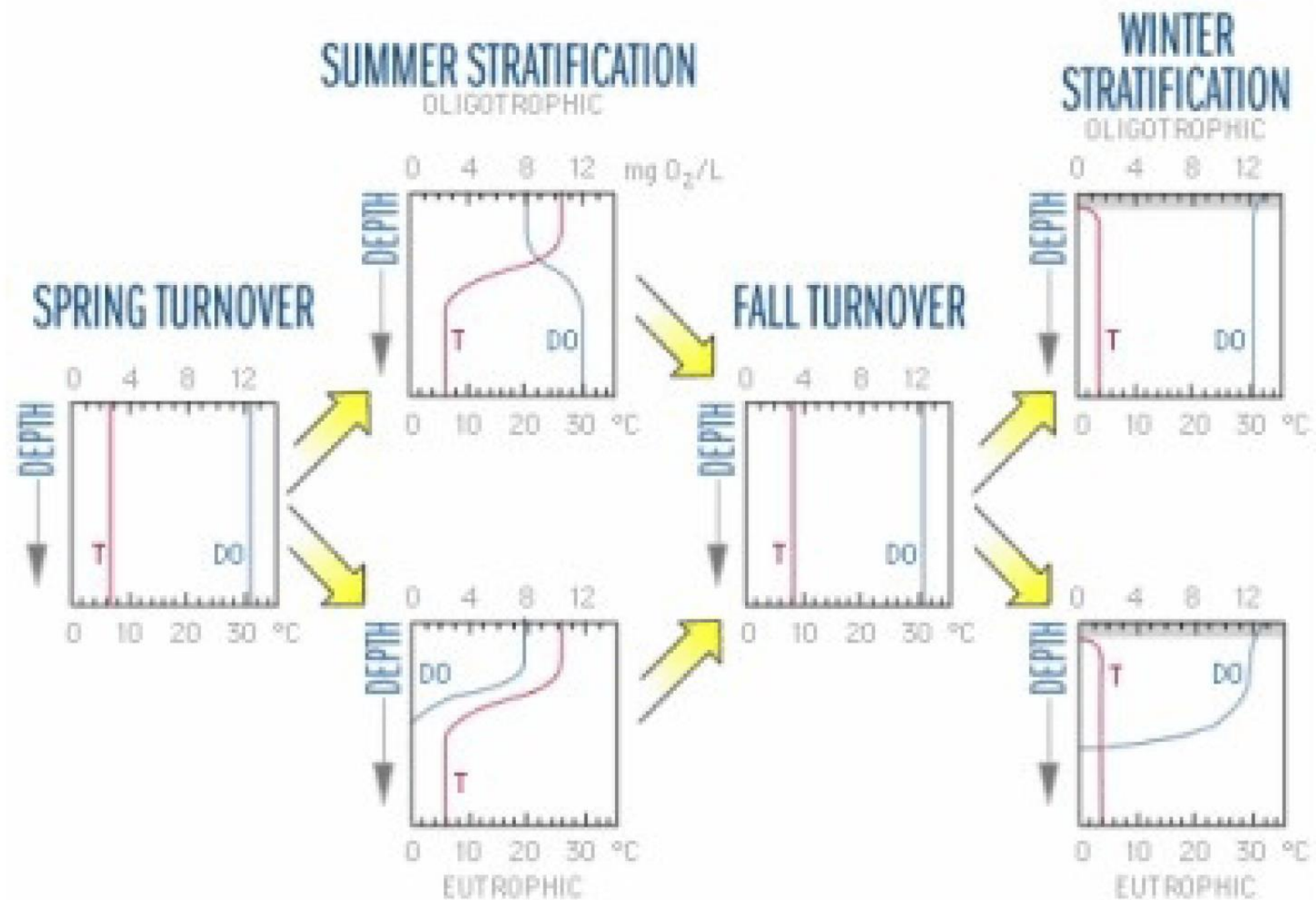
- hustota



DENSITY/TEMPERATURE RELATIONSHIP FOR DISTILLED WATER. SHADED AREAS SHOW RELATIVE DIFFERENCE IN DENSITY FOR 5°C TEMPERATURE CHANGES.

Vnitřní pohyb

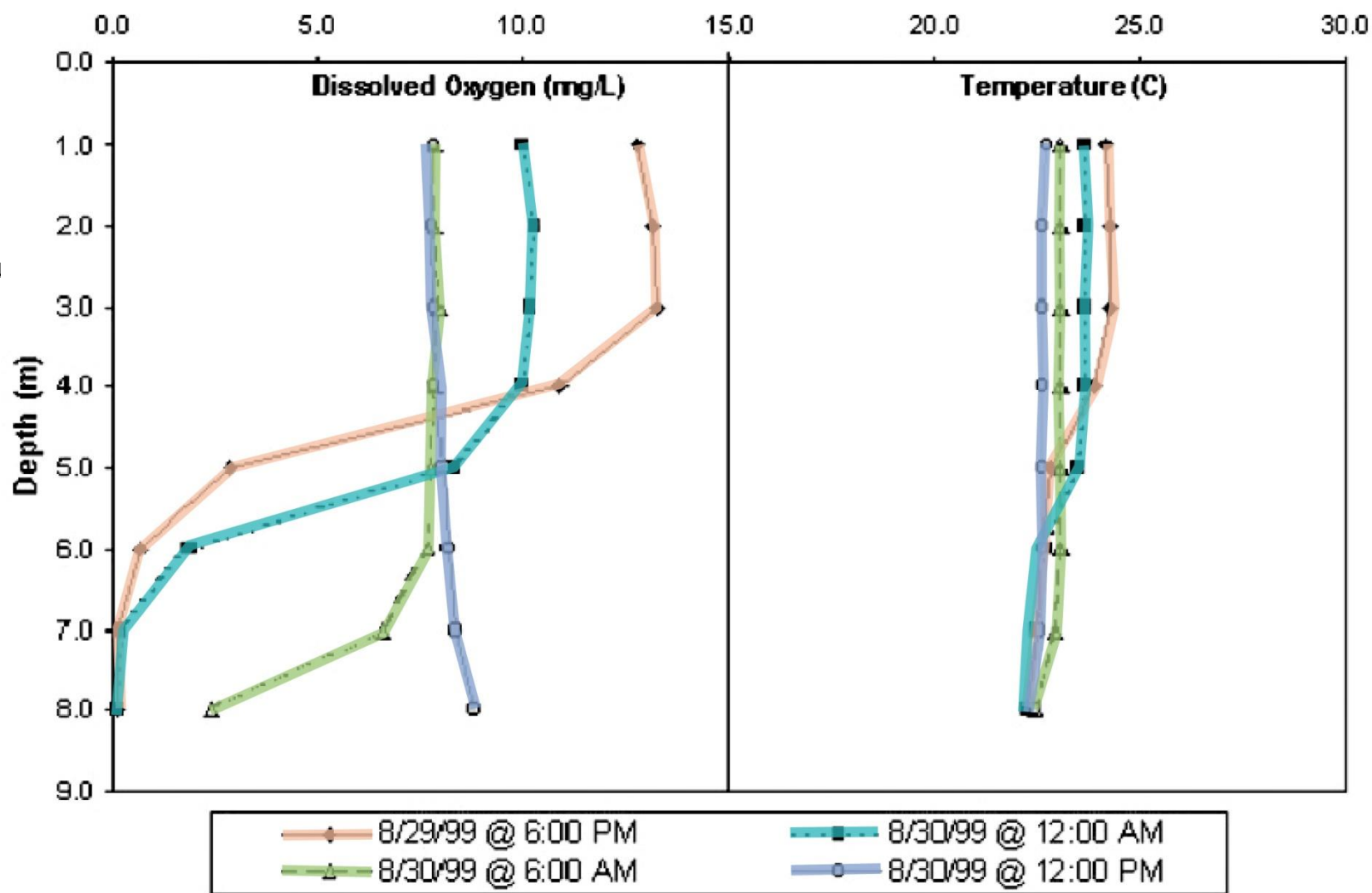
- jezera



Vnitřní pohyb

□ jezera

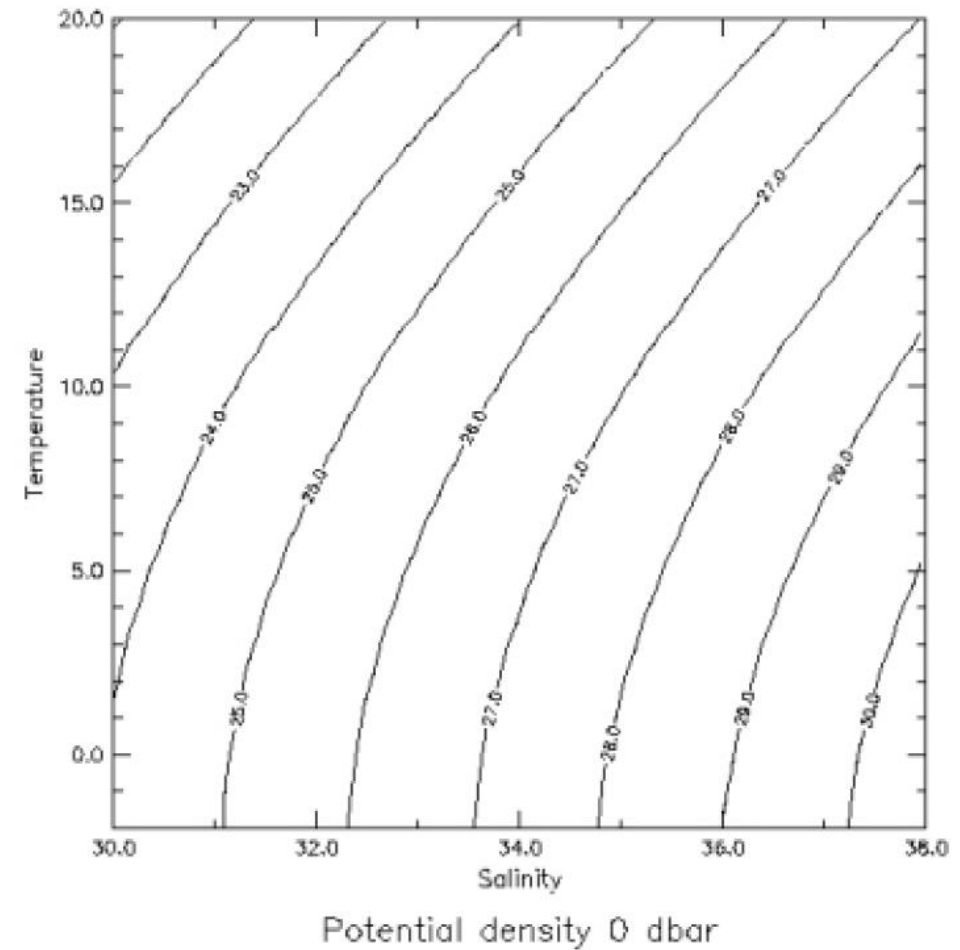
Příklad podzimního „zrušení“ stratifikace na jezeře Minnetonka. Jedná se o rychlou, přitom komplikovanou událost.



Vnitřní pohyb

□ závislost hustoty vody na

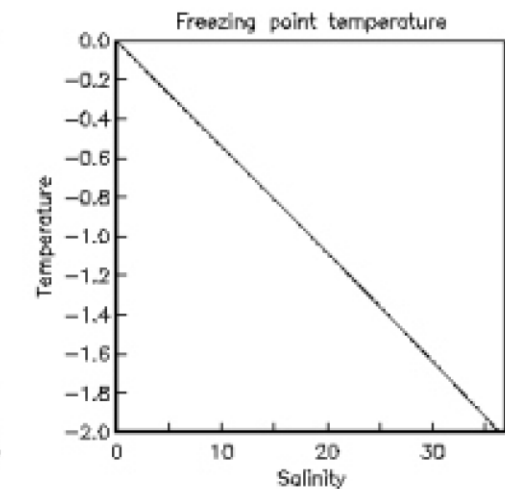
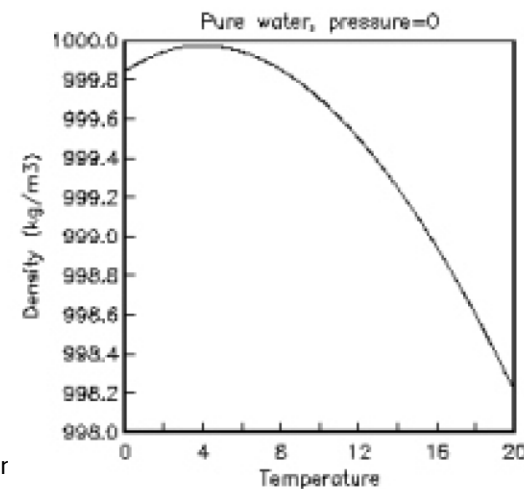
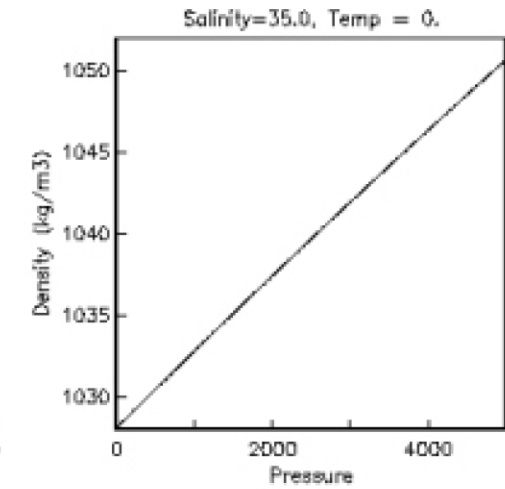
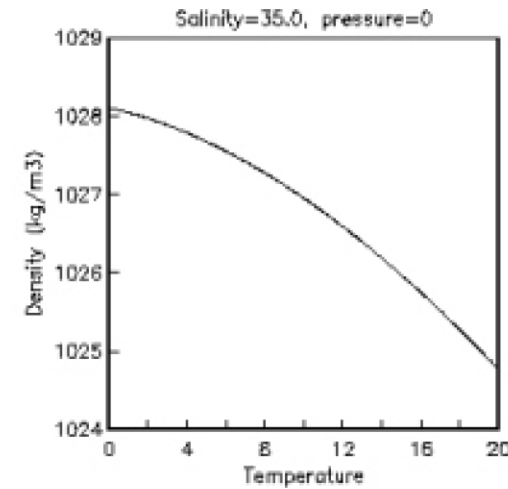
- teplotě
- salinitě



Vnitřní pohyb

□ závislost hustoty vody na

- teplotě
- salinitě



Vnitřní pohyb

o oceány

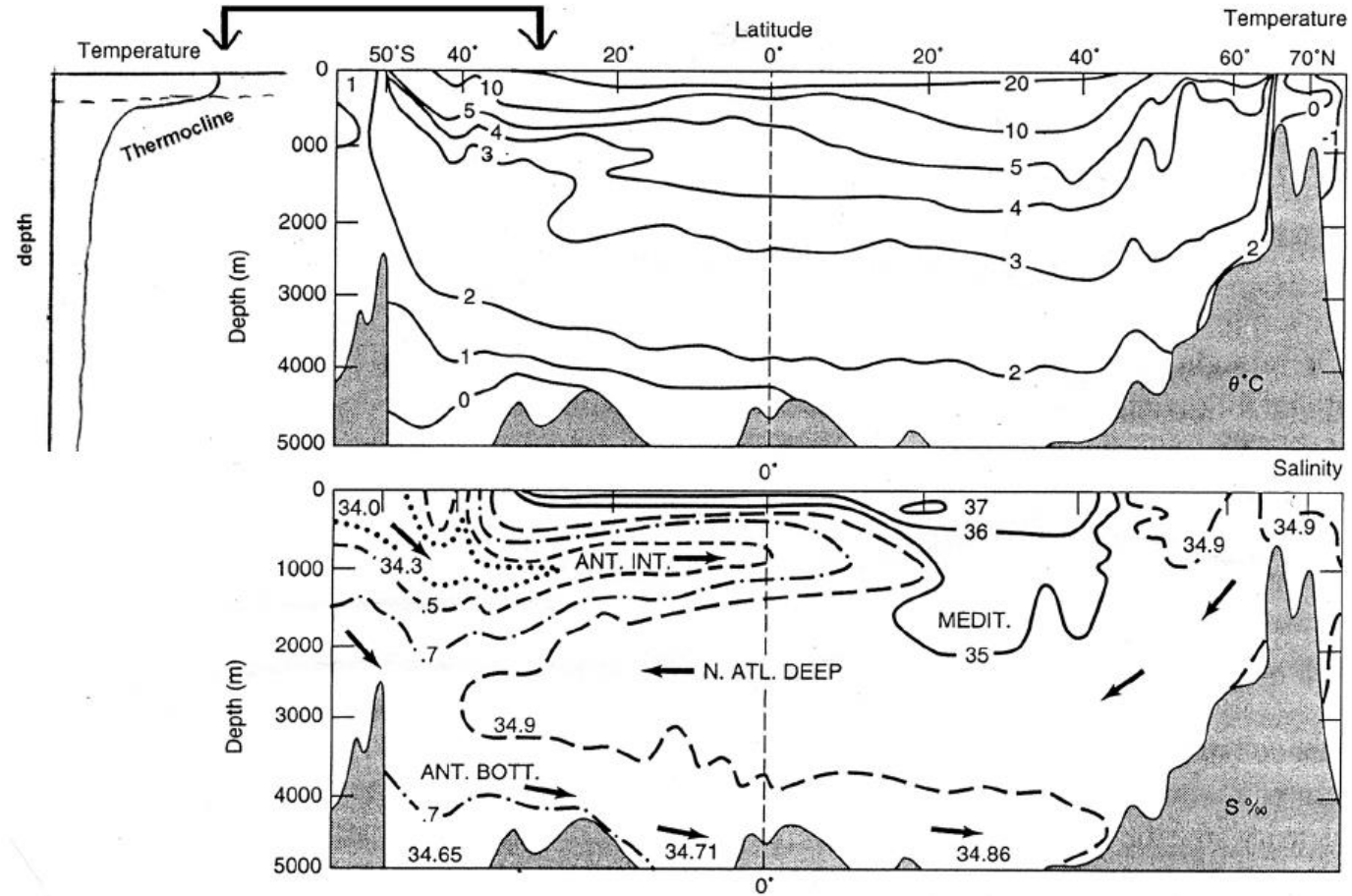
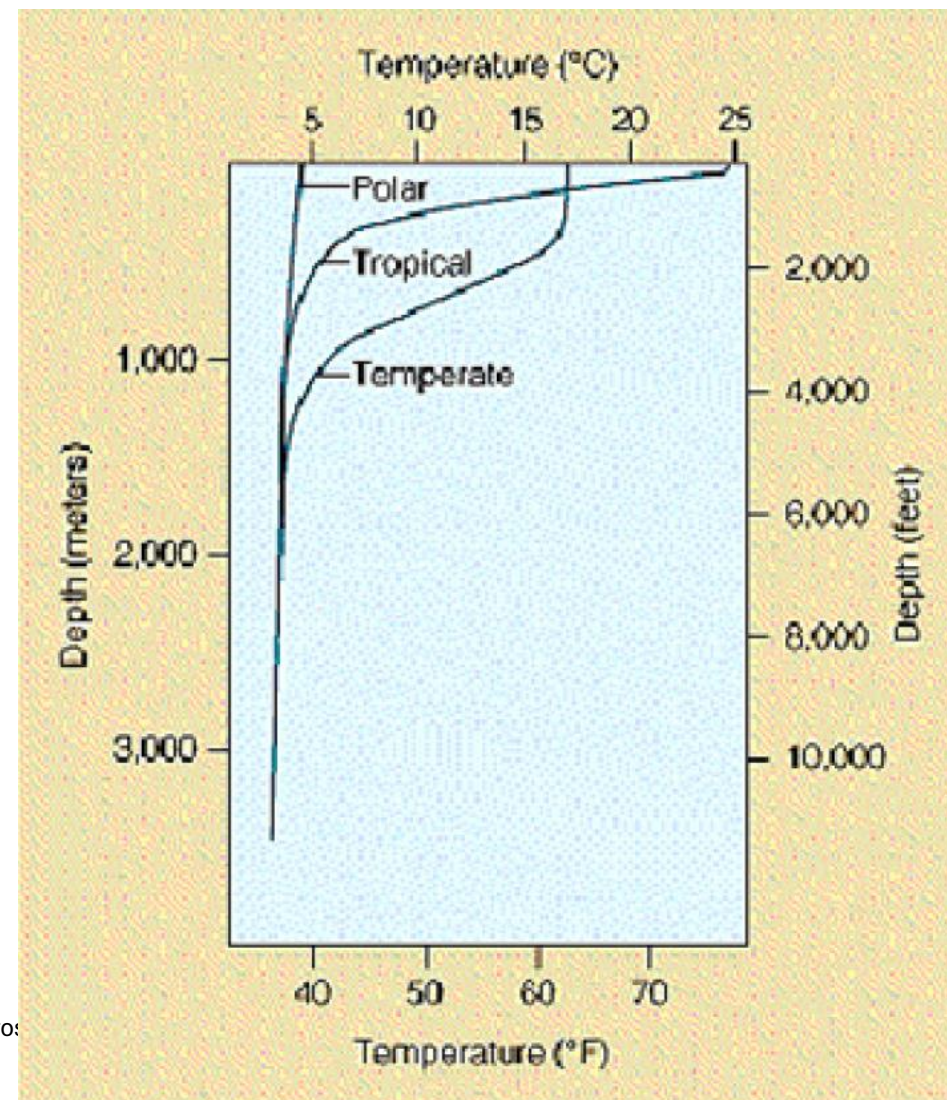
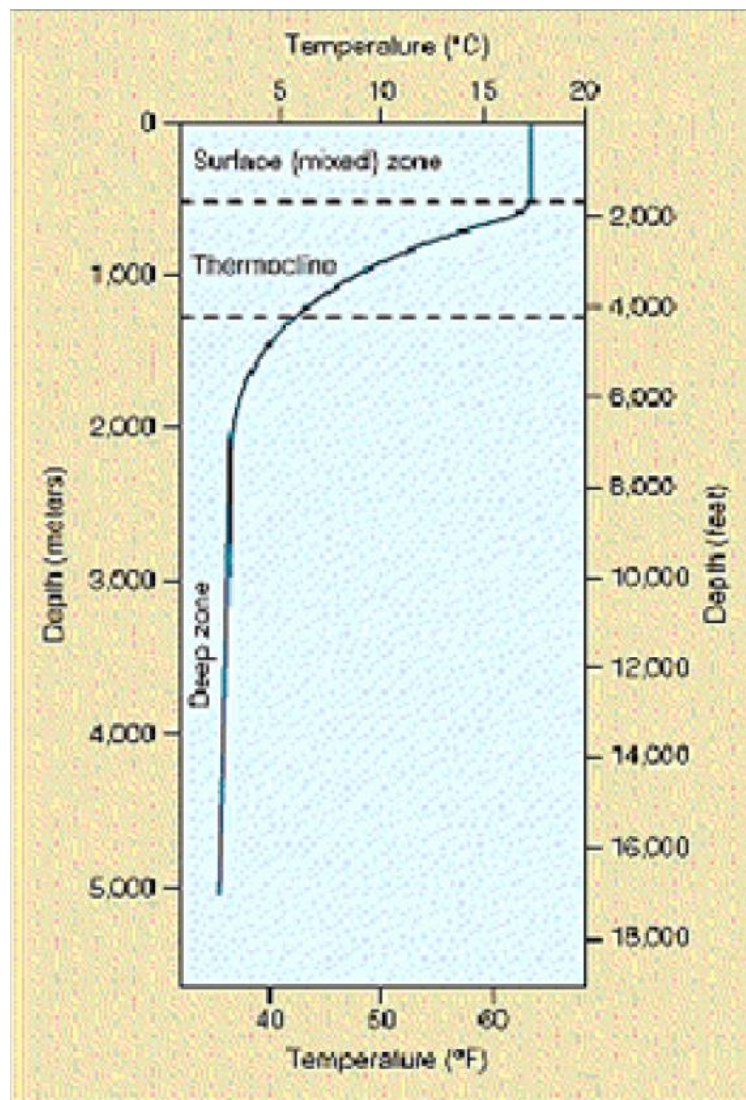


Figure 1.13 South–north vertical section of water properties of the Atlantic Ocean along the western trough as delineated by lines of constant temperature and salinity. N. Atl. Deep = North Atlantic Deep Water; Ant. Bott. = Antarctic Bottom Water; Ant. Int. = Antarctic Intermediate Water; Medit. = Mediterranean Water. [Adapted from Pickard and Emery (1982), based on data from Bainbridge (1976).]

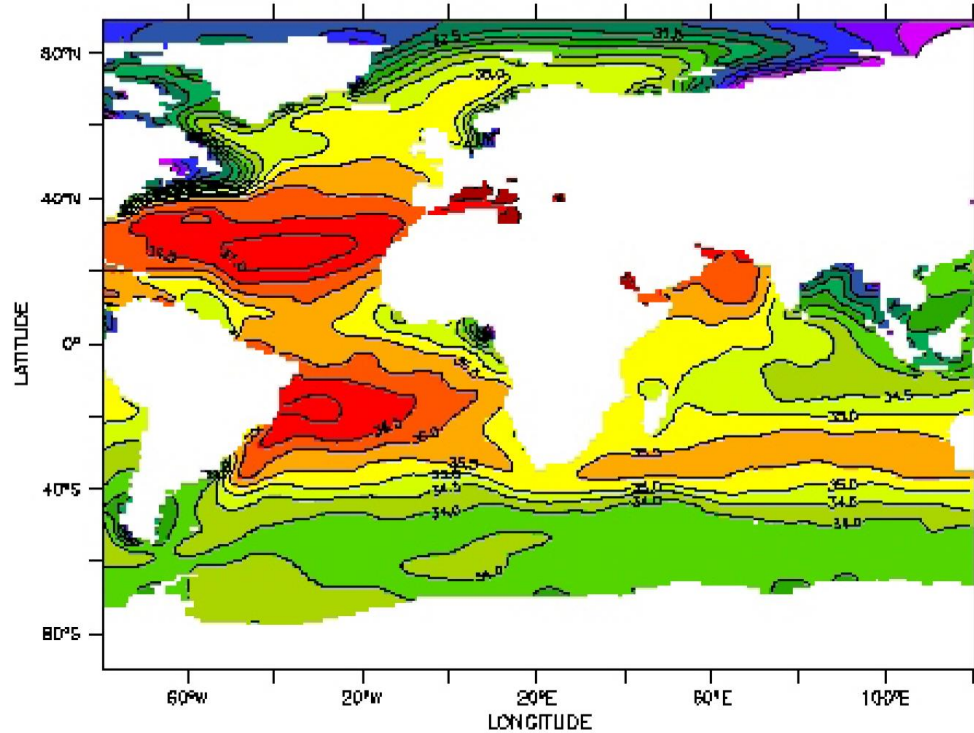
Vnitřní pohyb

- oceanů

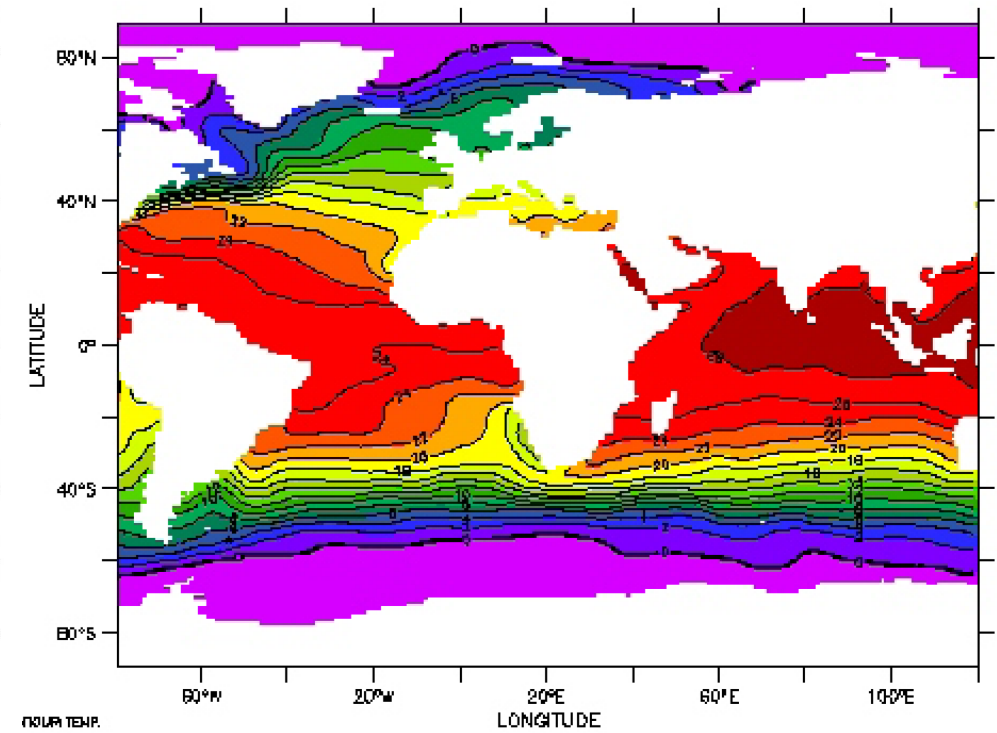


Vnitřní pohyb

o oceány



Salinity at 10m, ann. ave. (Levitus, 1982)



Temperature at 10 m, ann. ave. (Levitus, 1982)

Cykly



Hydrologický cyklus

- Oceány → atmosféra → déšť/sníh → povrchová voda (ledovce, řeky, jezera) → [podzemní voda] → řeky → delty → oceán
Kromě toho modifikované cesty

- Tři typy rezervoárů
 - Geograficky lokalizované „zásobníky“ (oceány, jezera)
 - Migrující rezervoáry pohybující se podle topografie povrchu nebo vnitřních struktur (řeky, podzemní voda)
 - Atmosférická voda

- Pohyb
 - díky rozdílným tepelným vstupům (99,85 % energie dostává Země ze Slunce)
 - atmosféra je prohřívána ze odspodu, oceány jsou prohřívány svrchu – teplý vzduch a voda mají nižší hustotu než chladný vzduch a chladná voda
 - Hustota vody je ještě ovlivněna mineralizací

Obsahy rezervoárů

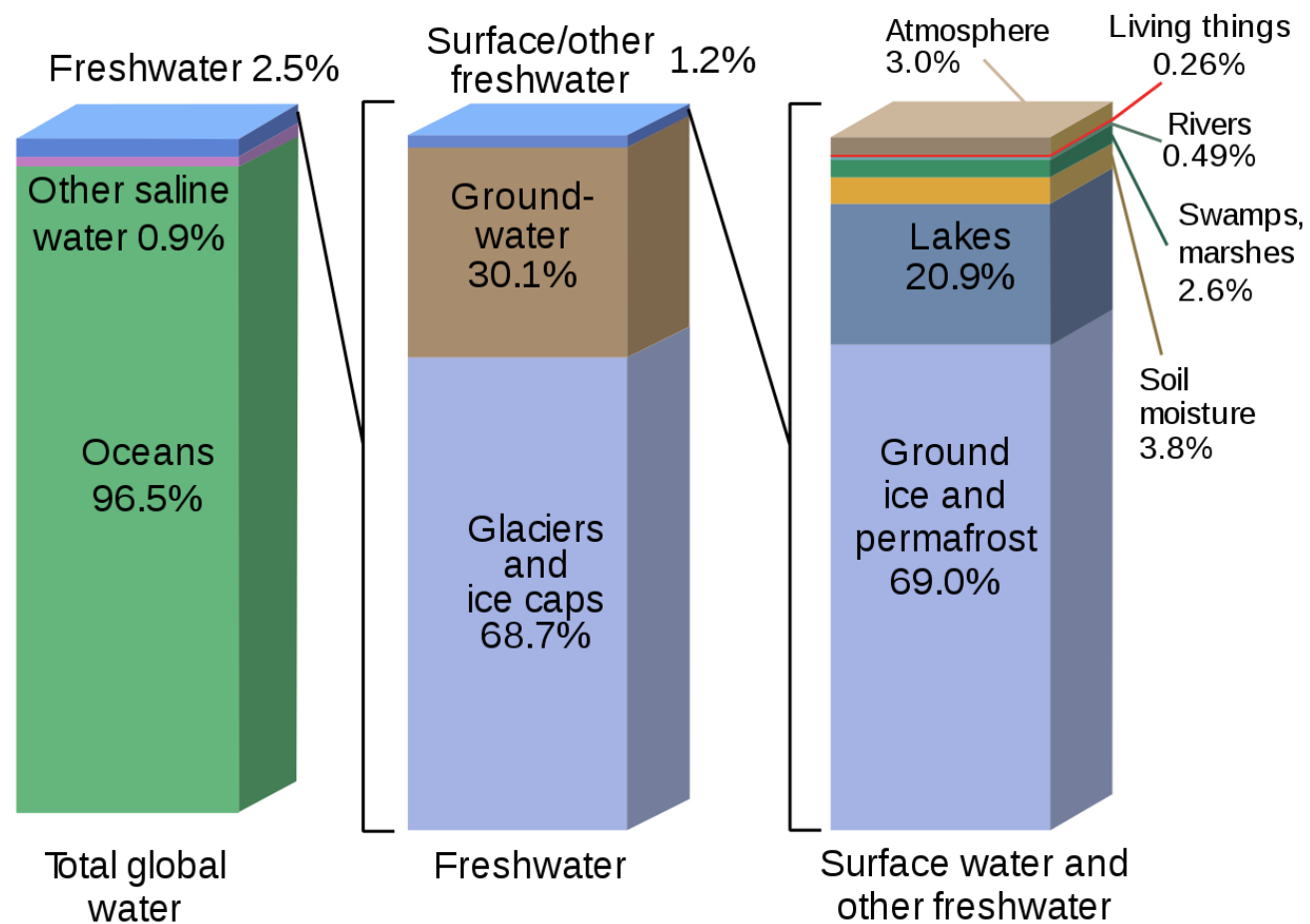
<i>Reservoir</i>	<i>Volume, 10⁶ km³</i>	<i>Percent of Total</i>
Oceans	1370	97.25
Icesheets and Ice caps and glaciers	29	2.05
Deep groundwater (750-4000 m)	5.3	0.38
Shallow groundwater (<750 m)	4.2	0.3
Lakes	0.125	0.01
Soil Moisture	0.065	0.005
Atmosphere*	0.013	0.001
Rivers	0.0017	0.0001
Biosphere	0.0006	0.00004
Total	1408.7	100

Faure: Principles and applications of inorganic geochemistry.

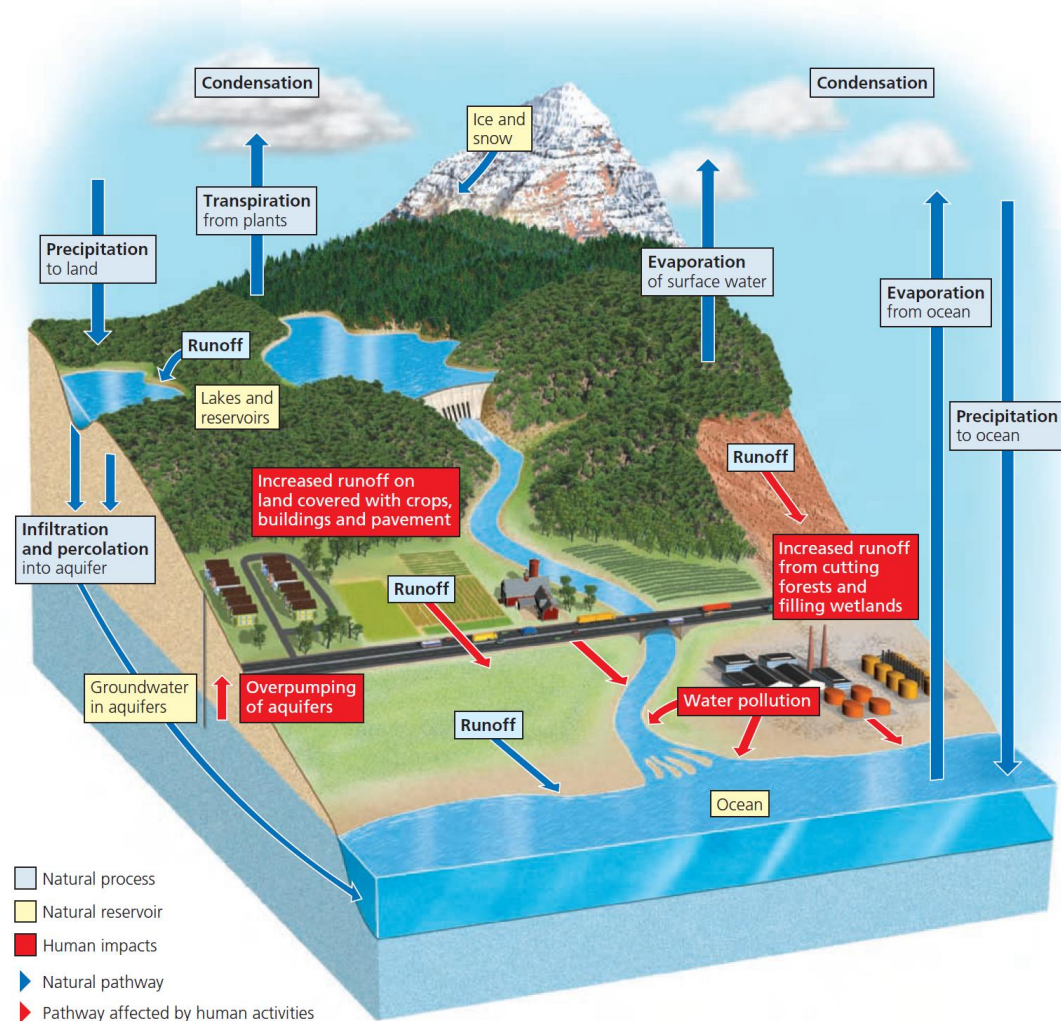
Reservoir	Volume, 10 ⁶ km ³ (10 ¹⁸ kg)	Percent of Total
Oceans	1400.	95.96
Mixed layer	50.	
Thermocline	460.	
Abyssal	890.	
Ice caps and glaciers	43.4	2.97
Groundwater	15.3	1.05
Lakes	0.125	0.009
Rivers	0.00017	0.0001
Soil Moisture	0.065	0.0045
Atmosphere total ^a	0.0155	0.001
Terrestrial	0.0045	
Oceanic	0.0110	
Biosphere	0.00200	0.00010
Total	1459	

Berner, Berner (1996): Global environment.

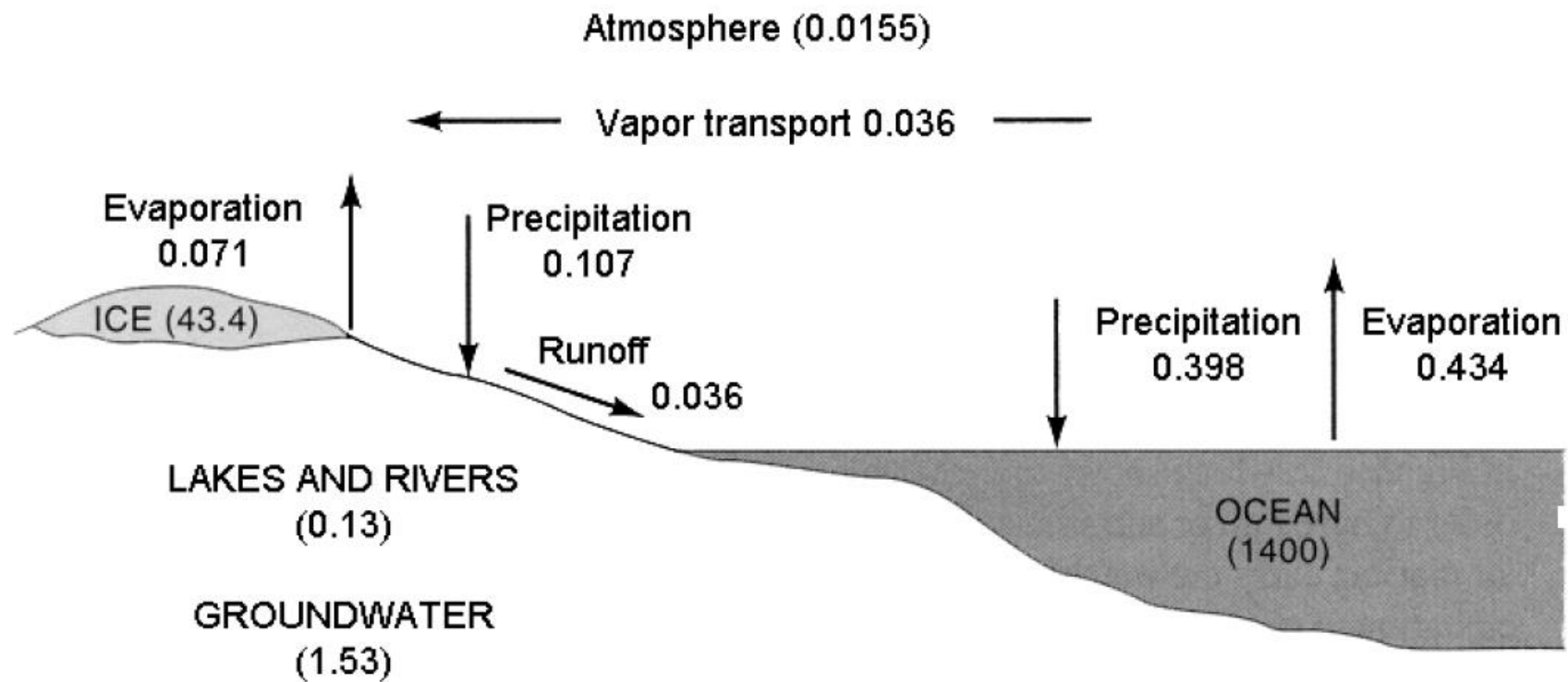
Obsahy rezervoárů



Hydrologický cyklus

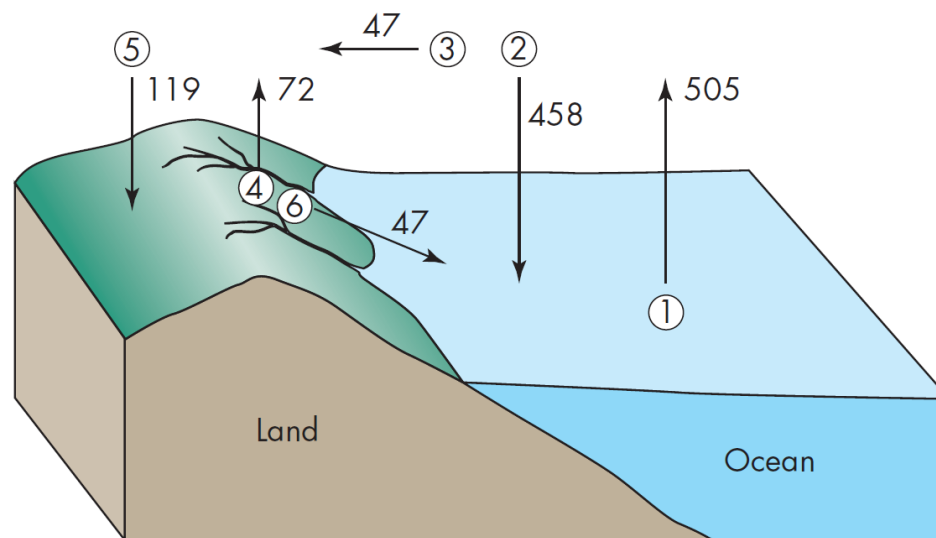
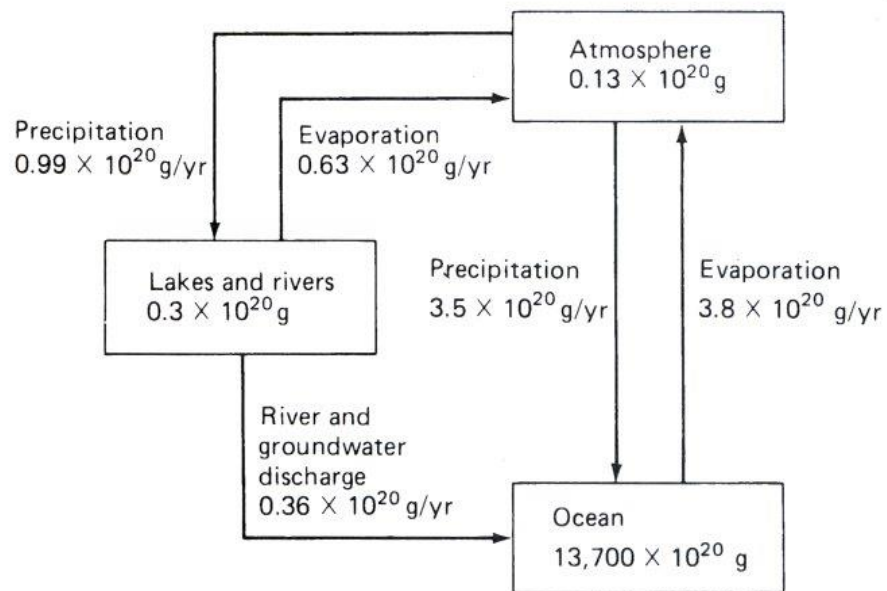


Hydrologický cyklus



Čísla v závorkách jsou obsahy rezervoárů – 10^6 km^3 (10^{18} kg)
Toky jsou uvedeny v $10^6 \text{ km}^3/\text{rok}$ ($10^{18} \text{ kg}/\text{rok}$).

Hydrologický cyklus



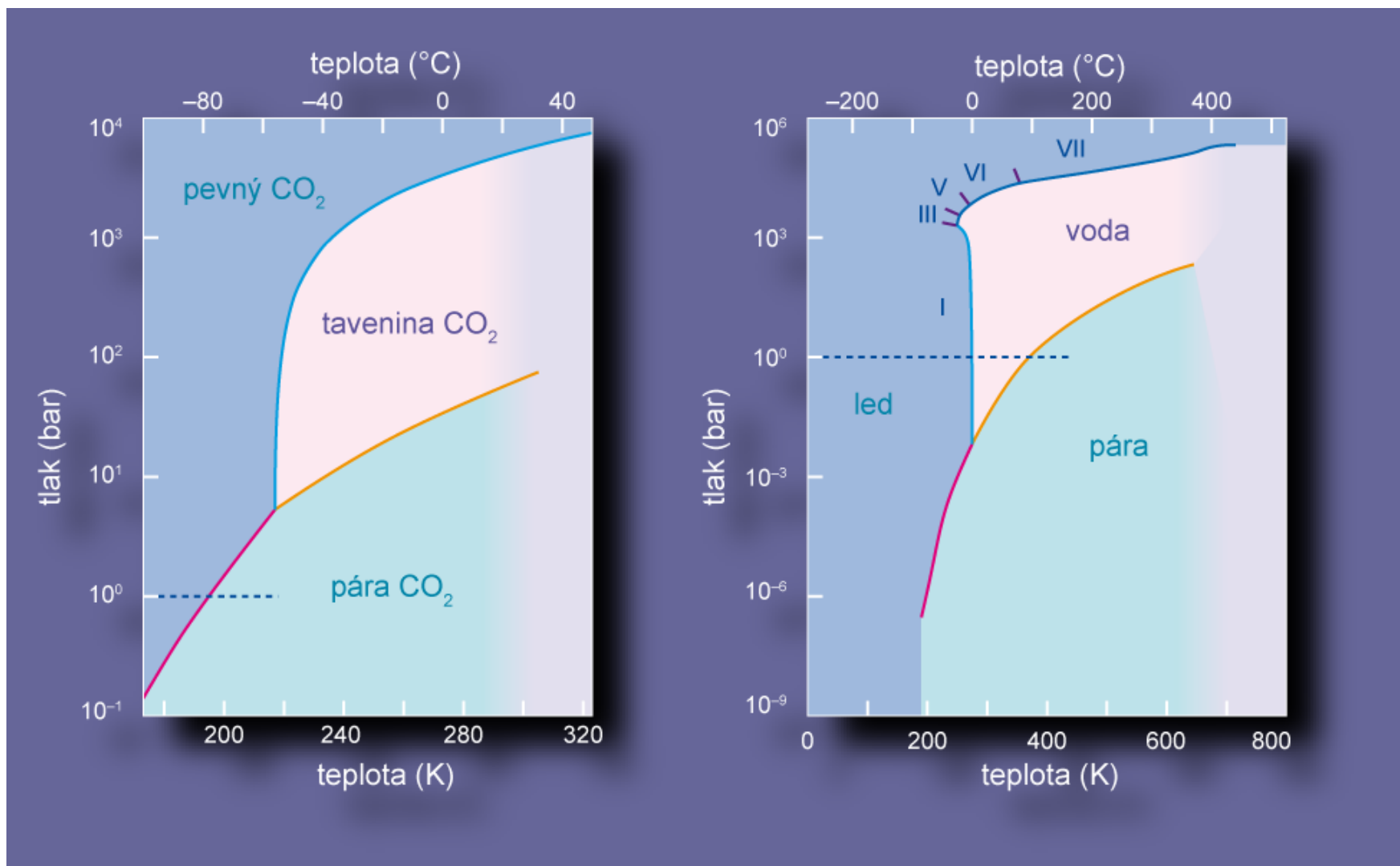
Annual flow of water on Earth in thousands of km^3

- ① Evaporation from oceans to the atmosphere
- ② Precipitation to oceans
- ③ Transfer of water from atmosphere to land
- ④ Evaporation to atmosphere from land
- ⑤ Precipitation to land
- ⑥ Runoff of surface water and groundwater from land to oceans

Example of global water balances:

- Water transferred to land from atmosphere
③ = Water returned to ocean ⑥
- Total evaporation
① + ④ = Total precipitation ② + ⑤

Fázový diagram



Unikátní vlastnosti

vlastnost

vynikající rozpouštědlo

vysoká dielektrická konstanta

vysoké povrchové napětí

transparentní pro viditelné a UV záření

největší hustota kapalném stavu při 4 °C

vysoké výparné teplo

vysoké teplo tání

vysoká tepelná kapacita

působení a význam

transport živin a odpadů, umožňuje průběh biogeochemických procesů

vysoká rozpustnost iontových i málo polárních látek

kontrolní faktor pro fyziologii (kapilarita); kapky a povrchy

bezbarvá, dovoluje fotosyntézu ve vodném prostředí

led plave, izolace od promrznutí, udržení stratifikace

určuje režim přenosu vody mezi atmosférou a vodou

stabilizace teplotního režimu při promrzání

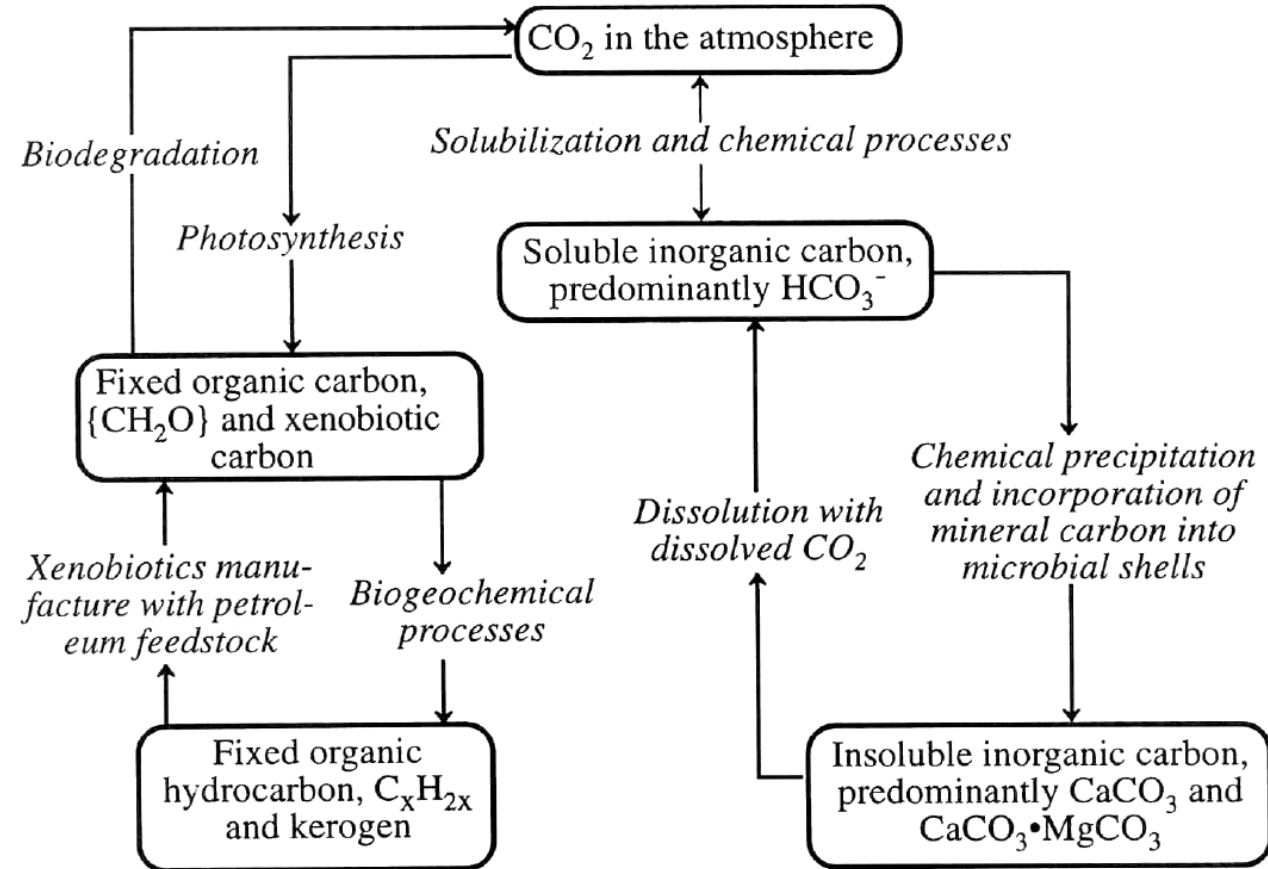
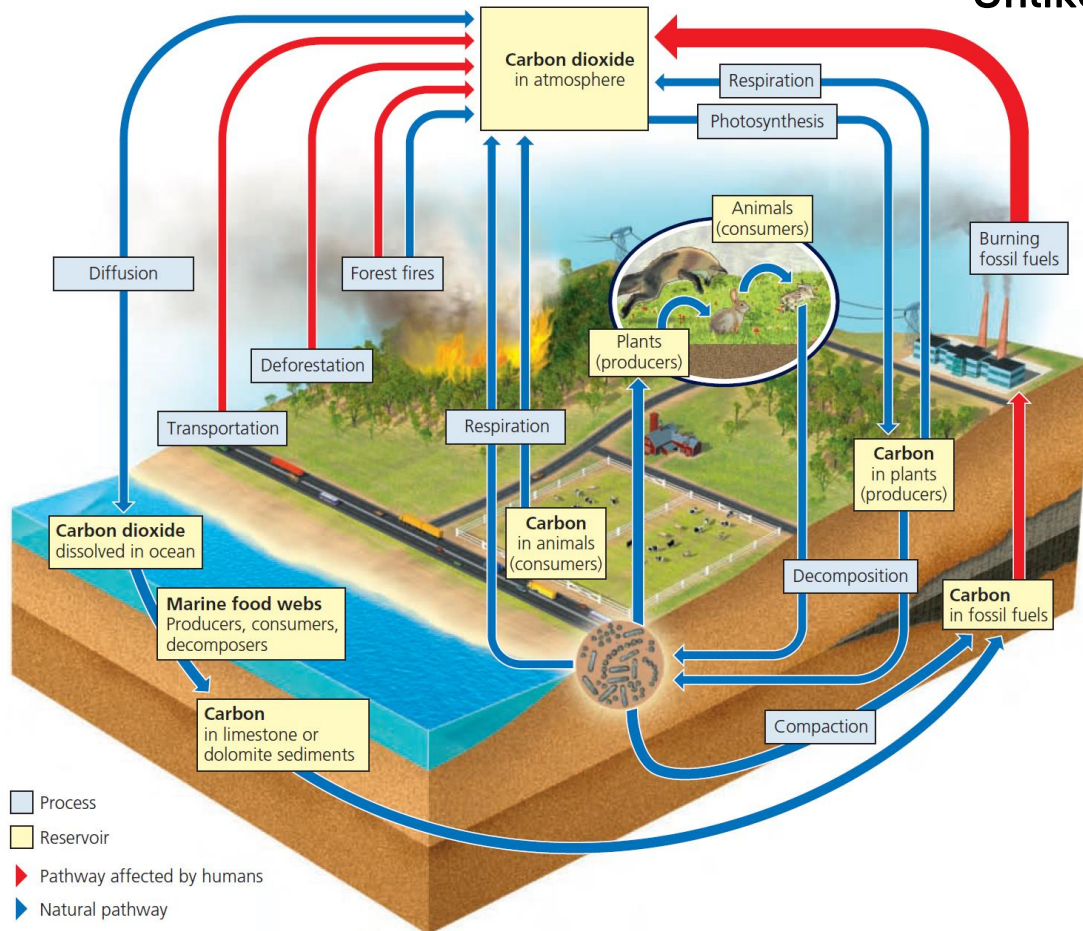
stabilizace teplotních podmínek

Unikátní vlastnosti

vlastnost	působení a význam
vynikající rozpouštědlo	transport živin a odpadů, umožňuje průběh biogeochemických procesů
vysoká dielektrická konstanta	vysoká rozpustnost iontových i málo polárních látek
vysoké povrchové napětí	kontrolní faktor pro fyziologii (kapilarita); kapky a povrchy
transparentní pro viditelné a UV záření	bezbarvá, dovoluje fotosyntézu ve vodném prostředí
největší hustota kapalném stavu při 4 °C	led plave, izolace od promrznutí, udržení stratifikace
vysoké výparné teplo	určuje režim přenosu vody mezi atmosférou a vodou
vysoké teplo tání	stabilizace teplotního režimu při promrzání
vysoká tepelná kapacita	stabilizace teplotních podmínek

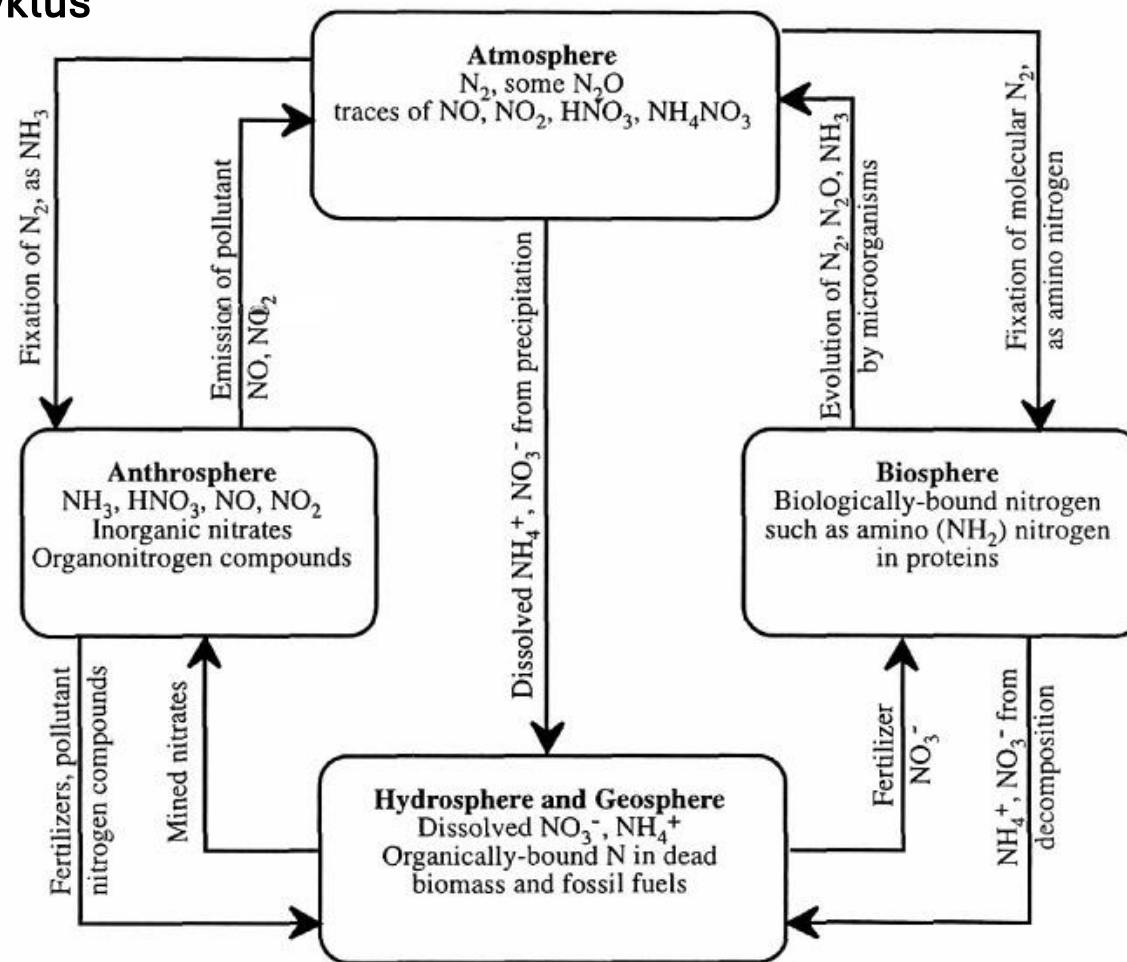
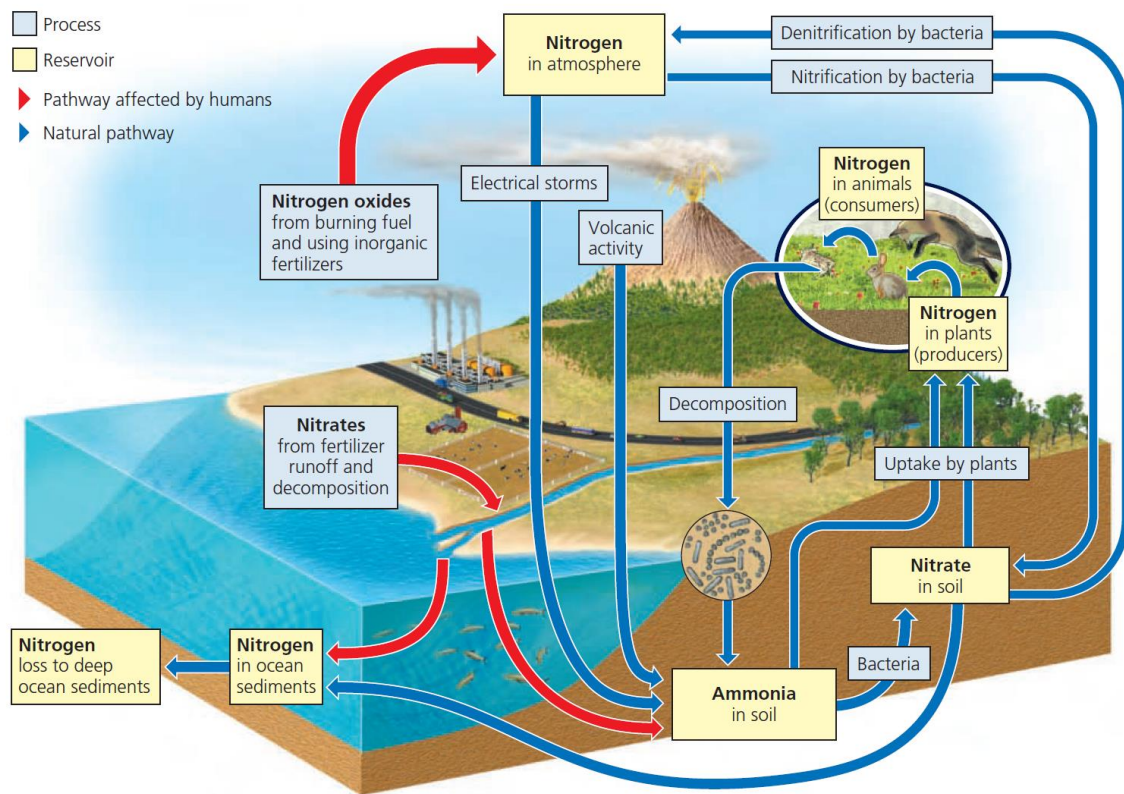
Cykly prvků

Uhlíkový cyklus



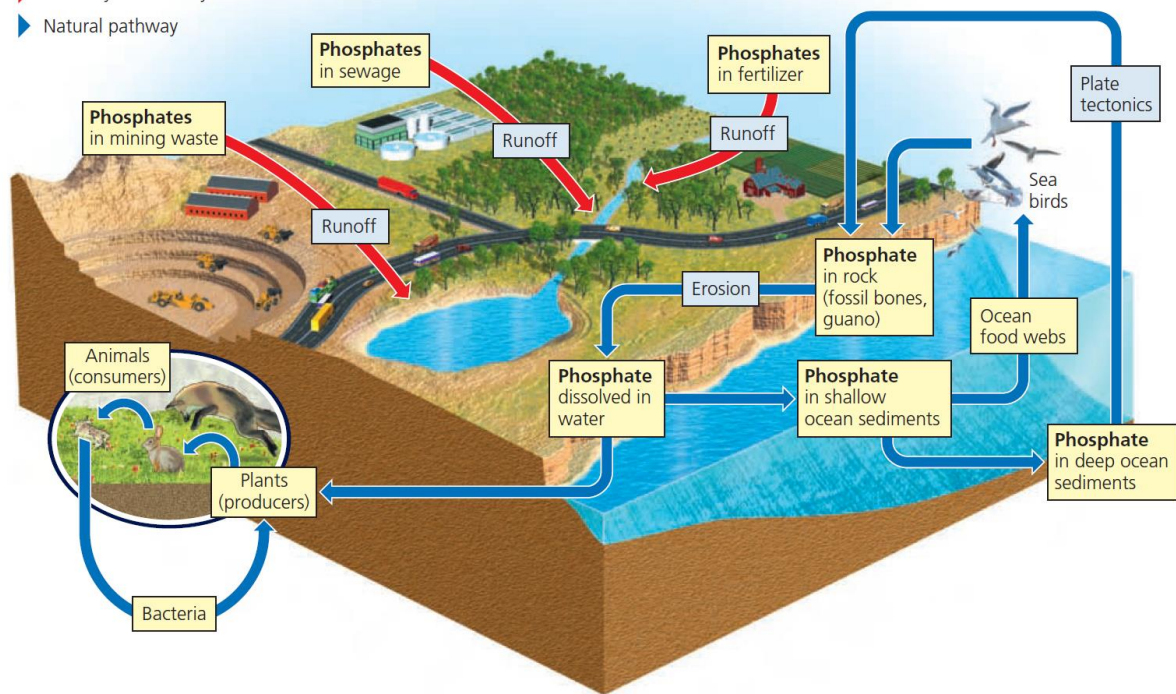
Cykly prvků

Dusíkový cyklus

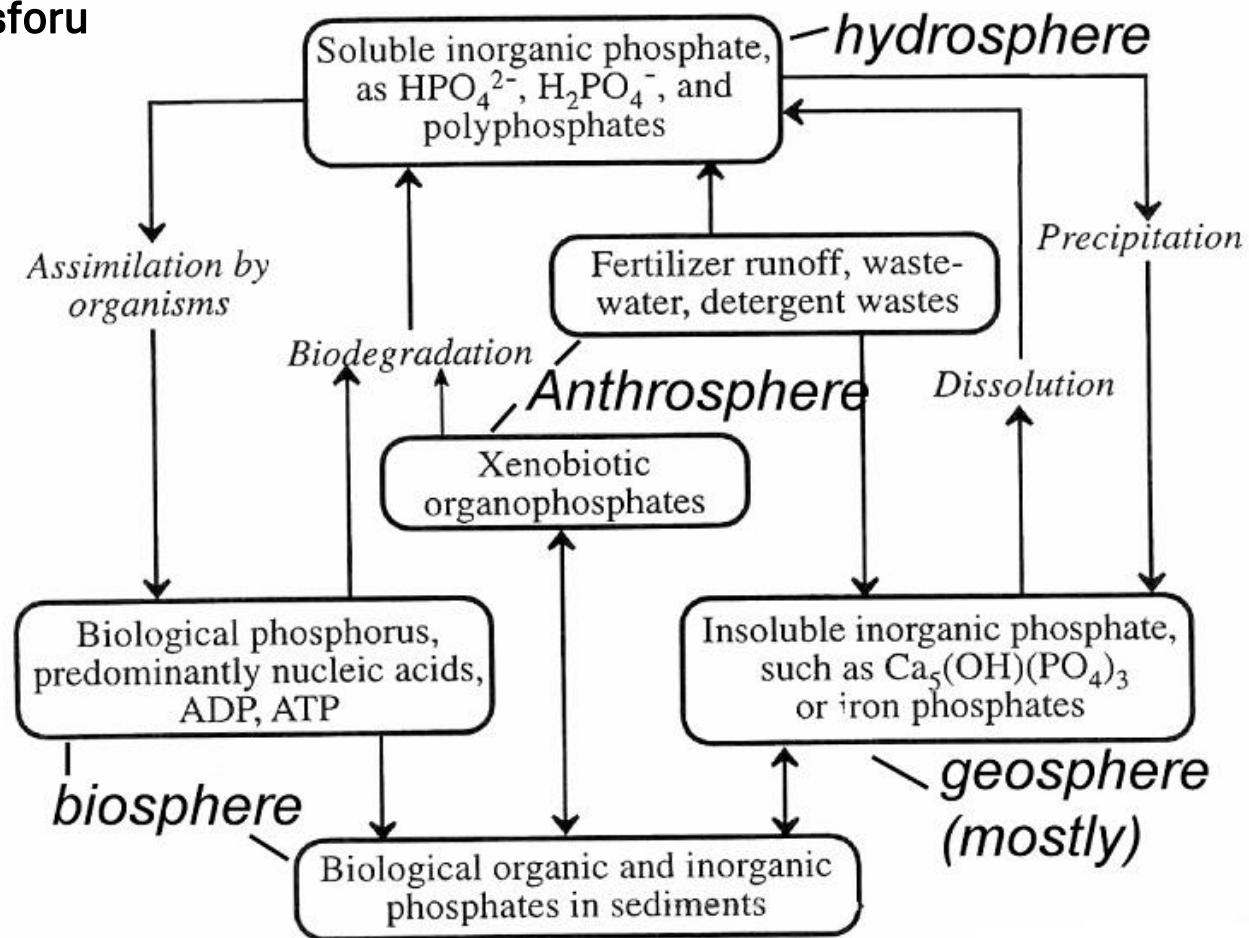


Cykly prvků

- Process
- Reservoir
- ▶ Pathway affected by humans
- ▶ Natural pathway



Cyklus fosforu



Cykly prvků

Cyklus síry

