

MUNI | RECETOX

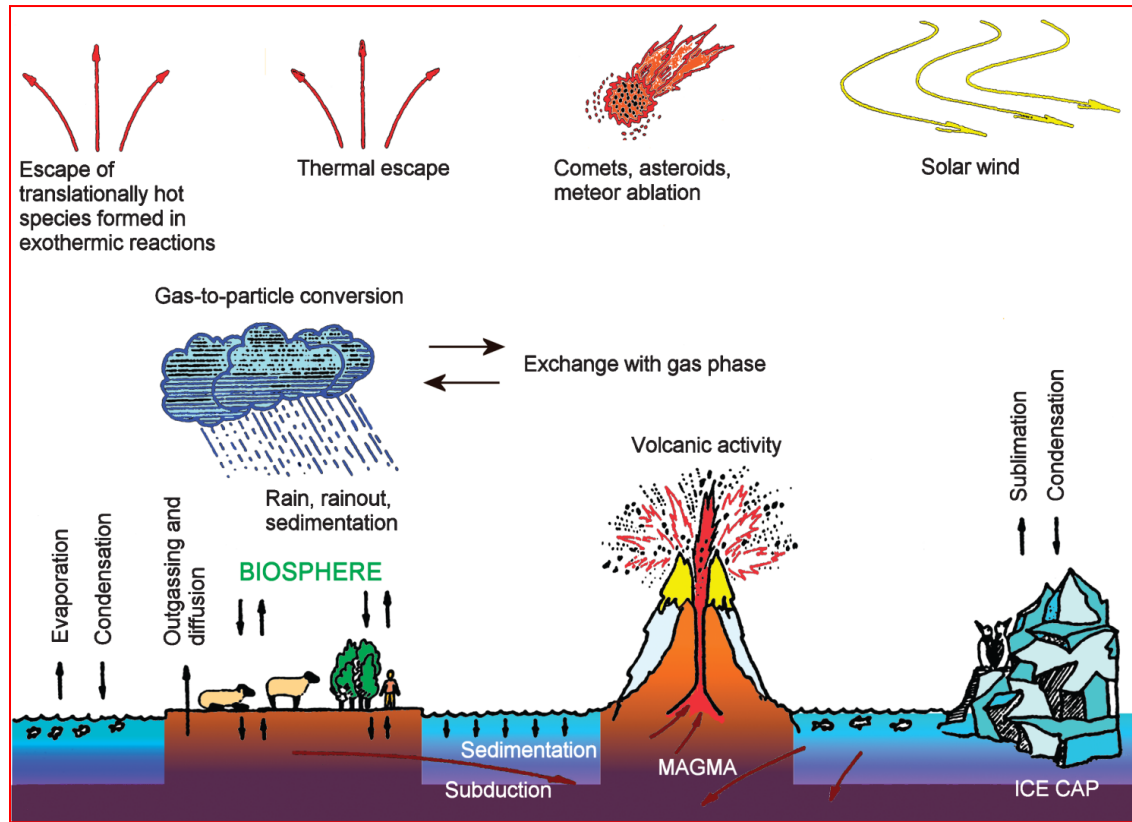
Složky životního prostředí – biogeochemické cykly

Doc. Ing. Branislav Vrana, PhD.
branislav.vrana@recetox.muni.cz

RECETOX
Přírodovědecká fakulta
Masarykova univerzita
Brno, Česká republika



Biogeochemické cykly



**Biogeochemické cykly –
základní pojmy.**

**BGC cyklus uhlíku,
dusíku, síry, fosforu,
mikrobiogenních prvků a
toxických kovů.**

Osud chemických látek v prostředí

Chemické a biochemické procesy v přírodě

Biogeochemické cykly

Základní faktor udržení ekologické rovnováhy:

- Chemické procesy (abiotické)
- Biochemické procesy (působení mikroorganismů)

Antropogenní procesy:

- Chemicko-technologické
- Chemizace hospodářství

Přírodní chemické procesy (bez zásahu člověka):

- Geochemické – rozpouštění, hydratace, hydrolýza, redox, vznik uhličitánů
- Jaderné reakce
- Přejít z chemického na biologický vývoj

Makro- a mikrobiogenní prvky

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 **box model** (i velmi zjednodušený), který bude správně popisovat biogeochemické chování prvku v celém zemském systému

Nejdůležitější cykly (kritické pro udržení života):

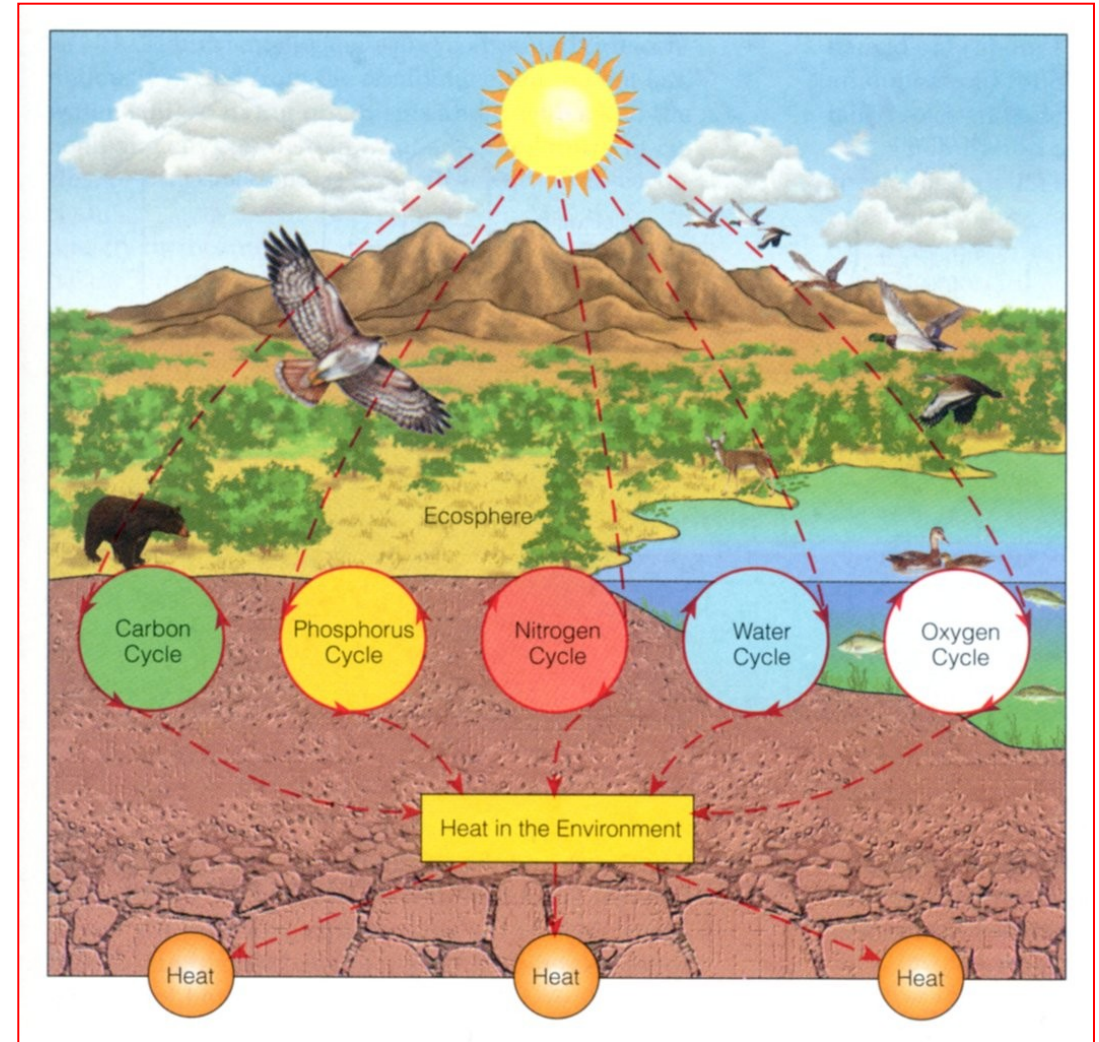
uhlík, dusík, síra, fosfor, kyslík

Biogeochemické cykly

Biogeochemické cykly =
Σ hydrologického + geologického
+ ekologického cyklu

Normální, nenarušené cykly –
téměř uzavřený charakter,
účinnost: 90 – 98 %

Antropogenní narušování



Vliv antropogenních aktivit na BGC cykly

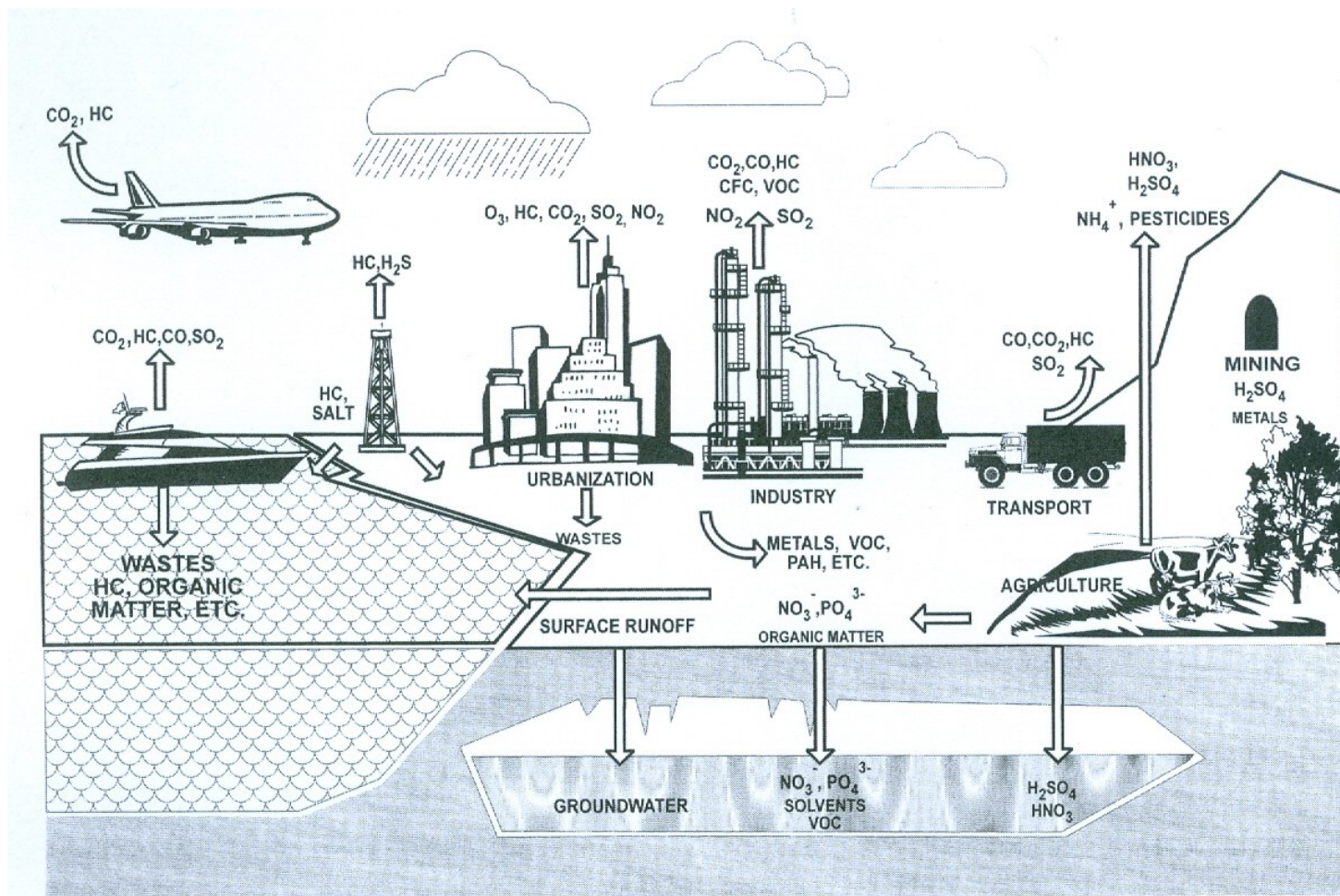
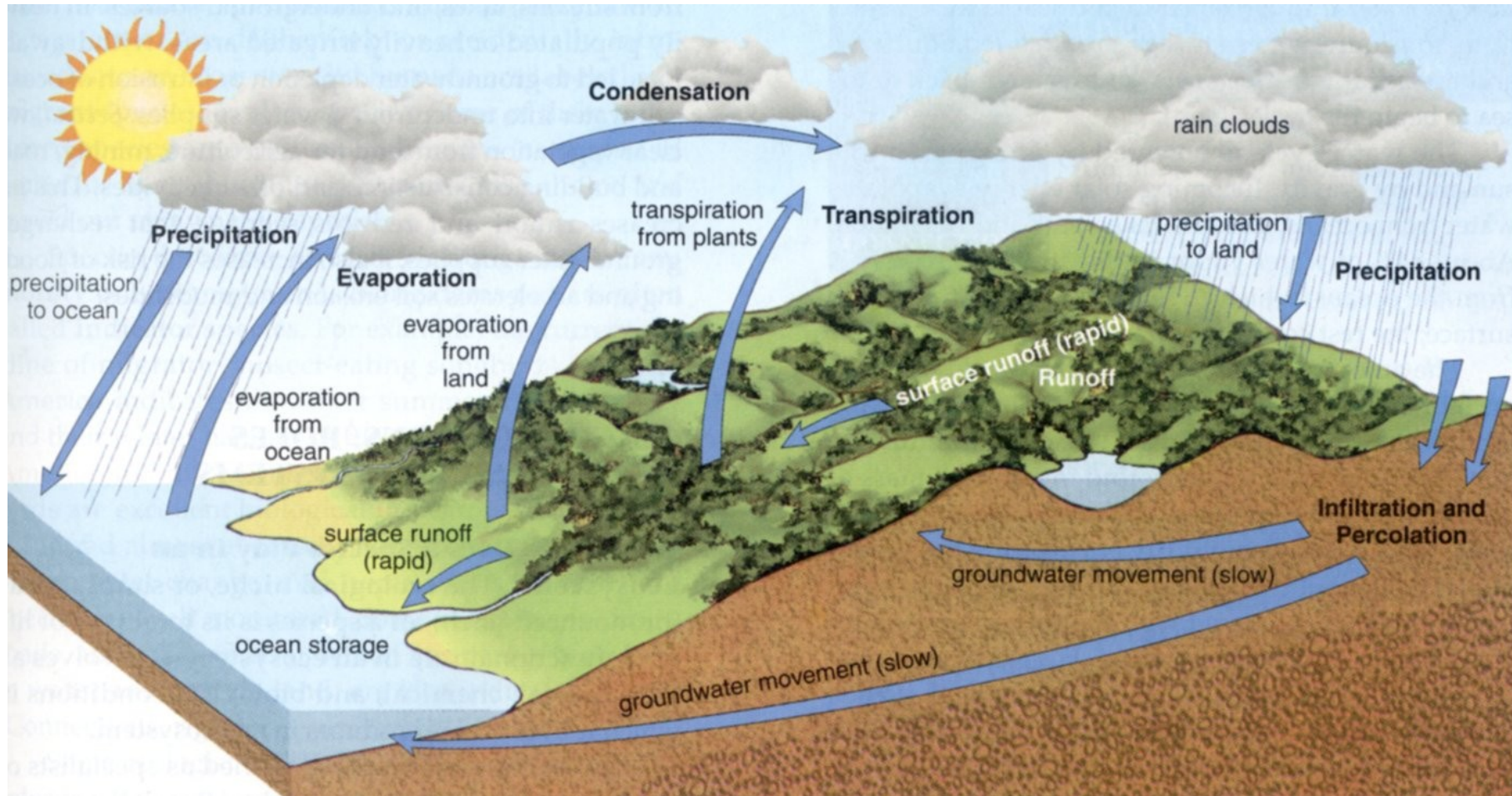
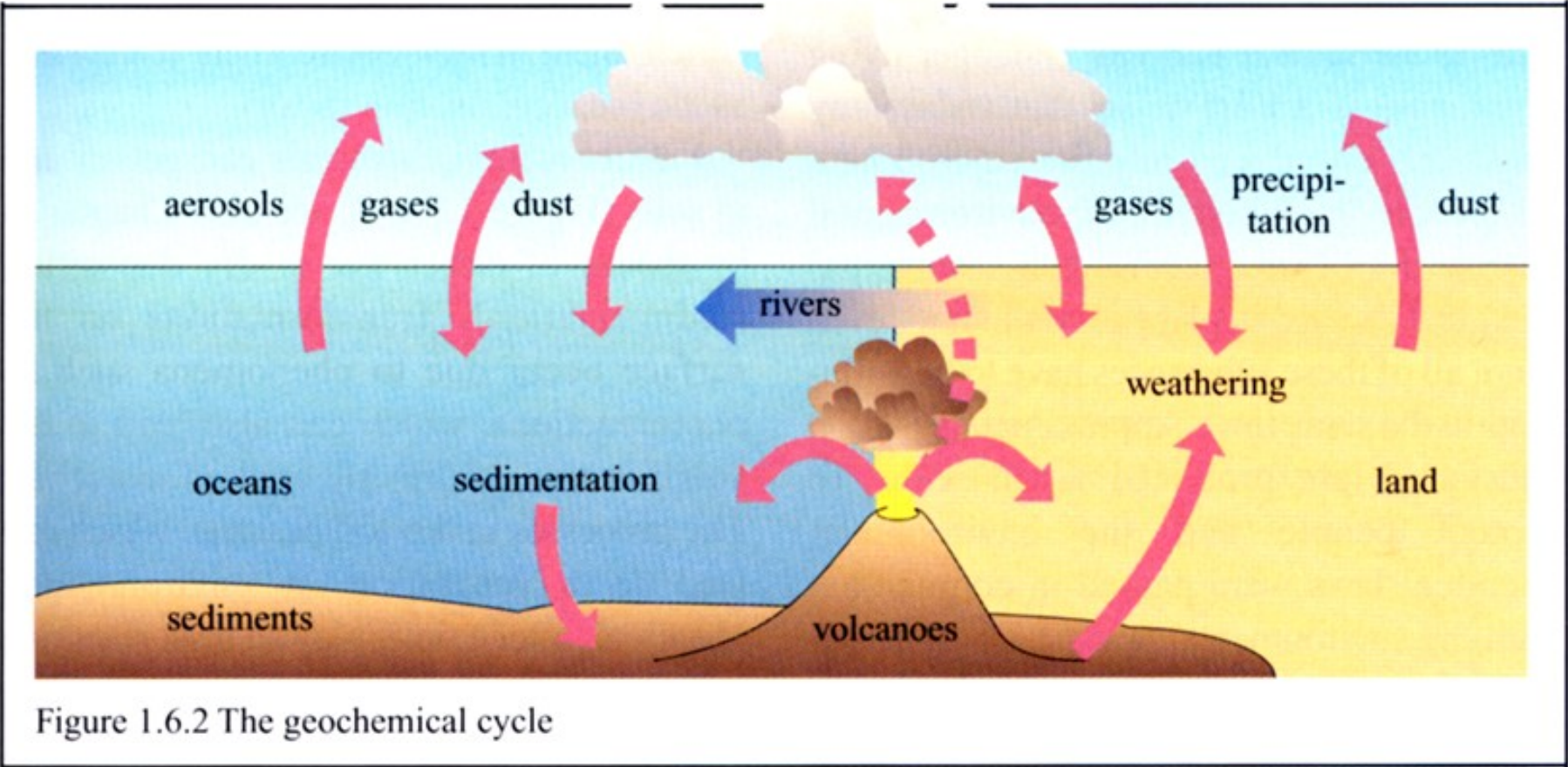


FIGURE 1.2. Contributions of human activity to the environmental load, modifying the biogeochemical cycles.

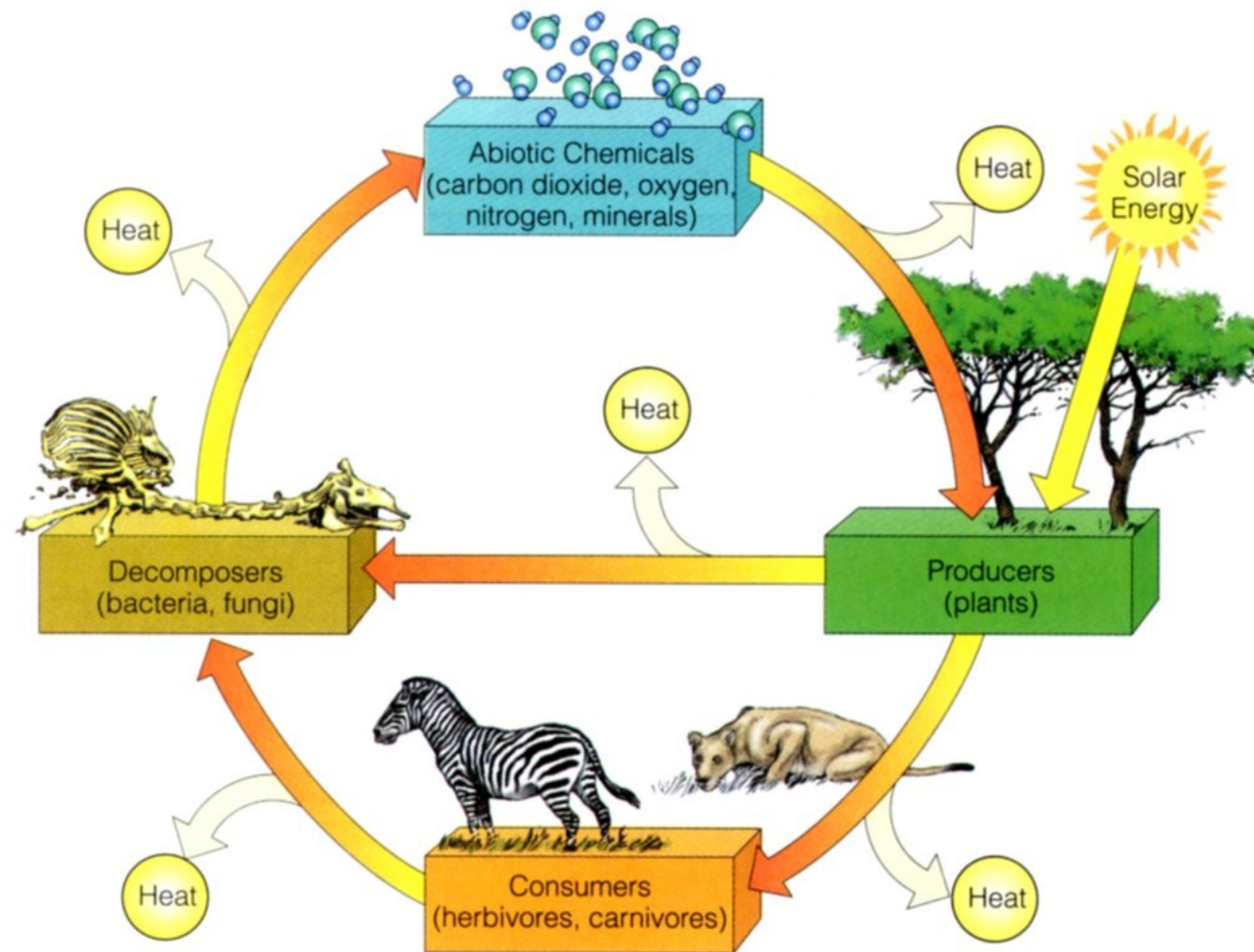
Hydrologický cyklus



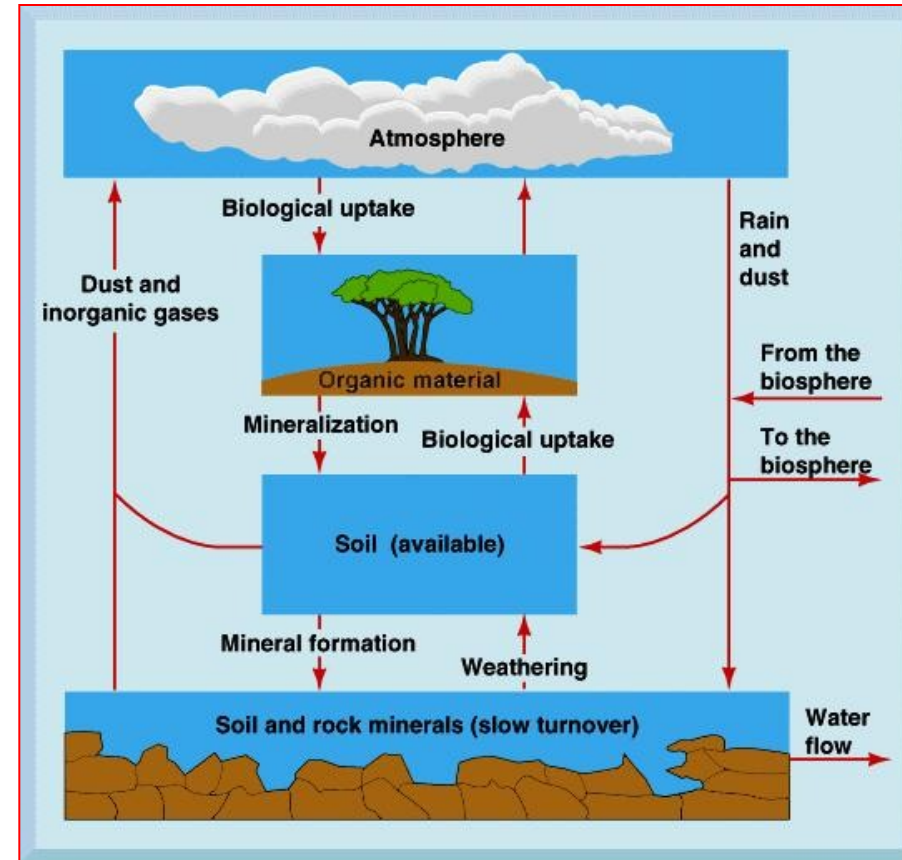
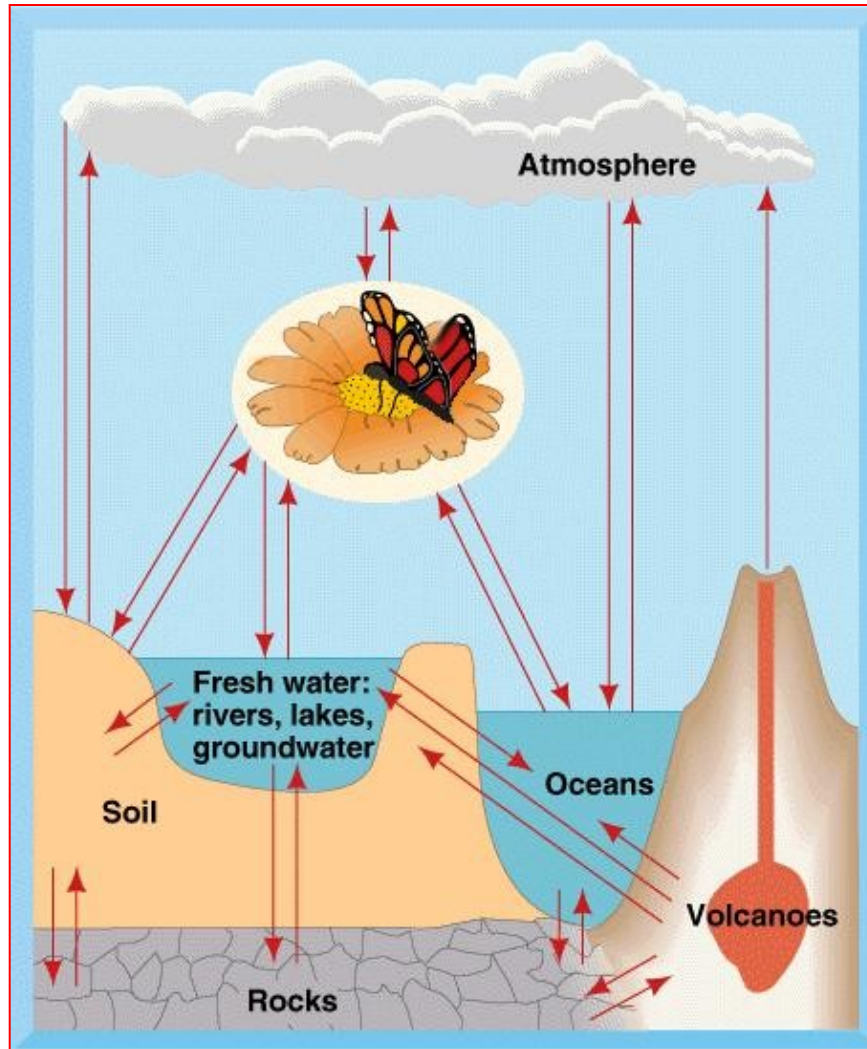
Geochemický cyklus



Biochemický cyklus



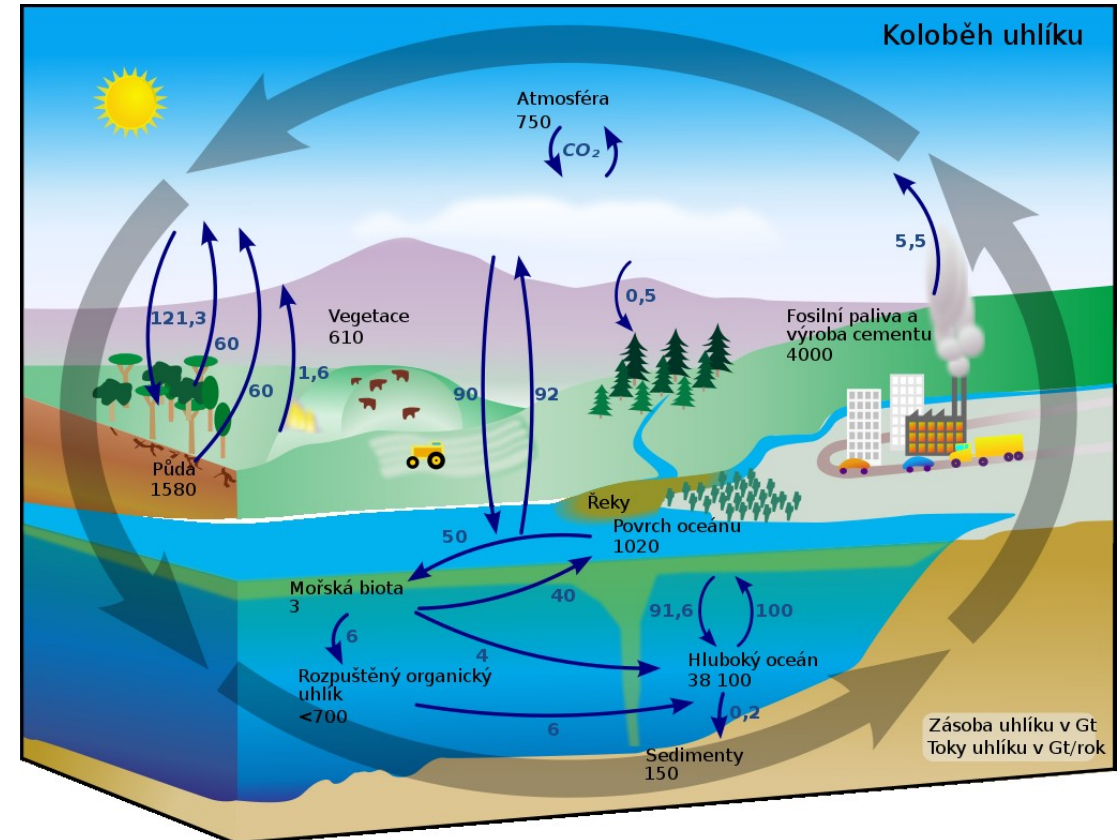
Biogeochemické cykly



Biogeochemický cyklus uhlíku

Mezi zemské rezervoáry uhlíku patří:

- **hydrosféra** (rozpuštěný oxid uhličitý a organická hmota) - téměř 40 000 gigatun.
- **sedimenty** - uhličitany (uhličitan vápenatý, anglicky calcareous sediment obsahuje 80 000 000 gigatun), látky s obsahem uhlíku, včetně fosilních paliv, která se odhadují na 746 gigatun.
- **atmosféra (CO₂)** - okolo 800 gigatun
- **biosféra (organická živá i neživá hmota)** – okolo 1900 gigatun.



Biogeochemický cyklus uhlíku

Uhlík se nachází se ve všech velkých systémech a rezervoárech.

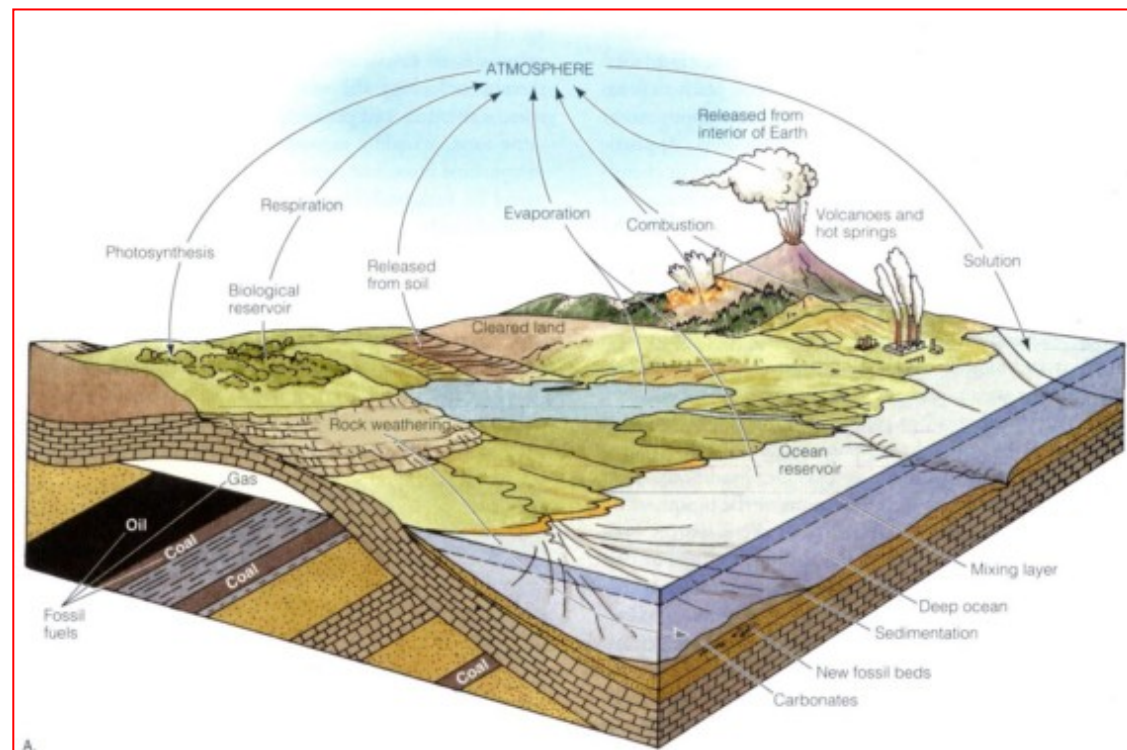
Biosféra: základní stavební částice živých organismů

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

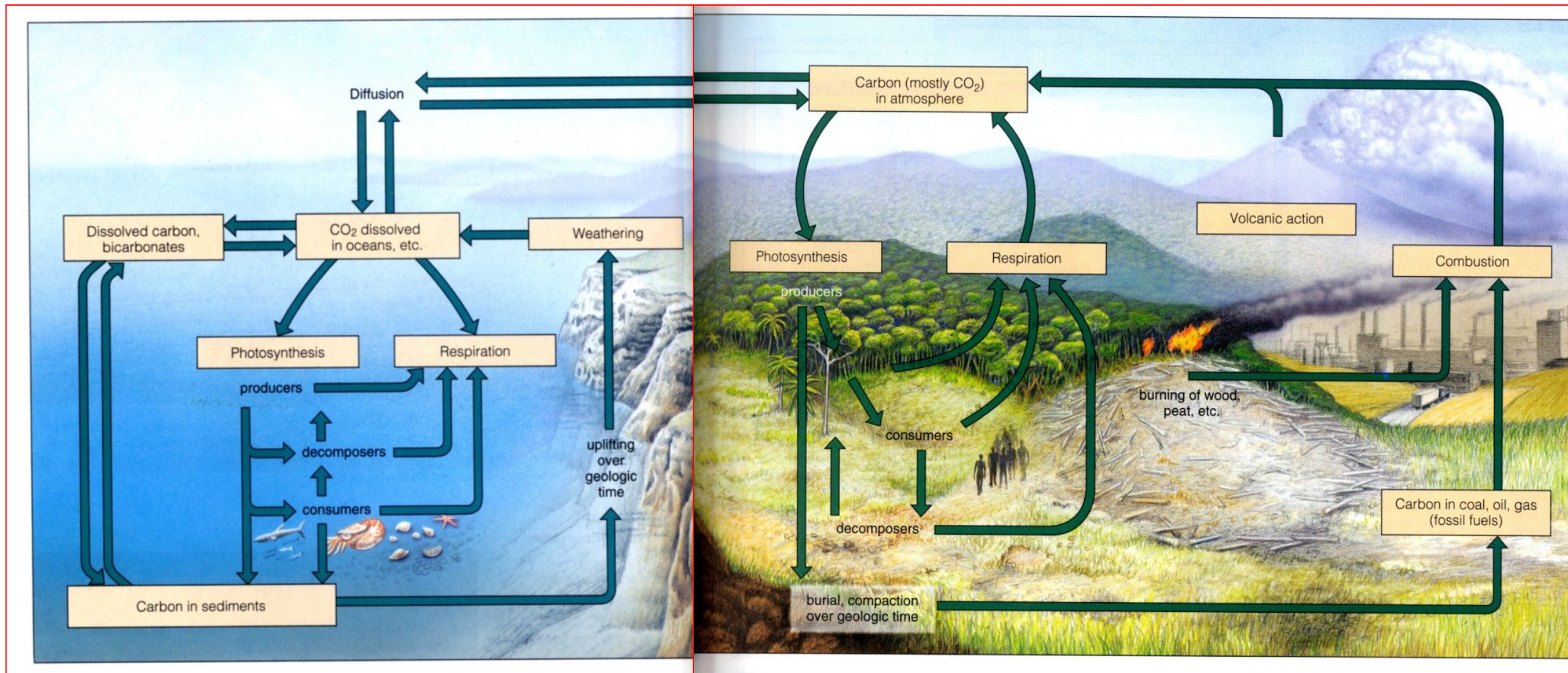
Hydrosféra: (rozpuštěný CO_2 a karbonátové látky)

Atmosféra: (CO_2 , CH_4 ...): 0,036 %

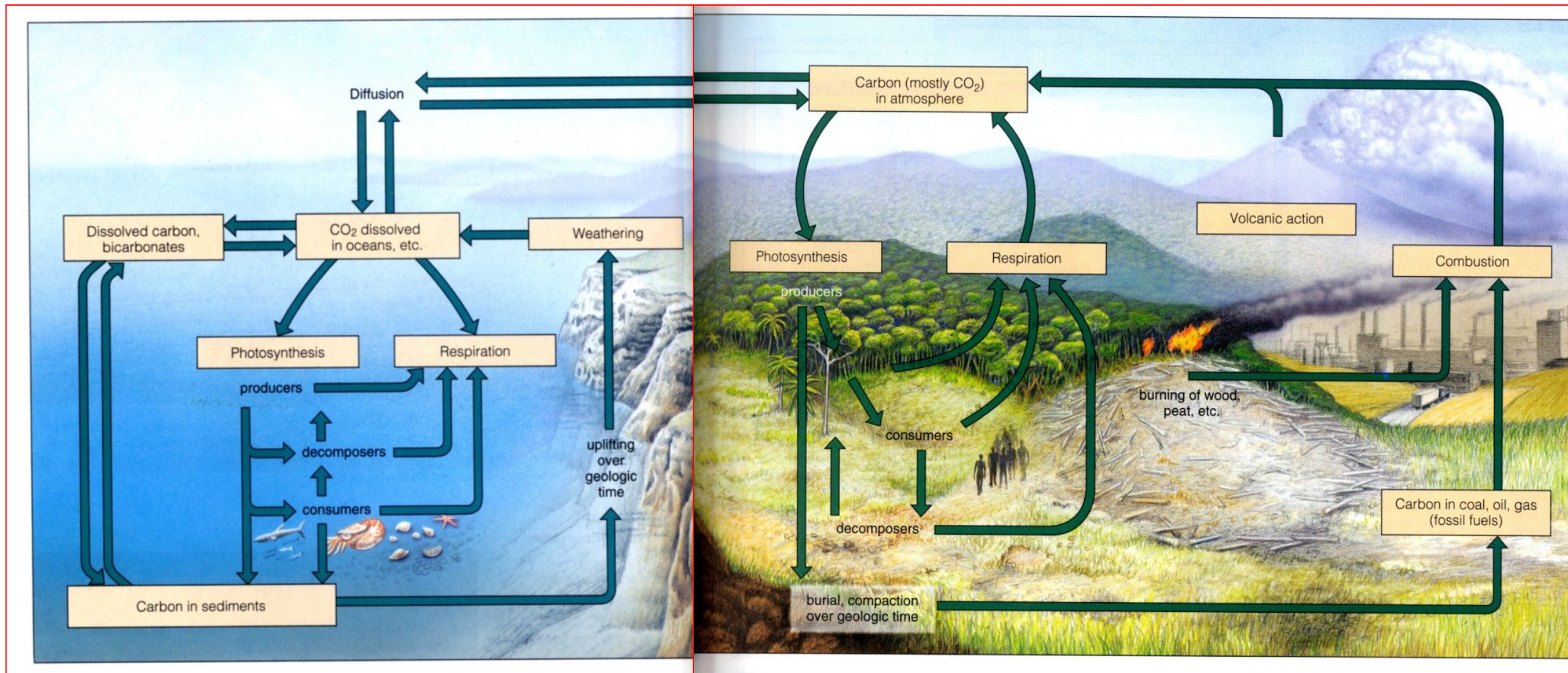
Největším rezervoárem uhlíku jsou oceánské a pevninské sedimenty.



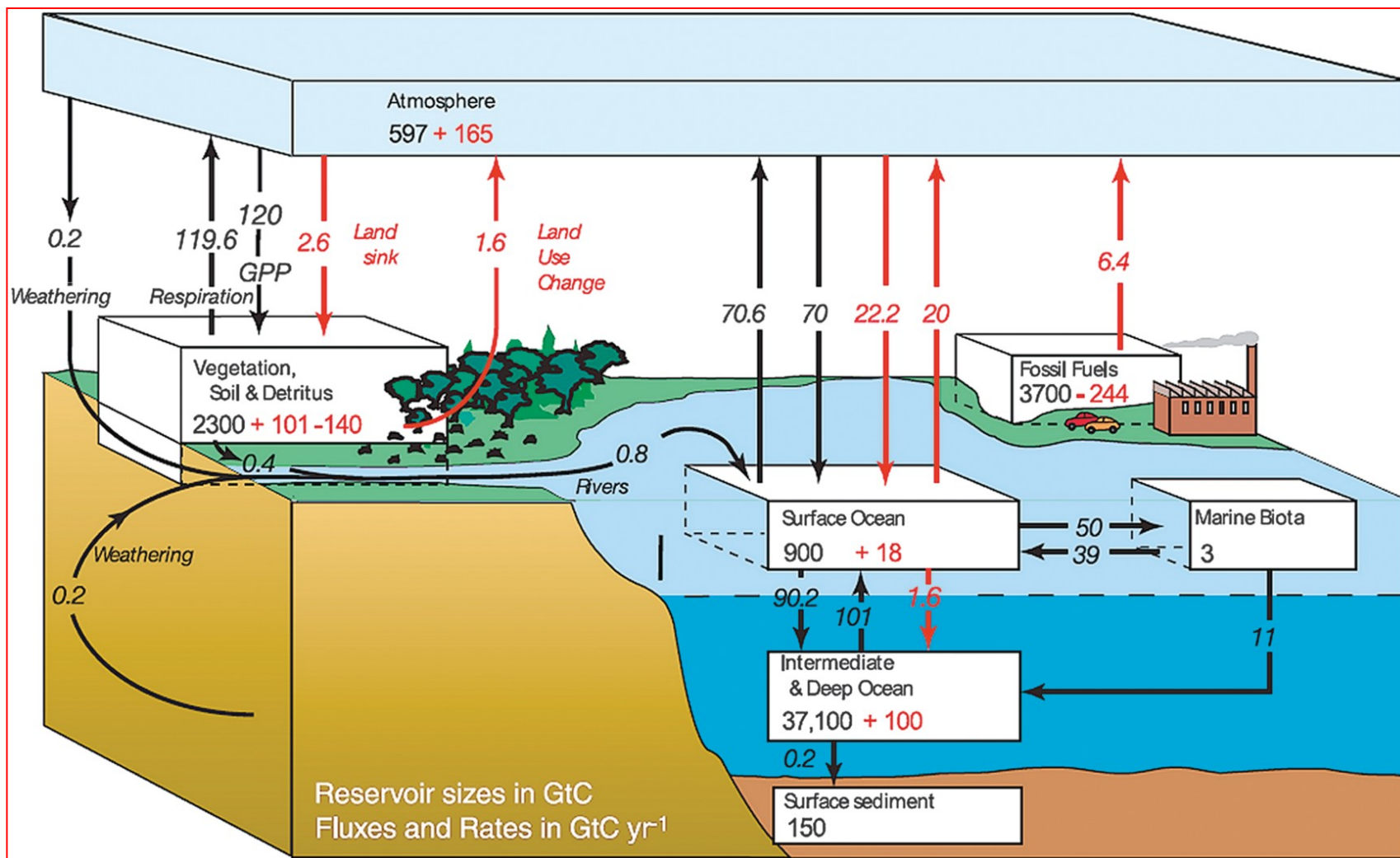
Biogeochemický cyklus uhlíku



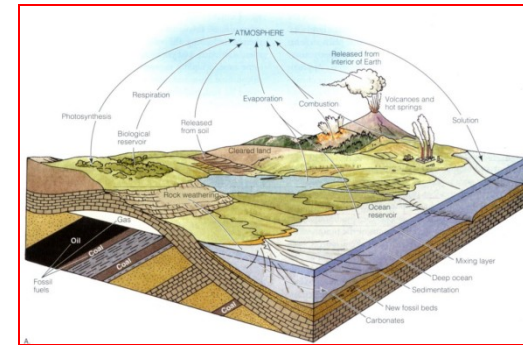
Biogeochemický cyklus uhlíku



Biogeochemický cyklus uhlíku



Biogeochemický cyklus uhlíku

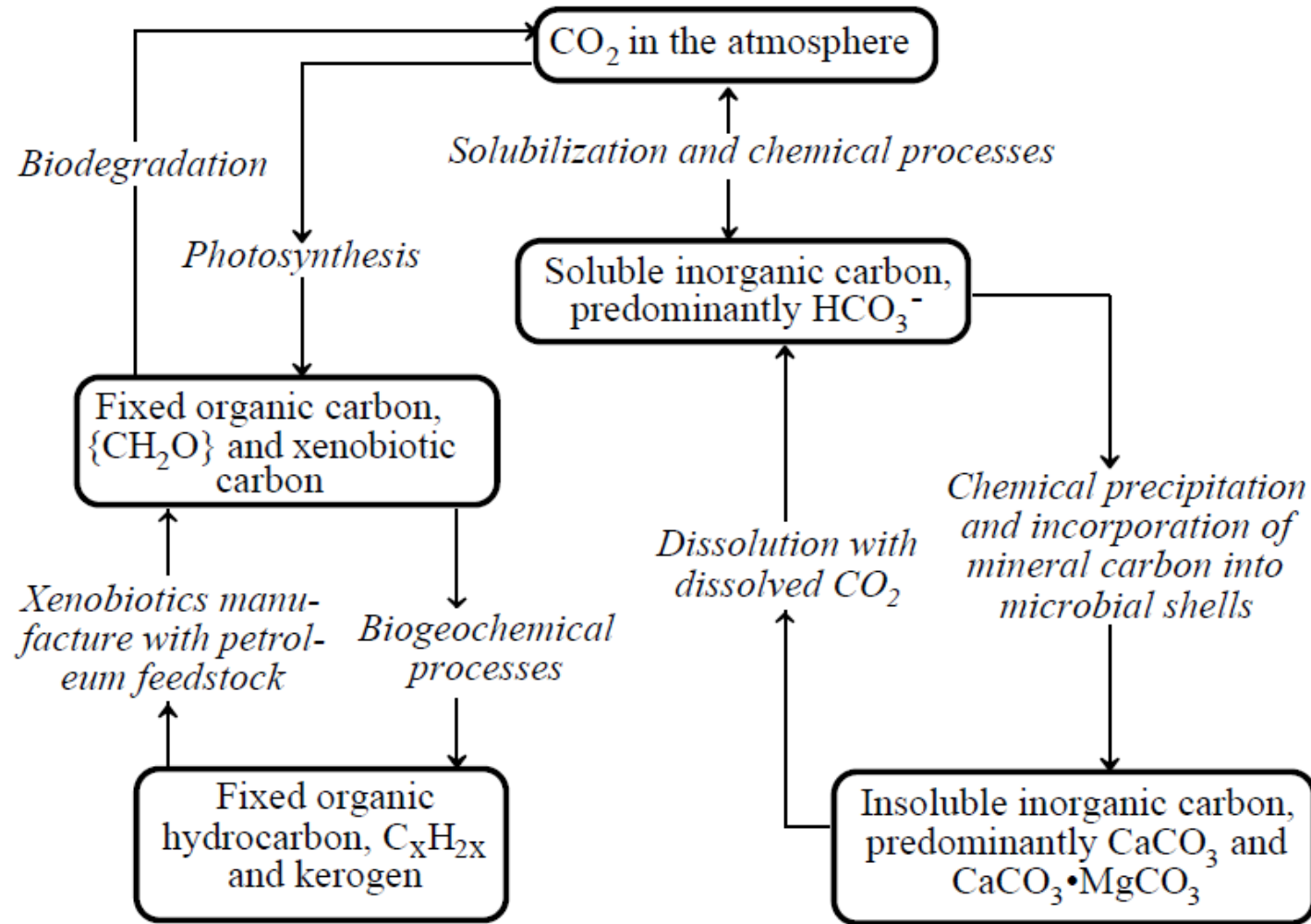


Tři části:

- **Biologický** – výměna látek v živých organismech – 20 let
- **Biogeochemický** – část biomasy z biochemického cyklu přechází do sedimentů, ze kterých se postupně uvolňuje – 20 000 let
- **Geochemický** – vznik uhličitánů a jejich ukládání v mořích a oceánech – 200 000 000 let

Antropogenní ovlivnění – zvyšování koncentrace CO₂ spalováním fosilních paliv

Biogeochemický cyklus uhlíku



Biogeochemický cyklus uhlíku – antropogenní vlivy

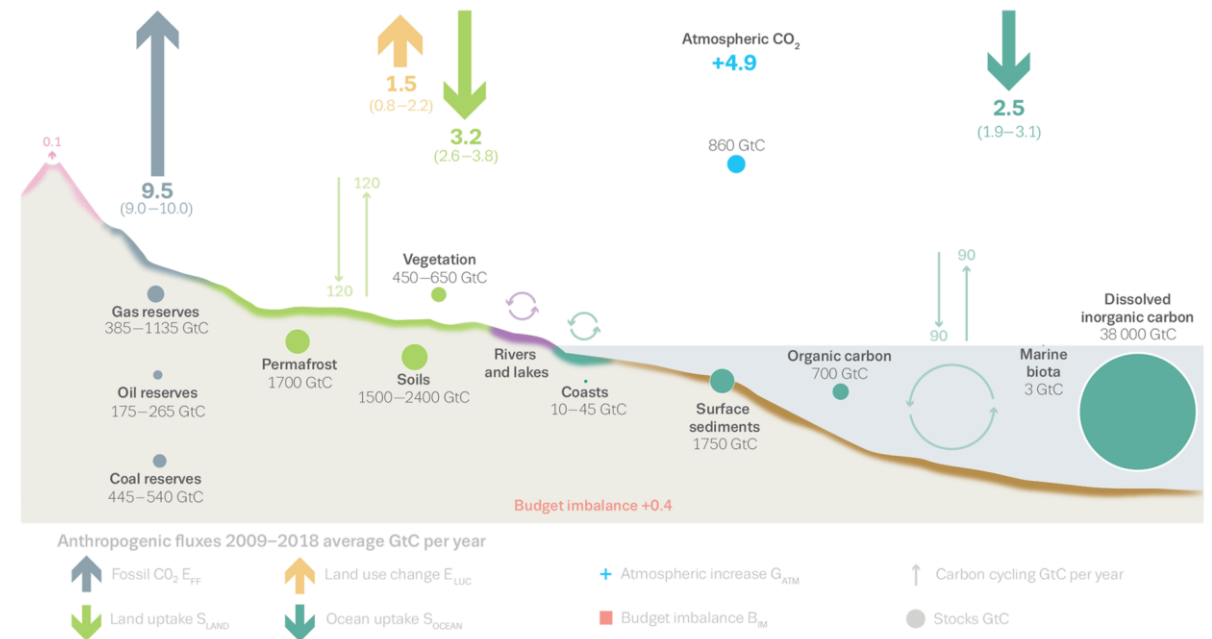
Do atmosféry se dostává ročně **9.5 miliard t CO₂** spalováním fosilních paliv (2009-2018)

Dále kolem **2 miliard t ročně** odlesňováním

Dva důsledky – místo přirozené spotřeby CO₂ z atmosféry dochází ke vstupu CO₂ do atmosféry

Toto množství se zdá malé ve srovnání s ostatními toky. Dlouhodobá přirozená celková nevyrovnanost toků je pravděpodobně menší než **1 mld t C ročně** – zásah člověka tímto vstupem je obrovský.

The global carbon cycle

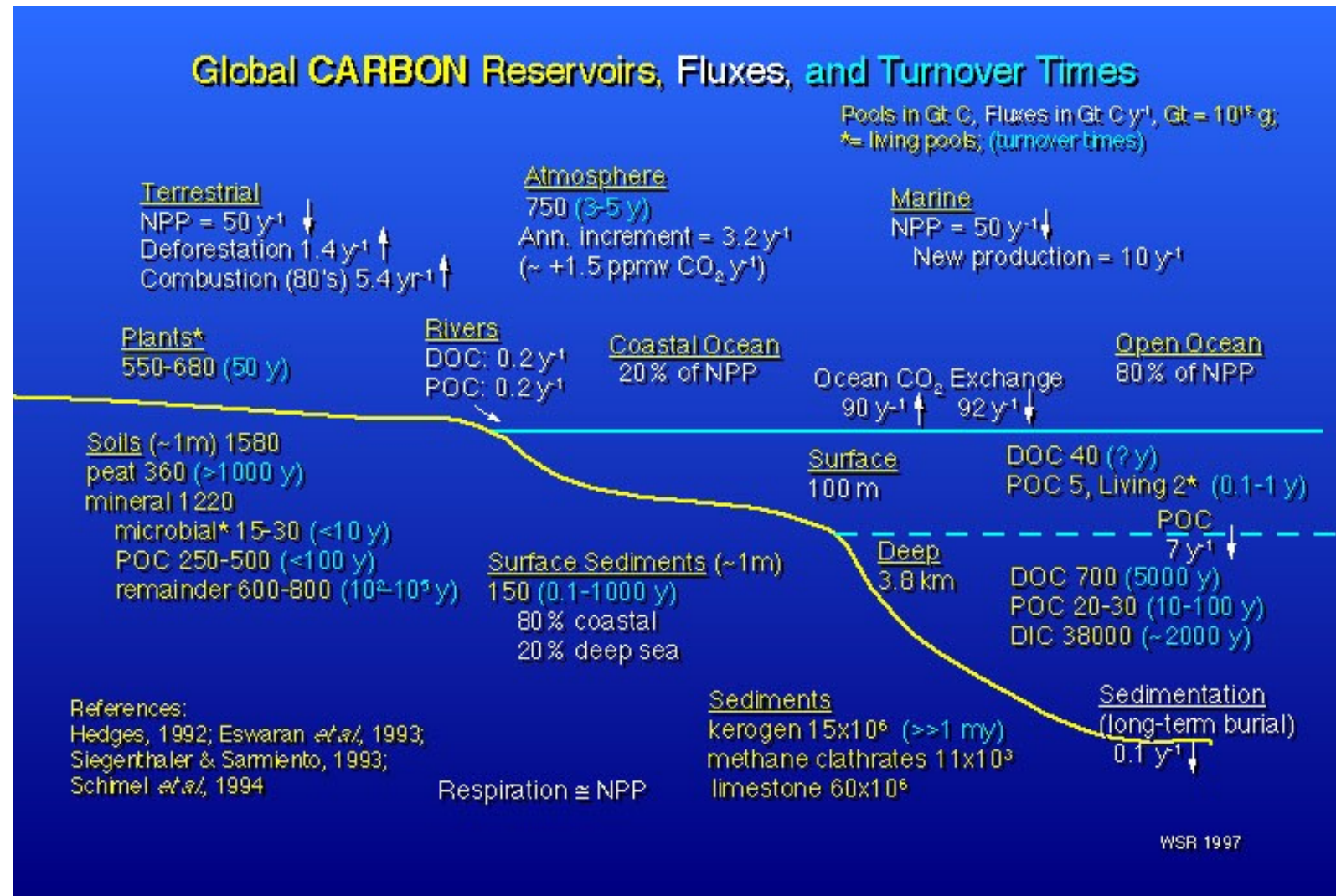


Biogeochemický cyklus uhlíku

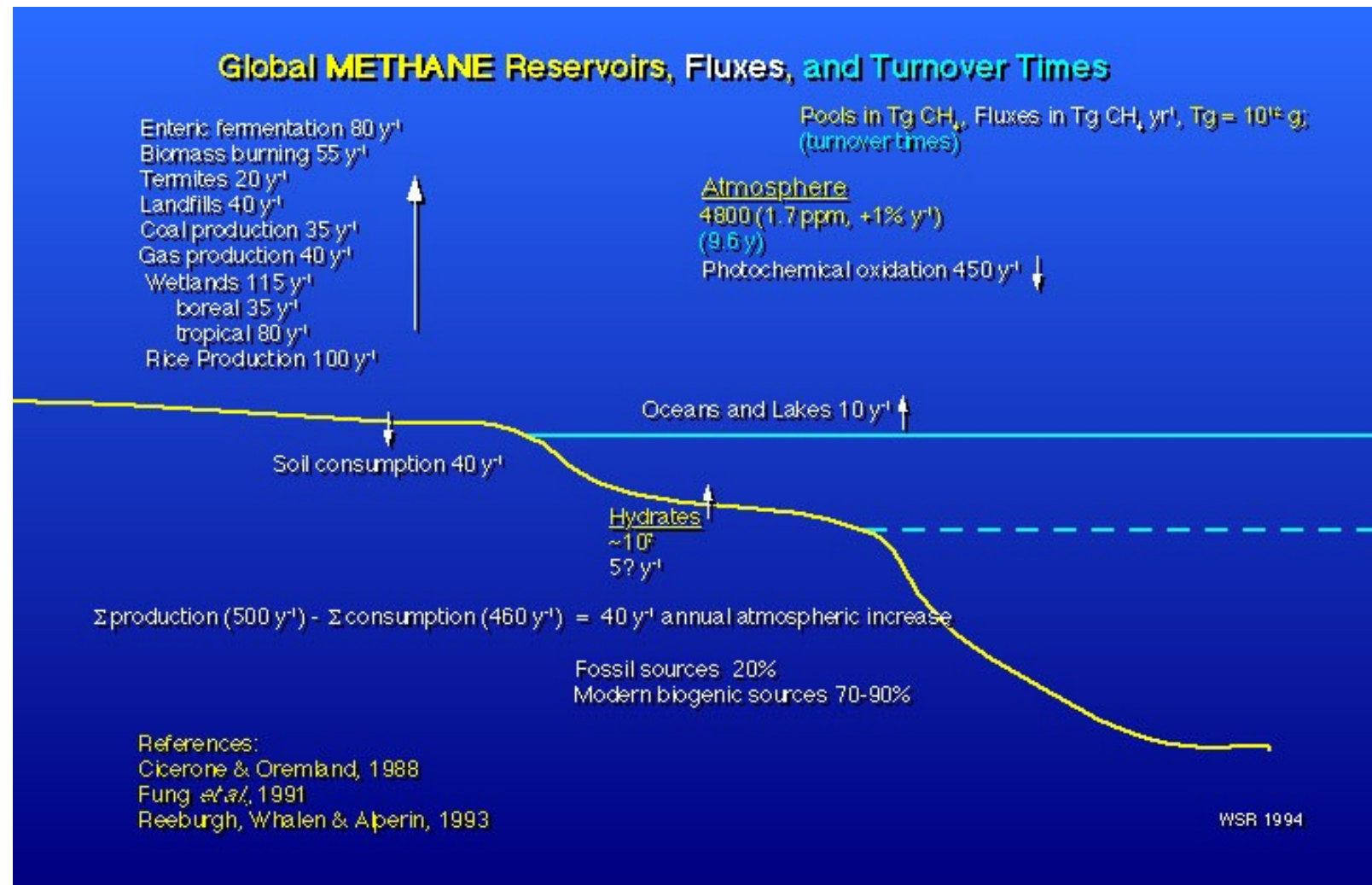
Global Carbon Reservoirs and Turnover Times

	10^{15} g C	Turnover time
Sediments, rocks	77×10^6	$\gg 10^6$ y
Deep ocean (DIC)	38000	2000 y
Soils	1500	$< 10 - 10^5$ y
Surface ocean	1000	decades
Atmosphere	750	3-5 y
Deep ocean (DOC)	700	5000 y
Terrestrial biomass	550-680	50 y
Surface sediments	150	0.1-1000 y
Marine biomass	2	0.1-1 y

Biogeochemický cyklus uhlíku



Cyklus methanu



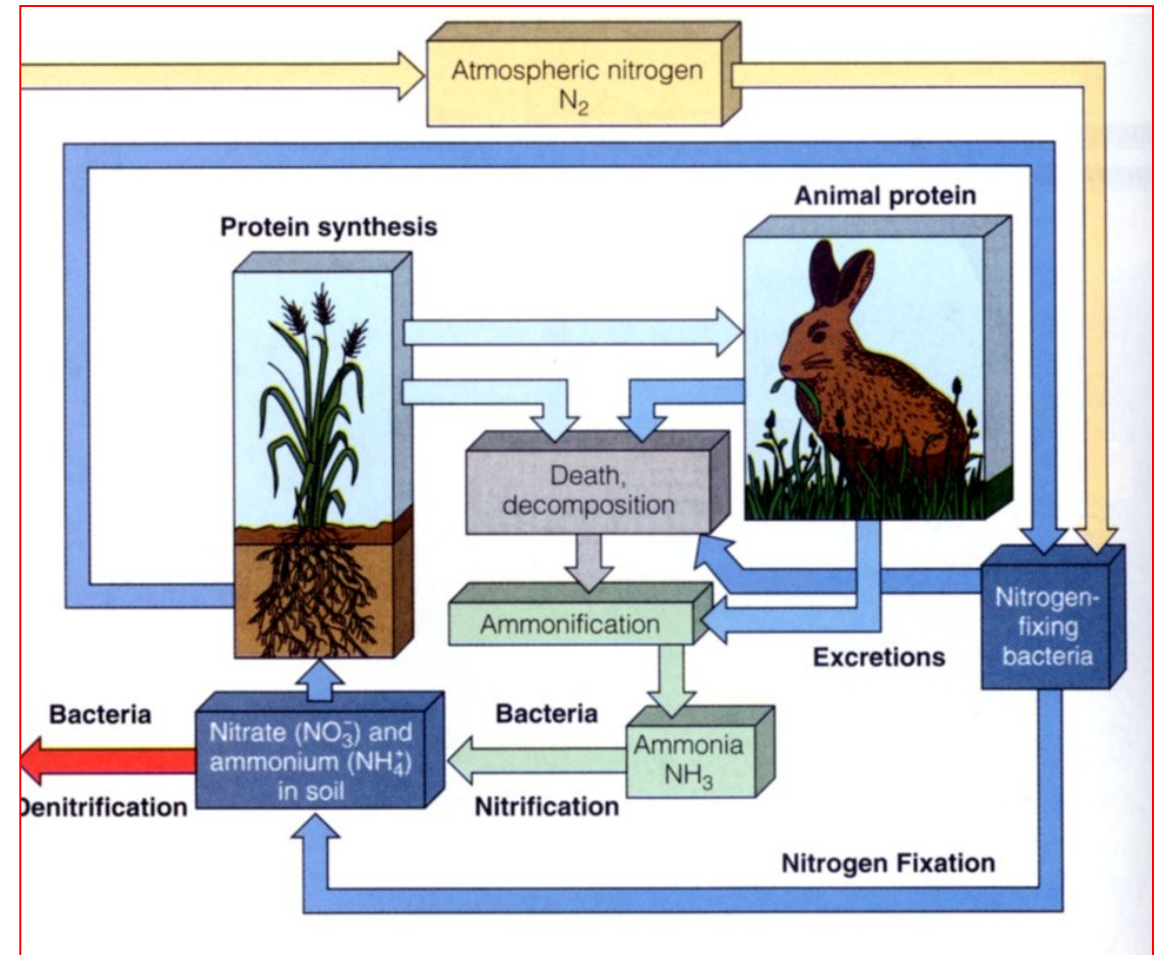
Biogeochemický cyklus dusíku

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^- iont

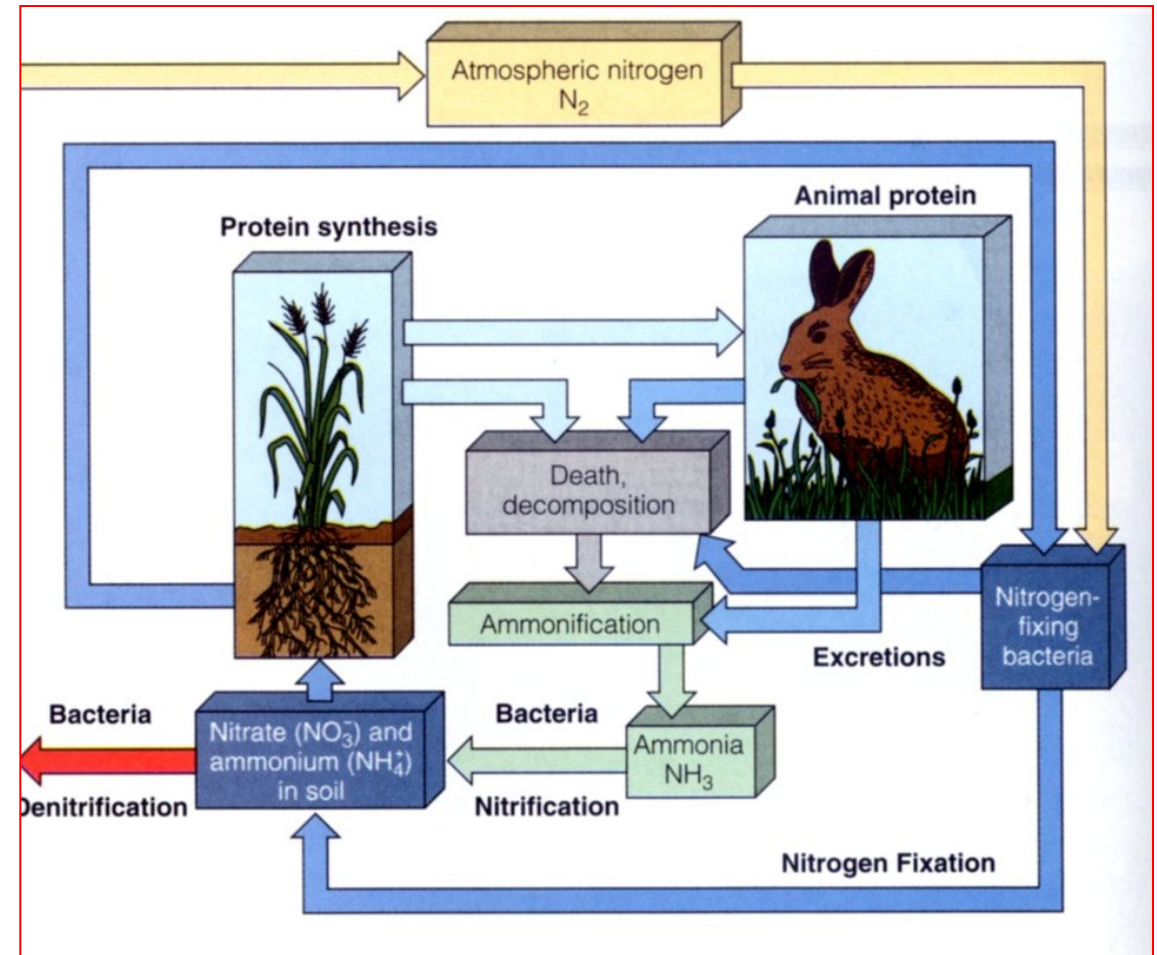
Pouze jako redukovaný se zúčastňuje biochemických reakcí. N_2 nemůže být přímo využíván organismy. Největším rezervoárem dusíku je atmosféra: 78 %



Biogeochemický cyklus dusíku

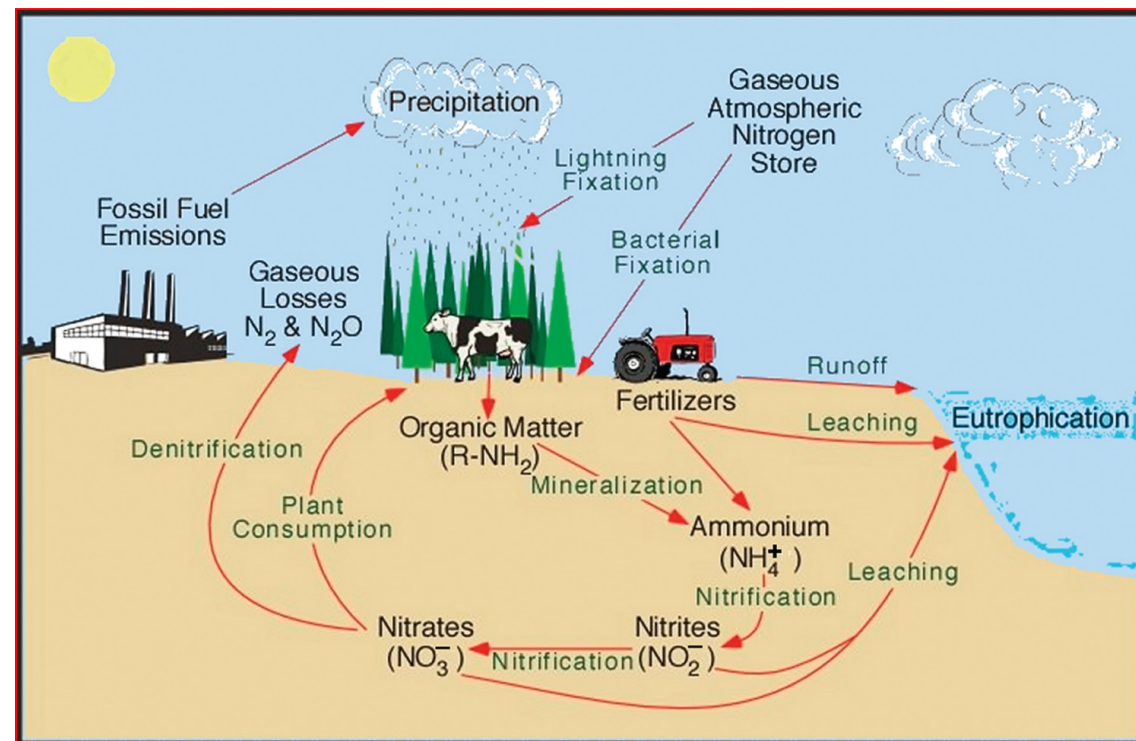
Člověk:

- 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)

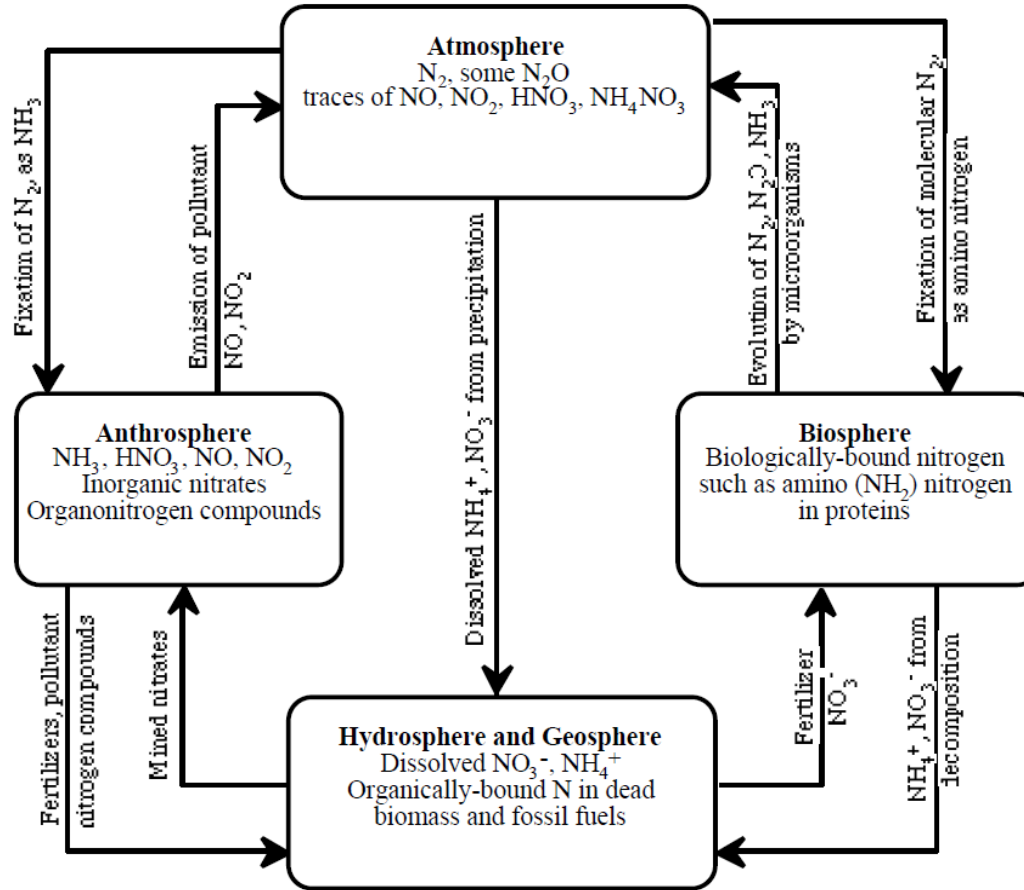


Biogeochemický cyklus dusíku

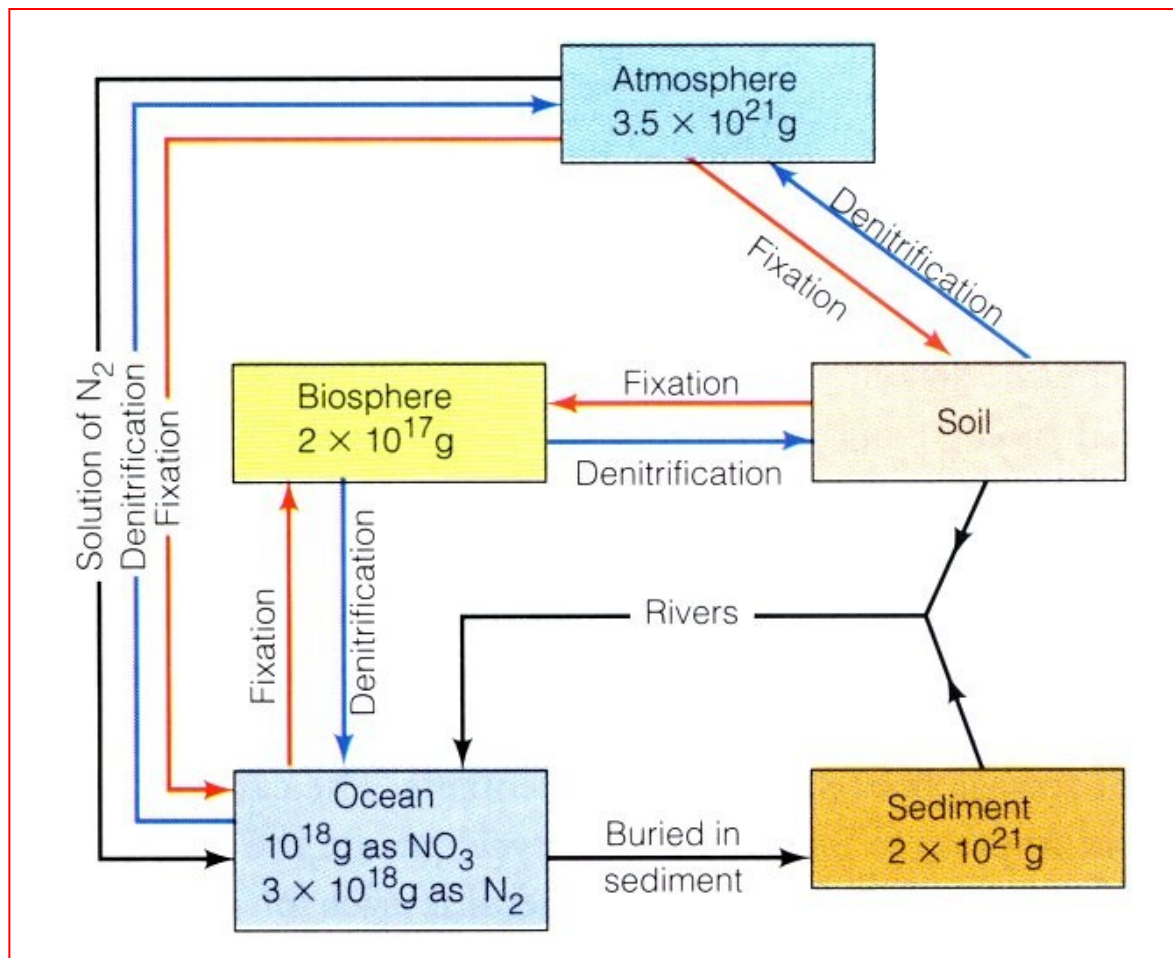
Část atmosférického dusíku se účinkem blesků přeměňuje na rozpustné sloučeniny, ale většina přenášená z atmosféry je biochemicky fixována v půdě specializovanými mikroorganismy. Dusík uložený v organické hmotě se vrací do atmosféry v sérii bakteriálních oxidačních kroků, které tvoří nejprve amonné soli, poté dusitany a dusičnany a nakonec plyny N_2 a N_2O .



Biogeochemický cyklus dusíku



Biogeochemický cyklus dusíku



Biogeochemický cyklus dusíku

Global Nitrogen Reservoirs and Turnover Times

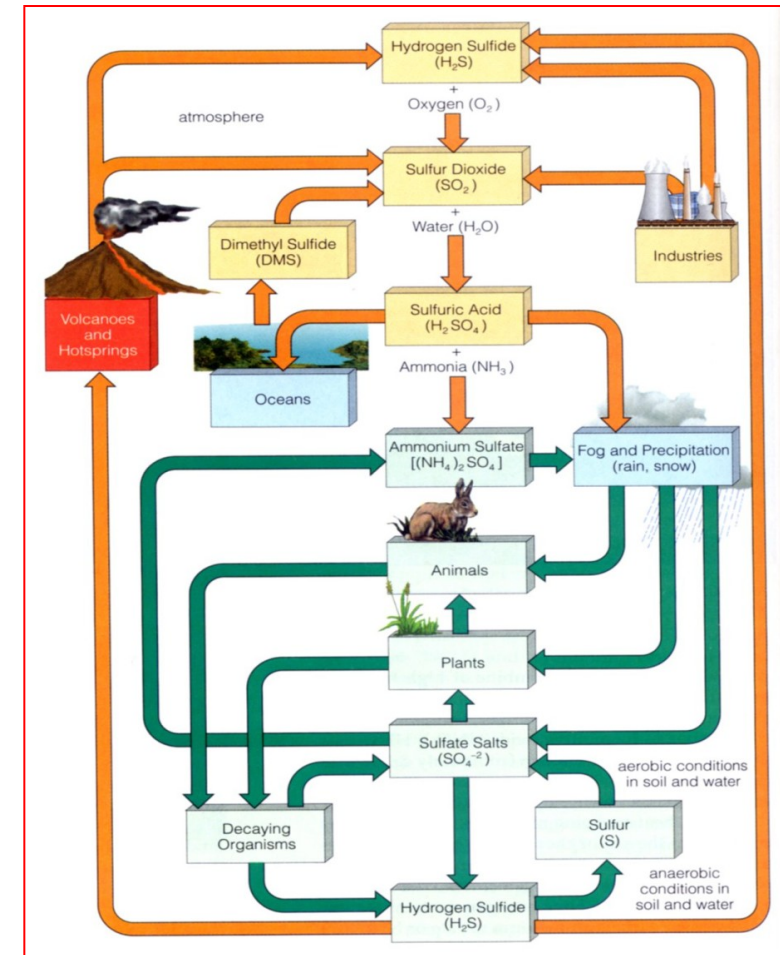
	10^{12} g N	Turnover time
Atmosphere (N_2)	4×10^9	10^7 y
Sediments	5×10^8	10^7 y
Ocean (dissolved N_2)	2.2×10^7	1000 y
Ocean (inorganic)	6×10^6	
Soil	9.5×10^4	2000 y
Terrestrial biomass	3.5×10^4	50 y
Atmosphere (N_2O)	1.4×10^4	100 y
Marine biomass	4.7×10^2	0.1-1 y

Biogeochemický cyklus síry

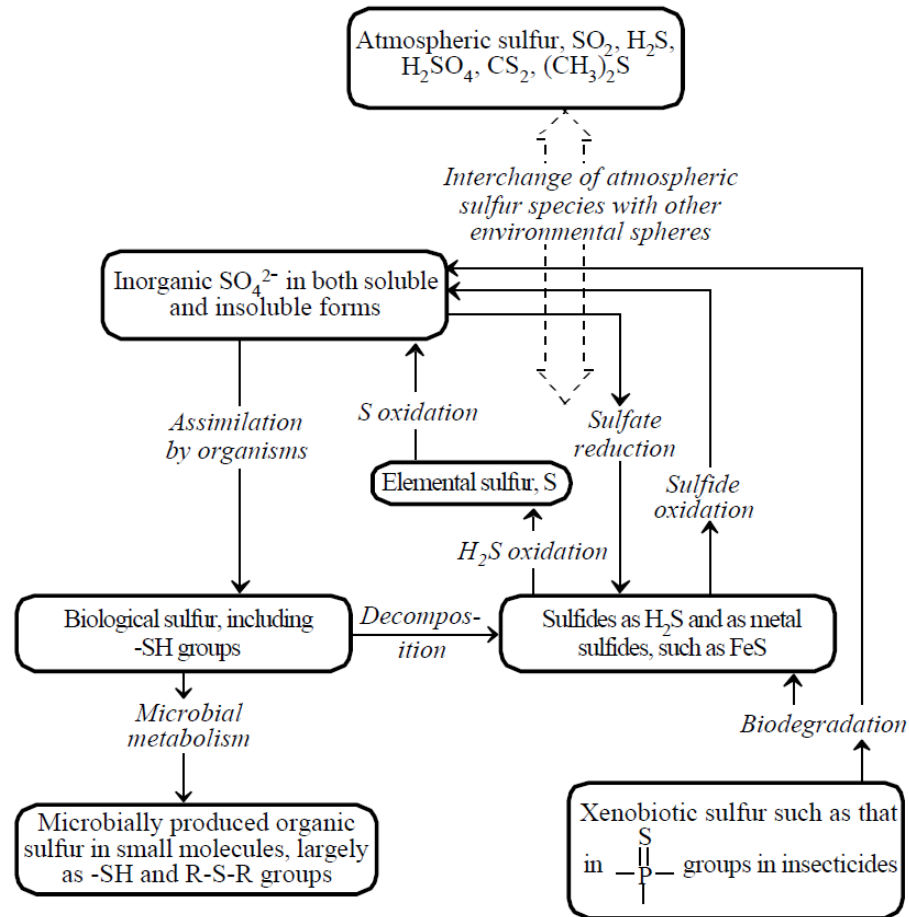
- Většina síry vázána minerálně (pyrit, sádrovec):
- H_2S a SO_2 uvolňován z aktivních vulkánů
- rozkladem organické hmoty
- SO_4^{2-} do atmosféry tříštěním slané vody
- DMS (dimethylsulfoxid) uvolňován do atmosféry planktonem

Člověk:

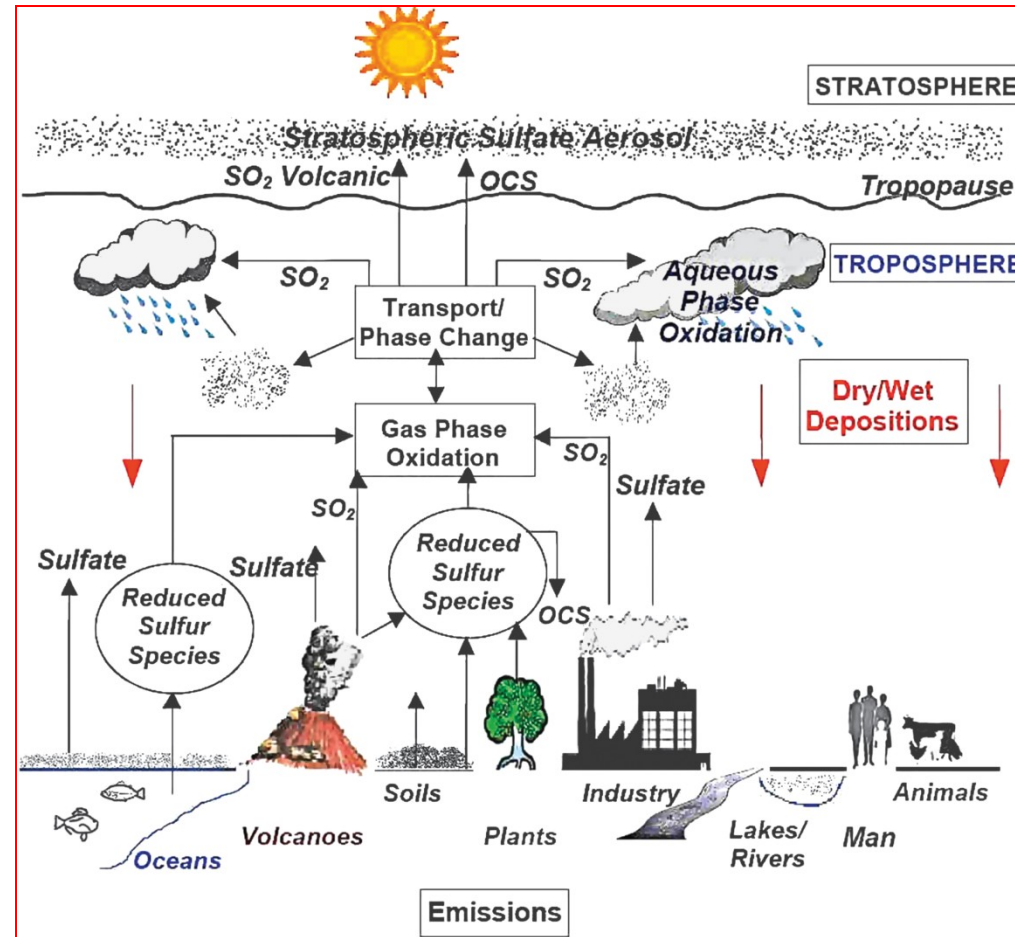
- kolem 1/3 z celkového množství síry do atmosféry (99 % SO_2)
- spalování fosilních paliv (2/3)
- zpracování ropy, minerálních zdrojů



Biogeochemický cyklus síry



Biogeochemický cyklus síry

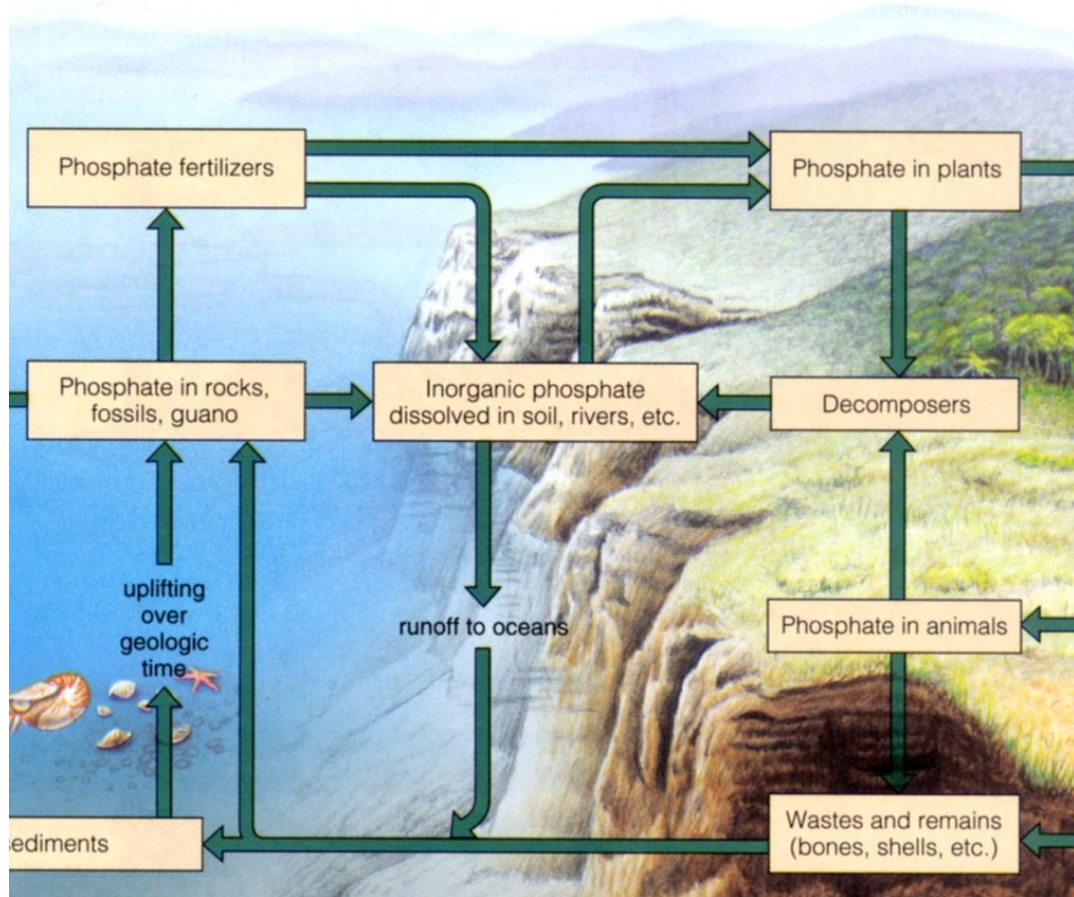


Biogeochemický cyklus síry

Global Sulfur Reservoirs and Turnover Times

	<u>10¹² g S</u>	<u>Turnover time</u>
Lithosphere	2x10 ¹⁰	10 ⁸ y
Ocean	3x10 ⁹	10 ⁶ y
Sediments	3x10 ⁸	10 ⁵ y
Soils	3x10 ⁵	10 ³ y
Lakes	300	3 y
Marine biota	30	1 y
Atmosphere	4.8	8-25 d

Biogeochemický cyklus fosforu

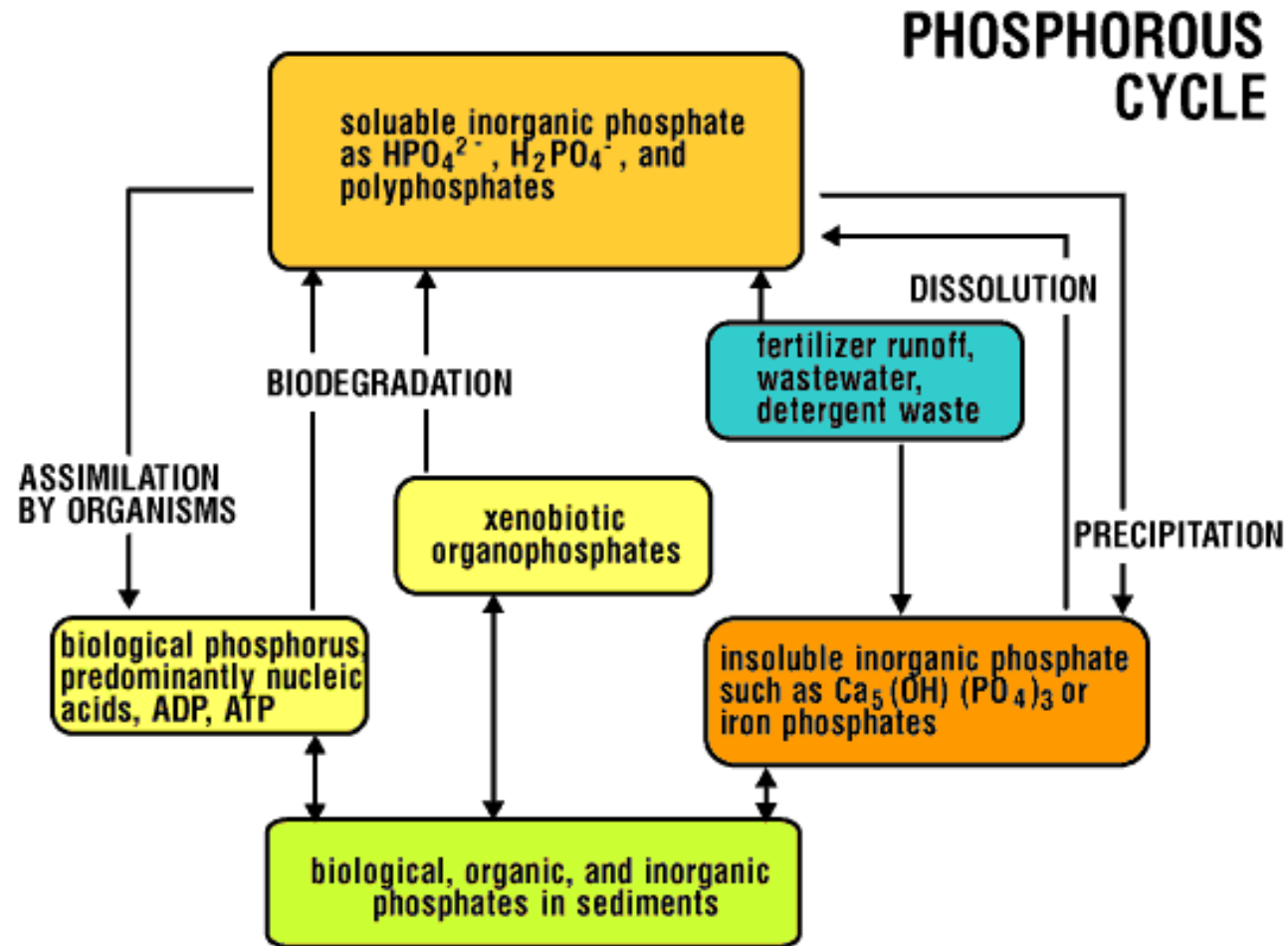


- Důležitá složka RNA, DNA a přenašečů energie (ADP, ATP):
- fosfor se jen pomalu uvolňuje z hornin (apatit..)
- nevstupuje do atmosféry
- je většinou limitujícím faktorem růstu rostlin

Člověk:

- hnojiva a prací prostředky
- zemědělské a komunální odpady

Biogeochemický cyklus fosforu

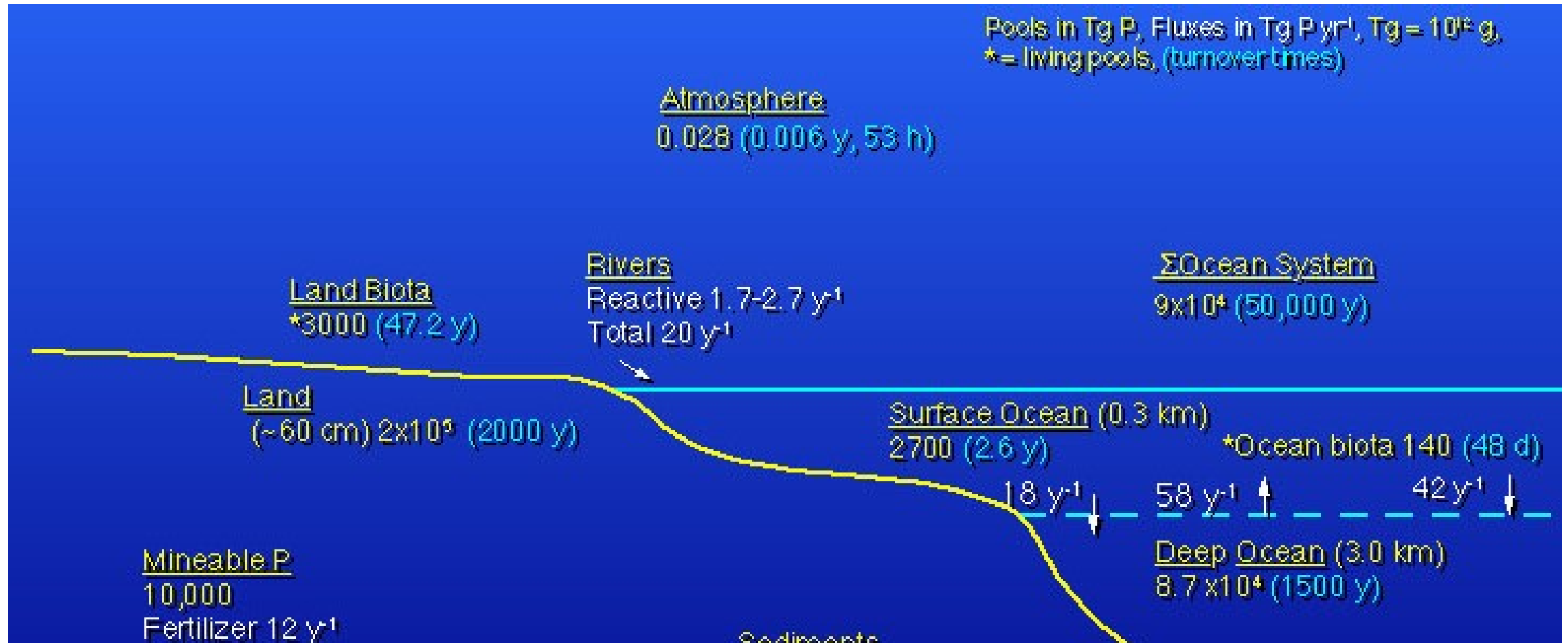


Biogeochemický cyklus fosforu

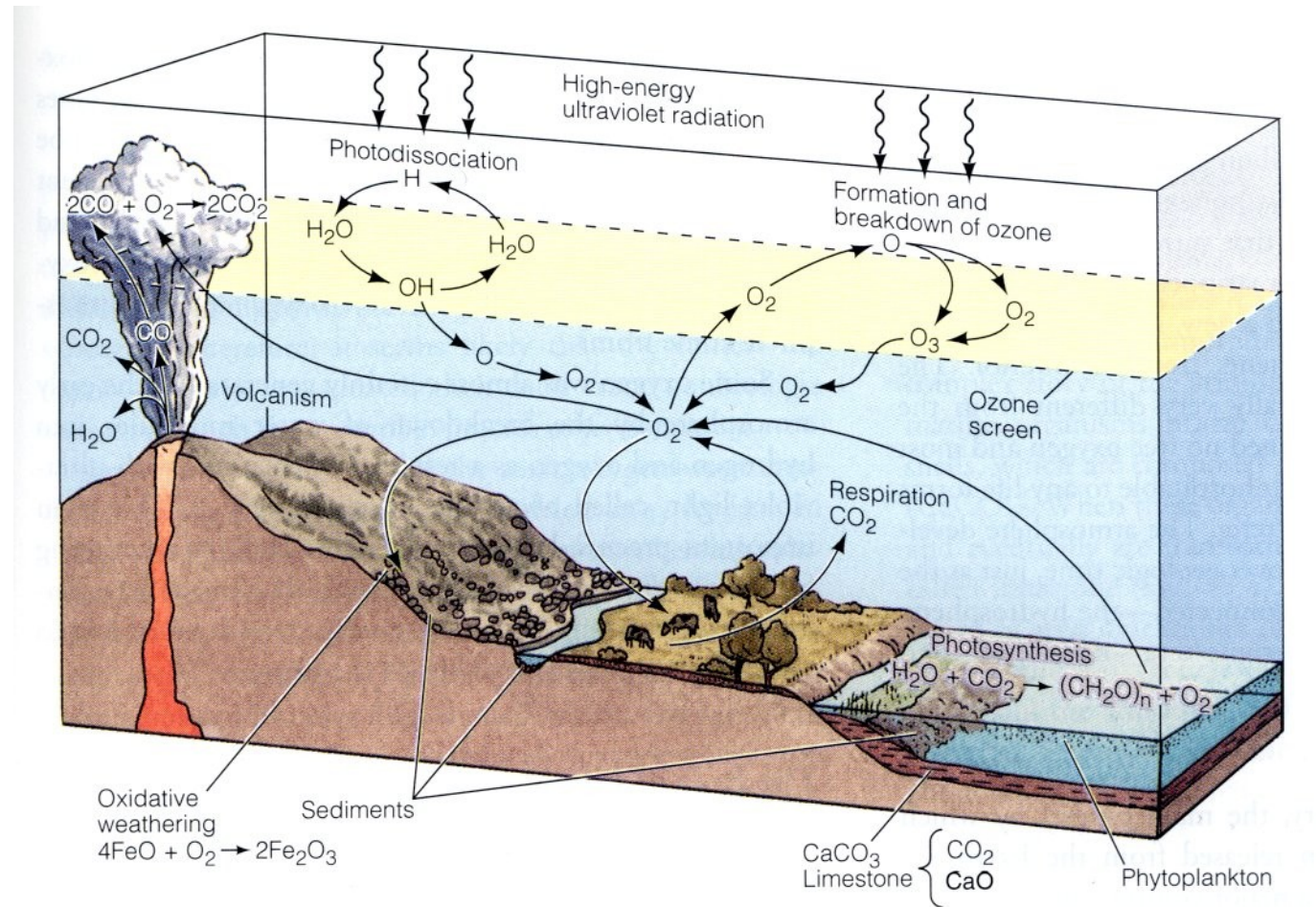
Global Phosphorus Reservoirs and Turnover Times

	10^{12} g P	Turnover time
Sediments	4×10^9	2×10^8 y
Land	2×10^6	2000 y
Deep Ocean	8.7×10^4	1500 y
Terrestrial biota	3000	~50 y
Surface ocean	2700	2.6 y
Atmosphere	0.028	days

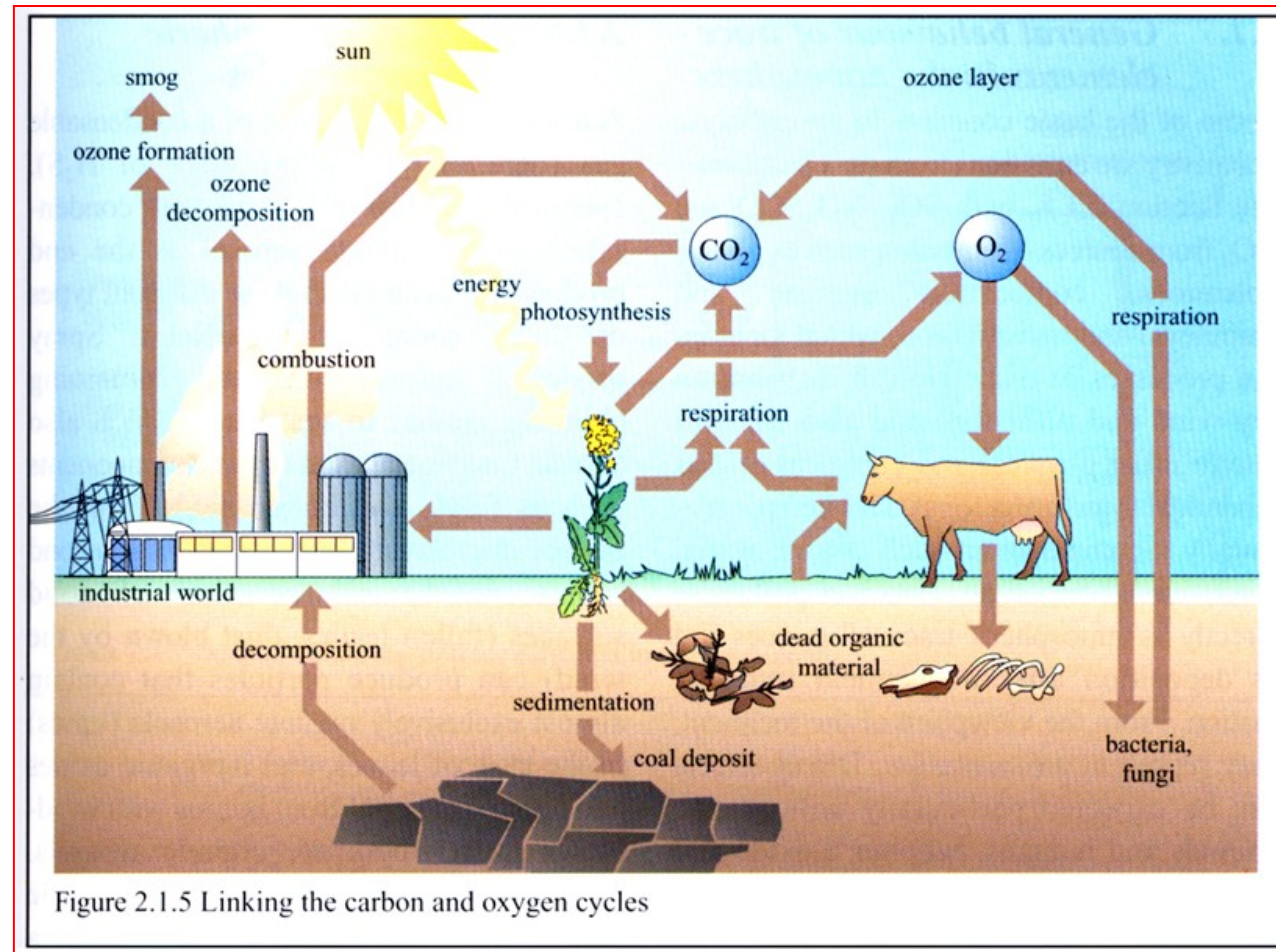
Biogeochemický cyklus fosforu



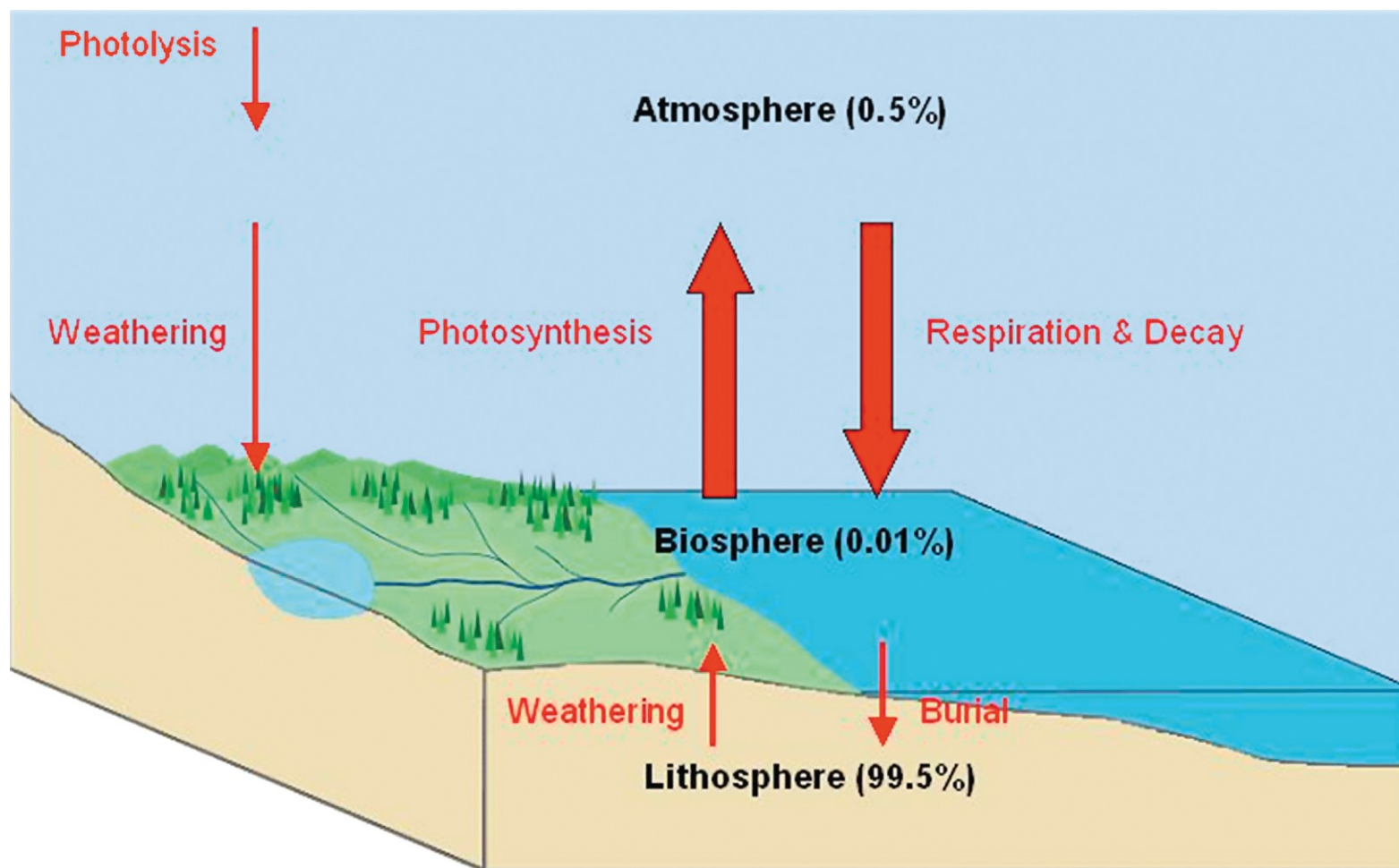
Biogeochemický cyklus kyslíku



Vztahy mezi cykly uhlíku a kyslíku



Biogeochemický cyklus kyslíku



Cyklus kyslíku. Cyklus pozůstává z pohybu kyslíku uvnitř a mezi jeho hlavními rezervoáry: atmosférou, biosférou, litosférou a hydrosférou. Většina zemského kyslíku je v litosféře, ale největší toky jsou do a z biosféry. Hlavní hnací silou cyklu kyslíku je fotosyntéza.

Biogeochemický cyklus kyslíku

Stabilita atmosféry:

Obsah O_2 v atmosféře v porovnání s obsahem CO_2 je stabilnější.

Biologický zpětně vazebný mechanismus (kontrola tlaku O_2 v atmosféře):

nárůst koncentrace kyslíku – nárůst parciálního tlaku kyslíku – inhibice fotosyntézy

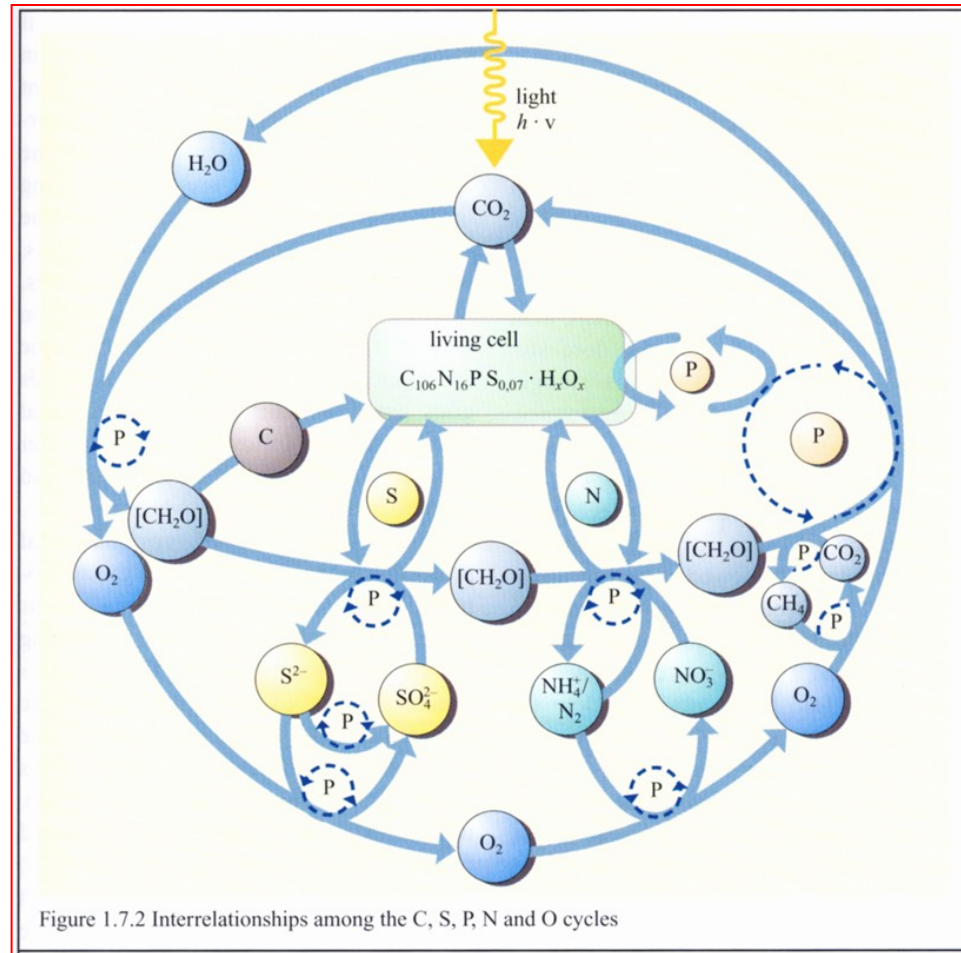
nárůst koncentrace oxidu uhličitého – nárůst parciálního tlaku CO_2 – vyšší rychlost fotosyntézy, zvětšuje se rostlinná složka biosféry, větší fytomasa více respiruje – roste koncentrace O_2 , klesá produkce O_2 , roste koncentrace CO_2 , zvyšuje se rychlost fotosyntézy

Biogeochemický cyklus kyslíku

Global Oxygen Reservoirs and Turnover Times

	<u>10¹⁵ moles</u>	<u>Turnover time</u>
(Sedimentary rocks)	(10 ³)	
Atmosphere	37,000	3x10 ⁶ y
Long-lived biota	180	1000 y
Ocean	219	500 y
Biota	11	50 y
Surface ocean	6	22 d

Vztahy mezi cykly C, S, P, N a O

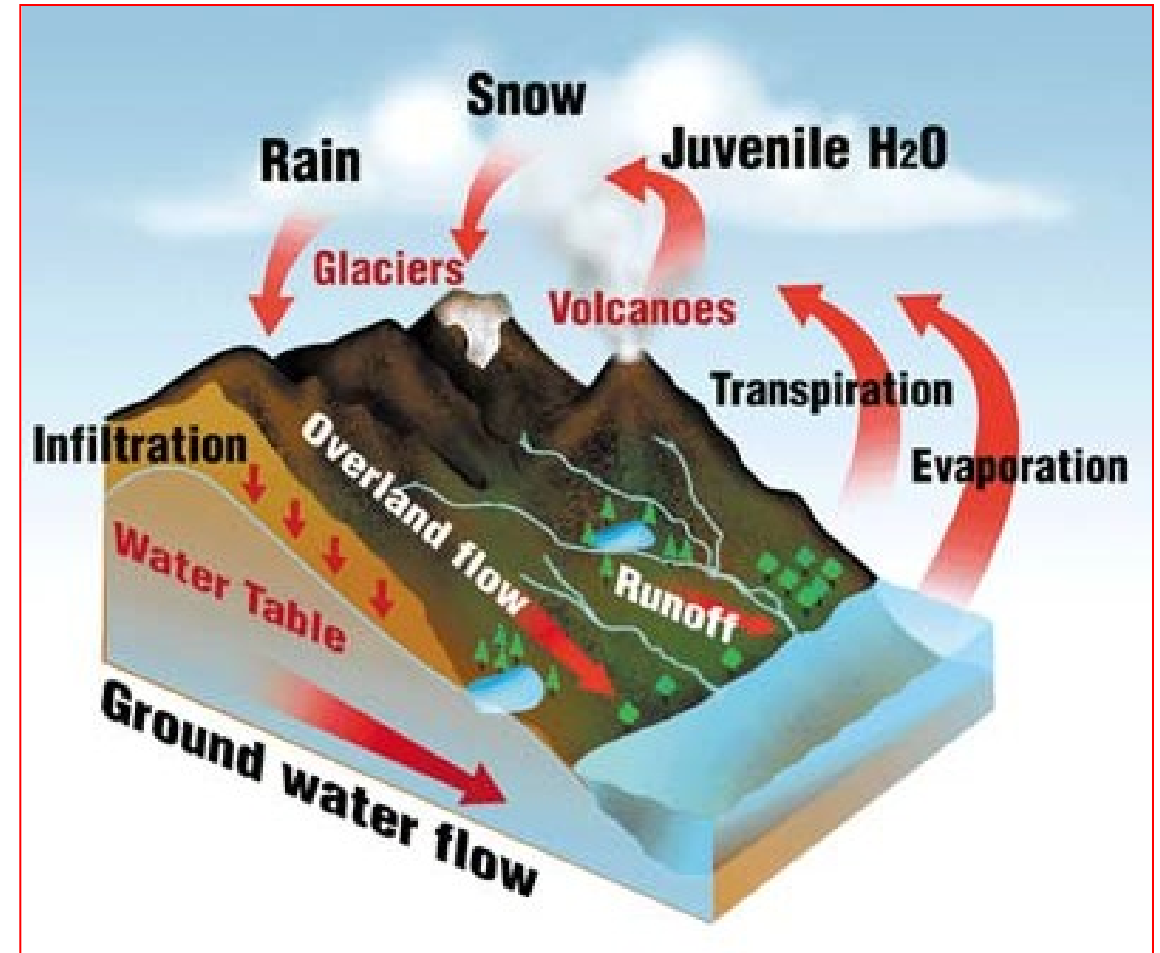
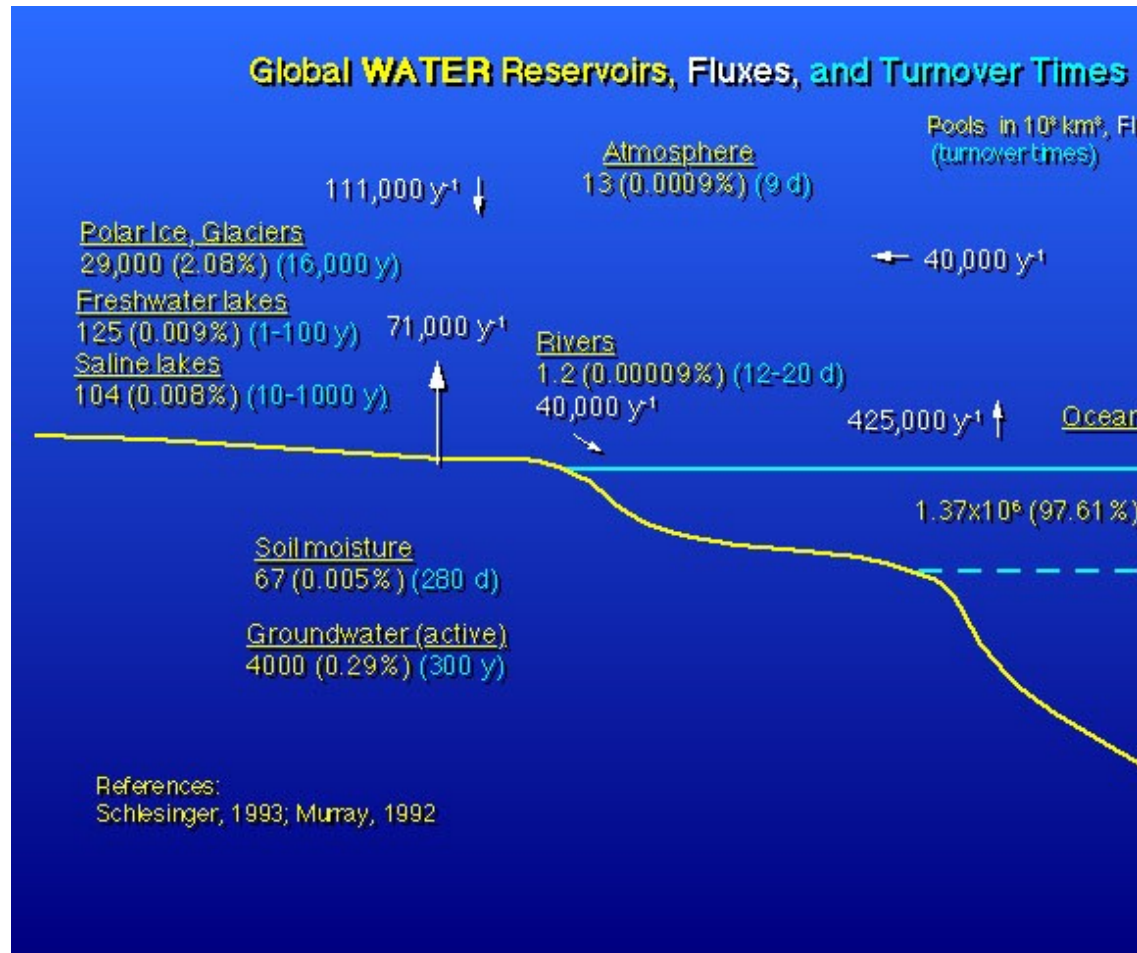


Hydrologický cyklus

Global Water Reservoirs and Turnover Times

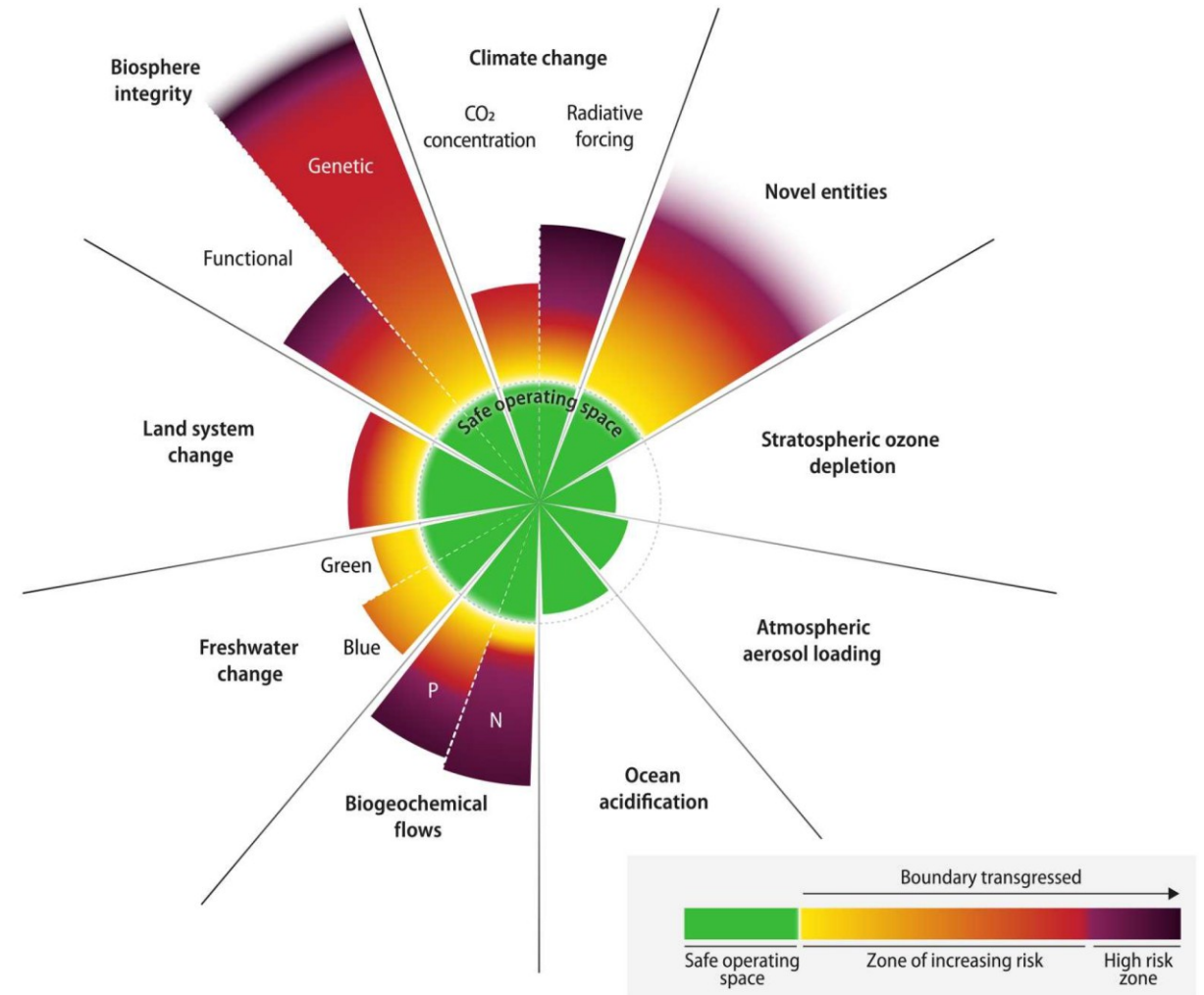
	10^3 km^3	%	Turnover time
Oceans	1,370,000	97.61	37,000 y
Polar Ice, Glaciers	29,000	2.08	16,000 y
Groundwater (actively exchanged)	4000	0.29	300 y
Freshwater lakes	125	0.009	10-100 y
Saline Lakes	104	0.008	10-10,000 y
Soil moisture	67	0.005	280 d
Atmosphere (water vapor)	14	0.0009	9 d
Rivers	1.32	0.00009	12-20 d

Hydrologický cyklus



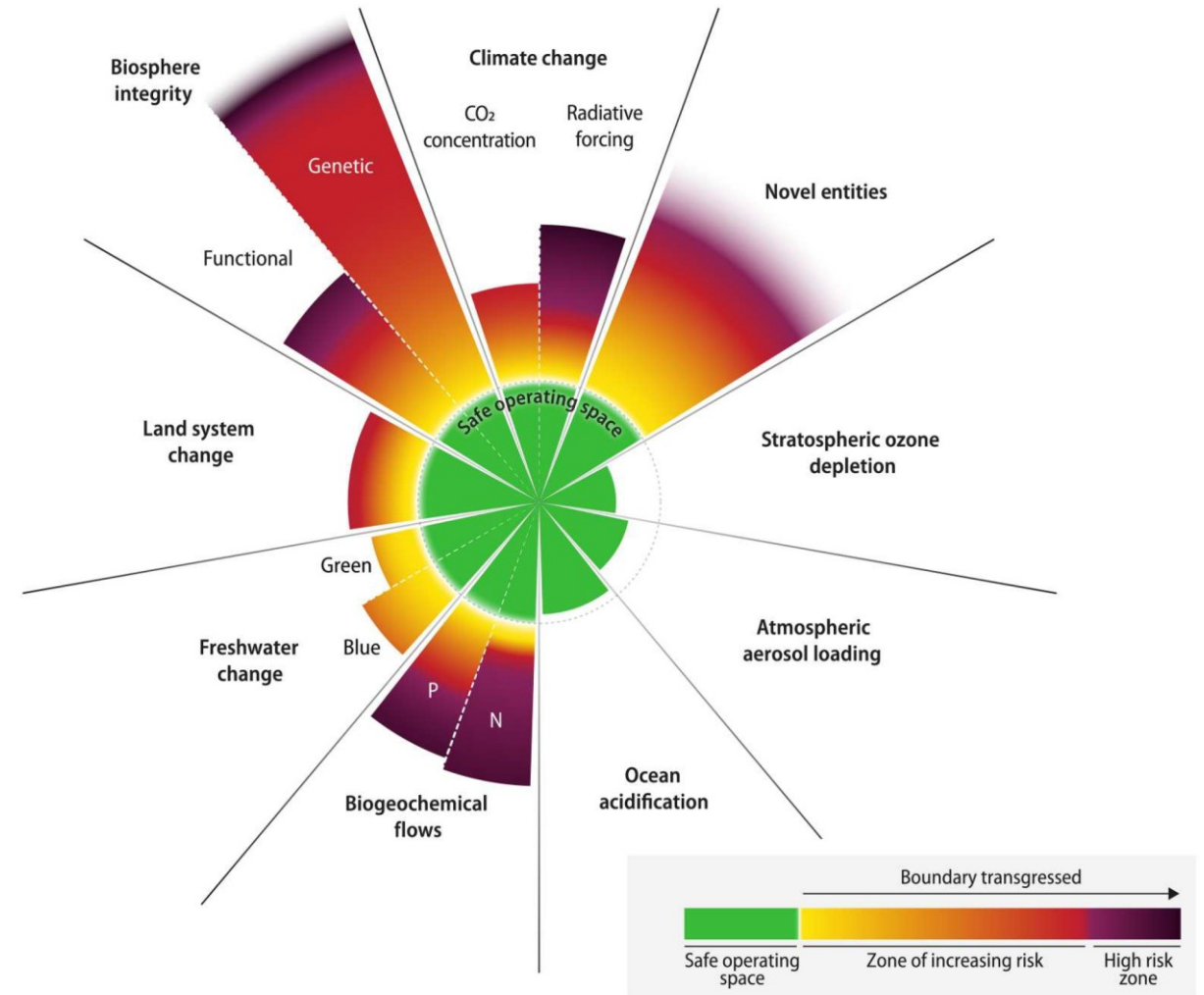
Planetární meze

- Identifikuje devět procesů, které jsou kritické pro udržení stability a odolnosti zemského systému jako celku
- Cíl: vymezit a kvantifikovat úroveň antropogenních poruch, které by, pokud by byly respektovány, umožnily Zemi zůstat v stavu „podobnému holocénu“
- Lidské aktivity nyní přivedly Zemi mimo holocénní oblast proměnlivosti životního prostředí, což dalo vzniknout nové době: antropocénu.



Planetární meze

- **Integrita biosféry**
- **Klimatická změna**
- **Nové entity = chemické látky + GMO**
- Úbytek stratosférického ozónu
- **Změna sladkovodního režimu**
- Atmosférické aerosolové zatížení
- Acidifikace oceánu
- **Změna suchozemského systému**
- **Biogeochemické toky (N, P)**



Planetární meze: integrita biosféry a klimatická změna

Earth system process	Control variable(s)	Planetary boundary	Preindustrial Holocene base value	Upper end of zone of increasing risk	Current value of control variable
Climate change	Atmospheric CO ₂ concentration (ppm CO ₂)	350 ppm CO ₂	280 ppm CO ₂	450 ppm CO ₂	417 ppm CO ₂ (41)
	Total anthropogenic radiative forcing at top-of-atmosphere (W m ⁻²)	+1.0 W m ⁻²	0 W m ⁻²	+1.5 W m ⁻²	+2.91 W m ⁻² (41)
Change in biosphere integrity	Genetic diversity: E/MSY	<10 E/MSY but with an aspirational goal of ca. 1 E/MSY (assumed background rate of extinction loss)	1 E/MSY	100 E/MSY	>100 E/MSY (24–26)
	Functional integrity: measured as energy available to ecosystems (NPP) (% HANPP)	HANPP (in billion tonnes of C year ⁻¹) <10% of preindustrial Holocene NPP, i.e., >90% remaining for supporting biosphere function	1.9% (2σ variability of preindustrial Holocene century-mean NPP)	20% HANPP	30% HANPP

NPP = globální terestrická netto primární produce

HANPP = human appropriation of NPP = lidské přivlastnění NPP (HANPP)

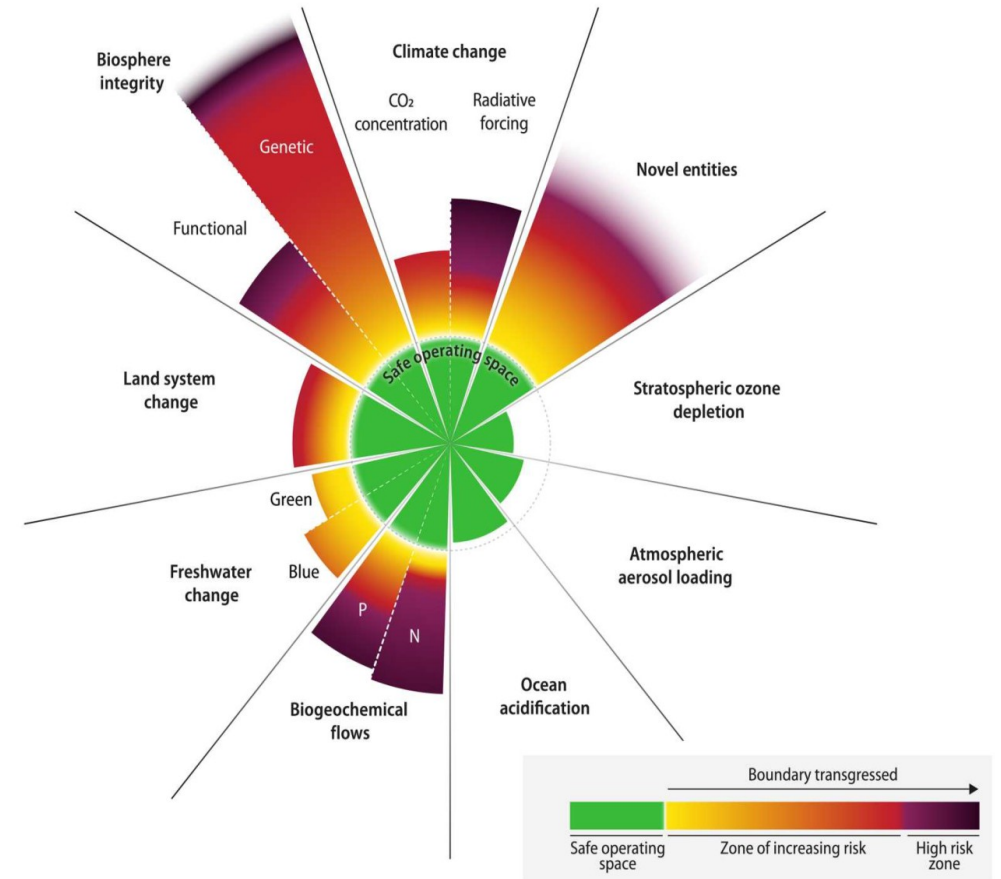
Planetární meze: integrita biosféry a klimatická změna

- holocénní NPP terestrické biosféry byla 55,9 Gt C za rok a mimořádně stabilní
- V 2020 potenciální přírodní NPP stoupla na 71,4 Gt C za rok kvůli uhlíkovému hnojení, nerovnovážné reakci fyziologie suchozemských rostlin na antropogenně rostoucí CO₂
- výzkum , jak se různé stupně překračování mezí pro **změny klimatu a zemského systému** kombinují, aby ovlivnily dva spoludeterminanty stavu zemského systému: **teplotu a ukládání uhlíku na zemi.**

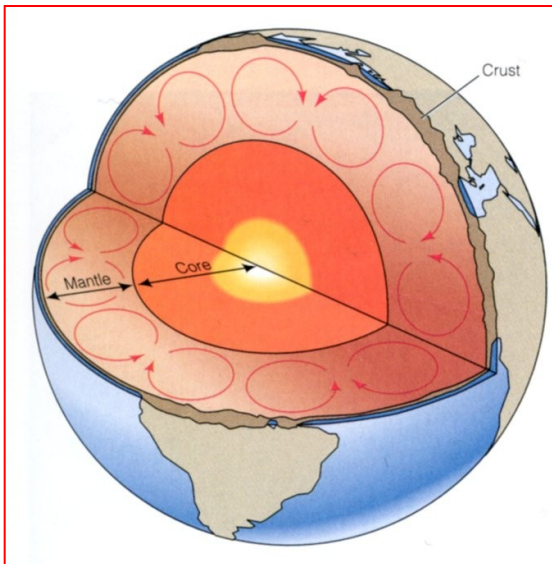


Planetární meze: biogeochemické toky N a P

- jejich globální cykly se díky zemědělství a průmyslu výrazně změnily
- Antropogenní dopady na globální koloběh uhlíku jsou stejně zásadní, ale řeší se v mezích integrity klimatu a biosféry
- **FOSFOR:** Globální mez pro P je trvalý tok 11 Tg P za rok ze sladké vody do oceánu, aby se zabránilo rozsáhlé anoxii
- Současný odhad toku: 22 Tg P za rok
- aplikace fosforu v hnojivech do orné půdy je 17,5 Tg P za rok
- **DUSÍK:** planetární hranice pro N je aplikační dávka záměrně fixovaného N do zemědělského systému 62 Tg N za rok
- Celkový přísun antropogenně fixovaného N aplikovaného do zemědělského systému je ~190 Tg za rok



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

