



CHEMIE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ I

Environmentální procesy

(06)

Biogeochemické cykly

Ivan Holoubek

RECETOX, Masaryk University, Brno, CR

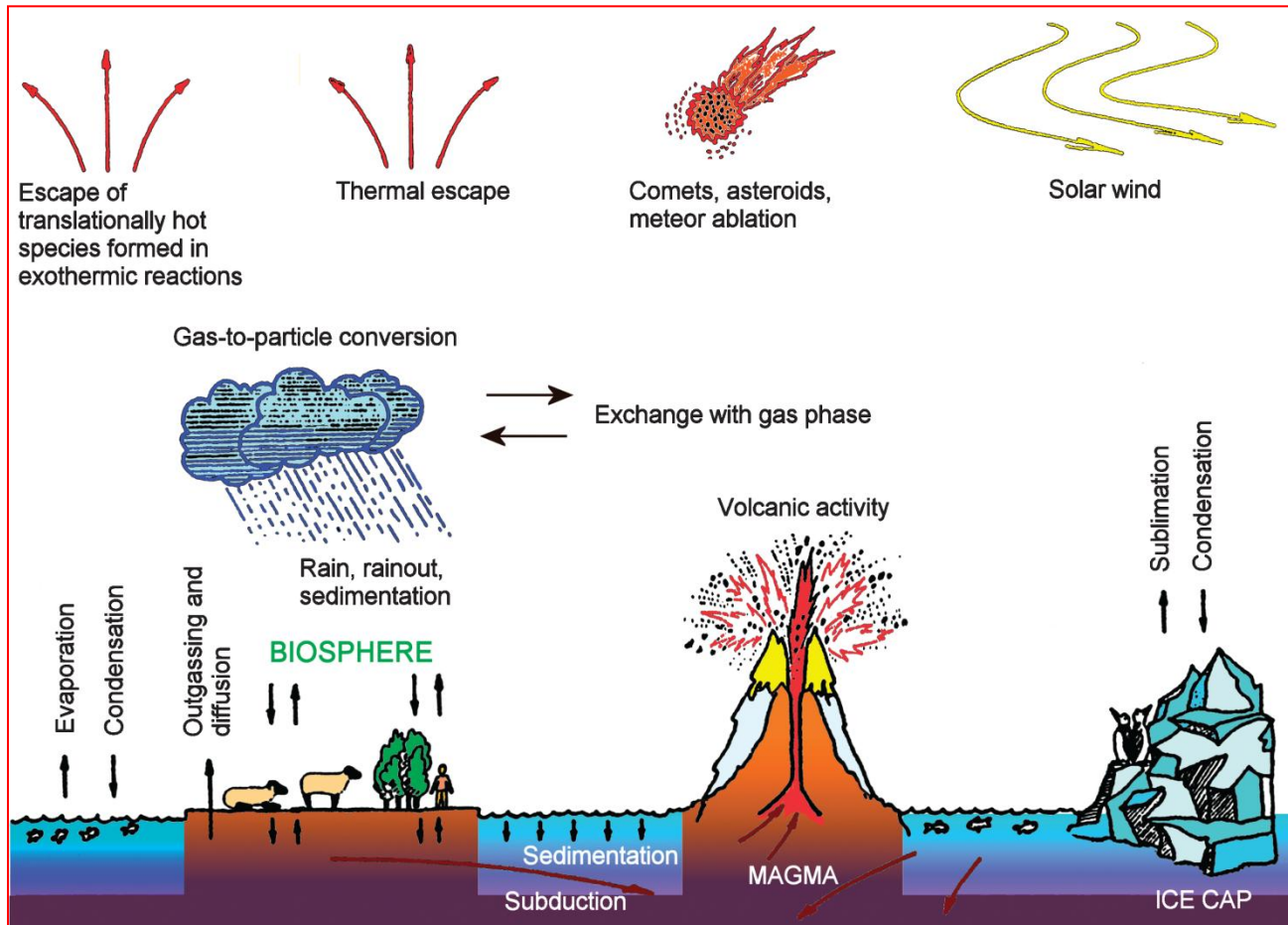
holoubek@recetox.muni.cz; <http://recetox.muni.cz>

(06) Biogeochemické cykly

Biogeochemické cykly – základní pojmy.

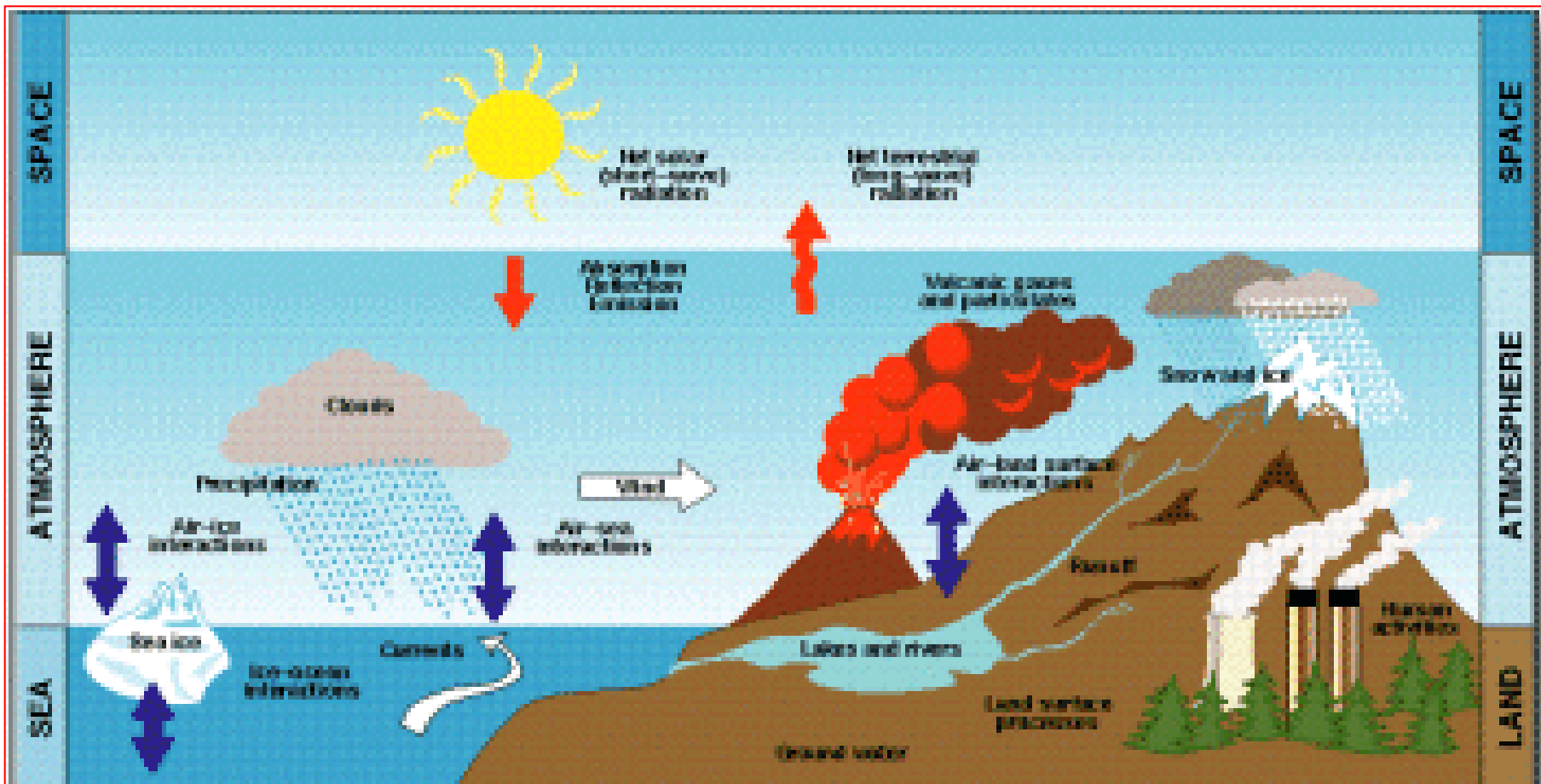
BGC cyklus uhlíku, dusíku, síry, fosforu, mikrobiogenních prvků a toxických kovů.

Cyklické procesy v biogeochemii



Representation of the cyclic processes of biogeochemistry that exchange constituents between air, land, and sea. At the top of the picture, solar particles and extraplanetary objects bring matter into the atmosphere, while a certain amount escapes. Most material, however, is recycled. Even solids deposited on land and on the ocean beds can eventually be subducted to become molten, and components returned to the atmosphere through volcanic activity.

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 **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, kyslík**

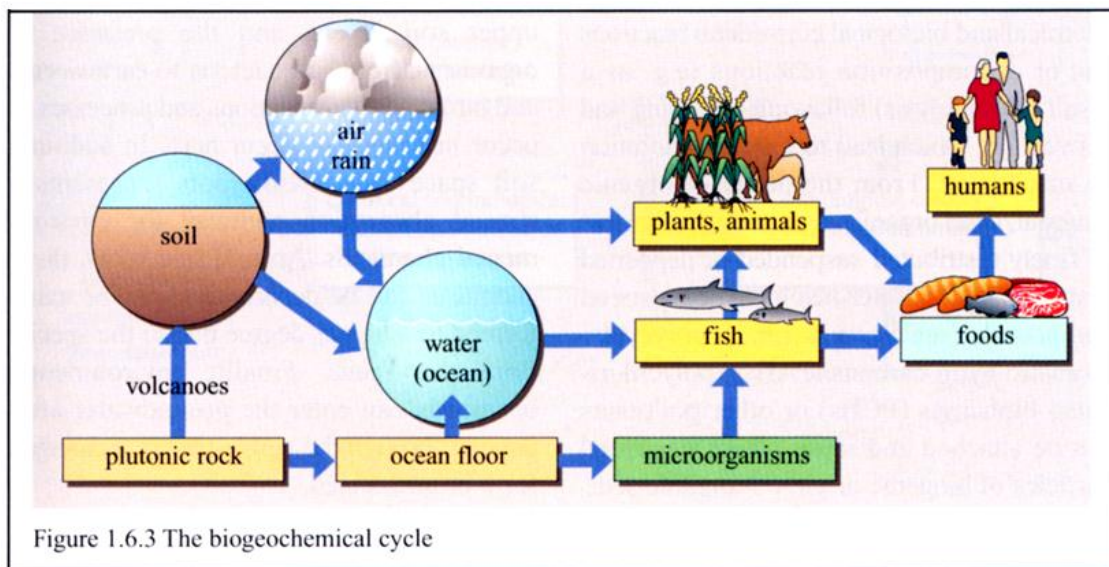
Biogeochemické cykly

Biogeochemické cykly =

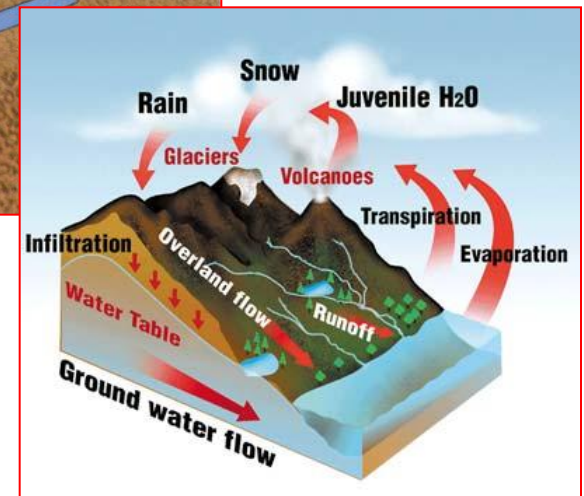
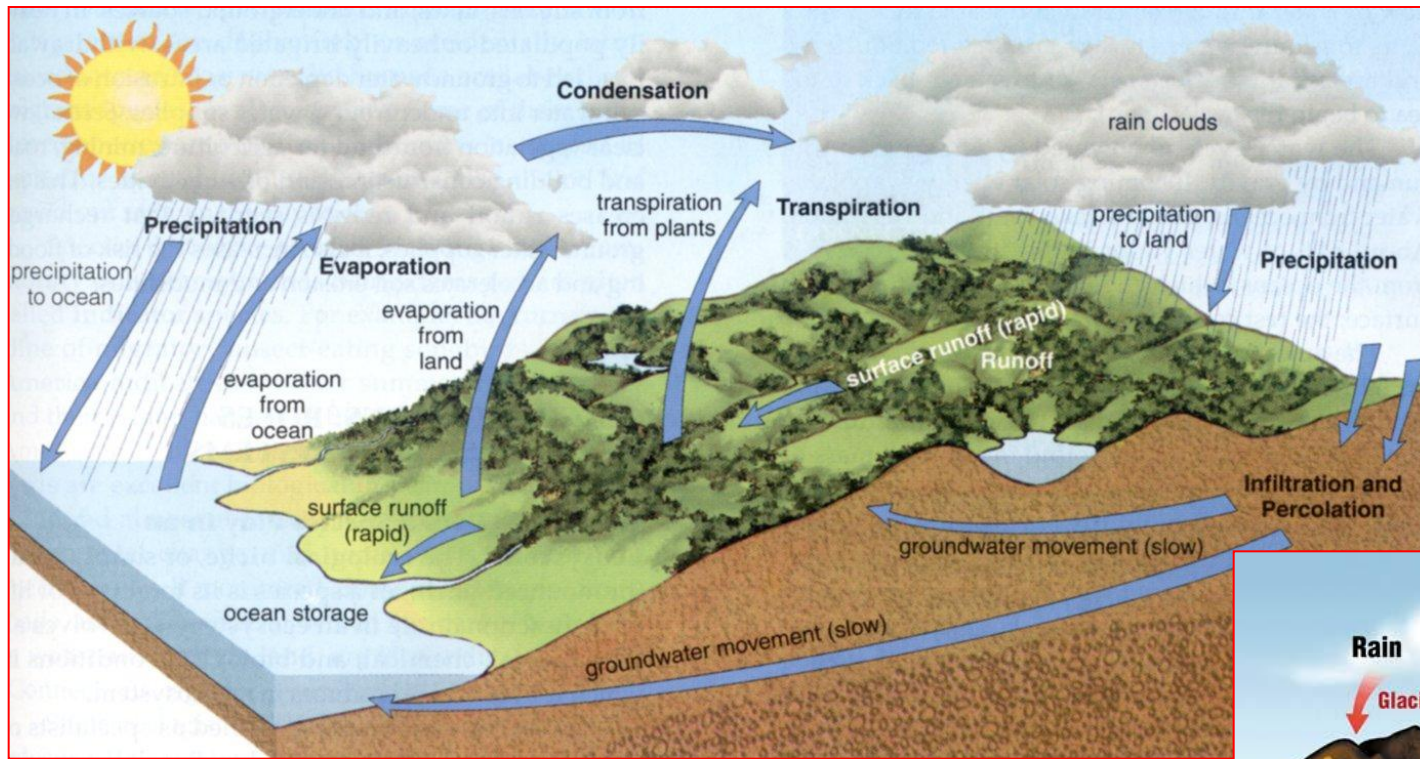
Σ hydrologického + geologického + ekologického cyklu

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

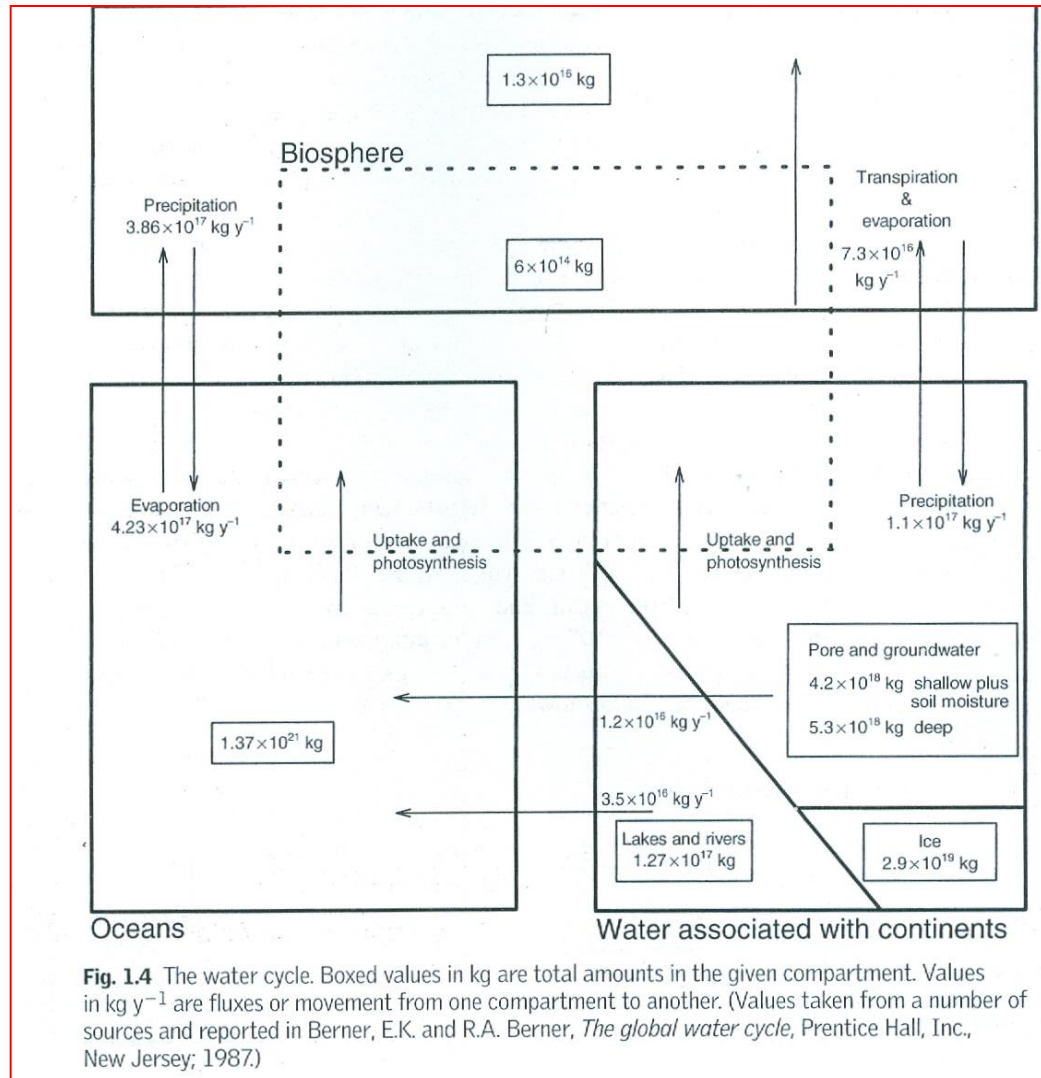
Antropogenní narušování



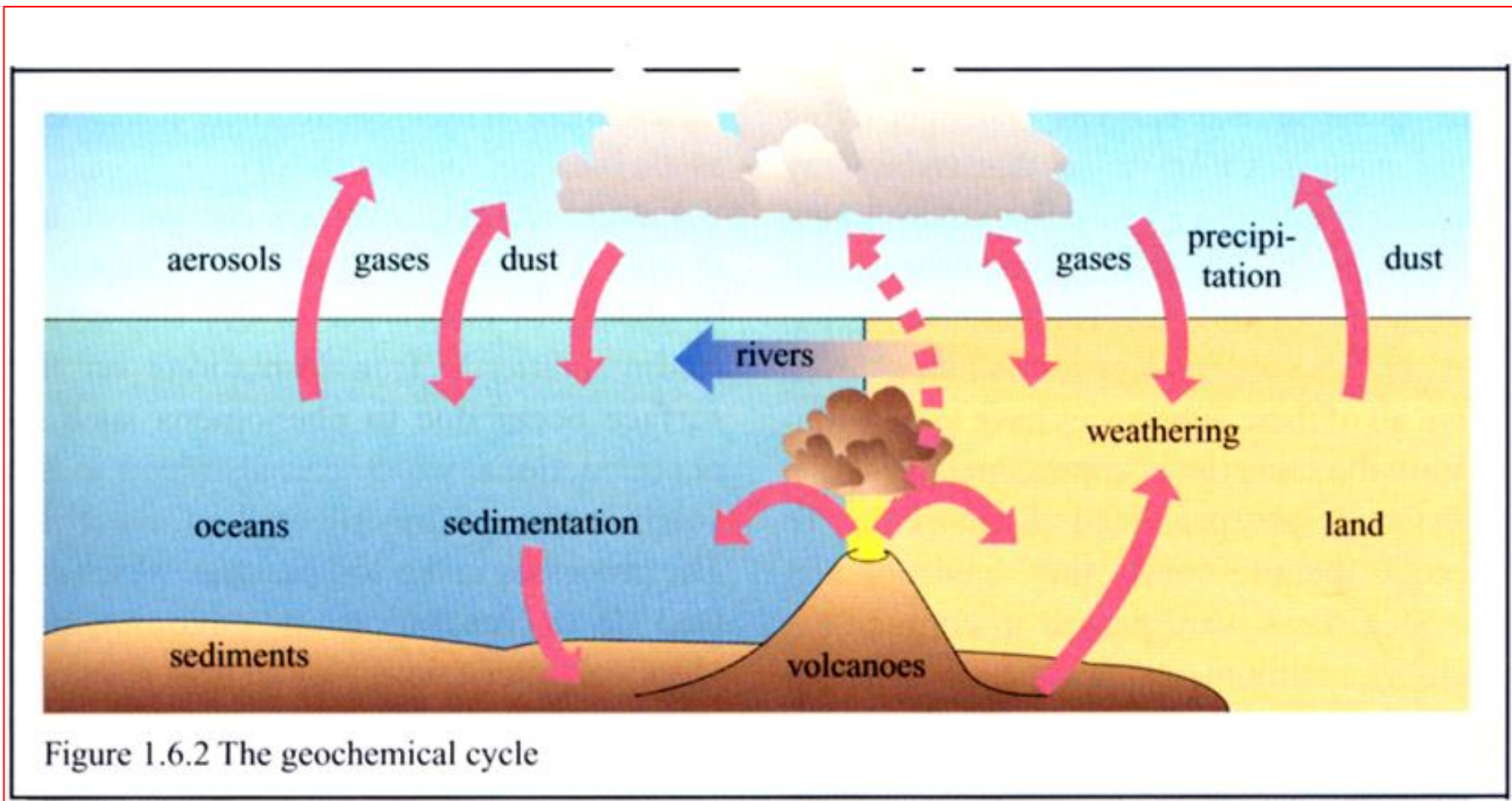
Hydrologický cyklus



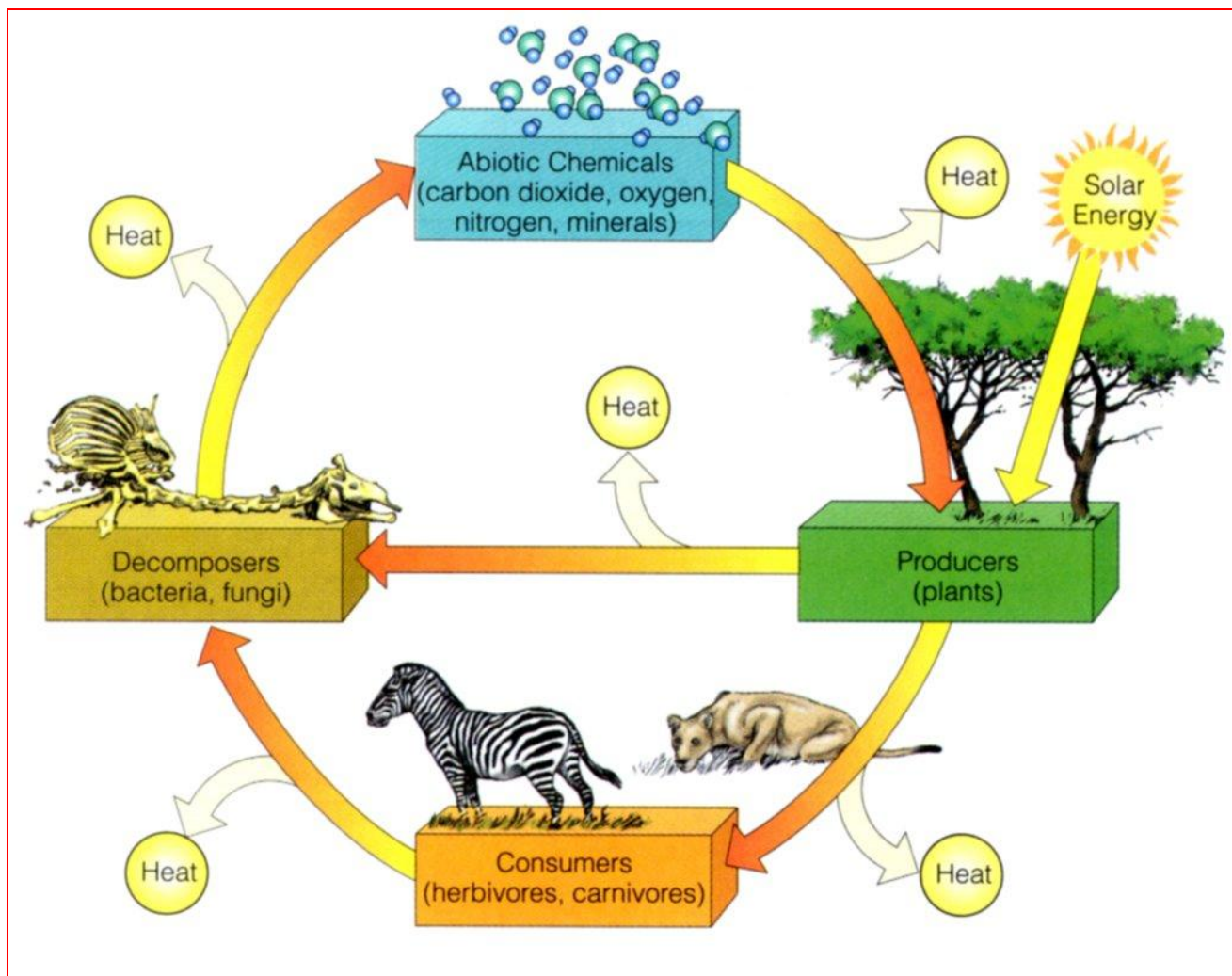
Hydrologický cyklus



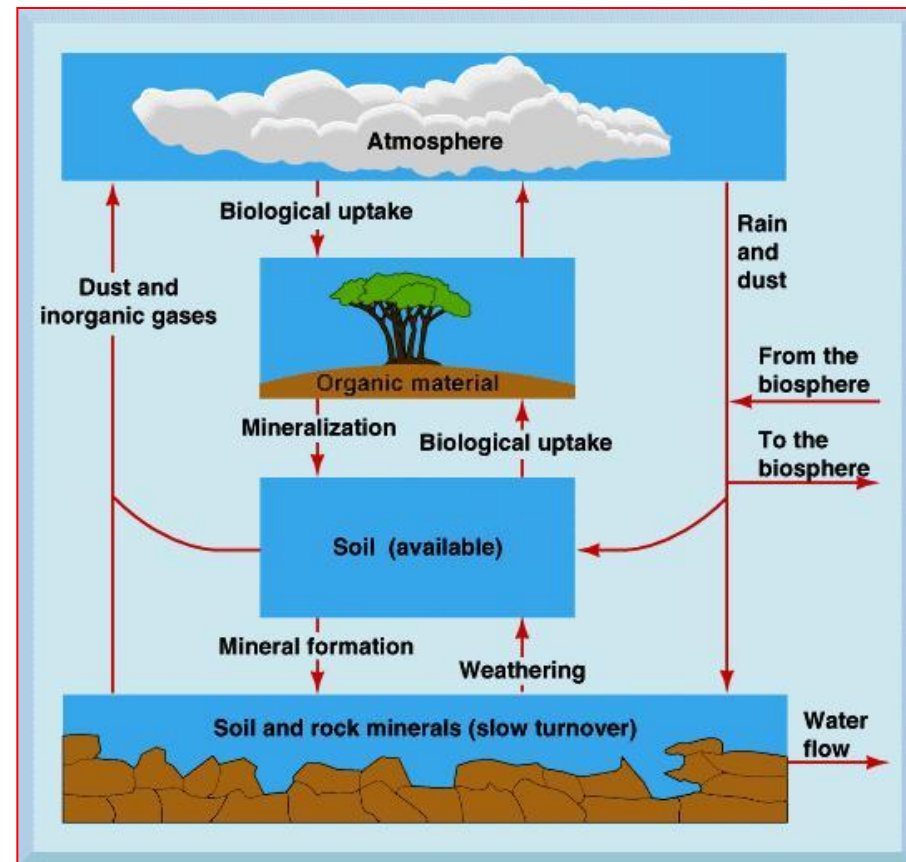
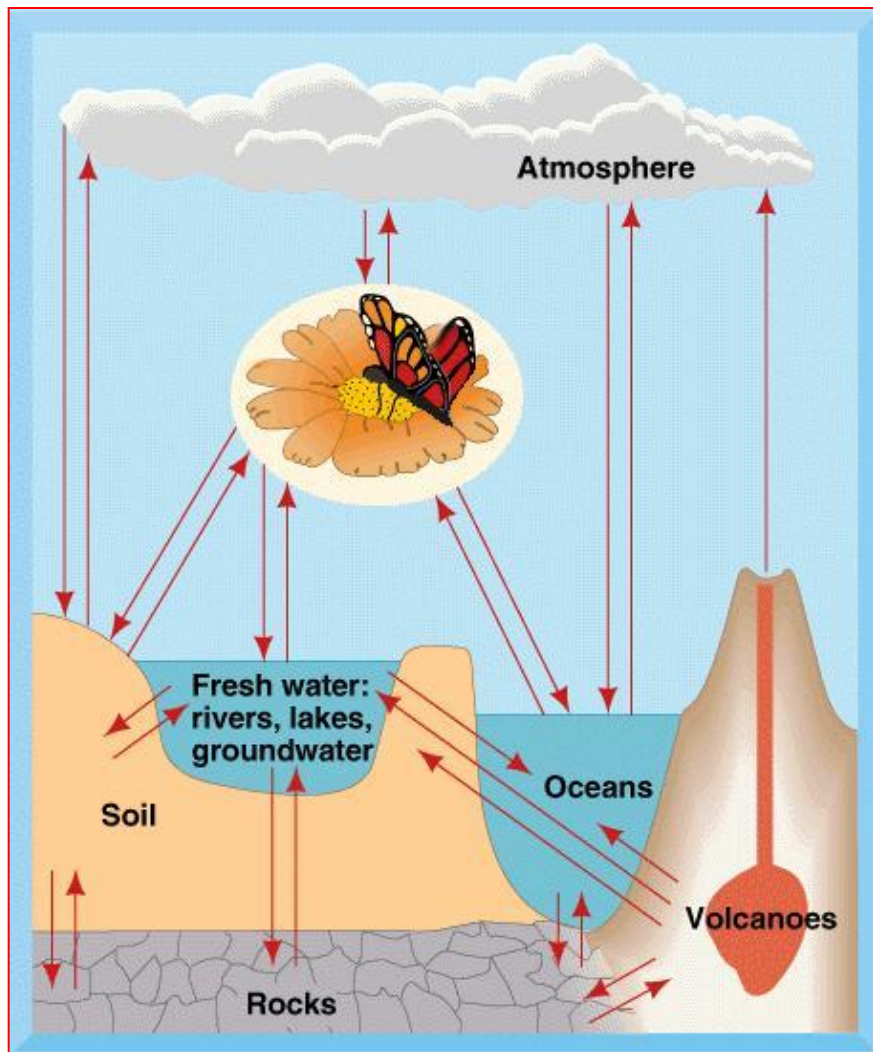
Geochemický cyklus



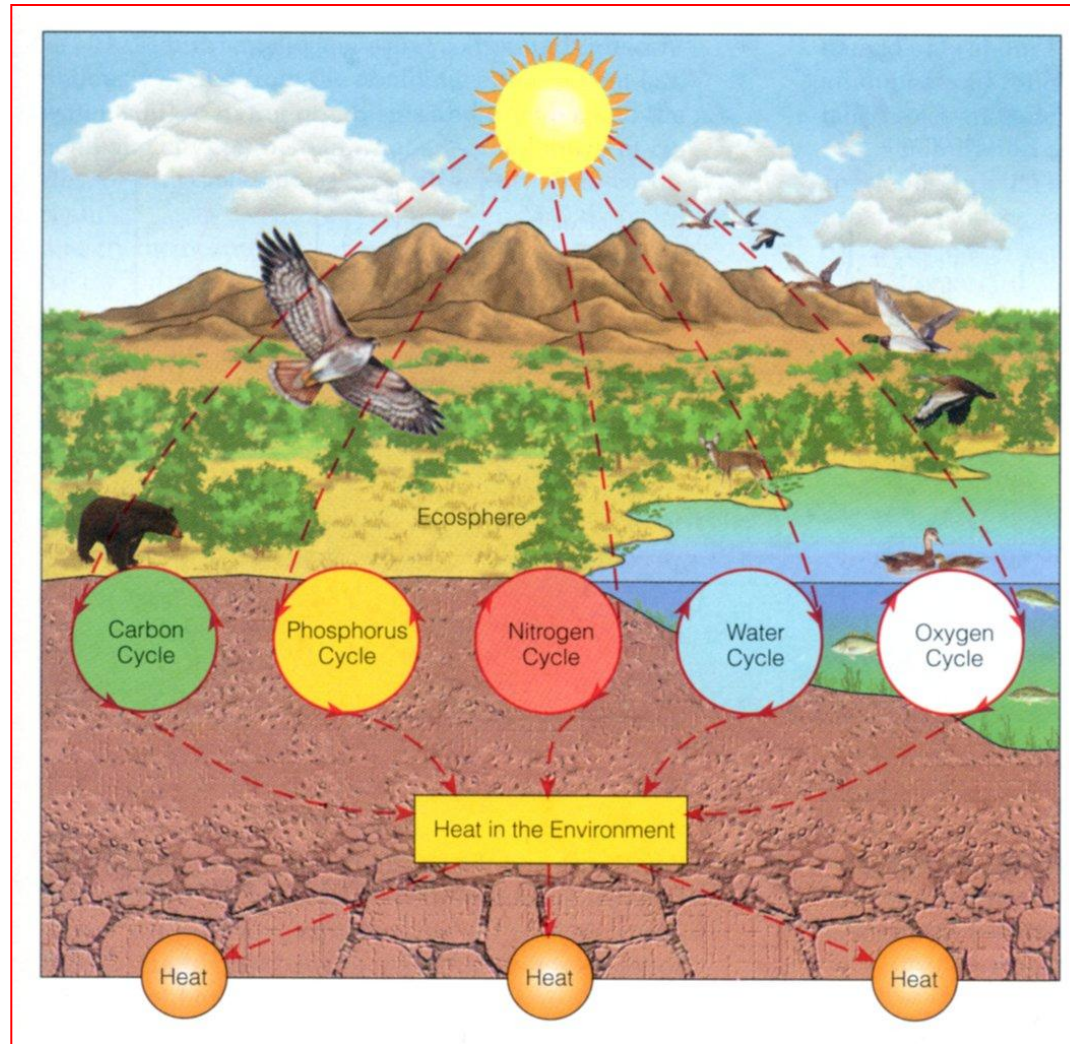
Biochemický cyklus



Biogeochemické cykly



Biogeochemické cykly



Vliv antropogenních aktivit na BGC cykly

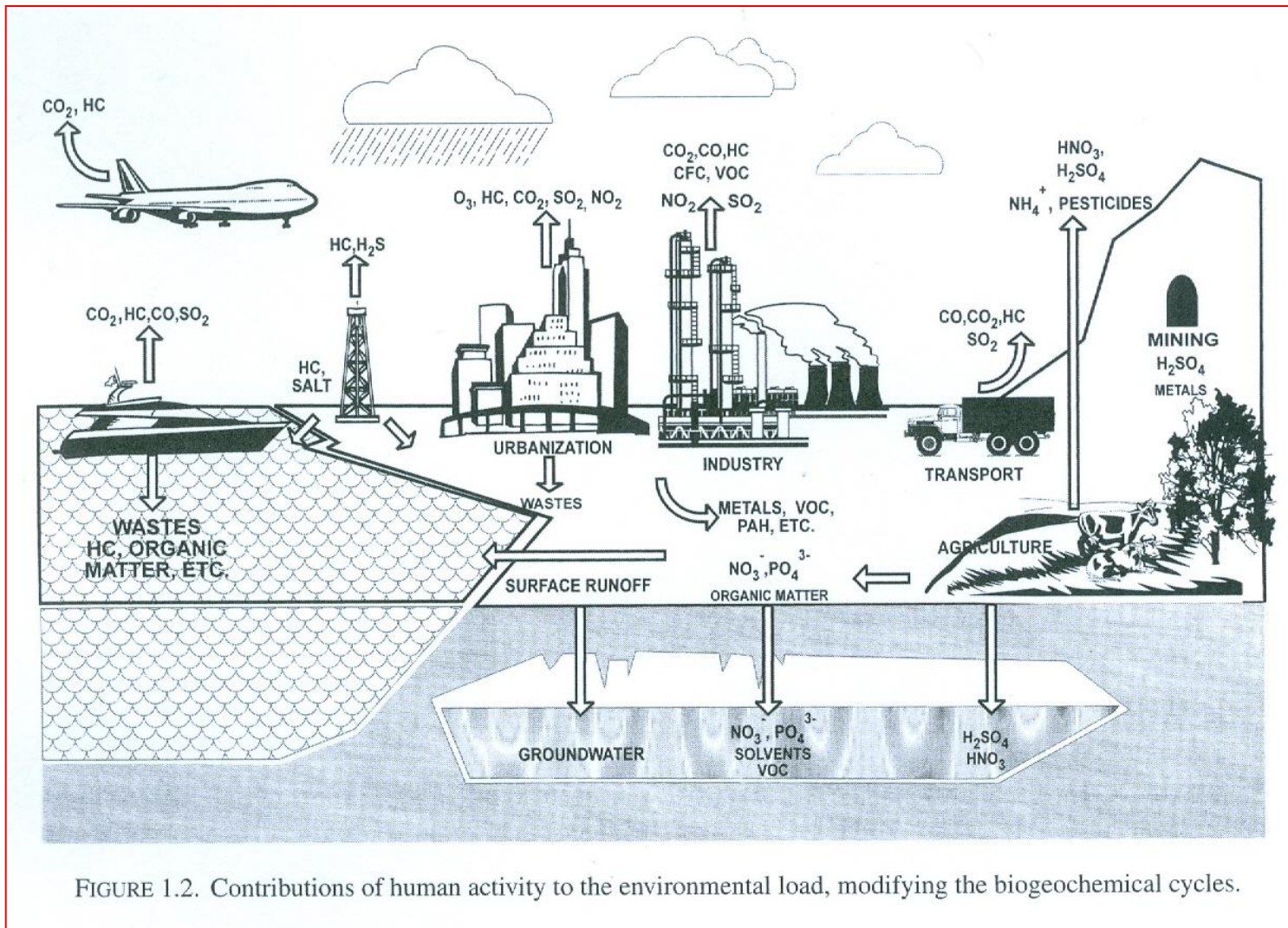
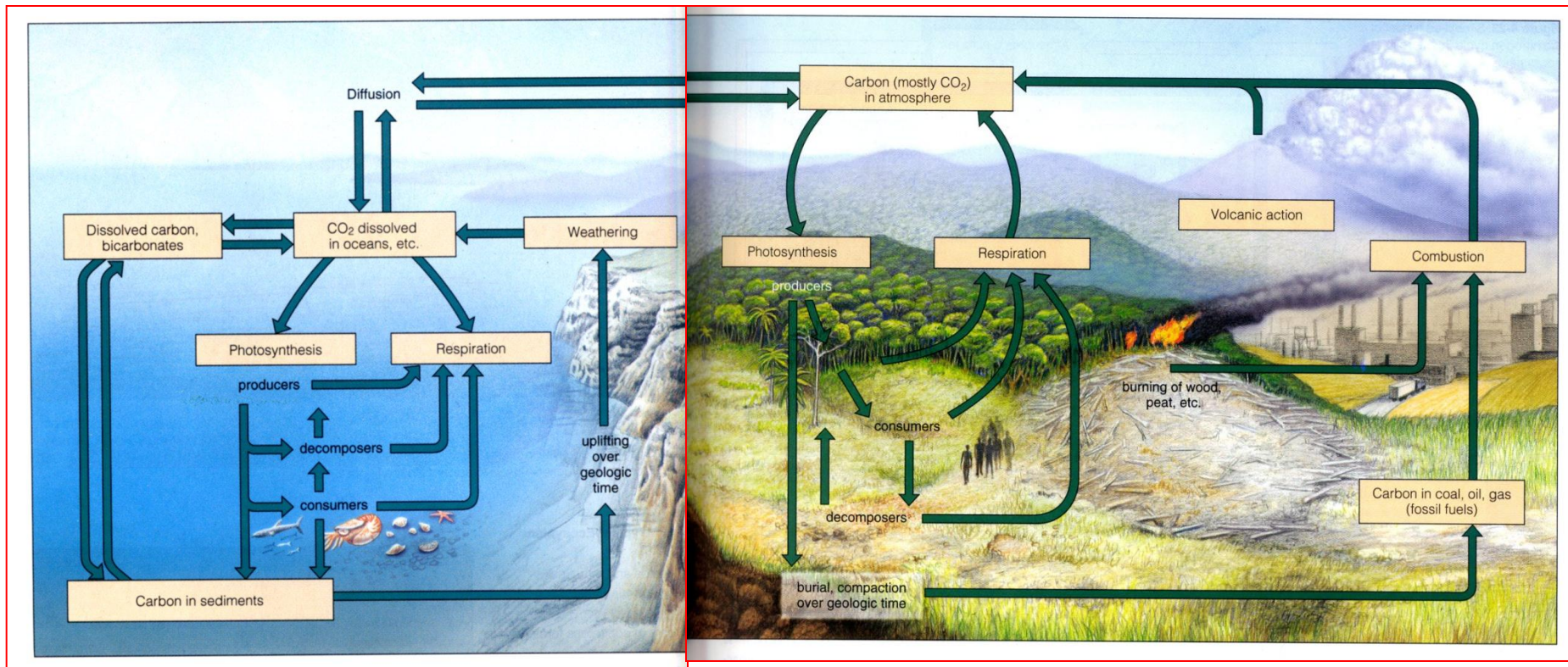
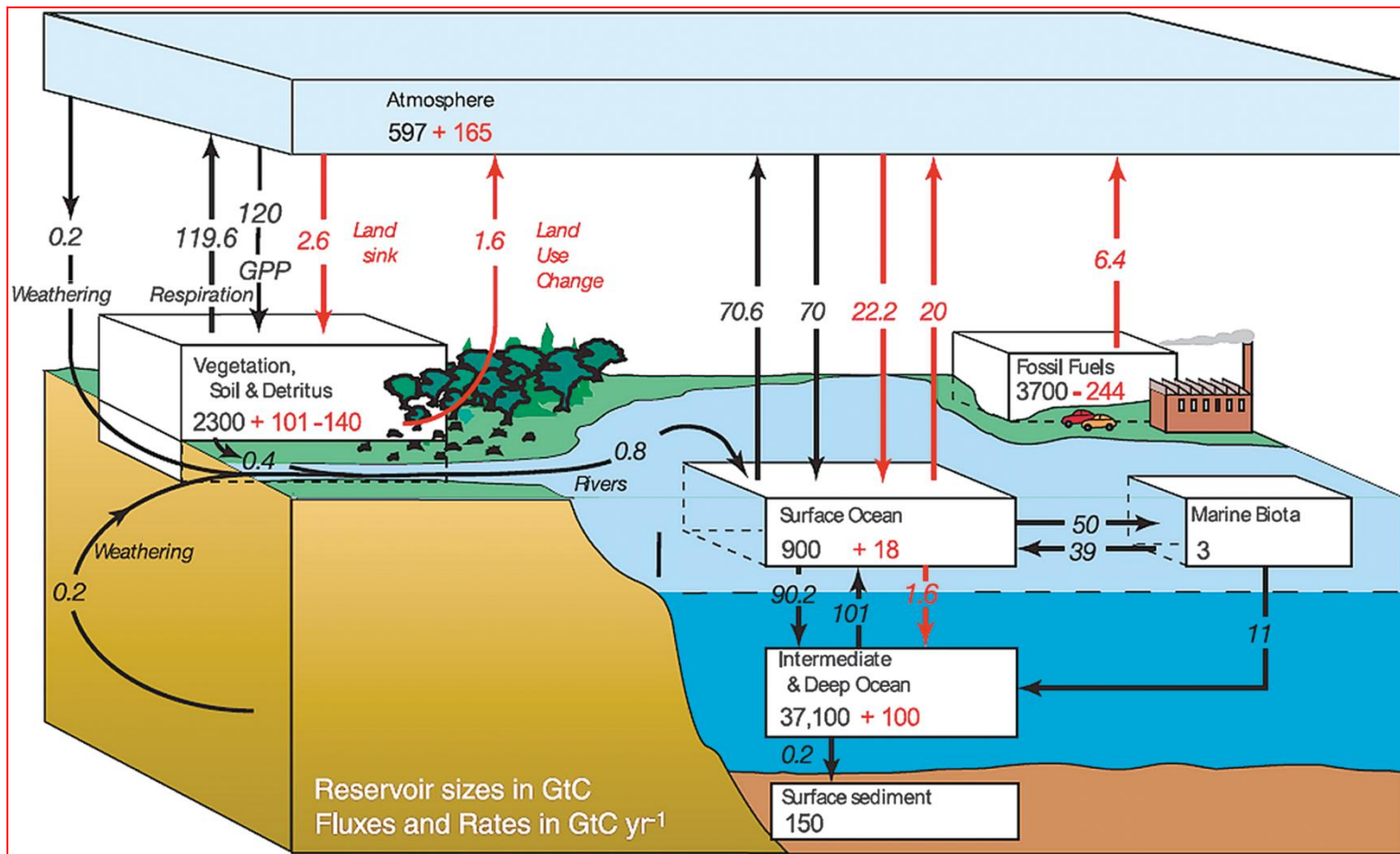


FIGURE 1.2. Contributions of human activity to the environmental load, modifying the biogeochemical cycles.

Biogeochemický cyklus uhlíku

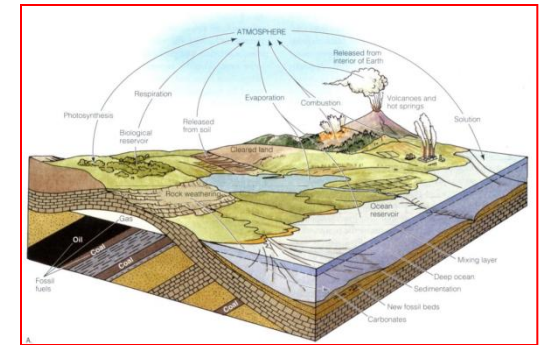


Biogeochemický cyklus uhlíku



The carbon cycle. Representative global values for the 1990s are indicated for reservoirs and fluxes. Annual fluxes are given in 10^{12} kg Carbon yr⁻¹: preindustrial 'natural' fluxes are in black and 'anthropogenic' fluxes in red. From Climate Change 2007 – The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007.

Biogeochemický cyklus uhlíku

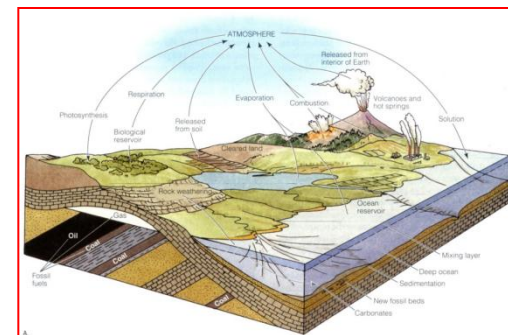


Tři části:

- Biochemický – 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 CO_2 spalováním fosilních paliv

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 %

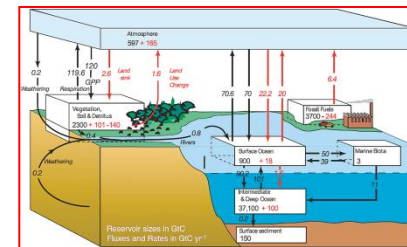
Největším rezervoárem uhlíku jsou oceánské a pevninské sedimenty.

Biogeochemický cyklus uhlíku

Antropogenní vlivy:

- ↪ Do atmosféry se dostává ročně **6 miliard t CO₂** spalováním fosilních paliv
- ↪ 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.

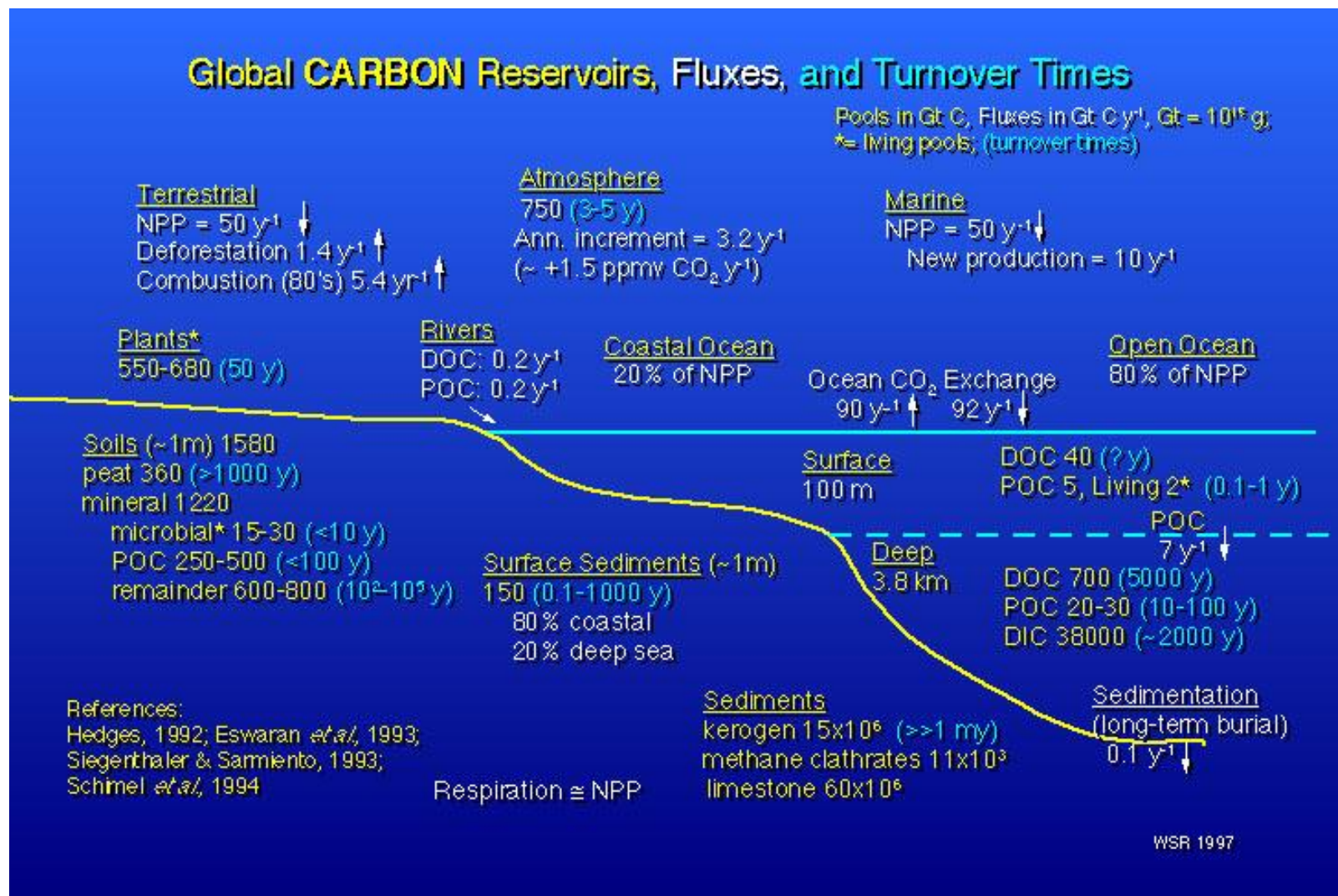


Biogeochemický cyklus uhlíku

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

Global METHANE Reservoirs, Fluxes, and Turnover Times

Enteric fermentation 80 y⁻¹
 Biomass burning 55 y⁻¹
 Termites 20 y⁻¹
 Landfills 40 y⁻¹
 Coal production 35 y⁻¹
 Gas production 40 y⁻¹
 Wetlands 115 y⁻¹
 boreal 35 y⁻¹
 tropical 80 y⁻¹
 Rice Production 100 y⁻¹

Pools in Tg CH₄, Fluxes in Tg CH₄ yr⁻¹, Tg = 10¹² g; (turnover times)

Atmosphere

4800 (1.7 ppm, +1% y⁻¹)
(9.6 y)

Photochemical oxidation 450 y⁻¹ ↓

Oceans and Lakes 10 y⁻¹ ↑

Soil consumption 40 y⁻¹ ↓

Hydrates

~10¹⁷
5? y⁻¹

Σ production (500 y⁻¹) - Σ consumption (460 y⁻¹) = 40 y⁻¹ annual atmospheric increase

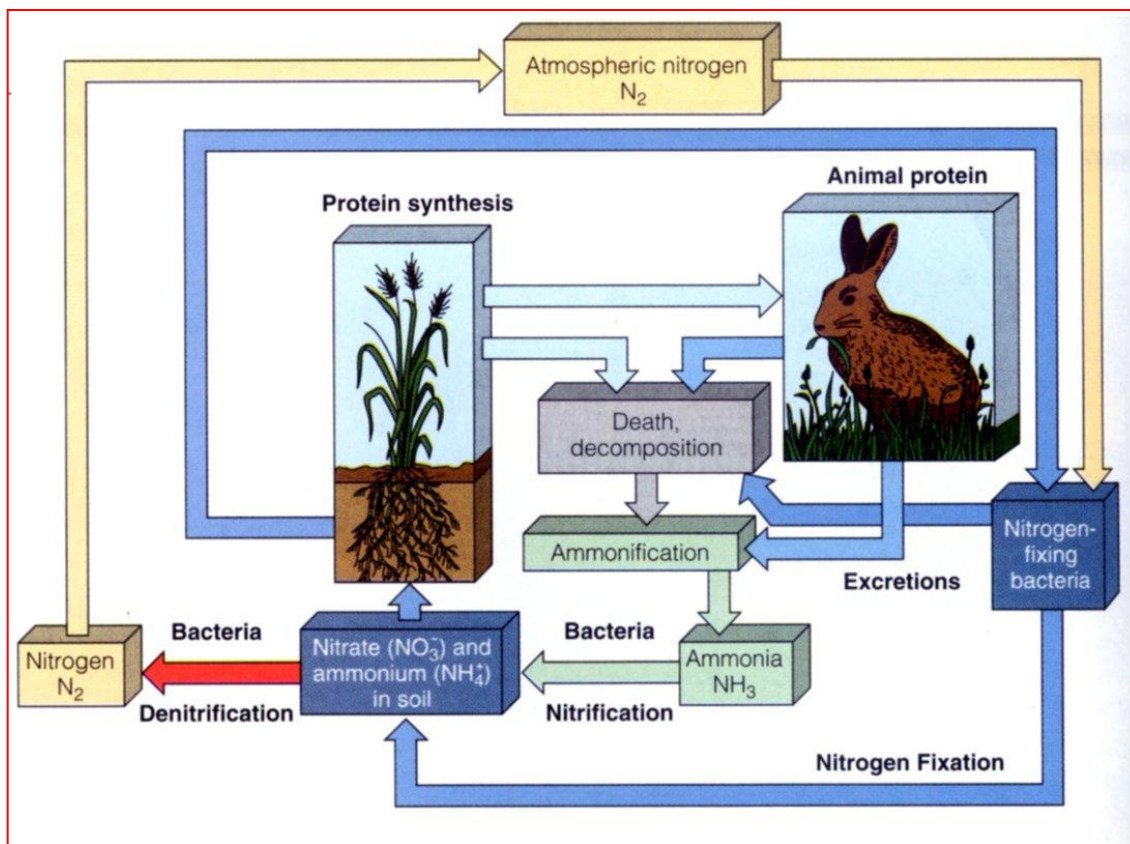
Fossil sources 20%
Modern biogenic sources 70-90%

References:

Cicerone & Oremland, 1988
 Fung *et al.*, 1991
 Reeburgh, Whalen & Alperin, 1993

WSR 1994

Biogeochemický cyklus dusíku



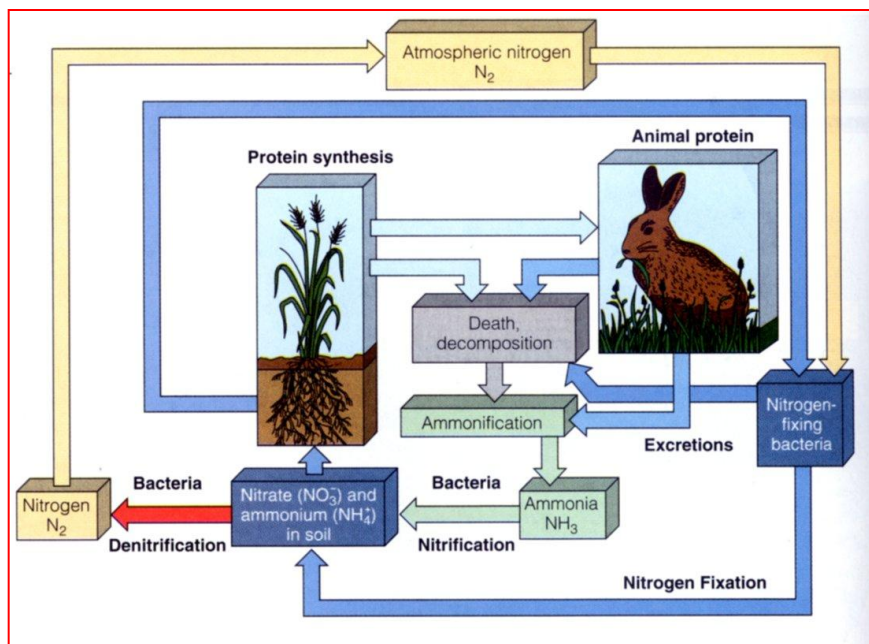
Aminokyseliny jsou důležitými sloučeninami všech živých organismů ($-NH_2$ skupiny; bílkoviny).

Dusík ve třech formách:

- ↪ plynný jako prvek N_2
- ↪ v redukované podobě jako amoniak NH_3
- ↪ v oxidované podobě jako dusičnanový NO_3^- ion

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

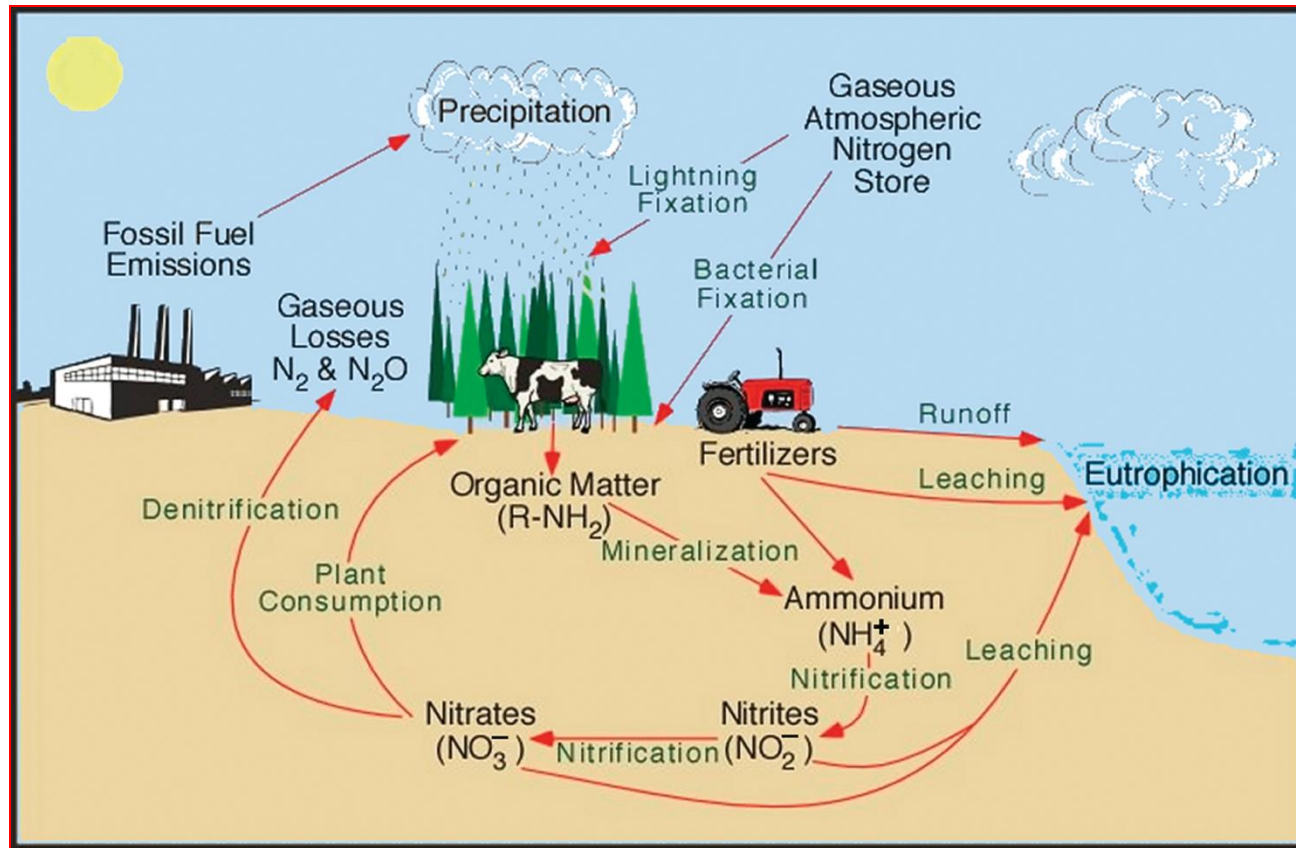
Biogeochemický cyklus dusíku



Člověk:

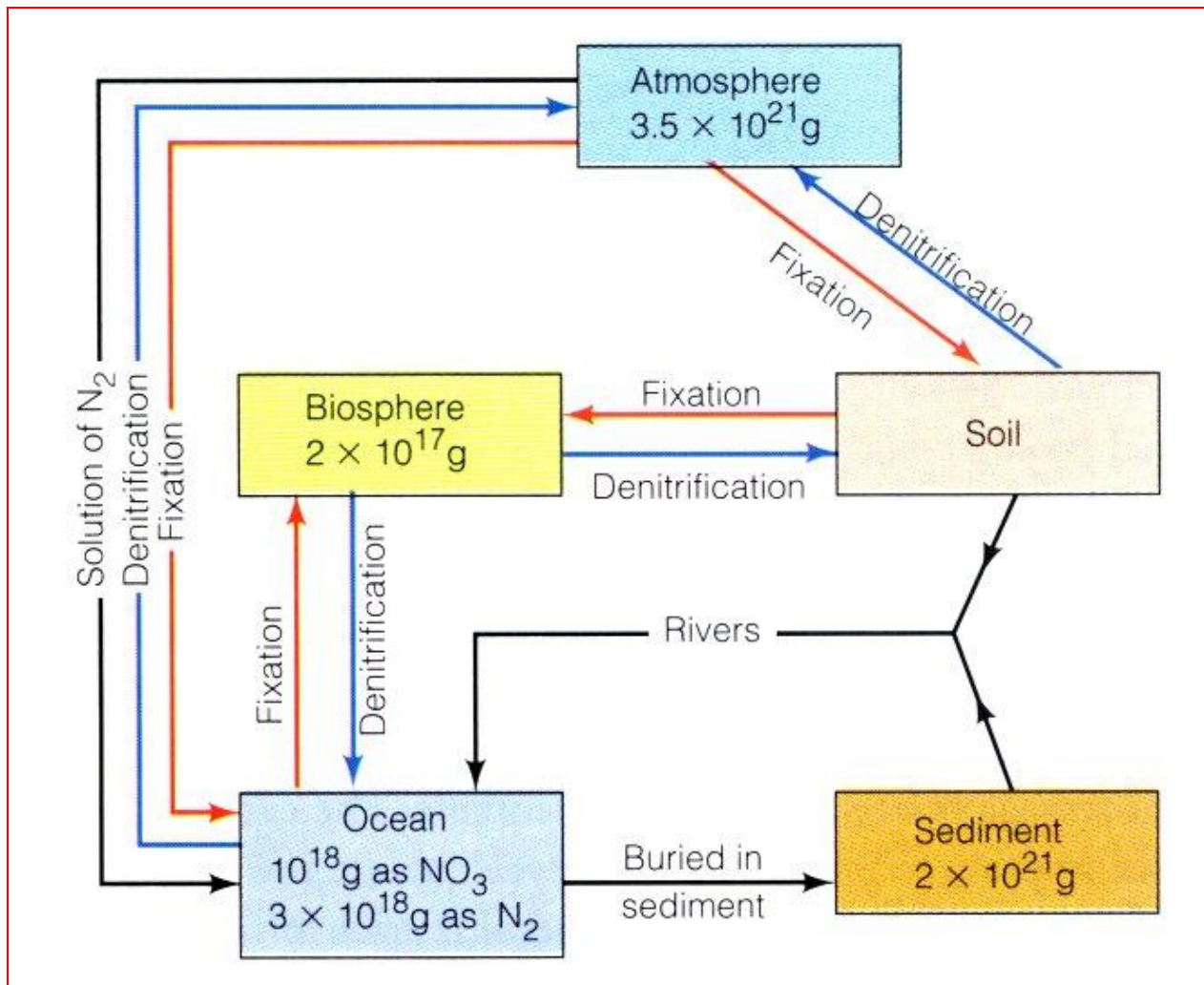
- ↪ spalování paliv (vznik NO za vysokých teplot z N_2 a O_2), ten se dále oxiduje na NO_2 a s vodou tvoří HNO_3 (kyselý déšť)
- ↪ N_2O (skleníkový plyn) uvolňován bakteriemi ze zemědělských odpadů
- ↪ uvolňování z půdy zavlažováním, vypalováním pralesů
- ↪ hnojení a komunální odpad (-> řasy)

Biogeochemický cyklus dusíku

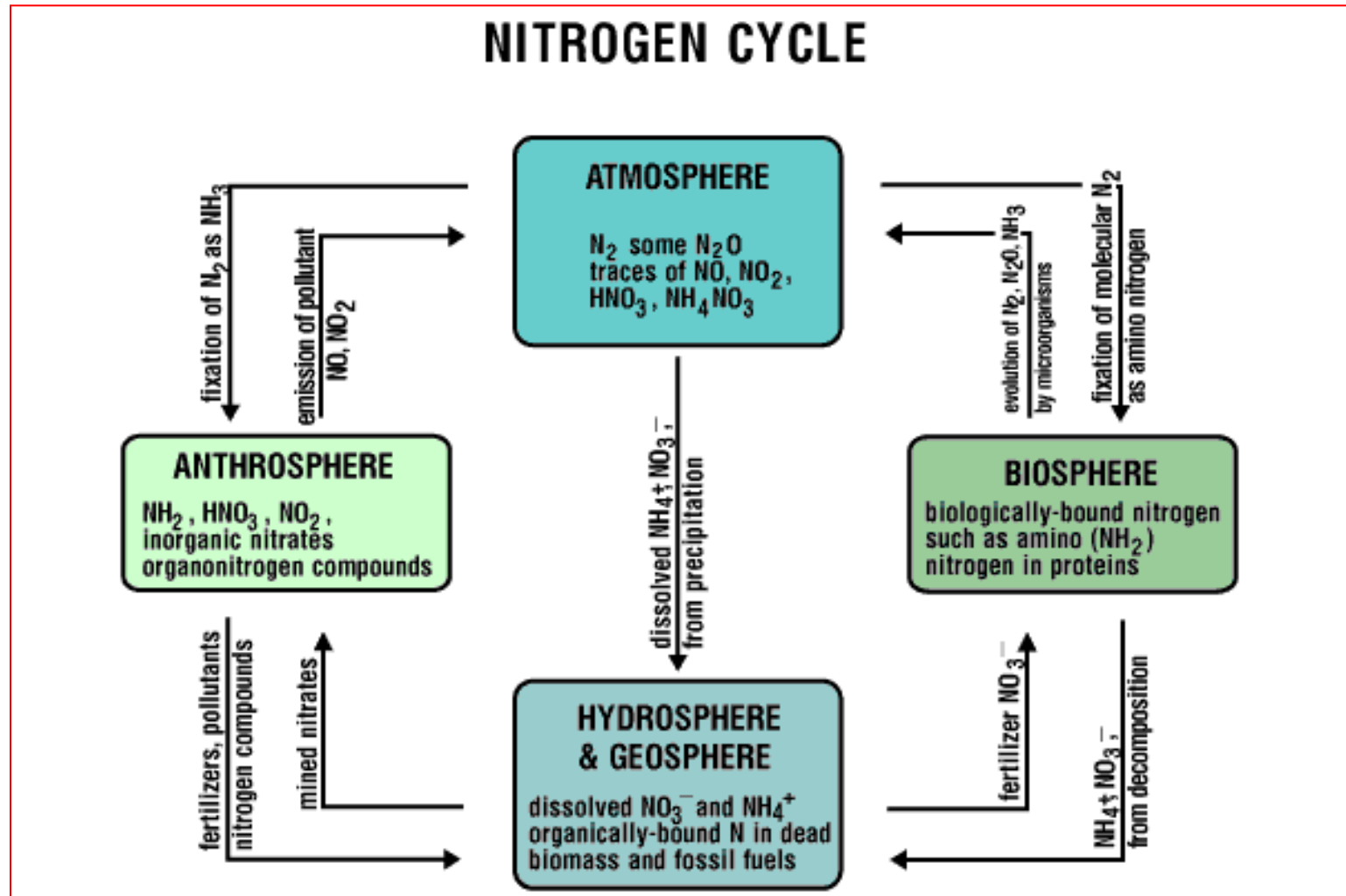


The nitrogen cycle. Some atmospheric nitrogen is converted to soluble compounds through the effects of lightning, but most transferred from the atmosphere is biochemically fixed within the soil by specialized micro-organisms, some of which are hosted symbiotically on the root nodules of leguminous plants. Biological activity fixes globally 1.4×10^{11} kg yr⁻¹ N. Nitrogen stored in organic matter is returned to the atmosphere in a series of bacterial oxidation steps that form first ammonium salts, then nitrites and nitrates, and finally the gases N_2 and N_2O . Source: M. Pidwirny, *The Nitrogen Cycle in Fundamentals of Physical Geography*, 2nd edn, 2006. [eBook at <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9s.html>]

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 dusíku

Global NITROGEN Reservoirs, Fluxes, and Turnover Times

Fixation ↓

Natural terrestrial 190 y^{-1}
 Natural oceanic 40 y^{-1}
 Leguminous crops 40 y^{-1}
 Chemical fertilizer 20 y^{-1}
 Combustion 20 y^{-1}

Terrestrial Biomass

3.5×10^4 (50y)

Soil

9.5×10^4 (~2000 y)

Atmosphere

N_2 : $3.9\text{--}4.0 \times 10^9$ (10^7 y)
 Fixed N: $1.3\text{--}1.4 \times 10^3$ (~5 wk)
 N_2O : 1.4×10^3 (10^2 y)

Pools in Tg N, Fluxes in Tg N y^{-1} , Tg = 10^{12} g;
 (turnover times)

Denitrification ↑

Natural terrestrial 147 y^{-1}
 Natural ocean 30 y^{-1}
 Industrial combustion 20 y^{-1}
 Biomass burning 12 y^{-1}

River runoff

36 y^{-1}

Marine Biomass

Plants: 3×10^2
 Animals: 1.7×10^2

Ocean

N_2 : 2.2×10^7
 N_2O : 2.0×10^4
 Inorganic: 6×10^5
 Organic: 2×10^5

References:

Burns & Hardy, 1975; Jaffe, 1992; McElroy *et al.*, 1976; Schlesinger & Hartley, 1992; Stedman & Shelter, 1983; Söderlund & Svensson, 1976; Galloway *et al.*, 1995

Sediments

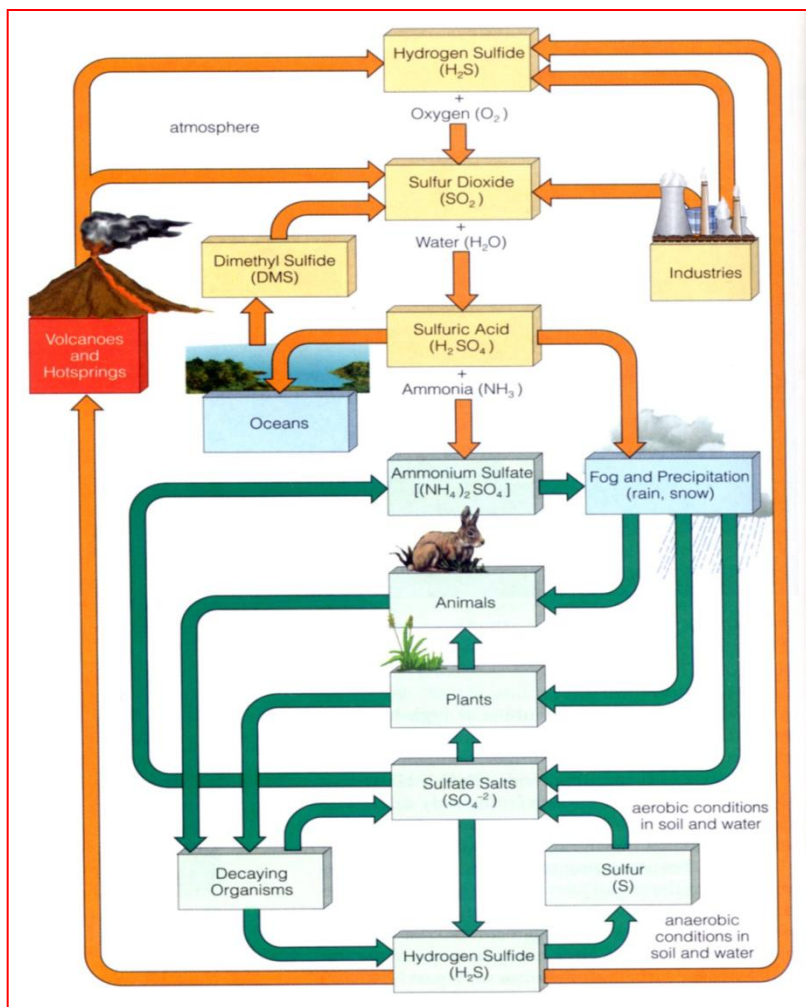
4.0×10^8 (10^7 y)
 Weathering 5 y^{-1}

Sedimentation

(burial) 14 y^{-1} ↓

WSR 1994

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

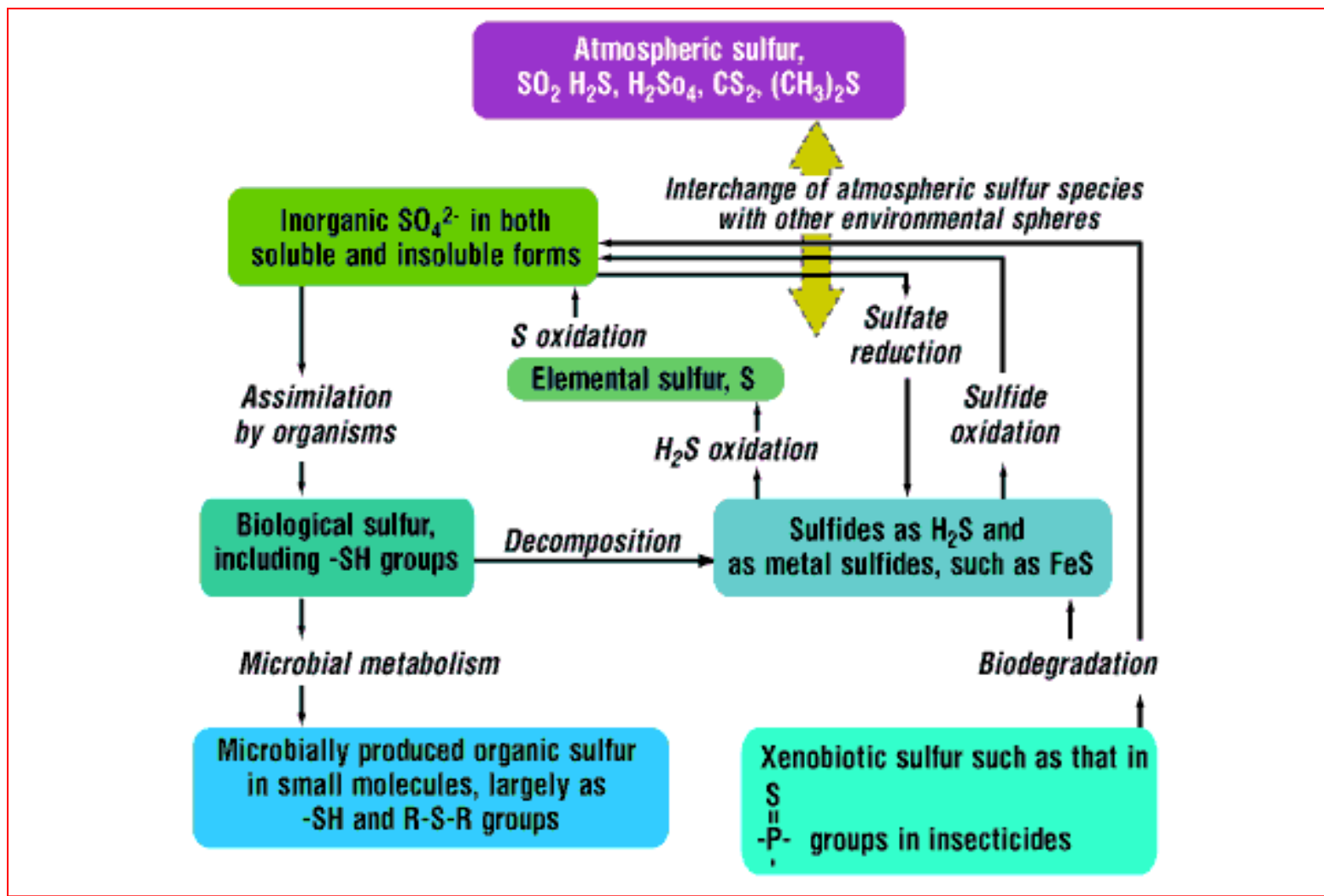
↪ DMS (dimethylsulfoxid) uvolňován do atmosféry planktonem

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

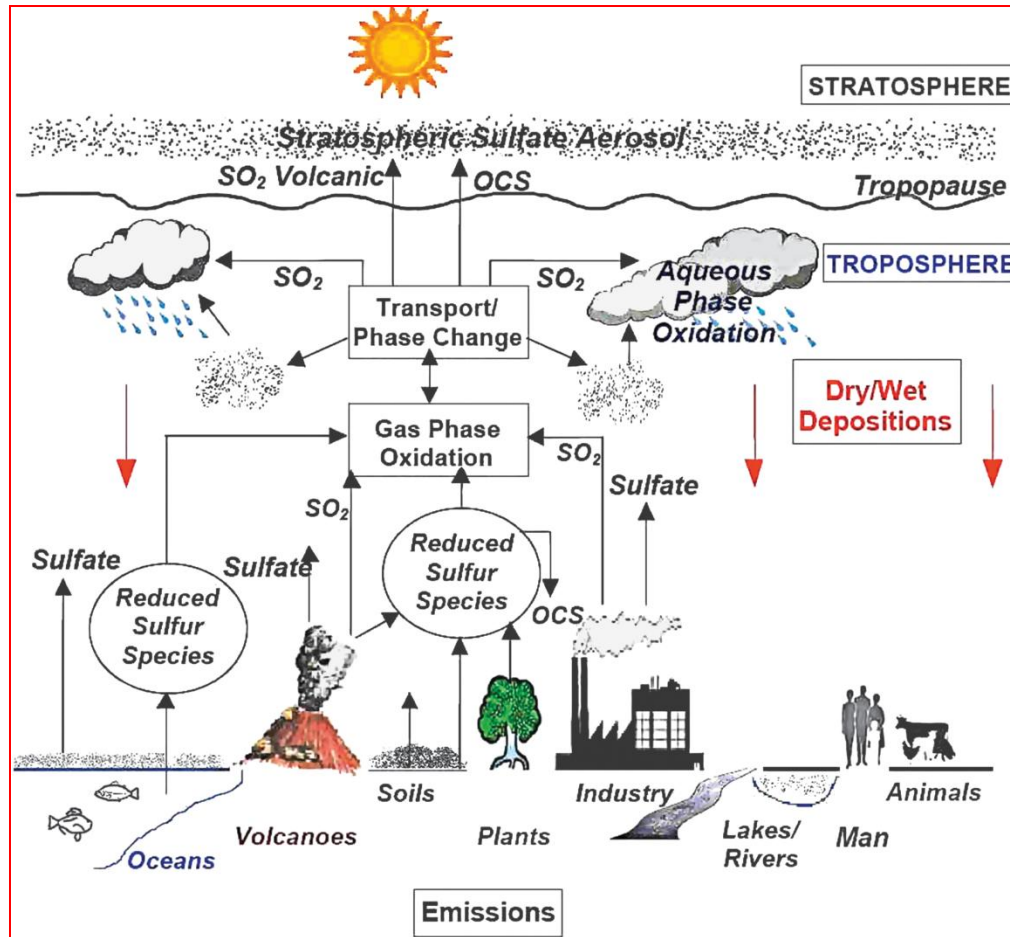
↪ spalování fosilních paliv (2/3)

↪ zpracování ropy, minerálních zdrojů

Biogeochemický cyklus síry



Biogeochemický cyklus síry



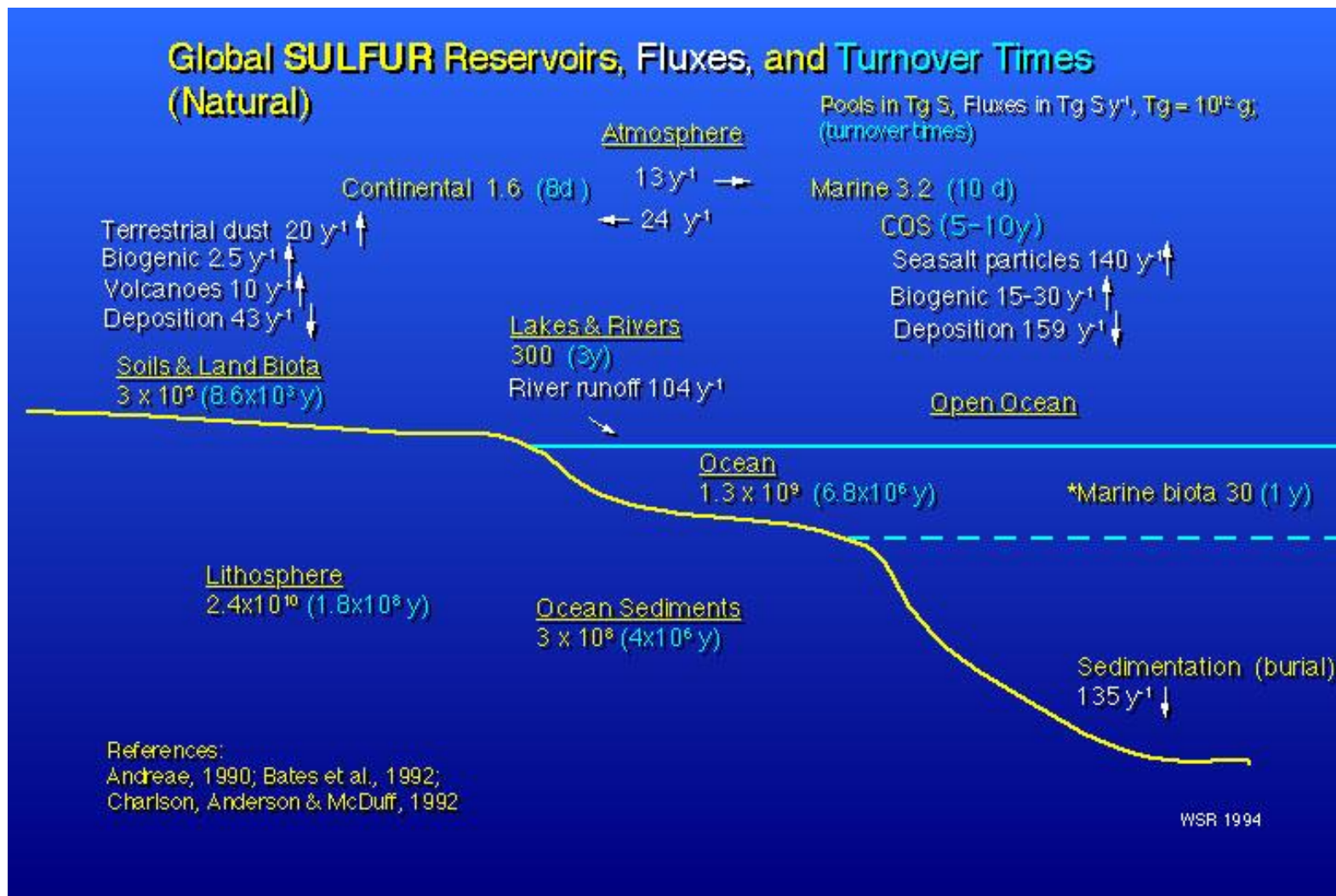
The sulfur cycle. Sulfur exists in nature in oxidation states from 2 to +6. Natural emissions are both geologic (e.g. from volcanoes) and biologic. These emissions are mainly, but not entirely, of the more reduced compounds (e.g. H₂S, (CH₃)₂S), but SO₂, CS₂ and COS are also emitted. Man adds very markedly to the releases, especially of SO₂. In the atmosphere, the reduced compounds are oxidized to SO₂, and ultimately to SO₃, in both homogeneous and heterogeneous processes. The SO₃ can become hydrolysed and incorporated in cloud or rain droplets as sulfuric acid. Return of the dissolved acid to the surface completes the cycle.

Biogeochemický cyklus síry

Global Sulfur Reservoirs and Turnover Times

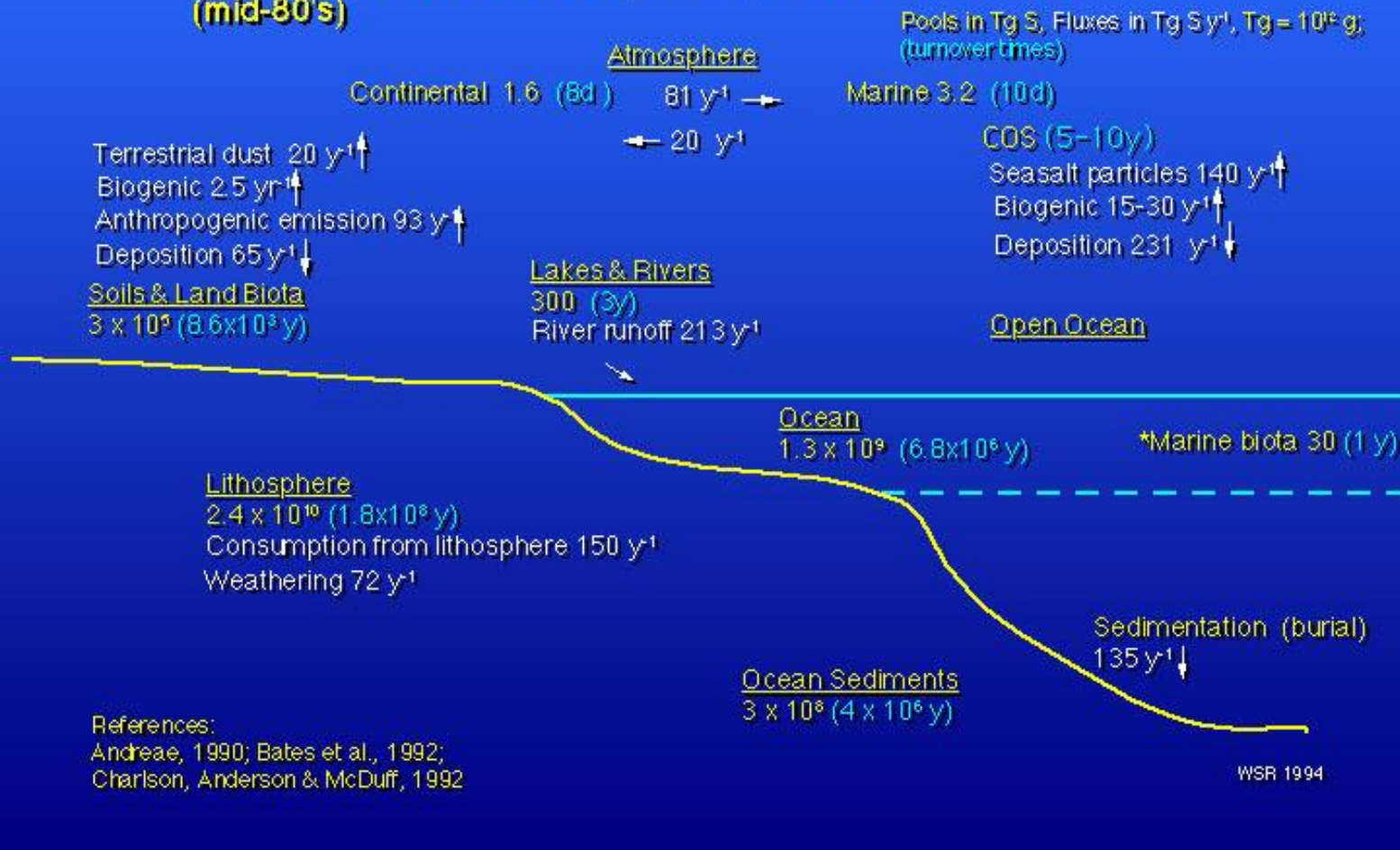
	10^{12} g S	Turnover time
Lithosphere	2×10^{10}	10^8 y
Ocean	3×10^9	10^6 y
Sediments	3×10^8	10^5 y
Soils	3×10^5	10^3 y
Lakes	300	3 y
Marine biota	30	1 y
Atmosphere	4.8	8-25 d

Biogeochemický cyklus síry

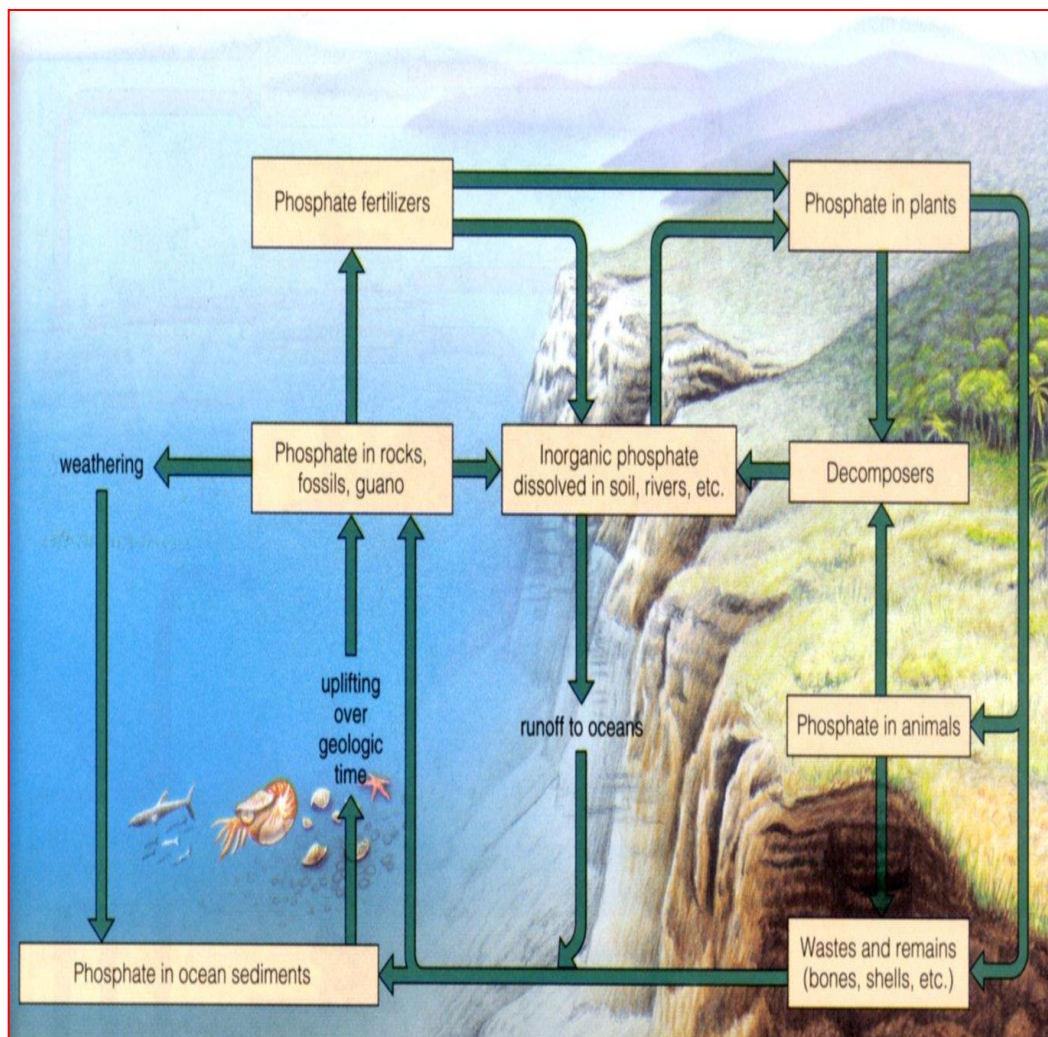


Biogeochemický cyklus síry

Global SULFUR Reservoirs, Fluxes, and Turnover Times (mid-80's)



Biogeochemický cyklus fosforu



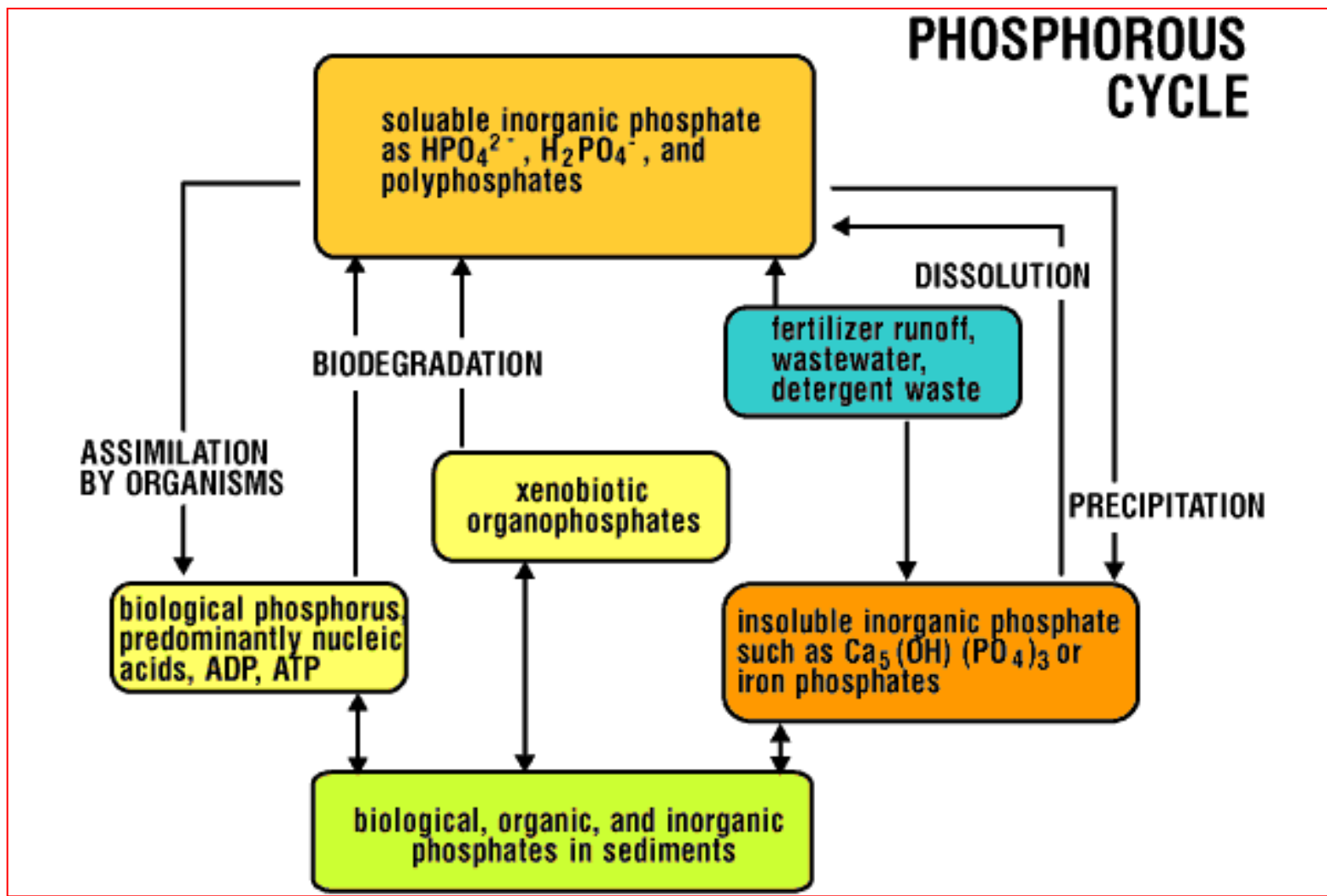
Důležitá složka RNA, DNA a přenašečů energie (ADP, ATP):

- ↪ 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

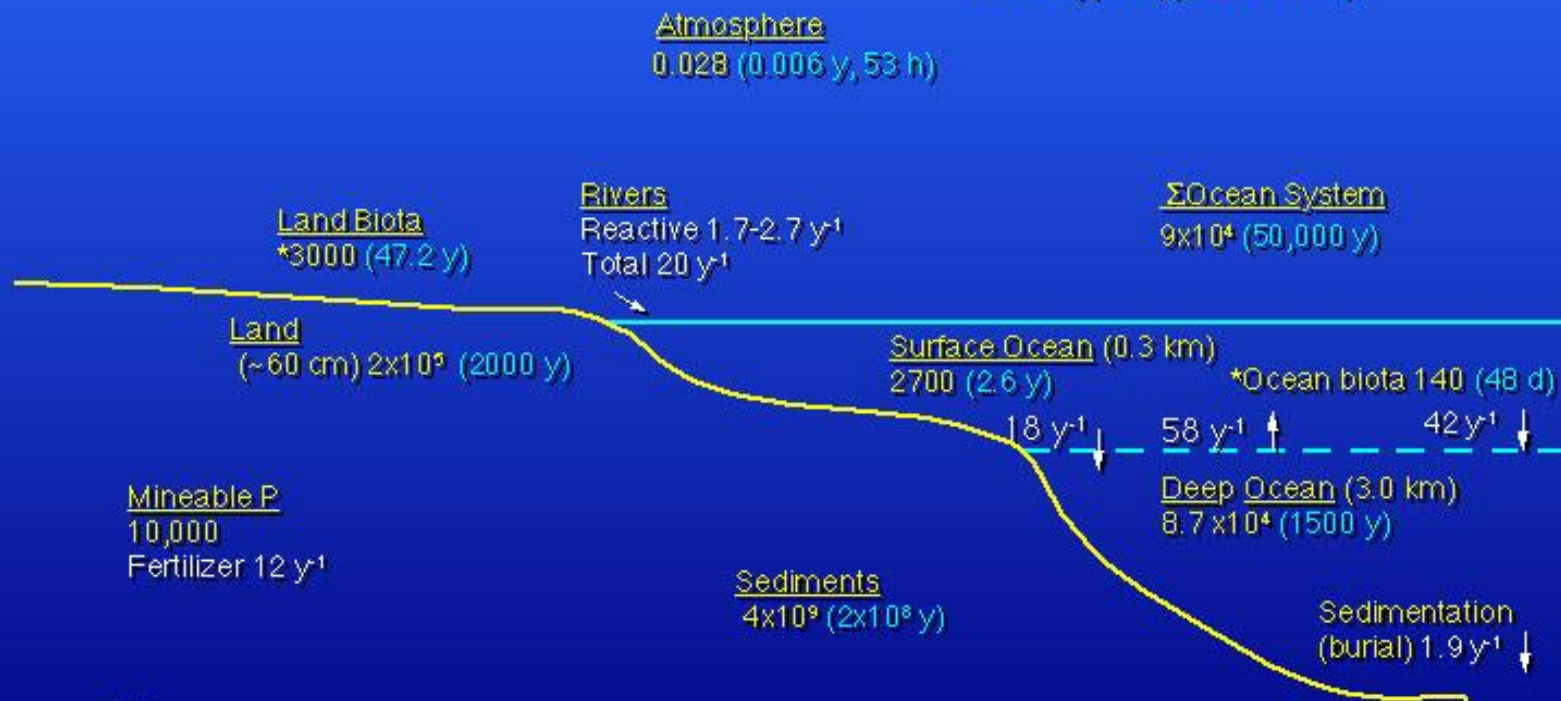
Global Phosphorus Reservoirs and Turnover Times

	10^{12} g P	Turnover time
Sediments	4×10^9	2×10^3 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

Global PHOSPHORUS Reservoirs, Fluxes, and Turnover Times

Pools in Tg P, Fluxes in Tg P yr⁻¹, Tg = 10¹² g,
 * = living pools, (turnover times)



References:
 Jahnke, 1992; Berner & Rao, 1994

WSR 1994

Biogeochemický cyklus fosforu

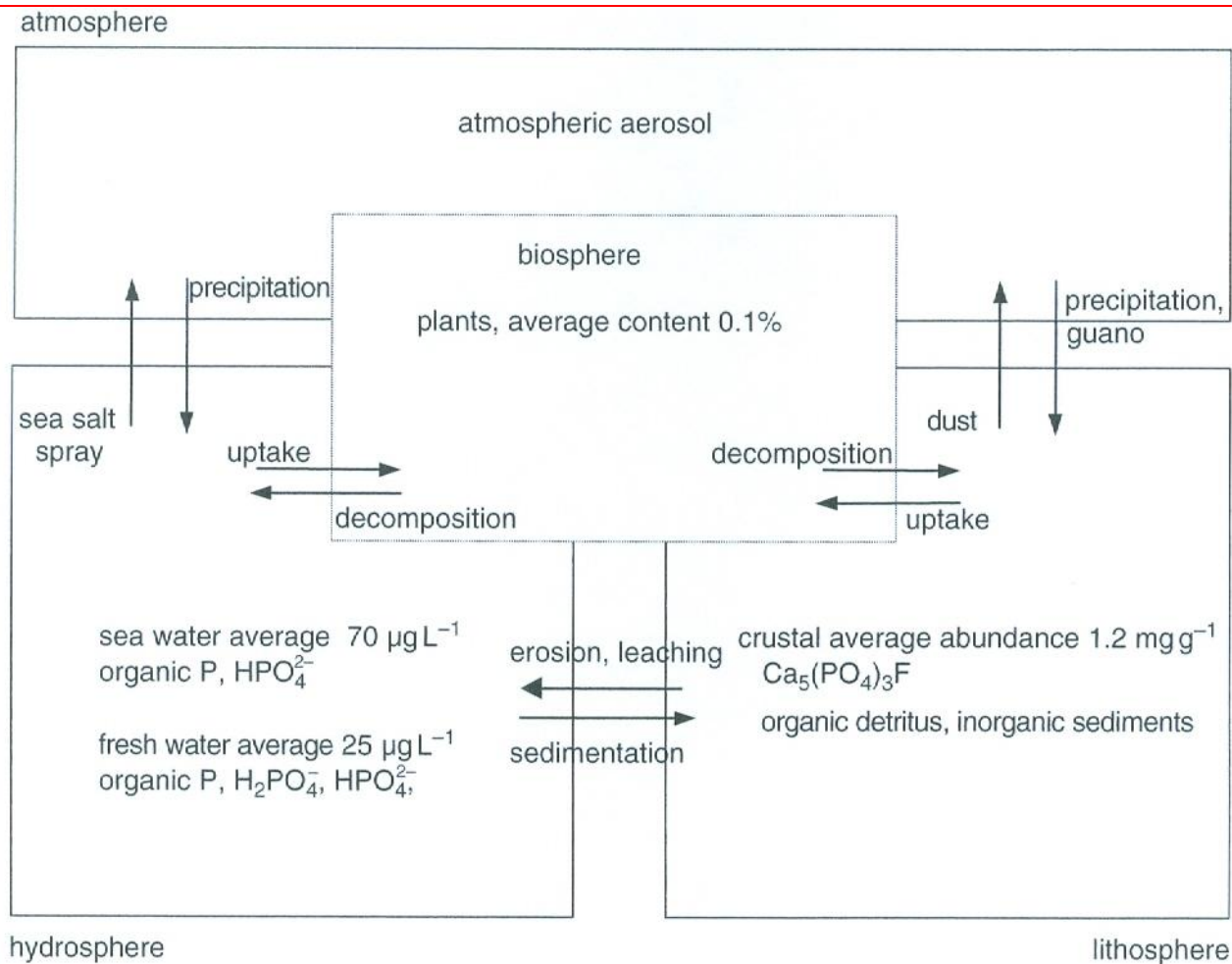
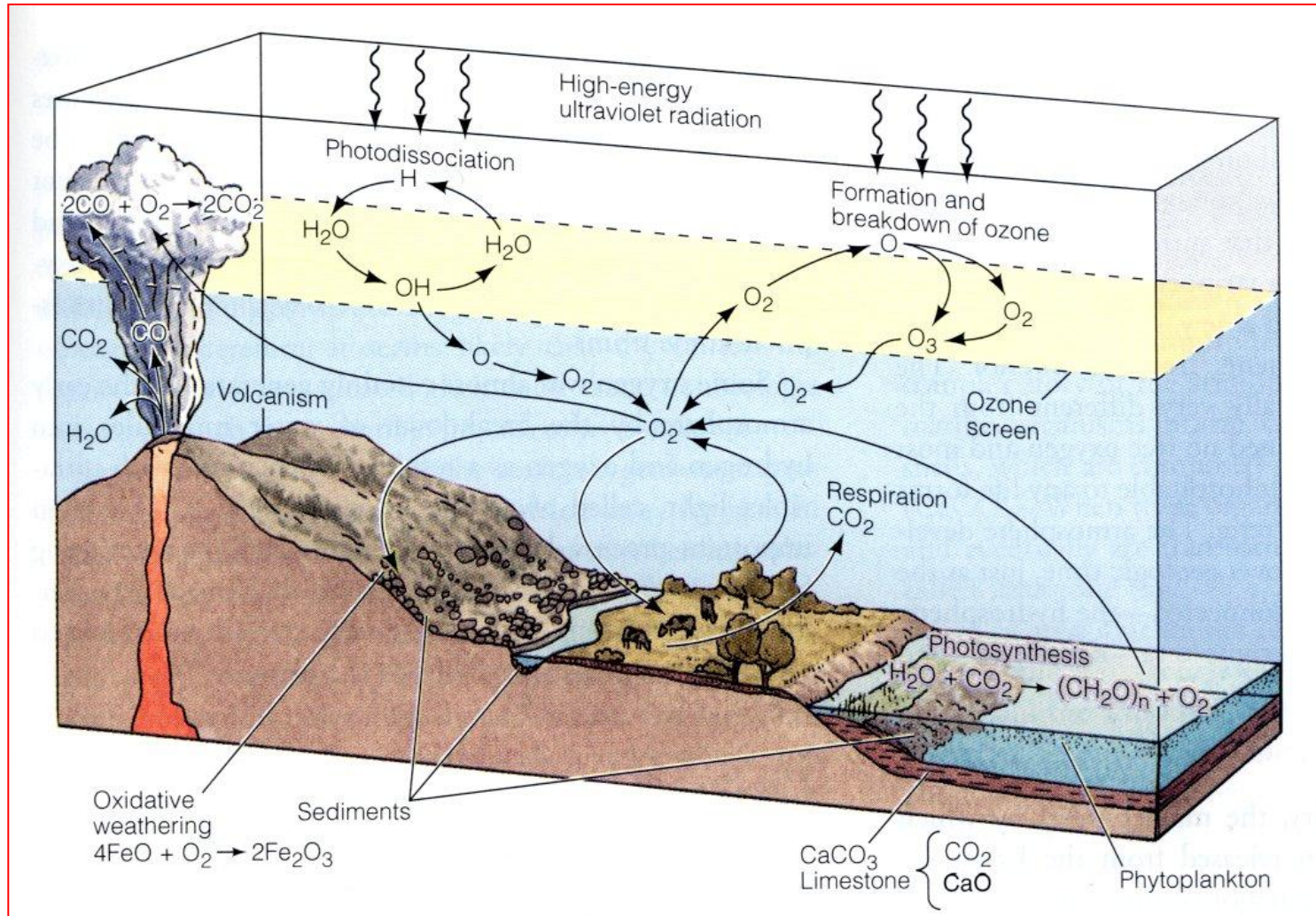
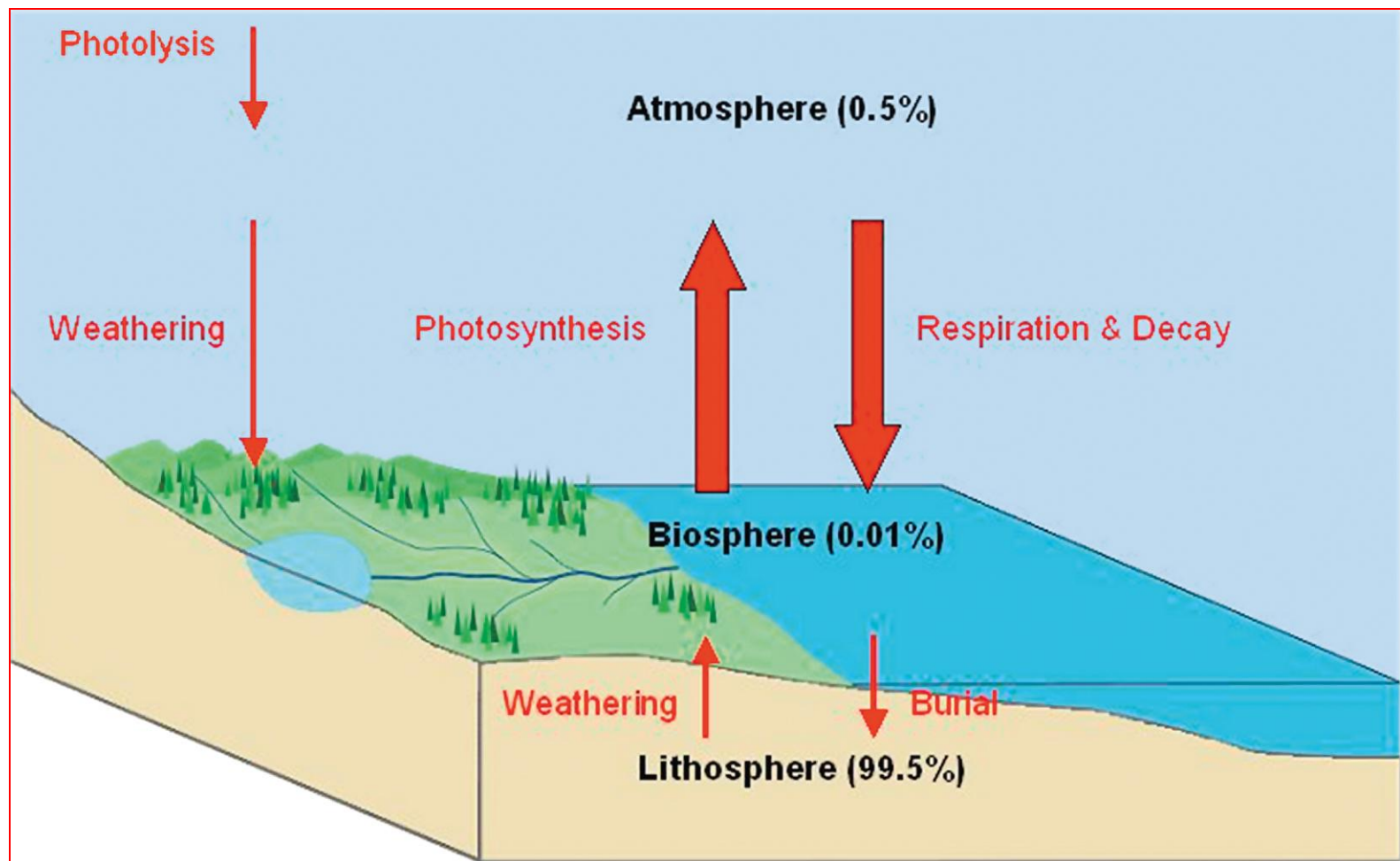


Fig. 14.11 The phosphorus cycle.

Biogeochemický cyklus kyslíku



Biogeochemický cyklus kyslíku



The oxygen cycle. The cycle consists of the movement of oxygen within and between its main reservoirs: the atmosphere, the biosphere, the lithosphere and the hydrosphere. Most of Earth's oxygen is in the lithosphere, but the greatest fluxes are to and from the biosphere. The main driver of the oxygen cycle is photosynthesis.

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

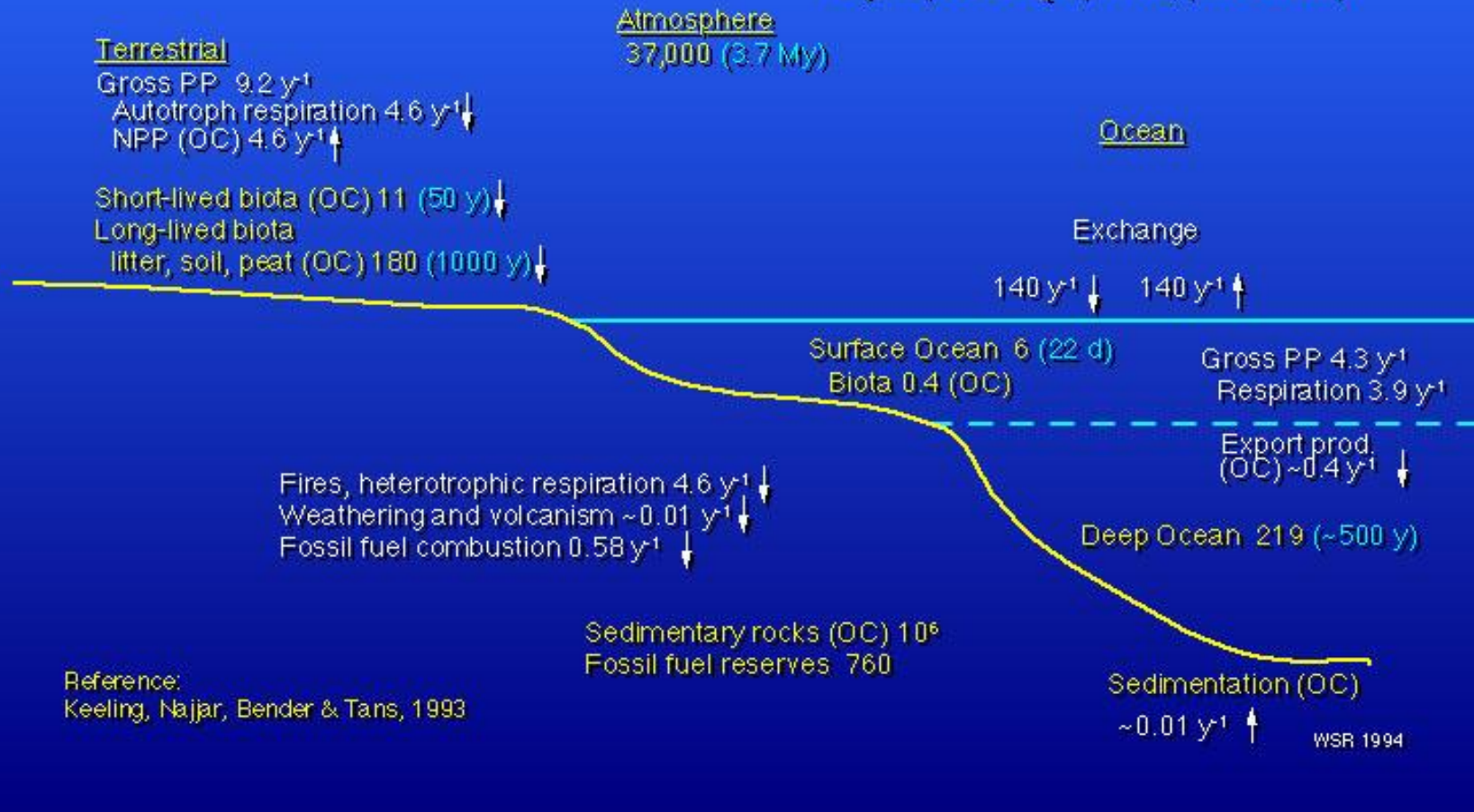
Global Oxygen Reservoirs and Turnover Times

	<u>10¹⁵ moles</u>	<u>Turnover time</u>
(Sedimentary rocks)	(10 ⁶)	
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

Biogeochemický cyklus kyslíku

Global OXYGEN Reservoirs, Fluxes, and Turnover Times

Pools in 10^{15} moles O_2 , Fluxes in 10^{15} moles O_2 y^{-1} , Organic pools as O_2 equivalent, (turnover time)

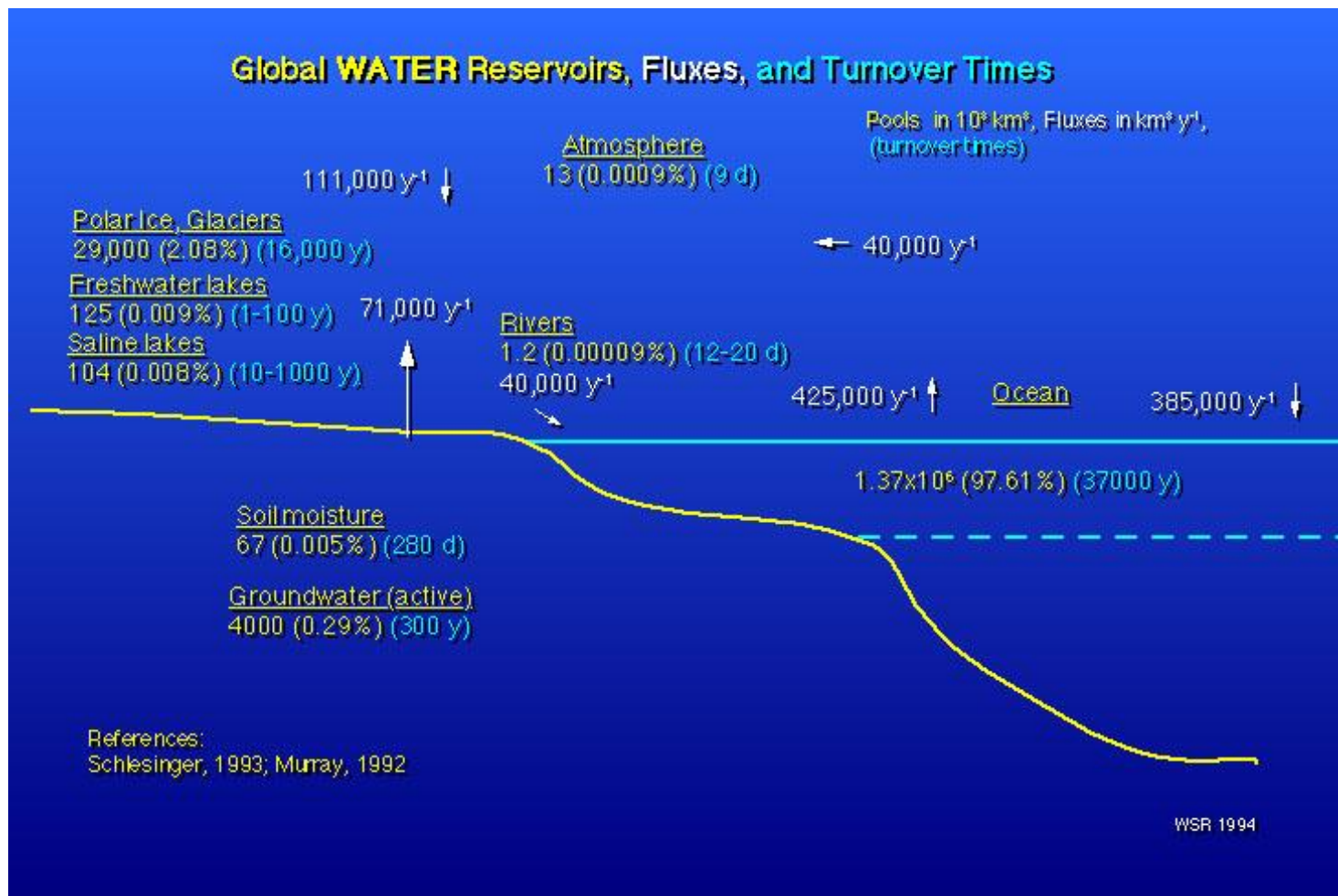
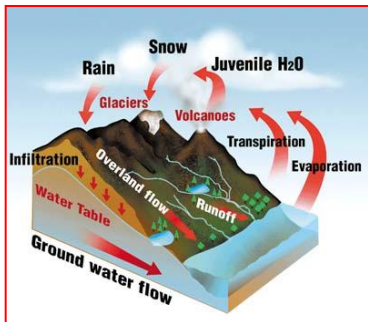


Hydrologický cyklus

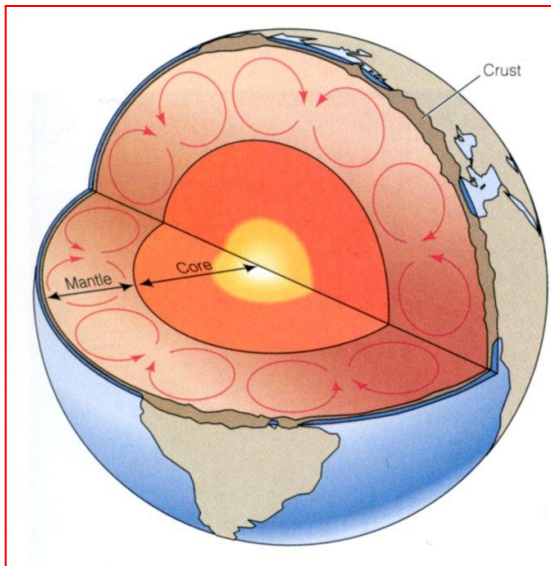
Global Water Reservoirs and Turnover Times

	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



Horninový cyklus



Poháněný geotermální energií (?): teplo je vedeno kondukcí a konvekcí (konvektivní buňky).

Povrch planety je tvořen tenoučkou křehkou vrstvou – **kůrou**.

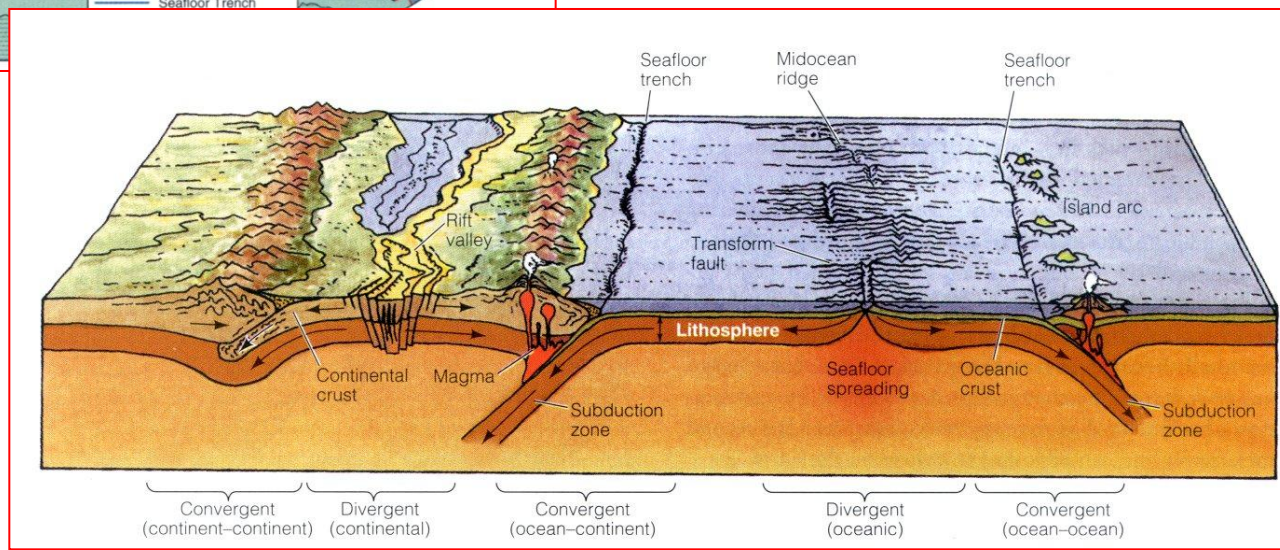
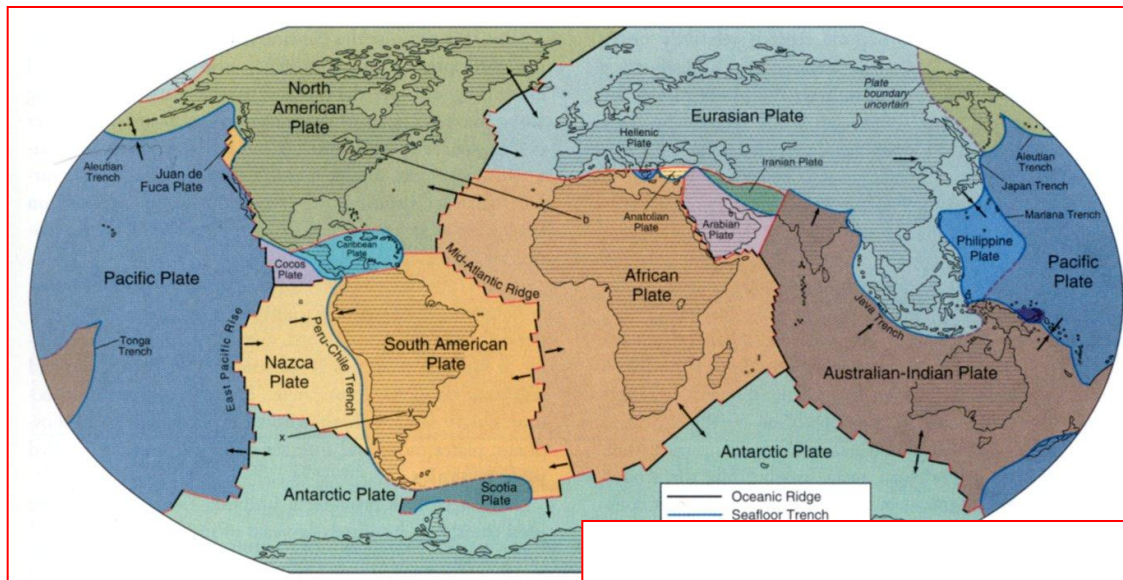
Ta je v důsledku tepelného proudění (?) rozlomena na velký počet zubatých částí označovaných jako **litosférické desky**, které se pohybují na plastické, snadno deformovatelné vrstvě – astenosféře.

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

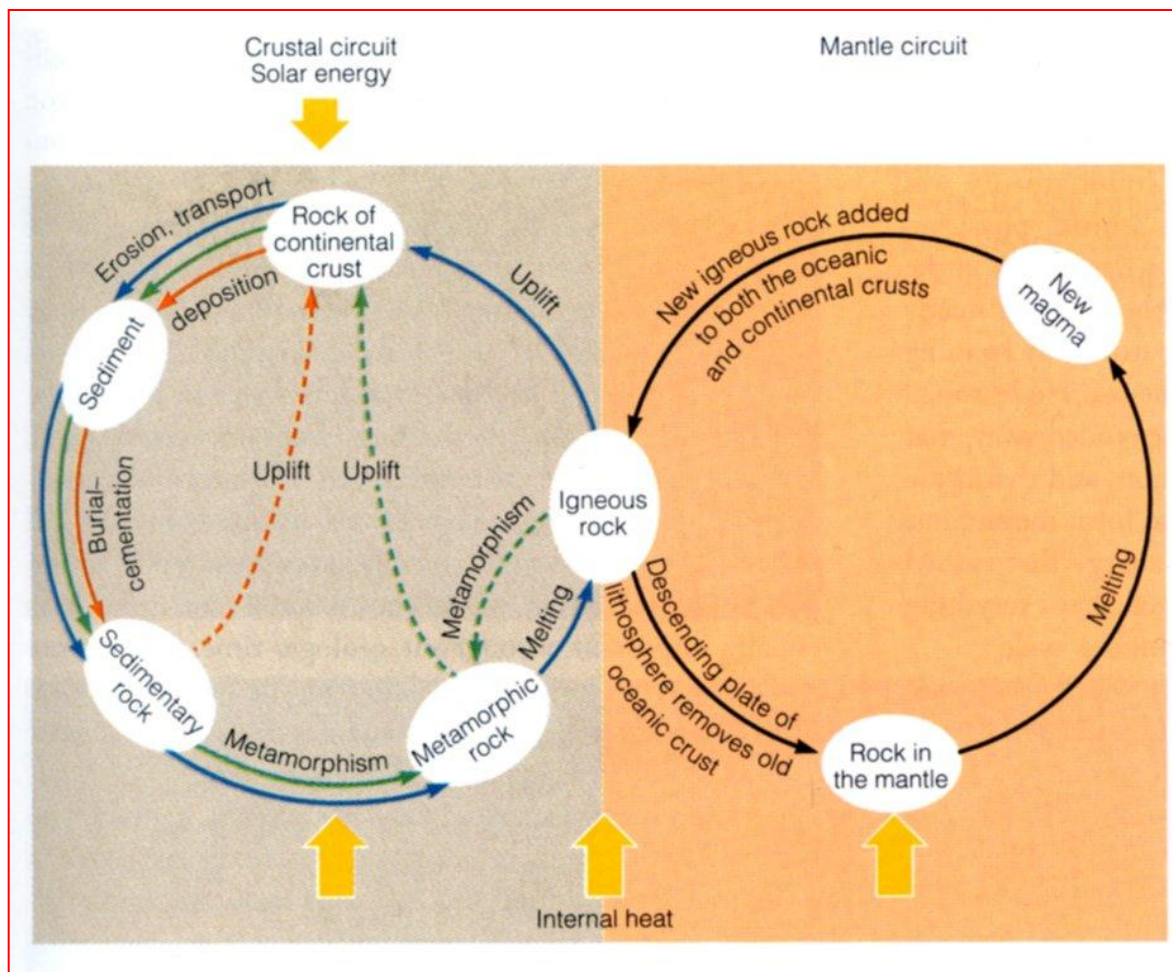
Okraje desek:

- ↪ **divegentní** – 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).

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

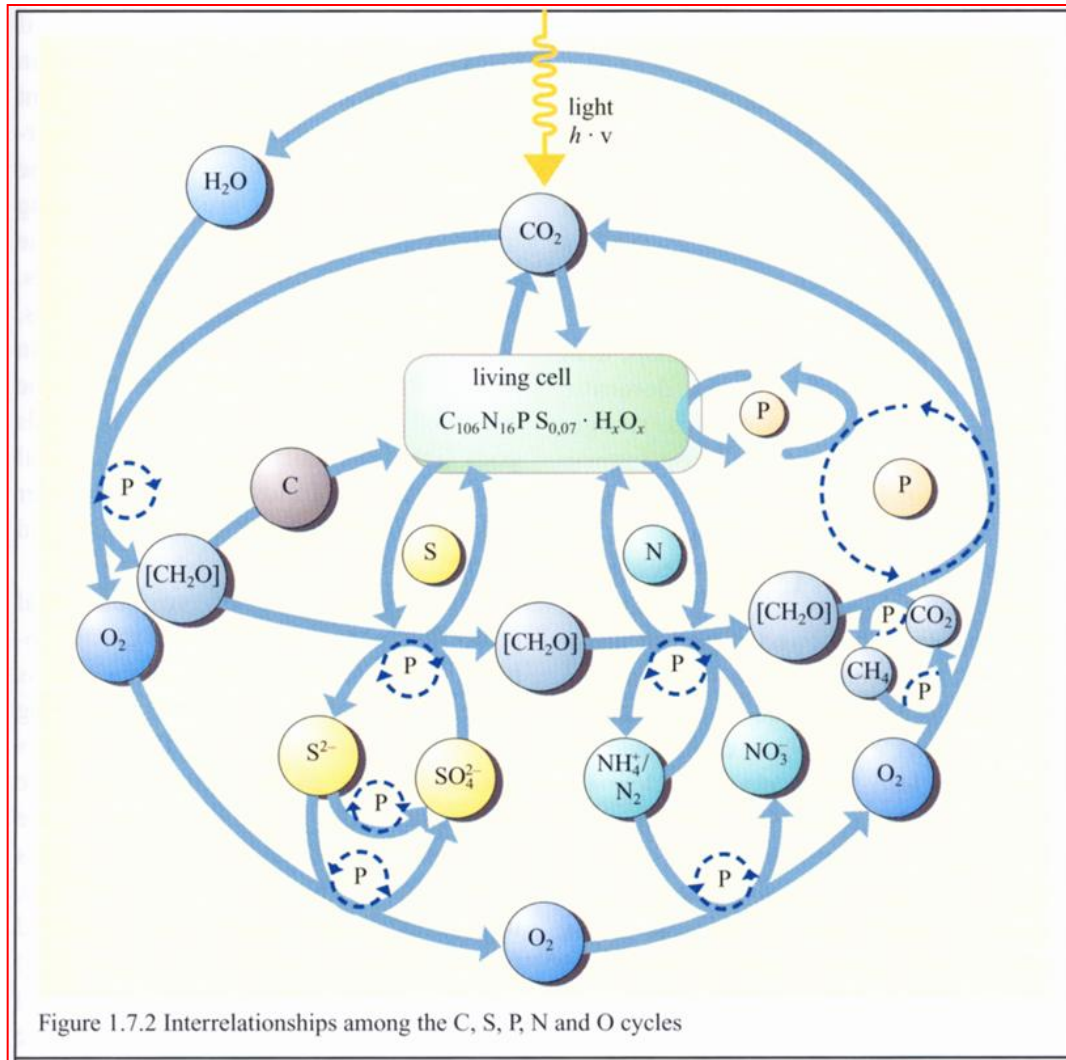


Figure 1.7.2 Interrelationships among the C, S, P, N and O cycles

Vztahy mezi cykly uhlíku a kyslíku

