

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA
VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIROMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**BIOGEOCHEMICKÉ CYKLY ESENCIÁLNÍCH PRVKŮ A JEJICH
ANTROPOGENNÍ NARUŠOVÁNÍ**

Vedoucí práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Bakalant: Jan Pechan

2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování
Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pechan Jan

Územní technická a správní služba - kombinované Karlovy Vary

Název práce

Biogeochemické cykly esenciálních prvků a jejich antropogenní narušování

Anglický název

Biogeochemical cycles of essential elements and its anthropogenic disturbance

Cíle práce

Zhodnocení vyčerpatelnosti životně důležitých forem esenciálních prvků lidskou činností.

Metodika

Teoretická část: Vypracování literární rešerše na základě studia odborné literatury, vědeckých článků, internetových zdrojů a právních norem.

Praktická část: Analýza shromážděných informací a dat zaměřená na otázky vyčerpatelnosti přírodních zdrojů vybraných esenciálních prvků a jejich možné nahraditelnosti.

Harmonogram zpracování

- březen 2012 - zadání tématu Bakalářské práce
- duben a květen 2012 - nastudování odborné literatury
- duben až květen 2013 - odevzdání konečné podoby Bakalářské práce k seznámení
- červen 2013 - obhajoba Bakalářské práce

Rozsah textové části

40 str.

Klíčová slova

atmosféra, emise, imise, uhlík (C), dusík (N), síra (S), kyslík (O), fosfor (P), ovzduší, chemie, geologie, biogeochemické cykly, znečištění.

Doporučené zdroje informací

Rajchard, J., Balounová, Z., Květ, J., Šantrůčková, H., Vysloužil, D. (2002): Ekologie 3. Struktura a funkce ekosystému, biogeochemické cykly, chemické faktory prostředí, základy ekologie půdy, ekologie vodního prostředí, aktuální celosvětové ekologické problémy. KOPP Č. Budějovice, 197 s.

Douvigneaud, P. (1988): Ekologická syntéza. Praha, Academia, 450 s.

Butcher S. S. et al (1992): Global biogeochemical cycles, Academic, 377 s.

Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R. (1997).: Ekologie, jedinci, populace, společenstva. Olomouc, UP, 949 s.

Moldan, B. (1997): Příroda a civilizace – životní prostředí a rozvoj lidské civilizace, Praha SPN.

Moldan, B. (1974): Geologie a životní prostředí. Praha Academia.

Vedoucí práce

Vach Marek, doc. Mgr., Ph.D.

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 29.3.2012

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 15. dubna 2013

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D., za jeho cenné rady a připomínky, které mi poskytl při zpracování této práce.

Také bych chtěl poděkovat mé rodině, za morální podporu po dobu celého studia.

Abstrakt

Záměrem této práce je zdůraznit důležitost biogeochemických cyklů esenciálních prvků. V prvních třech částech práce je vypracována rešerše, v níž jsou vymezeny základní pojmy k tématu. Dále jsou v této části popsány cykly vybraných esenciálních prvků, jak z pohledu malých systémů, tak i z hlediska globálního cyklu.

V praktické části práce je provedena analýza shromážděných informací a dat, ta je zaměřena na otázky vyčerpatelnosti přírodních zdrojů vybraných esenciálních prvků a jejich možné nahraditelnosti. V praktické části jsou rozebrány blíže cykly esenciálních prvků z praktického hlediska se zaměřením na narušování těchto cyklů lidskou činností. Celá práce je o následujících esenciálních prvcích - uhlík, kyslík, dusík, síra, fosfor.

Přínosem této práce je především osvěta široké veřejnosti, aby si každý jedinec byl schopen uvědomit, že veškeré jeho jednání má za následek narušení biogeochemických cyklů esenciálních prvků.

Klíčová slova: antropogenní narušování, uhlík (C), dusík (N), síra (S), kyslík (O), fosfor (P), cyklus

Abstract

The intention of this thesis is to emphasize the importance of biochemical cycles of essential elements. In the first three parts of the thesis is the literal research made in which are the basic terms to the theme of the thesis delineated. Further the cycles of selected essential elements are mentioned in this part, both from view of small systems and from view of the global cycle.

In the practical part of the thesis is the analyses of collected information and data made; it is focused on questions of exhaustibility of natural resources of selected essential elements and their possible substitutability. In the practical part are the cycles of essential elements discussed from the practical point of view with the focus on distortion of these cycles by human activities. The whole thesis is about following essential elements – carbon, oxygen, nitrogen, sulphur, phosphorus.

Contribution of this thesis is mainly awareness of the general public, so that everyone could realize, that all his behaviour leads to disruption of biochemical cycles of essential elements.

Keywords: anthropogenic disruption, carbon (C), nitrogen (N), sulphur (S), oxygen (O), phosphorus (P), cycle

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. CÍLE PRÁCE	10
3. VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ	11
3.1 BIOGEOCHEMICKÝ CYKLUS	11
3.2 ANTROPOGENNÍ NARUŠOVÁNÍ.....	13
3.3 ESENCIÁLNÍ PRVKY	14
4. KLASIFIKACE BIOGEOCHEMICKÝCH CYKLŮ	17
4.1 GLOBÁLNÍ BIOGEOCHEMICKÉ CYKLY	20
4.2 BIOGEOCHEMICKÉ CYKLY MALÝCH SYSTÉMŮ	23
5. BIOGEOCHEMICKÉ CYKLY VYBRANÝCH ESENCIÁLNÍCH PRVKŮ	24
5.1 BIOGEOCHEMICKÝ CYKLUS KYSLÍKU	24
5.2 BIOGEOCHEMICKÝ CYKLUS UHLÍKU	26
5.3 BIOGEOCHEMICKÝ CYKLUS DUSÍKU	29
5.4 BIOGEOCHEMICKÝ CYKLUS FOSFORU	33
5.5 BIOGEOCHEMICKÝ CYKLUS SÍRY	36
6. PRAKTICKÁ ČÁST	39
6.1 ANTROPOGENNÍ NARUŠOVÁNÍ BIOGEOCHEMICKÉHO CYKLU KYSLÍKU	39
6.2 ANTROPOGENNÍ NARUŠOVÁNÍ BIOGEOCHEMICKÉHO CYKLU UHLÍKU	39
6.3 ANTROPOGENNÍ NARUŠOVÁNÍ BIOGEOCHEMICKÉHO CYKLU DUSÍKU	41
6.4 ANTROPOGENNÍ NARUŠOVÁNÍ BIOGEOCHEMICKÉHO CYKLU FOSFORU	42
6.5 ANTROPOGENNÍ NARUŠOVÁNÍ BIOGEOCHEMICKÉHO CYKLU SÍRY	44
6.6 DISKUSE.....	45
7. ZÁVĚR	47
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
9. SEZNAM OBRÁZKŮ	54
10. SEZNAM TABULEK	55

1. ÚVOD

V současnosti po celém světě vznikají ekologická hnutí, pro něž je charakteristický ekologický způsob myšlení, který má být základem nové politiky, tzv. ekologismu. Vedle toho je postavena ekologie ve smyslu vědy o prostředí.

Krize demografická, potravinová, krize prostředí, či energetická, krize ekonomická i krize morálky tvoří jednu společnou krizi, jež je způsobena hlubokými ekologickými příčinami. To vše vyvolává ve stále více lidech ekologické uvědomění, které by mělo být provázeno aktivitami, jež zajistí přežití naší civilizace.

V dnešní době krize by si tedy každý člověk měl uvědomit, že existence života na Zemi je závislá na recyklaci esenciálních chemických prvků. Pro život na Zemi jsou nejdůležitější biogeochemické cykly uhlíku, kyslíku, dusíku a samozřejmě vody.

Jelikož i já sám ovlivňuji svým chováním životní prostředí a není mi lhostejný osud naší planety, vybral jsem si toto aktuální téma. Výzkum cyklů různých prvků a látek má obrovský význam z praktického hlediska při posuzování kontaminace životního prostředí, při likvidaci škodlivin, dále při výrobě vysoce selektivních pesticidů s minimálními vedlejšími účinky aj.

V teoretické části práce bude vypracována literární rešerše na základě studia odborné literatury, vědeckých článků, internetových zdrojů a právních norem. V praktické části práce pak bude provedena analýza shromážděných informací a dat zaměřená na otázky vyčerpatelnosti přírodních zdrojů vybraných esenciálních prvků a jejich možné nahraditelnosti. V celé práci se budu věnovat těmto esenciálním prvkům - uhlík, kyslík, dusík, síra, fosfor.

2. Cíle práce

Cílem této práce je zhodnocení vyčerpatelnosti životně důležitých forem esenciálních prvků lidskou činností. Překládaná práce se soustřeďuje na tyto prvky – uhlík, kyslík, dusík, fosfor a síra.

Komparací dostupné odborné literatury, vědeckých článků, internetových zdrojů a právních norem je dosaženo zmíněných cílů formou vypracované literární rešerše.

V praktické části je provedena analýza shromážděných informací a dat se zaměřením na otázky vyčerpatelnosti přírodních zdrojů vybraných esenciálních prvků a jejich možné nahraditelnosti. Dále bude v praktické části práce posouzen vliv lidského faktoru na vybrané cykly esenciálních prvků.

3. Vymezení základních pojmů

Jelikož je problematika životního prostředí a vlivu člověka na něj velmi rozsáhlá, budou nejprve v úvodu práce vymezeny základní pojmy, které budou dále v práci detailněji popsány. Jedná se především o biogeochemické cykly, o jednotlivé esenciální prvky a o antropogenní narušování těchto cyklů.

3.1 Biogeochemický cyklus

Předpokládá se, že se chemické prvky vyskytují v různých oddílech prostředí. V atmosféře lze např. najít uhlík (CO_2), dusík (plynný dusík), v horninách litosféry se nachází např. vápník (složka CaCO_3), draslík (v živci), další prvky lze najít v hydrosféře, v půdní vodě, ve vodních tocích, v jezerech, v oceánech (dusík v rozpuštěných dusičnanech, fosfor ve fosforečnanech, uhlík v kyselině uhličitě atd.). Tyto prvky se vyskytují v anorganické formě. Chemické prvky se v organické formě nacházejí v živých organismech (biota) a v mrtvých a rozkládajících se tělech (uhlík v celulóze nebo tucích, dusík v bílkovinách, fosfor v ATP – Adenosintrifosfát dále jen ATP, atd.). Biogeochemie se zabývá popisem chemických procesů, které probíhají v těchto oddílech prostředí, přesněji řečeno se jedná o studium toků prvků mezi těmito oddíly. (Begon, Harper, Townsend, 1997)

Waring a Schlesinger (1985) uvádějí, že mnoho geochemických toků se může uskutečňovat i bez existence živé hmoty díky tomu, že všechny geologické formace nad hladinou moře podléhají erozi a degradaci. Příkladem toho jsou sopky uvolňující do atmosféry síru, ať jsou přítomny organismy či nikoliv. Na druhé straně však organismy extrakcí a recyklací chemikálií zvyšují rychlost a proměny základních geochemických toků.

Biogeochemický cyklus chemických prvků nebo sloučenin lze tedy definovat jako „výměnu prvků mezi atmosférou, hydrosférou, biosférou a pevnou zemí a různé typy chemických reakcí, které tento koloběh doprovázejí“. Při biogeochemickém cyklu dochází k recyklaci prvků, přičemž jejich cesty mají uzavřený cyklus. Lze tedy tento cyklus nazývat koloběhem látek. (Čermáková et al., 2008)

Termín biogeochemický cyklus je také používán ve smyslu transportu a transformací látek v přírodním prostředí. Popis jednotlivého cyklu v sobě zahrnuje obvykle určení množství látek v jednotlivých rezervoárech a rychlost přestupu z jednoho rezervoáru do druhého. Důkladné poznání biogeochemických cyklů souvisí především s globálními problémy lidstva, mezi něž se řadí produkce potravin, zemské klima, procesy kyselé atmosférické depozice a jejich vlivu na ekosystémy, zachování ozonové vrstvy ve stratosféře a šíření škodlivých látek (DDT – dichlordifenyltrichlorethan, těžké kovy aj.) v přírodních ekosystémech. (Mihaljevič, Moldan, 2000)

Moldan (1991) ve své práci používá termín biogeochemický metabolismus, kterým označuje souhrn procesů mobilizace, transportu, transformace a uložení energie a hmoty v rámci lokálních, regionálních a globálních systémů.

Díky biogeochemickým cyklům lze nejen nalézt v půdě, ve vodě i v ovzduší příznivé množství živin a jiných potřebných prvků, ale také si prostředí díky těmto cyklům udržuje přijatelně nízké obsahy jedovatých látek. (Moldan, 1997)

Popis většiny cyklů je spojen s globálním vodním cyklem, tj. především s rychlostí pohybu vody a množství vody v jednotlivých rezervoárech a s přenosem zemskou atmosférou. Toto však není tématem této práce, proto popis koloběhu vody bude v práci vynechán.

Živou hmotu tvoří tři hlavní organické složky, kterými jsou bílkoviny, cukry a tuky. Syntéza těchto složek je zajištěna asi dvaceti nezbytnými tzv. biogenními prvky. Uhlík, kyslík, dusík, vodík a fosfor se řadí mezi tzv. makroživiny a představují nejobjemnější složku organické hmoty živočišných tkání a rostlinných pletiv. Cesty všech těchto prvků v přírodě jsou spojeny s biologickými a geologickými procesy. V podobě anorganických sloučenin (abiotické složky prostředí) jsou zabudovávány do živých těl (biotické složky), aby po určité době byly přeměněny zpět na anorganické látky a ekosystém opustily. V biogeochemických cyklech hraje také důležitou roli voda, která je významnou součástí živých těl. Koloběh vody biosférou se nazývá hydrologický cyklus. Biologické procesy vyžadují neustálý přísun energie. Zatímco prvky se recyklují a jejich cesty mají uzavřený cyklus (odtud koloběhy látek), energie se v určitý okamžik změnila na teplo

a nenávratně opouští biosféru a Zemi, lze tedy hovořit o tocích energie. (Dvořák, 2005)

Vedle cyklu uhlíku, dusíku a fosforu má také své důležité postavení cyklus síry, jelikož všechny tyto cykly tvoří podstatnou součást biosféry a člověk má na tyto cykly velmi důležitý vliv. (Mihaljevič, Moldan, 2000) Největším abiotickým rezervoárem těchto životně důležitých prvků je půda, ze které se dostávají do koloběhu, pomocí rostlin a poté se navrácí vlivem dekompozičních procesů.

V ekosystémech neexistují zcela uzavřené biogeochemické cykly, vždy do cyklu „něco přibývá a něco z něj vypadává“, jednotlivé cykly se však velmi odlišují právě mírou tohoto otevření. Nejuzavřenější je globální, planetární biogeochemický cyklus, který zahrnuje veškerou pozemskou hmotu, do něhož také přichází hmota z vesmíru. (Rajchard, 2002)

3.2 Antropogenní narušování

Samostatné slovo antropogenní je složením dvou původních řeckých slov - *anthrōpos* - člověk a *genés* – pocházet. Lze si tedy tento pojem vyložit jako něco, co vzniká činností člověka. (Slovník cizích slov, 2005) Antropogenní narušování či antropogenní vliv lze tedy definovat jako jev podmíněný či způsobený člověkem. V kontextu této práce se tedy antropogenním narušováním rozumí obecně vliv člověka na přírodu.

Vlivem používání velkého množství různých chemických látek člověkem v domácnostech, v průmyslu, v zemědělství i v lékařství, dochází k narušování biogeochemických cyklů a k negativnímu působení na přirozená i kulturní společenství a na zemské podnebí. (Begon, Harper, Townsend, 1997) Je evidentní, že člověk zásadně ovlivňuje všechny oddíly prostředí.

Normální nenarušené cykly mají téměř uzavřený charakter s účinností 90 - 98%. Antropogenní narušování biogeochemických cyklů probíhá ve třech stupních:

- **geologický** – těžba a využívání surovin, produkce odpadů,
- **hydrologický** – využívání a znečišťování vody, odlesňování,
- **biochemický** – zemědělská činnost, kácení lesů. (Vávrová, 2010)

Vliv člověka je také vidět na uzavírání biogeochemického cyklu. Rajchard (2002) vysvětluje antropogenní narušování biogeochemických cyklů tím, že lidská civilizace cykly otevírá, přetrhává vazby udržující dynamickou rovnováhu, prodlužuje transportní vzdálenosti. A to díky tomu, že je obohacuje o látky momentálně stagnující a o látky uměle syntetizované, na které nejsou současné ekosystémy adaptované, a navíc rychlostí, jež adaptaci většině organismů neumožňuje.

3.3 Esenciální prvky

V živých soustavách lze najít tzv. prvky biogenní. Do této skupiny se řadí asi 2/3 prvků periodické soustavy s převážně nízkou molekulovou hmotností. Biogenní prvky lze rozdělit dle podílu výskytu a důležitosti pro živý organismus na:

- **makroprvky (makroelementy)** – 11 prvků, jejichž podíl na hmotnosti živých těl je až 99,9%, dále se dělí na:
 - *makrobiogenní – plastické* – jsou to C, O, H, N tvořící až 95% živé hmoty,
 - *ostatní makroelementy* – S, P, Mg, Ca, Na, K, Cl, které tvoří asi 4.9% živé hmoty,
- **mikroprvky (mikroelementy)** - prvky stopové mají katalytickou úlohu, slouží jako biokatalyzátory, sem patří např. Fe, Cu, Co, Mn. (Ptáček, 2007)

Tab. č. 1: Obsah jednotlivých prvků v abiotické a biotické složce. (Ptáček, 2007)

Prvek	obsah v živé buňce (%)	obsah v neživé přírodě (%)
Uhlík	19,37	0,18
Kyslík	62,80	50,02
Dusík	5,14	0,63
Fosfor	0,63	0,11

Základním prvkem je **uhlík (C)**, tvořící cca 19,4% živé hmoty. Uhlík lze najít ve všech organických sloučeninách, kde tvoří uhlíkové řetězce. Uhlík se v přírodě vyskytuje volný i vázaný. Volný uhlík se vyskytuje ve formě minerálů diamantu a grafitu. Vázaný uhlík je součástí CO₂ v atmosféře, v uhlí (ve formě chemicky stálých

organických látek), v ropě a v zemním plynu, také se vyskytuje v mořské vodě jako H_2CO_3 a v uhličitanových horninách – minerál siderit (FeCO_3) a hornina vápenec (CaCO_3). Přírodní uhlík se vyskytuje ve formě tří izotopů, z nichž dva, ^{12}C a ^{13}C , jsou stálé a třetí, ^{14}C , se rozpadá s poločasem, který je udáván na 5 568 let. Relativní obsah nestálého izotopu v pozůstatcích živých těl slouží jako indikátor jejich stáří. V biotické složce je součástí všech organismů, zde je vázaný v organických i minerálních látkách. (Klikorka, Hájek, Votinský, 1989; Ptáček, 2007)

Kyslík (O) je nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře, který vzniká fotosyntézou. Kyslík lze nalézt v atmosféře (21%), v hydrosféře, v litosféře a také v biosféře, zde je součástí všech živých organismů. V přírodě se kyslík vyskytuje volný i vázaný. Volný je součástí atmosféry, kde se vyskytuje v podobě dvouatomových molekul O_2 (tzv. molekulární kyslík) a méně běžných trojatomových molekulách O_3 (ozón). Vázaný kyslík se vyskytuje ve vodě a v mnoha minerálech a horninách. Kyslík tvoří asi 62,8% hmotnosti živých systémů. (Klikorka, Hájek, Votinský, 1989)

Dusík (N) se v přírodě vyskytuje volný i vázaný. Volný dusík je v atmosféře (75%) jako dvouatomová molekula N_2 . Vázaný dusík se vyskytuje v chilském ledku (NaNO_3), vázaný dusík lze nalézt zejména v aminokyselinách, v bílkovinách a v jejich aminových skupinách, dále je také obsažen v nukleových kyselinách. U živočichů se nachází také v aminocukrech. Dusík tvoří asi 5,1% hmotnosti buněk. Rostliny využívají dusík přímo z půdy a lidé tedy z bílkovinných potravin. (Klikorka, Hájek, Votinský, 1989; Ptáček, 2007)

Síra (S) se v přírodě vyskytuje volná, či vázaná v minerálech galenit (PbS), sfalerit (ZnS), pyrit (FeS_2), sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a baryt (BaSO_4). Síru lze nalézt i v některých aminokyselinách (cysteinu, cystinu a methioninu), které jsou součástí mnoha druhů bílkovin a některých látek s katalytickými účinky (vitamín B_1 , biotin, kyselina lipoová). Síra je také obsažena v anorganických solích. Síra tvoří cca 0,63% hmotnosti živočišného těla. (Klikorka, Hájek, Votinský, 1983, Ptáček, 2007)

V přírodě se **fosfor (P)** vyskytuje v litosféře (0,1%), v atmosféře ve stopovém množství ve formě aerosolů, v hydrosféře je vzhledem k nízké rozpustnosti jeho sloučenin obsah velmi nízký. V biosféře je fosfor obsažen v každé buňce a má hlavní úlohu při přeměnách různých forem energie (ATP). (Rajchard, 2002)

V přírodě se fosfor nachází pouze vázaný ve sloučeninách (fosforit $(3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2)$ a apatit $(3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ nebo $\text{CaCl}_2)$). V organismech lze fosfor najít především v pětimocné formě, a to zejména jako součást kyseliny ortofosforečné (H_3PO_4) a jejích minerálních solí. Organický fosfor (ve zbytcích kyseliny ortofosforečné) se většinou vyskytuje jako funkční skupina v molekulách důležitých organických sloučenin (nukleových kyselin, fosfolipidů, fosfoproteinů aj.) jako nositel genetické informace či jako základní stavební jednotka biomembrán. Celkový obsah fosforu v živých systémech je závislý také na typu oporné soustavy. Lidské tělo obsahuje průměrně asi 700 g fosforu, z čehož však 600 g připadá na tvorbu kostí. (Klikorka, Hájek, Votinský, 1989; Ptáček, 2007)

Fosfor je důležitým biogenním prvkem a jeho sloučeniny jsou nepostradatelné v energetických a reprodukčních procesech živočišných i rostlinných buněk. Bez fosforu neprobíhá syntéza bílkovin. Funkce fosforu také spočívá především v tvorbě organofosfátů, které tvoří základní stavební jednotky nukleových kyselin a sloučenin, jež hrají důležitou úlohu v organismu při přenosu energie (ATP). (Mihaljevič, Moldan, 2000)

Tab. č. 2: Obsah vybraných prvků v různých systémech. (Moldan, 1991)

Prvek / Systém	C	O	N	P	S
<i>Troposféra – koncentrace ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ STP)</i>	$1,6 \times 10^5$	$2,99 \times 10^8$	$9,73 \times 10^8$	-	3-80
<i>Zemská kůra – koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)</i>	-	-	19	1120	780
<i>Půda – koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)</i>	-	-	2000	800	700
<i>Mořská voda – koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)</i>	-	-	16	0,06	905
<i>Čerstvá voda – koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)</i>	-	-	1,6	0,020	17,7
<i>Srážková voda – koncentrace ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)</i>	-	-	1,0	0,015	1,6

- znamená, že údaj není k dispozici

4. Klasifikace biogeochemických cyklů

Dle různých hledisek lze biogeochemické cykly rozdělit do skupin, např. dle jednotlivých prvků (sloučenin, látek), dle typů procesů, dle prostorového či časového hlediska.

Z **časového hlediska** lze rozlišit dva typy biogeochemických cyklů:

- *cykly v globálním měřítku* – plynné sloučeniny uhlíku, kyslíku, síry, a dusíku,
- *cykly v omezených lokalizacích* – fosfor, draslík, vápník, stopové prvky. (Šantrůčková, 2006)

O **Základním dělení** biogeochemických cyklů píše mnoho autorů (Rajchard, 2002; Moldan, 1983, Odum, 1977), kteří se v podstatě shodují na tom, že globální látkový metabolismus neboli planetární cyklus zahrnuje tři nejzákladnější látkové cykly:

- *geologický* – je tvořen cyklem tektonickým a sedimentárním, které spolu těsně souvisí, jedná se např. o horotvorné procesy, sedimentaci, sopečnou činnost
- *hydrologický* – koloběh vody je mnohem rychlejší než cyklus geologický, je poháněn nejen sluneční energií, jejíž nerovnoměrné rozložení má za následek změny skupenství vody a její následný pohyb (vypařování mraků, srážky, pohyb vody pevninou do oceánů), ale také rotací Země (mořské a vzdušné proudy, počasí),
- *biochemický* - základem jsou především procesy fotosyntézy, dýchání a potravní vztahy mezi živými organismy, také zahrnuje látkovou výměnu mezi živými organismy a jejich okolím.

Dle **hlavního zásobníku** lze rozlišit biogeochemické cykly:

- *plynné* – hlavním rezervoárem je atmosféra, cykly jsou velmi stabilní v distribuci a množství prvků, sem patří koloběh kyslíku, uhlíku a dusíku,
- *sedimentární* – hlavním rezervoárem je litosféra, cykly nejsou tak stabilní, vlivem náhlého úbytku prvků sedimentací mohou stagnovat, patří sem koloběh síry, fosforu a většiny dalších prvků. (Rajchard, 2002)

Dle **procesů a fází**, kterými sledovaný prvek či látka postupně prochází lze rozlišit cykly:

- *biochemické* – nejrychlejší cykly, jedná se o koloběhy prvků a látek v rámci živých soustav a jejich výměnu s neživým okolím, život cirkulaci podstatně urychluje,
- *biogeochemické* – pomalejší díky tomu, že zahrnují navíc sedimentární fázi stagnace, kdy se prvky či látky vlivem horotvorných procesů a následným zvětráváním uvolňují, sem spadá část prvků z neuzavřených biochemických cyklů,
- *geochemické* – nejdelší a nejpomalejší cykly, které zahrnují tektonickou fázi geologického cyklu. (Rajchard, 2002)

Následující tabulky uvádí stručný přehled biogeochemických cyklů biogenních prvků. Znázorňují výskyt, zásobníky jednotlivých prvků a funkce v procesech. Druhá tabulka pak znázorňuje toky vybraných prvků v atmosféře.

Tab. č. 3: Přehled biogeochemických cyklů biogenních prvků. (Rajchard, 2002)

Prvek	H₂O	C	O	N	P	S	K, Ca, Na, Mg
<i>funkce v produkčních procesech</i>	biologická voda	organické látky		bílkoviny	energie	bílkoviny	enzymy, chlorofyl, struktura
<i>forma pro produkční procesy</i>	H ₂ O	CO ₂	H ₂ O, O ₂	NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺	HPO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ z půdy SO ₂ z atmosféry	ionty
<i>zásobník na Zemi</i>	Oceány	karbonátové sedimenty	atmosféra, litosféra	atmosféra	fosilní sedimenty	horniny	horniny
<i>v ekosystému – vstup</i>	Srážky	fotosyntézou z atmosféry, CO ₂	dýcháním z atmosféry	mikrobiální fixací z atmosféry	hnojení	srážky	zvětrávání
<i>v ekosystému – zásobník</i>	půda, živá hmota	biomasa, humus	atmosféra	půda	nevýrazný	Půda	rostliny, půda
<i>v ekosystému – výstup</i>	výpar, odtok	CO ₂ dýcháním do atmosféry	fotosyntézou do atmosféry	denitrifikací do atmosféry	odtok, vodní eroze, PO ₄ ²⁻	-	odtok, sklizeň
<i>procesy určující rychlost cyklu</i>	srážky, transport, evaporizace	fotosyntéza, dýchání		mikrobiální procesy v půdě			
<i>typ dle zásobníku pro produkční procesy</i>	-	plynný			sedimentární		

Tab. č. 4: Toky vybraných chemických prvků v atmosféře. (Moldan, 1991)

Prvek	Sloučenina	Zdroj	Roční tok (g)	Životnost v atmosféře (dny)
C	CO ₂	dýchání spalování	1,5x10 ¹⁷	ca 2500
		odlesňování a kultivace půd	8,2x10 ¹⁵	
			4x10 ¹⁶	
	CH ₄	mikrobiální produkce	3x10 ¹⁴	ca 3600
	C ₅ H ₈ C ₁₀ H ₁₆	emise z lesní vegetace	3x10 ¹⁴	< 1
CO	oxidace uhlovodíků v atmosféře, spalování biomasy	10 ¹⁵	75	
N	N ₂	denitrifikace	10 ¹⁴	ca 10 ⁹
	N ₂ O	denitrifikace, spalování biomasy	10 ¹³	ca 60000
	NO _x	půdní procesy	10 ¹³	4
		blesky spalování	10 ¹³ 10 ¹³	
NH ₃	zemědělství, půdní procesy, spalování	10 ¹⁴	9	
P	-	aerosoly	2x10 ¹²	10
S	SO ₂	spalování a tavení rud	1,1x10 ¹⁴	2
		sopečná činnost	1x10 ¹³	
	H ₂ S, DMS, CS ₂ , CH ₃ SH	mikrobiální produkce ve vlhké půdě, mokřadech, močálech a oceánech	4x10 ¹³	2
COS	mikrobiální produkce v mokřadech, spalování biomasy	3x10 ¹²	ca 900	

4.1 Globální biogeochemické cykly

Globálním biogeochemickým cyklem se rozumí tok prvků uskutečňován z pohledu globálního. V podstatě se jedná o přenos živin na obrovské vzdálenosti větrem, proudící vodou vodních toků či oceánských proudů bez respektu k politickým či přírodním hranicím.

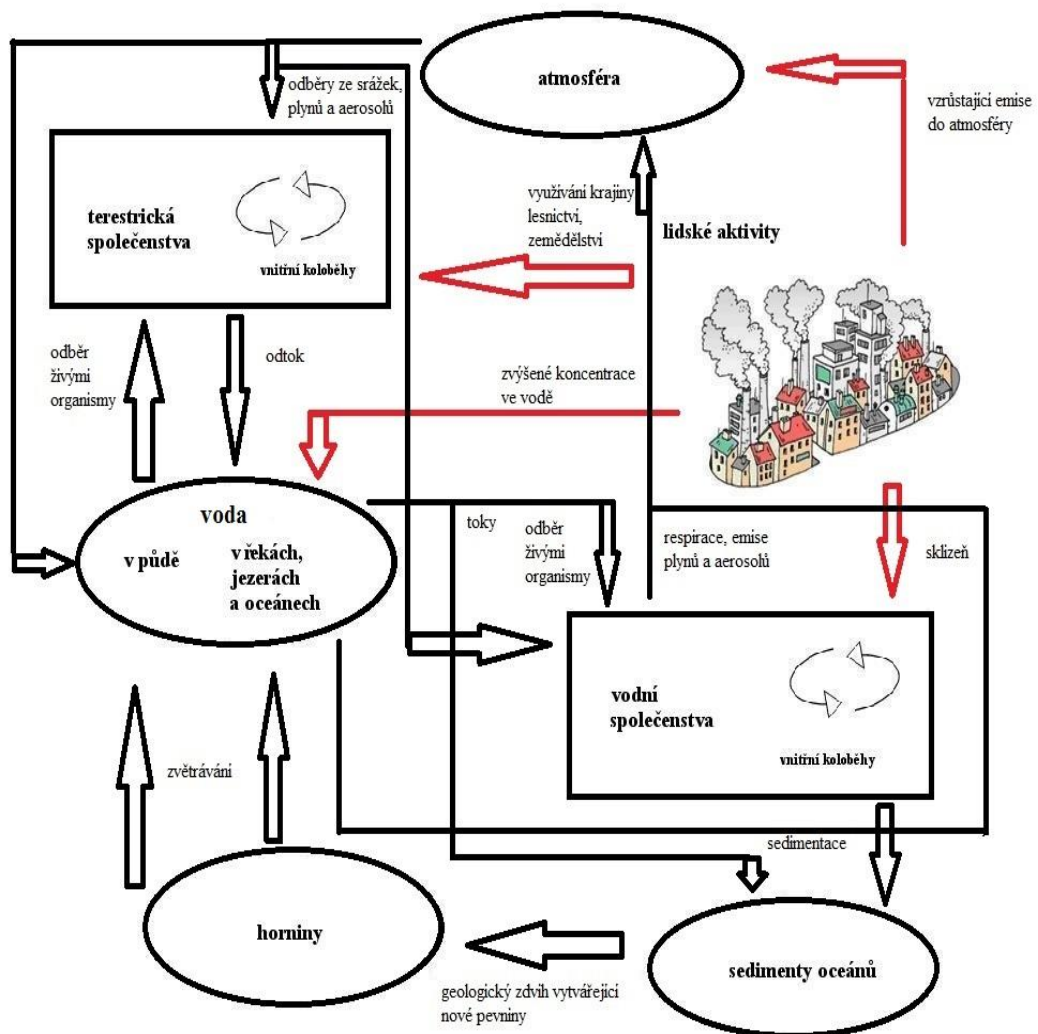
Rajchard (2002, s. 48) uvádí, že globální biogeochemický cyklus je „souhrnem cyklů všech jednotlivých chemických prvků a sloučenin, které na Zemi probíhají a které se často skládají z dalších dílčích cyklů, a vyjadřuje jejich vzájemnou souvislost a provázanost“.

Duvigneaud (1988) uvádí, že velké biogeochemické cykly tvoří soubor dílčích cyklů, jež probíhají v každém jednotlivém ekosystému, v jejich vzájemných vztazích.

Důkladným studiem globálních biogeochemických cyklů se zabývá hlavní výbor Mezinárodní rady vědeckých svazů (The General Council of the International Council of Scientific Unions) ve svém programu Mezinárodní program geosféra-biosféra: Studium globálních změn (The Interantional Geosphere Biosphere Programme: A Study of the Global Change). Cílem tohoto programu je „*popsat a pochopit vzájemně propojené fyzikální procesy, které řídí systém celé naší planety, jedinečné prostředí, v němž existuje život, změny projevující se v tomto systému i to, do jaké míry jsou podmíněny činností člověka*“. (IGBP Constitution, 2005)

Hlavní globální cesty živin vedou mezi abiotickými zásobníky, kterými jsou ovzduší (atmosféra), voda (hydrosféra), horniny a sedimenty (litosféra), a mezi suchozemskými a vodními společenstvy. Tok živin suchozemskými a vodními společenstvy ovlivňuje činnost člověka přímo i nepřímo, jelikož do atmosféry a vody se uvolňuje dodatečné množství živin, čímž narušuje přirozené globální biogeochemické koloběhy. (Begon, Harper, Townsend, 1997)

Obrázek č. 1 znázorňuje hlavní globální cesty živin, přičemž činnosti člověka ovlivňující tyto toky jsou vyznačeny červeně. Následuje tabulka pojednávající o důležitých biogeochemických tocích prvků.



Obr. č. 1: Hlavní globální cesty živin – červeně jsou vyznačeny toky, jež jsou ovlivněné činností člověka (autor, upraveno dle Begon, Harper, Townsend, 1997),

Tab. č. 5: Biogeochemicky důležité toky vybraných prvků v $mg \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$. (Moldan, 1991)

Prvek	N	P	S
zvětrávání hornin	0,7	27	6,7
světová říční produkce	12,7	4,9	930
řeka Labe	1000	-	6600
globální emise do atmosféry	1000	4	440
emise v Čechách a na Moravě	-	-	16000
uložení v atmosféře	2600	10	5700

- znamená, že údaj není k dispozici

4.2 Biogeochemické cykly malých systémů

Na rozdíl od globálních cyklů, které se týkají celé atmosféry, oceánů jako celku, se biogeochemické cykly malých systémů soustředí jen na lokální zásobu chemických látek. Příkladem toho může být zkoumání příjmu látek, využívání a ztráta živin ve společenstvu malého jezera nebo na hektaru travinného porostu. Cyklus v omezené lokalizaci nepopisuje přírůstky k zásobě živin způsobených erupcí sopky, ani osudem živin odplavovaných z půdy a ukládajících se na dně oceánu. (Begon, Harper, Townsend, 1997)

5. Biogeochemické cykly vybraných esenciálních prvků

V následující kapitole bude detailněji popsán biogeochemický cyklus uhlíku, kyslíku, dusíku, síry a fosforu. Nadále bude popsáno i narušování těchto cyklů lidskou činností.

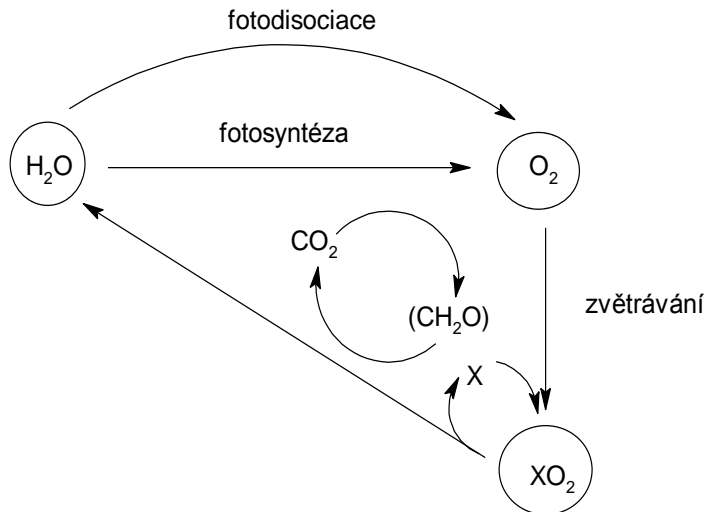
Studium velkých biogeochemických cyklů v biosféře umožňuje větší poznání ekosystémů, jelikož různé následné fáze těchto cyklů na sebe s určitou zákonitostí navazují. Chemické prvky biotické říše mají své typické cesty z prostředí do organismů a z organismů do prostředí. Minerální látky vstupují do tkání a pletiv rostlin a živočichů během jejich vývoje, tisícinásobně se zde přemísťují a po smrti organismu odcházejí zpět do prostředí. (Duvigneaud, 1988)

5.1 Biogeochemický cyklus kyslíku

Kyslík je vedle železa nejvíce zastoupeným prvkem na Zemi. Ve sloučeninách se vyskytuje ve všech geosférách. V biosféře se vyskytuje jako součást organických látek i vody, je součástí téměř všech molekul nezbytných pro život, a tvoří tak více než polovinu hmotnosti živých organismů. V atmosféře je přítomen v molekulární formě a tvoří cca 21% jejího objemu. Důležitou formou kyslíku v atmosféře je ozón, který je základem ozónové vrstvy. V zemské kůře se vyskytuje 49,5% kyslíku. (Rajchard, 2002)

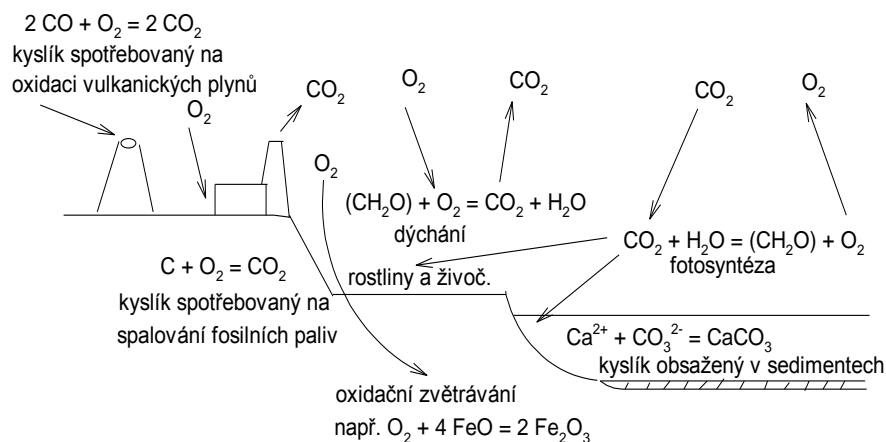
Volný kyslík je velmi reaktivní a je „nahromaděný v ovzduší v důsledku fotosyntézy a jeho obsah je zde tímto procesem stále udržován (bez stálého přísunu by kyslík vymizel oxidačními reakcemi z povrchu planety)“. (Rajchard, 2002)

Kyslík se v podstatě účastní většiny biogeochemických cyklů. Níže je uvedeno zjednodušené schéma koloběhu kyslíku z globálního hlediska, které je v následujícím obrázku č. 2.



Obr. č. 2: Zjednodušený koloběh kyslíku. (Loučka, 2004)

Pro cyklus kyslíku jsou základem oxidačně redukční procesy, fotosyntéza a respirace. Tyto dva protichůdné procesy, udržující rovnováhu v ekosystému budou detailněji popsány u koloběhu uhlíku. Dýcháním se uvolňuje CO_2 a doplňuje tak nejen svůj obsah v atmosféře, ale také se udržuje v rovnováze s CO_2 rozpuštěným v hydrosféře. Jako součást uhličitanového iontu se vylučuje z hydrosféry, a tím je vyloučen z koloběhu, jelikož dochází k jeho vázání v hlubinných sedimentech. Do koloběhu se může navrátit po vyzdvižení oceánského dna a zvětrávání nově vzniklé zemské kůry. (Rajchard, 2002; Duvigneaud, 1988) V obrázku č. 3 je znázorněn cyklus kyslíku z globálního hlediska.



Obr. č. 3: Globální biogeochemický cyklus kyslíku. (Losos et al., 1980)

V globálním cyklu je denní produkce kyslíku rostlinami souše $2,6 \times 10^{11}$ tun, fotosyntéza oceánů produkuje denně $0,6 \times 10^{11}$ tun. Podstatná většina tohoto množství kyslíku je však spotřebována na oxidaci odumřelých organismů a pouze $1,55 \times 10^9$ tun/rok je k dispozici pro zachování živé hmoty. (Losos et al., 1980)

Koloběh kyslíku je úzce spjat s koloběhem uhlíku.

5.2 Biogeochemický cyklus uhlíku

Uhlík se vyskytuje prakticky všude. V litosféře ho lze nalézt v sedimentech, malá část je v ložiscích fosilních paliv (ropa, uhlí, zemní plyn). V hydrosféře je rozpuštěný jako CO_2 , HCO^{2-} , je také součástí rozpuštěných i nerozpustných organických a anorganických látek. V atmosféře se vyskytuje jako součást CO_2 a tvoří tak 0,03% atmosféry, je zde však také přítomen ve formě CH_4 , CO a jiných sloučenin. V biosféře je základním prvkem živé hmoty všech organismů. (Rajchard, 2002)

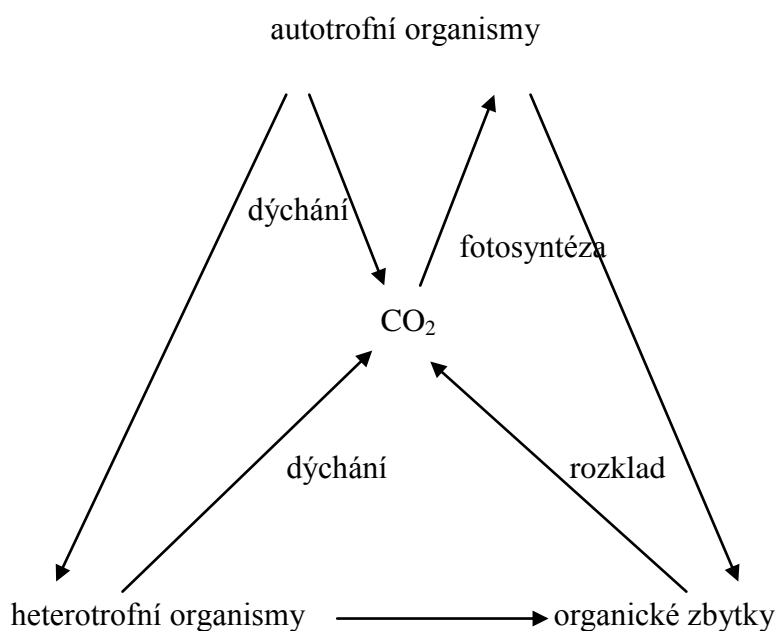
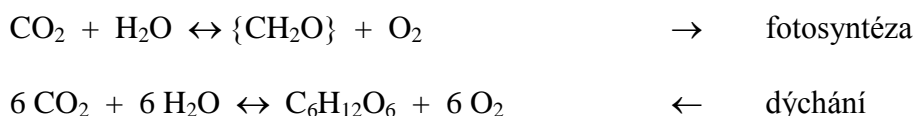
Biogeochemický cyklus uhlíku patří mezi nejdůležitější látkové toky v biosféře, a to především z následujících důvodů:

- hospodaření s uhlíkem jako důležitým biogenním prvkem ovlivňuje stav biosféry,
- poměr mezi CO_2 (oxidovaná forma) a C_{org} (redukována forma) ovlivňuje oxidačně redukční potenciál prostředí,
- globální cyklus uhlíku je narušován řadou lidských aktivit. (Mihaljevič, Moldan, 2000)

Biochemický cyklus uhlíku je rychlý, obsahuje fotosyntézu a dýchání, přičemž oba procesy jsou v globální měřítku vyrovnané, tudíž obsah CO_2 je udržován v atmosféře na stálé hladině. Ale v průběhu roku tato hladina kolísá v důsledku sezónních změn vegetace mírného pásu, v zimě je obsah CO_2 nejvyšší, na začátku léta naopak nejnižší, jelikož je uhlík maximálně akumulován ve vegetaci.

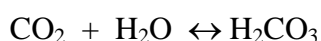
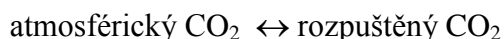
Koloběh uhlíku v biosféře je zajišťován „*metabolickými procesy v ekosystémech a do prostředí je jimi vrácen stejně rychle a ve stejné fázi jako je z něho odčerpáván*“ (Rajchard, 2002, s. 49) Základem **biogeochemického** cyklu uhlíku je produkce biomasy, z níž se ročně asi 0,5% dostává postupně do různých typů sedimentů, odkud je následně uvolňován zvětráváním. Biogeochemickým cyklem projde podstatně menší množství uhlíku a doba oběhu je delší. Do **geochemického** cyklu lze zařadit vznik nerozpustného CaCO_3 , jeho ukládání v sedimentech za vzniku vápence a uvolňování zvětráváním vyzdvižených vápencových pohoří. Uvádí se, že průměrná rychlost molekuly uhlíku je u biochemického cyklu 20 let, u biogeochemického 20 000 let a u geochemického 200 000 000 let. (Rajchard, 2002)

Jak již bylo zmíněno, pro globální cyklus uhlíku (a kyslíku) jsou podstatné dva protichůdné procesy – fotosyntéza a dýchání. Tyto procesy lze zjednodušeně popsat následujícími rovnicemi (Duvigneaud, 1988), tato závislost je znázorněna níže v obrázku č. 4:

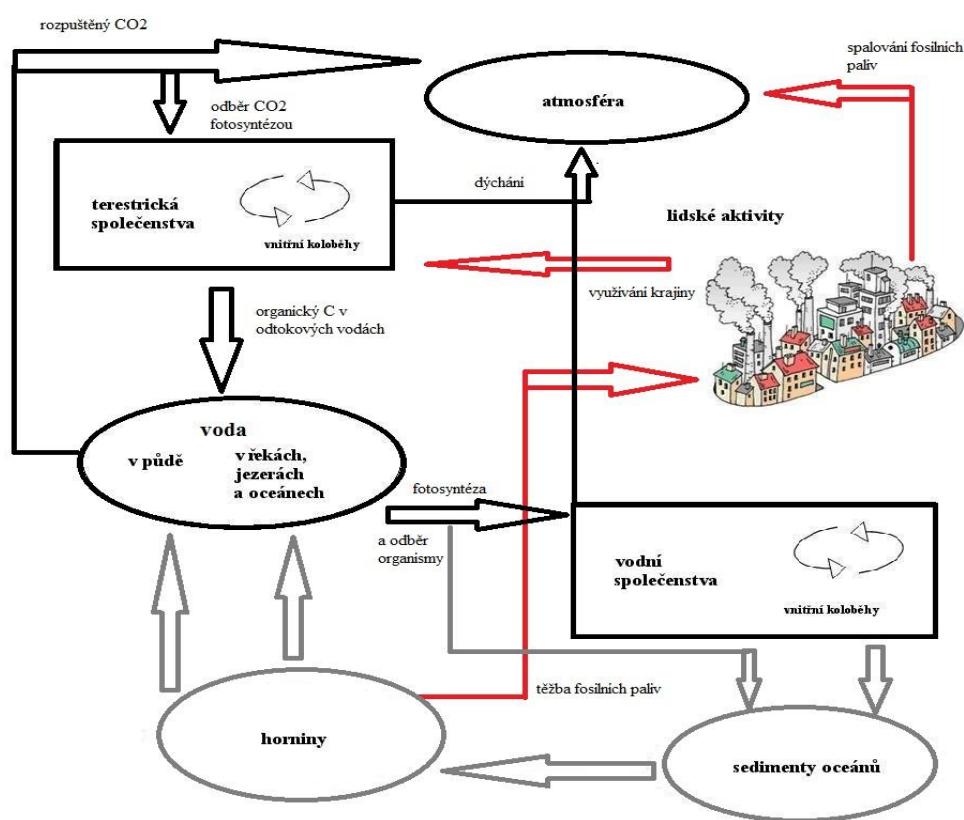


Obr. č. 4: Zjednodušený koloběh uhlíku. (Loučka, 2004)

Koloběh uhlíku začíná v atmosférickém zásobníku, odkud si ho odebírají producenti v průběhu fotosyntézy a předávají ho konzumentům jako součást potravy. Dále uhlík postupuje k destruentům a odtud zpět do atmosféry. Při dýchání putuje zpět do atmosféry ve formě CO_2 jak od primárních producentů, tak i od konzumentů a od destruentů. Vodní rostliny využívají rozpuštěné uhličitany ve vodě, zatímco suchozemské rostliny odebírají uhlík pro fotosyntézu z atmosféry. (Rajchard, 2002) Propojení výměny CO_2 mezi atmosférou a oceány lze vyjádřit následující rovnicí:



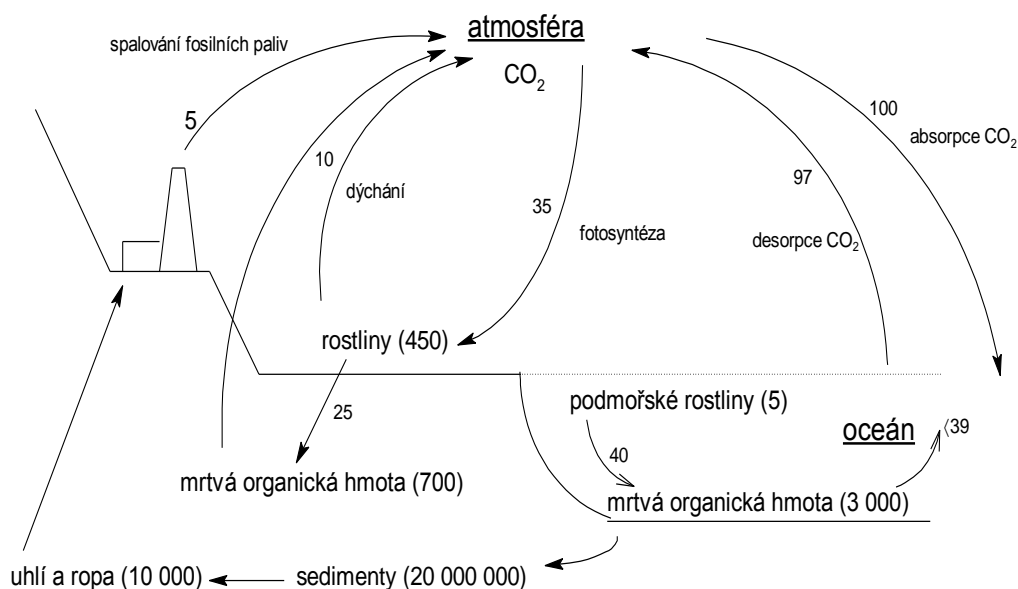
Do pevninských vod a oceánů přichází uhlík také ve formě bikarbonátu, který vzniká při zvětrávání (karbonizaci) hornin bohatých na vápník (vápenec, křída). (Begon, Harper, Townsend, 1997) viz obrázek č. 5



Obr. č. 5: Biogeochemický cyklus uhlíku – červeně jsou vyznačeny toky, jež jsou ovlivněné činností člověka, šedě jsou označeny nepodstatné toky. (autor, upraveno dle Begon, Harper, Townsend, 1997)

Biogeochemický cyklus uhlíku je úzce spjat s biogeochemickým cyklem síry, jelikož se tyto dva prvky obvykle vyskytují společně. Oxidované formy obou prvků jsou velmi mobilní na rozdíl od redukovaných forem, bakteriální redukce síranu doprovází spotřeba organického uhlíku. (Mihaljevič, Moldan, 2000)

Následující obrázek č. 6 uvádí množství uhlíku v koloběhu. Uvedená čísla jsou v 10^{12} kg samotného uhlíku, nikoli CO_2 , či jiných sloučenin. Čísla v závorkách uvádějí celkové zásoby uhlíku (např. v sedimentech), čísla u šipek uvádějí roční tok z jednoho prostředí do druhého.

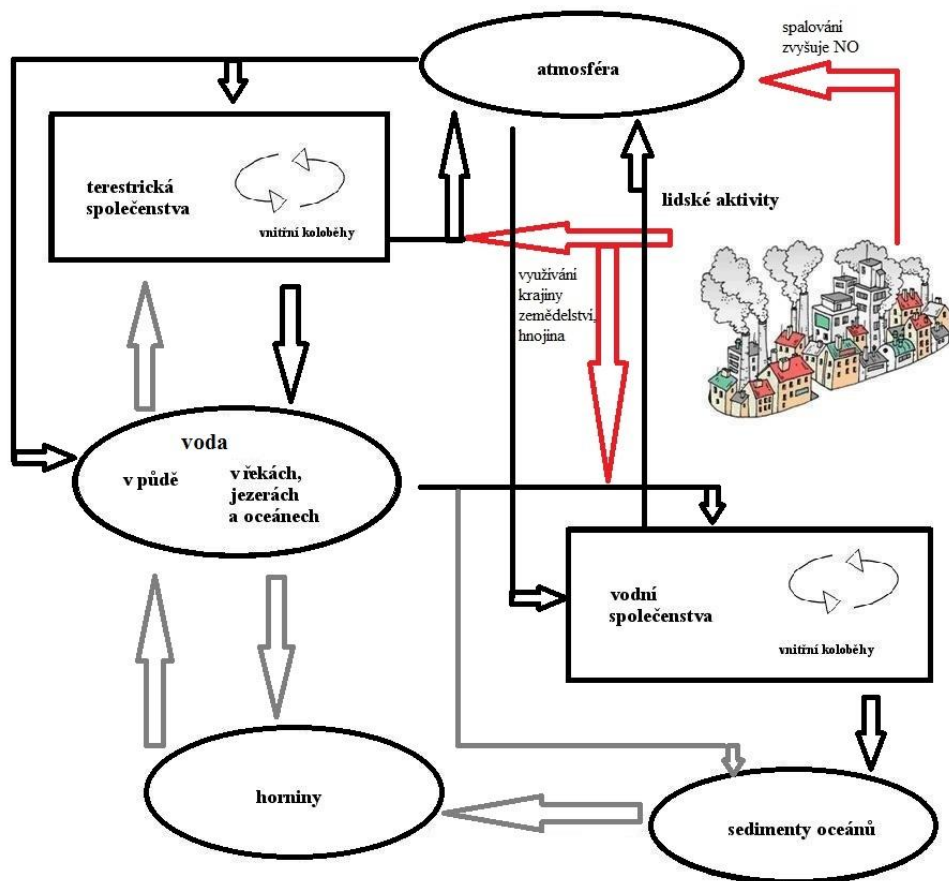


Obr. č. 6: Množství dusíku v globálním cyklu. (Simon, Bencko, 1988)

5.3 Biogeochemický cyklus dusíku

Dusík se vyskytuje nejvíce v troposféře (78,08%), velmi málo ho lze nalézt také v hydrosféře a v litosféře (0,002%). V troposféře se však vyskytuje ve své inertní formě N_2 . V atmosféře se dusík vyskytuje jako dvouatomová molekula, kde atomy N jsou vázány trojnou vazbou, která je velmi pevná, z tohoto důvodu se N_2 chová v atmosféře jako inertní plyn. V atmosféře se také dusík vyskytuje ve velmi reaktivních formách (oxidy, amoniak, dusičnanové ionty), ale v podstatně menším

množství. V biosféře je dusík součástí organických látek (bílkovin a nukleových kyselin). (Rajchard, 2002)



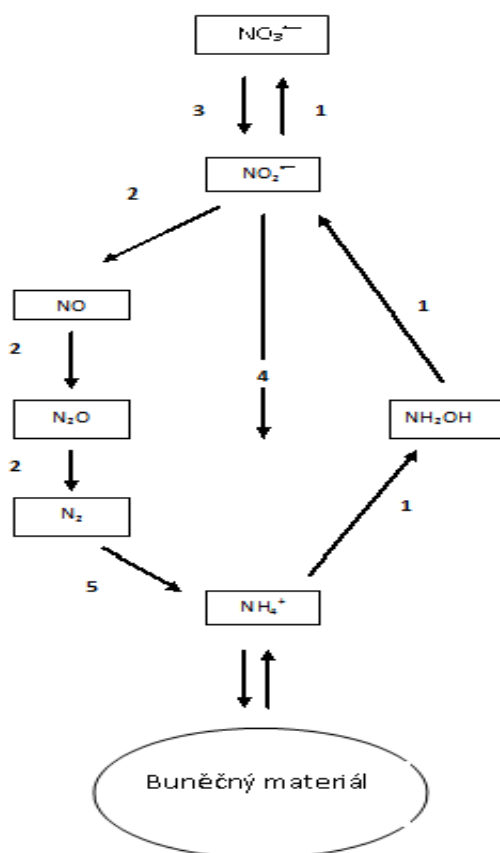
Obr. č. 7: Biogeochemický cyklus dusíku – červeně jsou vyznačeny toky, jež jsou ovlivněny činností člověka, šedě jsou označeny nepodstatné toky. (autor, upraveno dle Begon, Harper, Townsend, 1997)

Biogeochemický cyklus dusíku je oproti cyklům ostatních zmiňovaných prvků složitý, přesto probíhá spolehlivě a rychle, a je významně ovlivněn člověkem viz obrázek č. 7. V globálním cyklu dusíku je nejvýznamnější fáze atmosférická, přičemž velkou roli zde hrají procesy jako je fixace dusíku a denitrifikace mikrobiálními organismy. Plynný N_2 se fixuje do dusičnanů jak fyzikální tak biologickým způsobem. Fixace je prvním krokem v cyklu dusíku a představuje proces přeměny molekulárního dusíku na biologicky využitelné látky jako je

amoniak. Kromě fixace dusíku existují další tři pro cyklus rozhodující reakce a jsou to nitrifikace, amonifikace a denitrifikace (McKane a Kandel, 1996). K vázání atmosférického dusíku také dochází při bouřkách, při výboji blesků, čímž se pak dostává na zemský povrch ve formě kyseliny dusičné rozpuštěné v dešťové vodě. Ale je třeba zdůraznit, že touto cestou vzniká pouze 3 - 4% vázaného dusíku. Relativně malé množství dusíku se ztrácí v oceánských sedimentech, stejně tak malé množství je splachováno ze suchozemských do vodních společenstev. (Begon, Harper, Townsend, 1997; Rajchard, 2002; Duvigneaud, 1988)

Biologická fixace dusíku je tedy mnohem významnější. Duvigneaud (1988) uvádí, že biologicky je na souších fixováno ročně 136×10^6 tun dusíku, v oceánech pak 40×10^6 tun. Jelikož je trojná vazba velmi pevná, musí nejprve dojít k jejímu rozbití, aby mohla proběhnout biologická fixace. Z tohoto důvodu není podstatná část organismů schopna přijímat tuto plynnou formu přímo ze vzduchu. Ke zničení trojné vazby N_2 slouží enzym nitrogenáza, proces je však energeticky velmi náročný, přičemž se spotřebovává velké množství energie získané jinými metabolickými cestami. Dusík jako součást proteinů přichází do půdy v odumřelých pletivech rostlin a tkáních živočichů. Saprophytické bakterie, které se živí těmito proteiny, rozkládají proteiny a uvolňují přitom amoniak. Amoniak je pak jako součást amonných solí nitrifikačními bakteriemi oxidován na dusitany a dusičnany, ty jsou rostlinami využívány jako zdroj dusíkaté výživy. Kromě výše uvedených bakterií se na koloběhu dusíku v půdě podílejí též tzv. dusík vázající bakterie. Jedná se především o zástupce rodu *Azotobacter* a *Rhizobium* a *Bradyrhizobium*. Tyto druhy využívají jako zdroj své dusíkaté výživy přímo vzdušný dusík. V okamžiku, kdy buňky bakterií rodu *Azotobacter* a *Bradyrhizobium* odumřou, stávají se jejich proteiny potravou pro saprophytické bakterie. Tyto bakterie je v poslední fázi rozloží až na CO_2 a NH_3 , který je poté oxidován nitrifikačními bakteriemi na dusitany a dusičnany. Dusitany bývají následně dále oxidovány za vzniku dusičnanů. Dusičnany mohou být mikroflórou redukovány na amoniak či plynné dusíkaté produkty (N_2 , N_2O aj.) v procesu denitrifikace. Na cyklu dusíku se tedy také podílí denitrifikační bakterie, které ochuzují půdu o dusičnany a dusitany, jenž redukují až na molekulární dusík. (Rosypal et al., 2003)

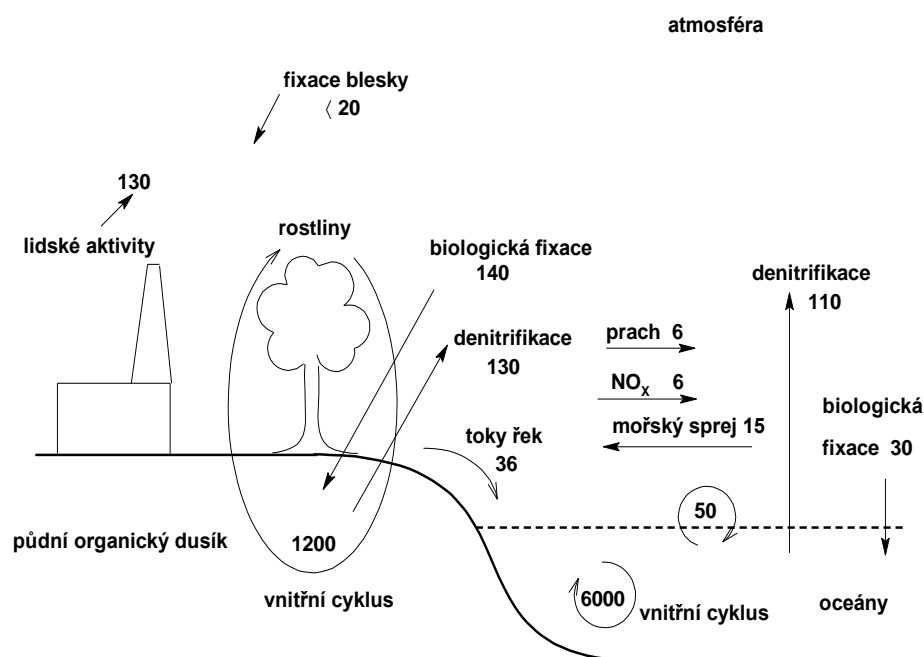
Schéma biochemických přeměn dusíku je znázorněno na následujícím obrázku. Nedávno objeveným procesem je tzv. anammox (amoniifikace, z anglického Anaerobic Ammonium Oxidation). Tento cyklus představuje jakousi zkratku při cestě od amoniakálního dusíku k dusíku molekulárnímu. (Loučka, 2008) V podstatě se jedná o proces, ve kterém je mikroorganismus *Brocadia anammoxidans* schopen oxidovat amoniakální dusík za anaerobních podmínek na elementární dusík. Tento proces byl patentován a popsán v řadě publikací. (Mulder, 1992; Kuypers et al., 2003) Anaerobní oxidace amoniaku má význam nejen z hlediska globální rovnováhy v koloběhu dusíku, ale také z hlediska technologického, jelikož průmyslem je produkováno velké množství odpadních vod s obsahem NH_3 , to může být anaerobně zpracováno bez přístupu kyslíku, tudíž bez potřeby kyslíku a energie. Zdrojem energie je pak samotný NH_3 a poté se CO_2 spotřebovává. Loučka (2008) odhaduje, že úspory energie ve srovnání s aerobním procesem čištění odpadních vod mohou být až 90%. V následujícím obrázku č. 8 je znázorněno schéma významných přeměn dusíku v přírodě.



Obr. č. 8: Zjednodušené schéma významných biochemických přeměn dusíku v přírodě – 1) nitrifikace, 2) denitrifikace, 3) redukce dusičnanů, 4) anammox, 5) fixace dusíku. (Hrdinová a Kamas, 2011)

Dusík je jako fosfor v prostředí limitující živinou. V cyklu dusíku je tedy určující činnost živých organismů v půdě a vodě, organismy ho přijímají z prostředí ve formě dusičnanových, dusitanových nebo amonných iontů, ve formě organických látek postupuje dále potravním řetězcem, aby byl v poslední fázi mineralizován činností půdních mikroorganismů. (Rajchard, 2002)

Schlesinger (1997) uvádí množství dusíku, které projde ročně koloběhem. Údaje o množství dusíku jsou uvedeny v milionech tun za rok a o tomto pojednává obrázek č. 9.



Obr. č. 9: Množství dusíku v globálním cyklu. (Schlesinger, 1997)

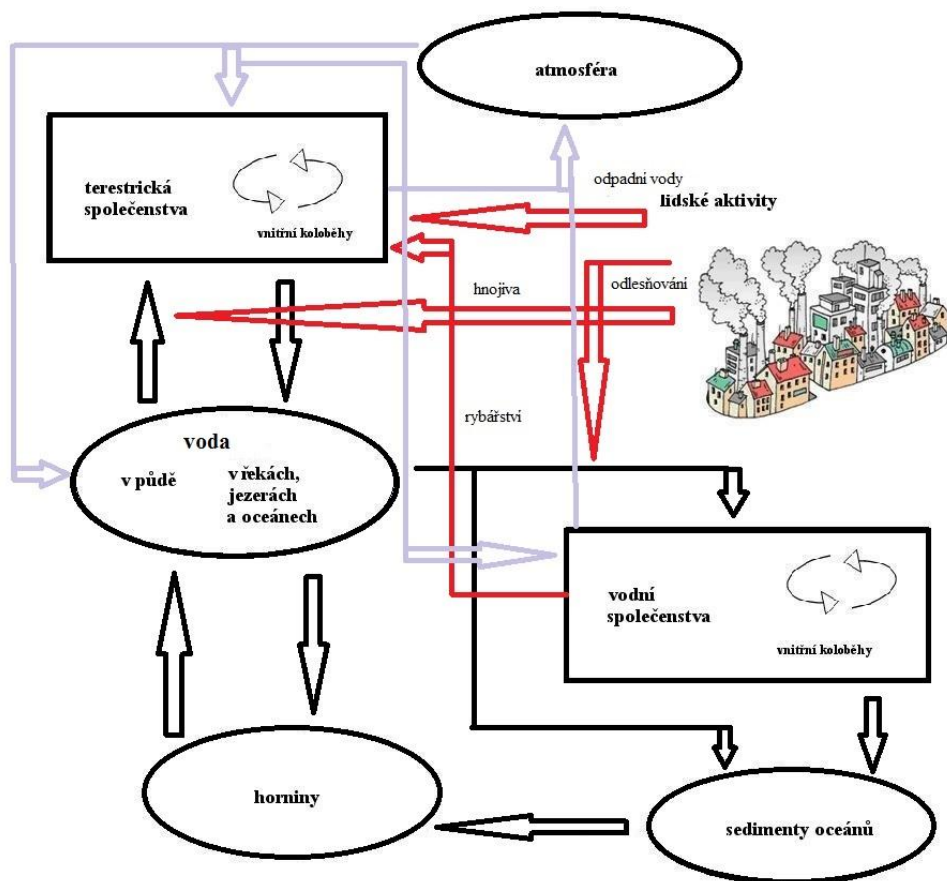
5.4 Biogeochemický cyklus fosforu

Duvigneaud (1988, s. 79) uvádí, že „fosfor je podstatnou částí protoplazmy; vstupuje do sloučenin s nukleotidy a nukleovými kyselinami; prochází ekosystémy v různých variantách“.

Zdroj fosforu pro rostliny je ve vodě a v půdě, přičemž vzhledem k nízké rozpustnosti jeho sloučenin je obvykle limitující živinou. Přitom fosfor je k dispozici pouze z neobnovitelných zdrojů, a přitom se jedná o nenahraditelný biogenní prvek. (Rajchard, 2002)

Hlavní cykly fosforu jsou uvedeny na následujícím obrázku č. 10. Na Zemi je poměrně málo fosforu v pohybu, z tohoto množství ještě téměř polovinu uvádí do koloběhu svou činností člověk. (Rajchard, 2002)

Biogeochemický cyklus fosforu se liší od cyklů ostatních biogenních prvků. Především fosfor nemá důležité plynné sloučeniny, pouze ve výjimečných případech dochází ke vzniku fosfanu (PH_3). Z tohoto důvodu není transport fosforu atmosférou tak významný jako transport hydrosférou. Stejně tak sloučeniny fosforu nepodléhají mikrobiálním rozkladům jako dusík, síra či uhlík. Další rozdíl spočívá v důležitosti oxidačně-redukčních reakcí, kdy tyto reakce v cyklu fosforu nejsou tak významné jako u ostatních biogenních prvků. (Mihaljevič, Moldan, 2000)

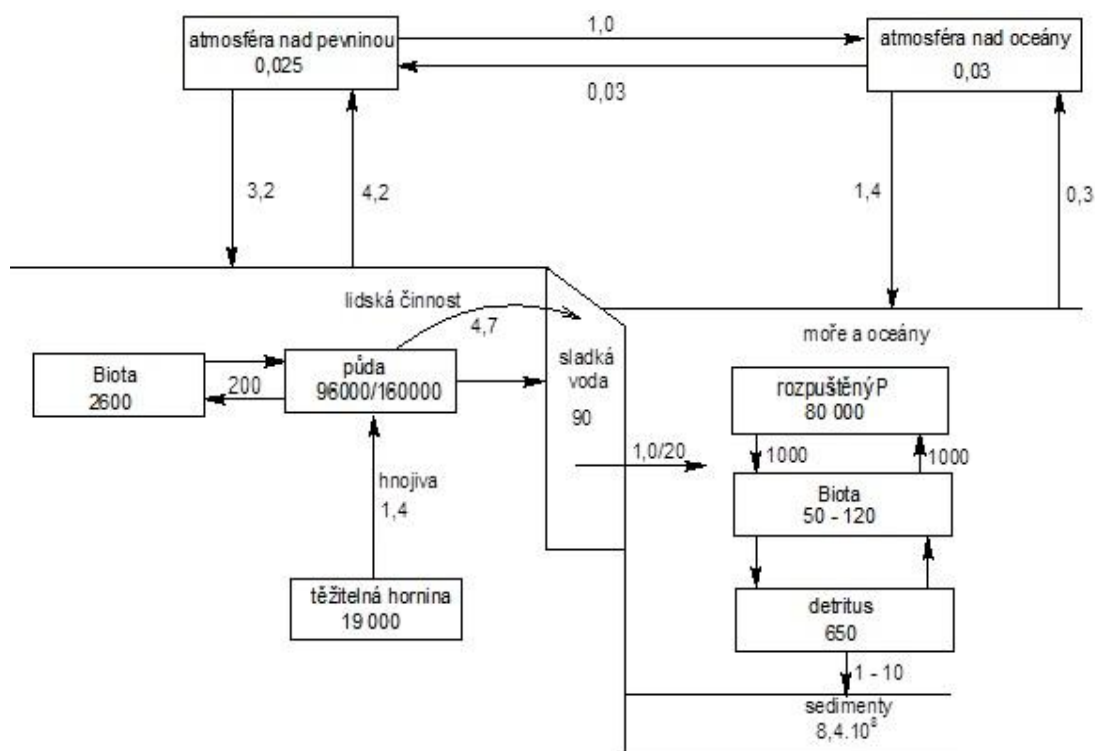


Obr. č. 10: Biogeochemický cyklus fosforu – červeně jsou vyznačeny toky, jež jsou ovlivněné činností člověka, šedě jsou označeny nepodstatné toky. (autor, upraveno dle Begon, Harper, Townsend, 1997)

Hlavním světovým zásobníkem fosforu jsou sedimenty a horniny, kde se vyskytuje ve formě nerozpustných fosforečnanů vápenatých, hořečnatých, hlinitých a železitých. Jelikož minerální fosfor vždy pevninu opouští a odchází do oceánů, kde je následně součástí sedimentů, lze biogeochemický cyklus fosforu označit za otevřený – sedimentační. Uvolňováním fosforečnanů z litosféry dochází vlivem zvětrávání hornin a katabolickými reakcemi organismů, do ekosystémů se následně dostávají rozpuštěné ortofosforečnany či jejich sraženiny (FePO_4). Jakmile se fosfor uvolní z horniny do suchozemského společenstva, může tam obíhat tak dlouho, dokud nedojde k jeho odplavení podzemní vodou do vodního toku. Následně je přenesen do oceánu. V moři obohacuje fosfor pobřežní vody a živí fytoplankton a s ním spojené trofické řetězce, s mrtvými organismy pak klesá do hloubky oceánů. Část fosforu se ukládá do mělkých sedimentů, mořské ekosystémy mohou tuto část fosforu využít, ale část je nenávratně ztracena v hloubkách oceánů. Velké množství fosforu se také ztrácí na dně vod ve formě hrudek. Celý tento proces trvat několik týdnů či let. V oceánu fosfor projde asi stokrát povrchovými i hlubinnými vodami, přičemž každá cesta trvá cca 1 000 let a dojde při ní k přijetí fosforu organismy obývající vodní prostředí povrchových vod. V průměru při sté cestě se fosfor uvolňuje již ve své nerozpustné formě, která se následně usadí na oceánském dně. Takto usazený fosfor na dně oceánů se může za 100 000 000 let vlivem geologické činnosti vrátit do koloběhu při zdvižení dna moří a opětným zvětráváním hornin. (Rajchard, 2002; Duvigneaud, 1988; Begon, Harper, Townsend, 1997)

Hlavní úlohu v koloběhu fosforu v ekosystému hraje látkový metabolismus organismů. Vodní mikroorganismy a rostliny přijímají fosfor v rozpuštěné ortofosforečnanové formě a zabudovávají ho do své biomasy. Sloučeniny fosforu v biomase se stávají součástí koloběhu ve vodních ekosystémech, postupují v potravních řetězcích až po odumření organismu nebo exkreci. Biochemicky jsou hydrolyzovány zpátky na ortofosforečnany, které mohou být opět využity pro růst dalších organismů. Určitá část fosforu tvoří nerozpustné sloučeniny s kovy (Ca, Fe, Al, Mg), které se stávají součástí sedimentu na dně nádrží. (Maršálek, 2009) Fosfor se s exkrementy vrací do prostředí v rozpuštěné nebo koloidní formě, z níž mohou primární producenti fosfor čerpat. Část fosforu se z moře vrací do koloběhu v podobě trusu mořských ptáků (guana) a také vlivem lidské činnosti, v tomto případě rybolovem. Přes neustálý přísun je obsah fosforu v mořské vodě nízký. (Rajchard, 2002)

Loučka (2004) uvádí opět množství fosforu, které projde ročně koloběhem. Údaje o množství fosforu jsou v půdě a mořích uvedeny pro rozpuštěnou a nerozpuštěnou formu v milionech tun viz obrázek č. 11.



Obr. č. 11: Množství fosforu v globálním cyklu. (Loučka, 2004)

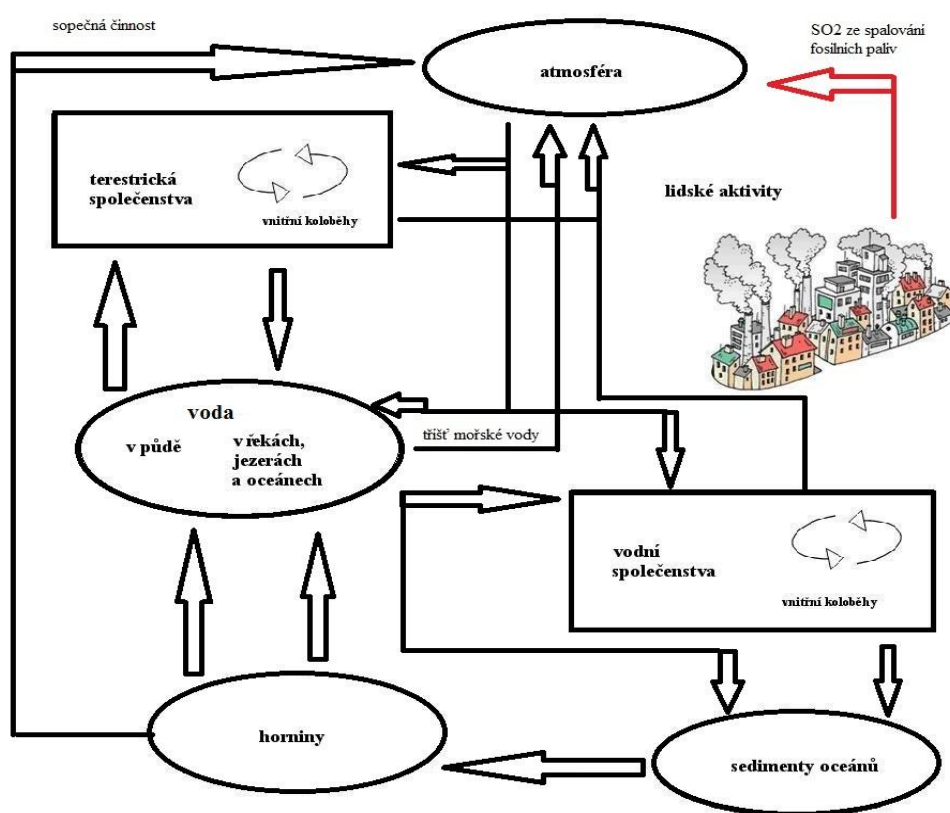
5.5 Biogeochemický cyklus síry

Síra, která patří z hlediska zastoupení v zemské kůře mezi nejhojnější, se vyskytuje v litosféře, kde je koncentrována v hlubších částech Země, především v plášti, ve formě sulfidů, v zemské kůře ve formě síranů. Ve formě síranů ji také lze nalézt v hydrosféře a v atmosféře, kde je také ve formě SO_2 . V biosféře je v rostlinách 0,1 - 0,2% síry a v tělech živočichů 1 - 2% díky vyššímu obsahu bílkovin. Základním zdrojem biogenní síry jsou tedy anorganické sírany, které autotrofní organismy redukují a vážou do svých bílkovin. (Rajchard, 2002; Mihaljevič, Moldan, 2000)

Síra je mobilní prvek snadno přecházející z plynné do pevné formy a naopak, proto prochází významnými cykly. Do biogeochemického cyklu síry patří mikrobiální činnost, kde dochází k uvolnění síry z organické hmoty sedimentů ve formě H_2S do atmosféry.

V atmosféře se síra oxiduje až na síranové ionty, které přechází se srážkovou vodou do tekoucích vod, z nich pak do organismů a zpět do sedimentů (močály, zamokřené půdy, mělká moře aj.). (Rajchard, 2002)

Biogeochemický cyklus síry je společně s cyklem dusíku nejvíce ovlivnitelný člověkem. Hlavní cykly síry jsou uvedeny na následujícím obrázku. Jak je vidět z obrázku, biogeochemický cyklus síry probíhá mezi atmosférou, geosférou a hydrosférou. V globálním koloběhu síry jsou fáze litosférická a atmosférická stejně důležité, na rozdíl od koloběhu fosforu, kde nejdůležitější je fáze litosférická, u koloběhu pro změnu je nejdůležitější fáze atmosférická. Koloběh síry v terestrických a vodních ekosystémech je nezbytnou složkou produkčních procesů, i když její spotřeba je malá v porovnání např. s dusíkem a fosforem. Ve srovnání s dusíkem a fosforem vstupuje do vnitřních koloběhů těchto ekosystémů mnohem menší část celkového toku síry. (Rajchard, 2002) Následující obrázek č. 12 pojednává o postupu síry v cyklu.



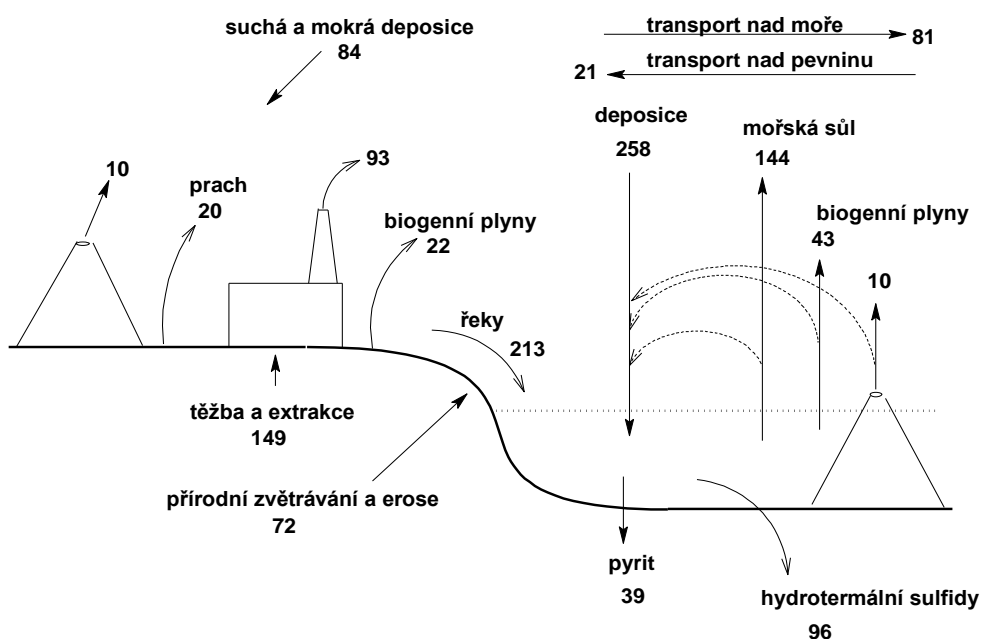
Obr. č. 12: Biogeochemický cyklus síry – červeně jsou vyznačeny toky, jež jsou ovlivněné činností člověka. (autor, upraveno dle Begon, Harper, Townsend, 1997)

K uvolnění síry do atmosféry dochází třemi přirozenými biogeochemickými procesy:

- vytvářením mořských aerosolů (cca 44×10^6 tun ročně),
- vulkanickou činností (malé množství),
- anaerobní respirací bakterií redukujících sírany (cca 33 - 230 tun ročně).
(Begon, Harper, Townsend, 1997; Ramade, 1984)

Do koloběhu se dostává síra ve formě síranů, ty jsou přijímány kořeny rostlin a vážou se do jejich bílkovin, především aminokyselin (cystein, cystin a methionin). Ke ztrátám síry z ekosystémů dochází při požárech vegetace, při kterých síra oxiduje na SO_2 a uniká do ovzduší. Zpětný tok z atmosféry pak zahrnuje oxidaci sloučenin síry na síranové ionty, které se následně vracejí na pevninu ve vlhkých srážkách i v suchém spadu. Odhaduje se, že ročně se na pevninu vrátí asi 21×10^6 tun a do oceánů 19×10^6 tun. Cestou do oceánů část síry přijímají rostliny, kde pak vstupuje do potravních řetězců. Síra se ztrácí v oceánských sedimentech a to zejména při abiotických procesech, např. při přeměně H_2S , při reakcích s Fe na Fe_2S . (Rajchard, 2002; Begon, Harper, Townsend, 1997)

Celkový antropogenní tok SO_2 do atmosféry se odhaduje na 93 000 000 tun za rok. Na obrázku je znázorněno množství síry prošlé globálním cyklem, údaje o množství síry jsou uvedeny v milionech tun. (Brimblecombe, Lein, 1989)



Obr. č. 13: Množství síry v globálním cyklu. (Brimblecombe, Lein, 1989)

6. Praktická část

6.1 Antropogenní narušování biogeochemického cyklu kyslíku

Z hlediska vlivu lidské civilizace na biogeochemický cyklus kyslíku je největším nebezpečím narušení ozónové vrstvy, jejíž funkcí je filtrovat UV záření. Ohrožení obsahu ozónu spočívá především v používání umělých hnojiv, která uvolňují plyny NO_x , dále v provozu nadzvukových letadel vysoko v atmosféře, při nukleárních zkouškách a při uvolňování freonu. (Rajchard, 2002)

Lidská civilizace ročně spotřebuje takové množství kyslíku, které se téměř rovná množství kyslíku na krytí dýchání všech organismů a na zvětrávání hornin. K největším hrozbám bez pochyby patří spalování fosilních paliv, kde je roční spotřeba 2×10^{10} tun. Naštěstí však zatím nebyl do současné doby potvrzen fakt, že by docházelo k úbytku kyslíku v atmosféře. Stabilita obsahu kyslíku je zajištěna fotosyntézou rostlin. K narušení rovnováhy může dojít spíše vlivem nadměrného znečišťování litosféry a hydrosféry, kácením deštných pralesů či zničením mořského fytoplanktonu vlivem znečištění moří. (Symon, Bencko, 1988)

6.2 Antropogenní narušování biogeochemického cyklu uhlíku

Největší vliv člověka na biogeochemický cyklus uhlíku má spalování fosilních paliv, které je 1000krát rychlejší než zvětrávání. Spalováním fosilních paliv se zvyšuje obsah CO_2 v ovzduší, CO_2 absorbuje rostoucí množství IR záření, které se odráží od zemského povrchu, což může vést k velkým změnám klimatu na celém světě. Tyto změny mohou zahrnovat oteplení následkem skleníkového efektu, s kaskádou negativních následků pro ekosystémy či zalednění velkých území na severní polokouli vlivem zastavení Golfského proudu po odtátí ledovců na pólech. (Rajchard, 2002)

Již bylo uvedeno, že uhlík je doplňován do atmosféry zvětráváním uhličitánových hornin a vulkanickou činností. V posledních letech se však uhlík začal doplňovat do atmosféry také spalováním fosilních paliv. Detwiler a Hall (1988) uvádí, že v roce 1980 se do atmosféry dostalo $5,2 \times 10^9$ tun uhlíku díky spalování

fosilních paliv. Také další lidské činnosti zvyšují množství uhlíku přicházejícího do atmosféry, $5,3 \times 10^9$ tun z výroby elektřiny a jiných průmyslových činností, $0,1 \times 10^9$ tun z pálení vápence při výrobě cementu.

Další činností, při které je uvolňováno velké množství uhlíku, je kácení tropických pralesů. Detwiler a Hall (1988) také odhadují, že v roce 1980 se vlivem kultivace tropické půdy do atmosféry dostalo $1,0(\pm 0,6) \times 10^9$ tun CO_2 .

Nejvíce ohrožující je tzv. skleníkový efekt, v jehož důsledku dochází k oteplování planety. Skleníkový efekt je způsoben stále rostoucím množstvím CO_2 v atmosféře. CO_2 společně s plyny NO_x , s methanem a s různými freony absorbují IR záření, a tím tak udržují vysokou teplotu. Begon, Harper a Townsend (1997) uvádí, že v současné době je teplota na povrchu pevninských oblastí o $0,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ vyšší než před průmyslovou revolucí. Dále uvádí, že koncentrace 345 ppm CO_2 v atmosféře z roku 1984 vzroste do roku 2050 na 660 ppm. Při tomto zvýšení by tedy nutně přišlo další oteplení o $3,5 - 4,2^\circ\text{C}$, což by mělo dalekosáhlé důsledky – ledovce by tály, stoupla by hladina moře a nastaly by rozsáhlé změny podnebí. Již dnes se tání ledovců projevuje na snižování proudění mořských proudů, zejména na Golfském proudu. Rajchard (2002) tvrdí, že zastavením Golfského proudu by došlo k prudkému ochlazení a nástupu doby ledové. Je prokázáno, že v minulosti se na Zemi střídaly doby ledové a meziledové. V současnosti je Zem někde ve středu doby meziledové. Lidé však svou činností tuto dobu meziledovou zkracují a přivolávají rychlý nástup doby ledové, kdy celá severní Evropa a severní Amerika bude pokryta ledovcem.

Dalším důsledkem zvyšující se koncentrace CO_2 v atmosféře je zvyšující se rychlost fotosyntézy rostlin, tedy rychlost tvorby jejich biomasy. Přestože jde o komplikované a doposud ne zcela jasně vysvětlené působení, není toto předmětem obav. A to zejména proto, že tato skutečnost má převažující pozitivní důsledky, zvyšuje se produkce biomasy a rostliny také často efektivněji využívají vodu. (Nátr, 2006)

6.3 Antropogenní narušování biogeochemického cyklu dusíku

Vliv člověka a jeho činností je na koloběh dusíku velmi výrazný. Každé odlesnění a kácení dřevin v krajině má za následek podstatný nárůst toku dusičnanů do vodních toků a ztráty N_2O v atmosféře. Ani výroba hnojiv či vnitřní spalování není bez významu, dochází při nich také ke vzniku vázaného dusíku. Ale člověk svou činností pozitivně ovlivňuje fixaci dusíku a to v zemědělství pěstováním bobovitých rostlin, jejichž kořenové hlízkky obsahují bakterie, které mohou dusík vázat. Cook a Bolin (1983) uvádí, že „člověk opravdu produkuje řádově tolik vázaného dusíku, kolik se ho v přírodě vytvoří přirozenou fixací“.

Dle Integrovaného registru znečišťování patří mezi hlavní antropogenní zdroje emisí oxidu dusného zemědělská činnost (především používání dusíkatých průmyslových hnojiv poskytujících zdroj dusíku pro nitrifikaci a denitrifikaci), výroba kyseliny dusičné a adipové (surovina pro výrobu nylonu), spalovací procesy v energetice a dopravě (málo významné zdroje emisí), dále raketová a letecká technika (přímé emise do vyšších vrstev atmosféry). Emise z dopravy jsou sice relativně malé a nevýznamné, avšak stále vzrůstají s rostoucím počtem automobilů vybavených třicestnými katalyzátory, které produkují naopak více oxidu dusného. (IRZ, 2006)

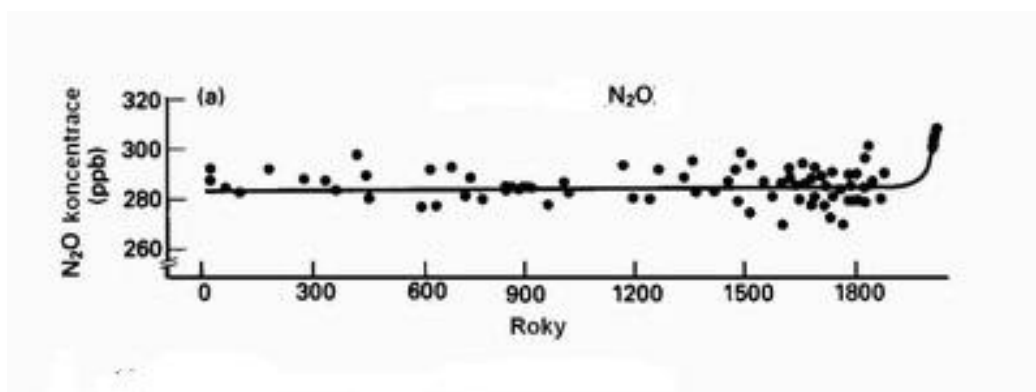
Nejvíce je však narušen koloběh dusíku používáním dusíkatých hnojiv (více než 50×10^6 tun ročně), jelikož podstatná část hnojiv vpravených do půdy, se dostane do vodních toků a jezer. To má za následek zvýšení koncentrace dusíku ve vodě, což vede ke kulturní eutrofizaci. (Begon, Harper, Townsend, 1997) Používání minerálních hnojiv v zemědělství zvyšuje nejen množství vyplavovaného dusíku, ale také intenzitu denitrifikace. (Bremner, Blackmer, 1978)

Antropogenní vliv se projevuje na atmosférické fázi cyklu dusíku. Nejvýznamnější je zde uvolňování stále rostoucího množství plynů NO_x . Oxidy dusíku vznikají nejen při spalování ropy a uhlí (v elektrárnách a při průmyslové výrobě), ale jsou též vypouštěné ve výfukových plynech. Atmosférické plyny NO_x se mění v kyselinu dusičnou, ta následně zvyšuje kyselost srážek nejen v původní oblasti, ale také tam, kam vítr zanese tyto srážky. (Begon, Harper, Townsend, 1997) Do atmosféry se také vlivem zpracování chlévské mrvy a jejího využívání

v oblastech intenzivních chovů dobytka uvolňuje velké množství čpavku. (Berdén et al., 1987)

Oxid dusný patří mezi tzv. skleníkové plyny. Absorbuje tepelné záření a toto záření zpětně vyzařuje, což souvisí s globálním oteplováním Země. Jeho potenciál přispívá k intenzifikaci skleníkového efektu je ve srovnání s nejvíce diskutovaným oxidem uhličitým 270 - 310x vyšší (IRZ, 2006). Oxid dusný v současné době představuje největší nebezpečí pro ozonovou vrstvu (Ravishankara, Daniels, Portmann, 2009). Zhruba dvě třetiny celkových ročních emisí se uvolňují z půdy přirozenou cestou, zbývající třetina je výsledkem lidské činnosti.

Následující obrázek č. 14 ukazuje roční změny koncentrace dusíku v ovzduší za posledních 2 000 let.



Obr. č. 14: Roční změny koncentrace dusíku v ovzduší za posledních 2 000 let. (Goudie, 2006)

6.4 Antropogenní narušování biogeochemického cyklu fosforu

Činnosti člověka mají na cyklus fosforu různý vliv. Vliv lidské civilizace na cyklus fosforu se projevuje především ve vypouštění odpadních vod, které obsahují rozpustné sloučeniny fosforu (např. z pracích prášků), čímž se zvyšuje obsah fosforu ve vodách. Vlivem činnosti člověka se tak z řek do oceánů dostávají 2/3 z celkového množství fosforu.

Begon, Harper, Townsend (1997) uvádějí, že lov mořských ryb přenáší z oceánu na pevninu cca 50×10^6 tun fosforu ročně. Jelikož v oceánu je však cca $120\,000 \times 10^6$ tun fosforu (Ramade, 1984), není tento tok významný.

Těžba fosfátových hornin a následná výroba a aplikace hnojiv, ta jsou však pouze z nepodstatné části využita rostlinami, nemá zásadní vliv na celkovou bilanci

fosforu, avšak fosfor zůstává imobilizován ve formě nerozpustných fosforečnanů v půdě. (Rajchard, 2002)

Velmi důležitou roli hraje fosfor společně s obsahem dusíku a uhlíku při eutrofizaci vodních nádrží. Člověk může pouze omezeně ovlivnit tok dusíku a uhlíku z atmosféry do hydrosféry (fixaci dusíku ve vodních nádržích lze provádět prostřednictvím speciálních druhů řas, rozpouštění CO₂ ve vodě probíhá samovolně), je fosfor limitující živinou při eutrofizaci. (Mihaljevič, Moldan, 2000)

Člověk svou činností ovlivňuje obsah fosforu v oceánech, což není tak významné jako zvýšení obsahu fosforu v povrchových vodách, jelikož je fosfor limitujícím faktorem pro růst vodních rostlin. Zvýšený obsah fosforu spolu se zvýšeným obsahem dusíku podporuje růst fytoplanktonu (řas či sinic), což vede především ve stojatých vodách k rozvoji tzv. vodního květu (sinice) nebo vegetačního zákalu (řasy). Následně dochází k vytlačení vyšších vodních rostlin a s nimi ubývá i množství bezobratlých a na ně vázaných obratlovců. Tímto způsobem se zužuje potravní pyramida stojatých vod a snižuje se stálost společenstva. Rozklad velké biomasy fytoplanktonu také zvyšuje spotřebu kyslíku, tím koncentrace kyslíku ve vodě klesá a dochází k úhynu ryb i bezobratlých. (Rajchard, 2002)

Situaci lze napravit zamezením přísunu živin. Člověk může změnit zemědělské metody, odklonit tok odpadních vod či fosfor z odpadních vod odstranit. Moss et al. (1988) tvrdí, že jen čas ukáže, zdali tato opatření budou stačit, či zdali ještě bude nutné také mechanicky odstranit dříve usazené sedimenty v mělkých jezerech.

V minulosti bylo množství fosforu zvyšováno produkcí odpadních vod z procesů praní prádla, dnes se však již používají bezfosfátové prací prášky. Naopak významný vliv na zvyšování obsahu fosforu v koloběhu má rychle rostoucí výroba fosforečnanových hnojiv a úprava těžných přírodních fosfátů. Díky tomu je stále více aktuální otázka vyčerpání světových zásob fosforu. Napomáhá tomu také fakt, že zásoby fosforu se neodvratně ukládají na dno oceánů.

6.5 Antropogenní narušování biogeochemického cyklu síry

Vliv lidské civilizace na biogeochemický cyklus síry se projevuje především ve spalování fosilních paliv (uhlí obsahuje 1 - 5% síry a ropy 2 - 3%), díky kterému se do atmosféry dostává SO_2 , který značně ovlivňuje chemismus ovzduší (cca 90% sloučenin síry v ovzduší v průmyslových oblastech má antropogenní původ). (Rajchard, 2002)

SO_2 v ovzduší oxiduje za vzniku aerosolových kapek kyseliny sírové (o velikosti méně než $1\mu\text{m}$) a následně je vymýván deštěm (tzv. kyselá dešť), což vede k nadměrnému okyselování půd a řadě negativních jevů v půdě i vodách. Na rostliny působí kyselá dešť tak, že rozkládají tuky v listech a poškozují membrány. (Chia et al, 1984) Také dochází jejich vlivem ke zvyšování intenzity odplavování některých půdních živin a přísunu živin jiných do podoby, ve které je nemohou rostliny přijímat. (Begon, Harper, Townsend, 1997)

Zjednodušeně lze popsat pochody v atmosféře následujícím řetězcem:



Tyto sloučeniny se dostávají do atmosféry také antropogenní činností.

Odhaduje se, že ročně se lidskou činností dostane do ovzduší 4x větší množství síry, než je množství síry ze zvětrávání hornin a ze sopečné činnosti a toto množství je rovno množství síry, které přijímá atmosféra přirozenou cestou. (Galloway, 1985) Zatímco přírodní zdroje síry jsou rozloženy rovnoměrně, antropogenní zdroje jsou koncentrovány v průmyslových oblastech a okolí, kde dochází k jejímu uvolňování, tj. především v severní Evropě a na východě Severní Ameriky. Zde je podíl množství síry vyprodukované člověkem až 90% z celkového množství síry. (Rajchard, 2002; Begon, Harper, Townsend, 1997; Fry, Cook, 1984)

Problém se vznikající sírou při spalování fosilních paliv lze vyřešit tzv. odsířením, kdy je však zapotřebí velkého množství vápence, následně vzniká neškodná a využitelná sádra. Nicméně množství vápence je tak vysoké, že jeho získávání se stává stále náročnějším, jelikož se zásoby často nachází v rezervacích a vědecky zajímavých lokalitách, které mohou být těžbou nevratně zničeny. (Rajchard,

2002) Je tedy nutné nastoupit politickou cestu, vlády všech zemí se musí spojit a společně odsouhlasit snížení emisí SO₂ a NO_x.

6.6 Diskuse

Z literární rešerše vyplývá, člověk svou činností ovlivňuje složení všech vrstev Země a při neuvážené produkci škodlivin ohrožuje nejen zdraví své, ale také základní rovnovážné procesy celé naší planety.

Obecně lze říci, že lidskou aktivitou, která nejvíce a v největším rozsahu ovlivňuje látkovou výměnu na Zemi, je spalování fosilních paliv. Spalování fosilních paliv ovlivňuje biogeochemické cykly uhlíku, dusíku a síry, přičemž ostatní cykly jsou touto aktivitou také dotčeny.

Při zamyšlení nad touto problematikou se mi nabízí otázka: *„Je možné zastavit nebo omezit neustálé ovlivňování biogeochemických cyklů esenciálních prvků antropogenní činností? Z dostupných literárních pramenů je zřejmé, že je tato otázka velmi diskutabilní. Ze selekce odborné literatury a článků vyplývá, že zastavení globálního znečišťování Země a narušování krajinného rázu životního prostředí není možné. Omezení těchto činností ovšem bez pochyb lze vzájemnou kooperací jednotlivých mezinárodních, státních, ale i obecních složek. Nejprve však musí každý jednatel začít sám u sebe. Je třeba si uvědomit a pochopit, že Země tu není pro něj, ale že každý organismus je tu pro Zemi. Všichni spoluobčané mohou přispět ke zmírnění dopadů ekologické zátěže jednoduchými způsoby, např. recyklací odpadu, omezením užíváním dopravních prostředků, šetřením elektrickou energií, vodou, apod. Veškeré tyto činnosti jsou v moci každého z nás a v globálním měřítku se mohou dlouhodobě pozitivně odrazit v rázu krajiny. Ke zlepšení této situace bude nezbytná každodenní informovanost veřejnosti o daných problémech, mezinárodní kooperace odborníků a státních úředníků vedoucí k dohodě na společném globálním programu ochrany životního prostředí a aktivní legislativní činnost vlády reagující na aktuální problémy, která by měla zavádět vyšší sankce za porušení právních předpisů směřujících k ochraně Země a v neposlední řadě uvažovat o změně školského zákona a zavedení prevence ochrany Země jako povinného učebního předmětu.*

V zájmu zachování naší planety pro budoucí generace je zapotřebí podporovat ekologické uvědomění si každého z nás.

7. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vypracování literární rešerše na základě studia odborné literatury, vědeckých článků, internetových zdrojů a právních norem na téma antropogenního narušování biogeochemických cyklů. V praktické části práce byla provedena analýza shromážděných dat zaměřená na otázky vyčerpatelnosti přírodních zdrojů vybraných esenciálních prvků a jejich možné nahraditelnosti. Práce se soustřeďuje na biogeochemické cykly uhlíku, kyslíku, dusíku, fosforu a síry. Komparací dostupných pramenů bylo vytyčených cílů dosaženo a nebylo opomenuto navrzení vhodných opatření ke snížení antropogenního vlivu na biogeochemické cykly.

Kompendiem teoretické a praktické části práce lze konstatovat, že největší antropogenní zátěží ovlivňující látkovou výměnu na Zemi, je spalování fosilních paliv, které ovlivňuje biogeochemické cykly nejen uhlíku, dusíku a síry, ale přímo se i dotýká touto aktivitou ostatních cyklů.

Zásah člověka do biogeochemického cyklu síry patří mezi nejvíce znatelné zásahy do látkového metabolismu Země. Je však třeba zdůraznit, že přes všechny negativní důsledky, které jsou svázané s antropogenní mobilizací síry, si může lidstvo připsat jeden „pozitivní“ důsledek. Aerosol, který obsahuje sloučeniny síry, představuje většinu kondenzačních jader oblačnosti, která umožňují vznik kapiček tvořících oblaka. Oblačné kapky pak rozptylují světelné záření, což má za následek odraz sluneční energie zpět do vesmíru. Je tedy zřejmé, že síranový aerosol pozitivně ovlivňuje skleníkový efekt.

Člověk ale neovlivňuje jen cyklus síry, ale také všechny ostatní. Antropogenní vliv na fixaci dusíku je trojí, výroba NH_3 a HNO_3 ze vzduchu, produkce NO_x při spalovacích procesech a biologická fixace dusíku kulturními rostlinami. V případě všech těchto tří druhů fixace se jedná o fixaci přímou a lze ji snadno kvantifikovat, ale také snadno omezit.

Dalším velkým nebezpečím je nadměrné obohacování kontinentů dusíkem, avšak dnes si to ještě málokdo uvědomuje. Sice se již ve světě pomalu upouští od používání průmyslových minerálních dusíkatých hnojiv, nicméně je třeba věřit, že

v budoucnu najde člověk lepší využití denitrifikátorů a také technická řešení, která nebezpečí vyvolaná přebytkem dusíku sníží.

Na závěr lze jen dodat, že je nezbytné, aby si každý z nás uvědomil, že antropogenní narušování biogeochemických cyklů v přírodě činí nevratné a nemalé zásahy nejen do naší krajiny a v horizontu několika stovek až tisíců let budou ovlivňovat vývoj celé populace lidí.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

POUŽITÉ LITERÁRNÍ ZDROJE

BEGON, Michael, HARPER, John L., TOWNSEND, Colin R. *Ekologie: jedinci, populace a společenstva*. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 949 s. ISBN 80-706-7695-7.

BERDÉN, Maria et al. *Soil acidification, extent causes and consequences: an evaluation of literature information and current research*. National Swedish Environmental Protection Board, 1987, 164 s.

BREMNER, J. M., BLACKMER A. M. Nitrous Oxide: Emission from Soils During Nitrification of Fertilizer Nitrogen. *Science*. 1978, roč. 199, č. 4326, s. 295-296. ISSN 0036-8075. DOI: 10.1126/science.199.4326.295.

BRIMBLECOMBE, Peter, LEIN, Alla Yu. *Evolution of the global biogeochemical sulphur cycle*. New York: Wiley, 1989, 241 s. ISBN 04-719-2251-X.

COOK, Robert.B., BOLIN, Bert. *The major biogeochemical cycles and their interactions*. Chichester: Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU) by Wiley, 1983. 532 s. ISBN 978-047-1105-220.

DETWILER, R. P., HALL, Charles A. S. Tropical Forests and the Global Carbon Cycle *Science*. 1988, roč. 239, č. 4835, s. 42-47. ISSN 0036-8075. DOI: 10.1126/science.239.4835.42.

DUVIGNEAUD, Paul. *Ekologická syntéza*. Praha: Academia, 1988, 414 s.

DVOŘÁK, Jan. *Koloběhy látek a biogeochemické cykly*. Praha: ČZU, 2005.

FRY, G.L.A., COOKE, A.S. *Acid deposition and its implications for nature conservation in Britain*. Shrewsbury: Nature Conservancy Council, 1984. ISBN 08-613-9283-3.

GALLOWAY, James. *The biogeochemical cycling of sulfur and nitrogen in the remote atmosphere*. Hingham, MA, U.S.A., 1985, 249 s. ISBN 90-277-2130-0.

GOUDIE, Andrew. *The human impact on the natural environment: past, present, and future*. 6th ed. Oxford: Blackwell Pub., 2006, 357 s. ISBN 978-140-5127-042.

HRDINOVÁ, J., KAMAS, J. *Komplexní biotechnologie pro spojené odstraňování sulfanu z bioplynu a nutrientů z odpadních vod na čistírnách odpadních vod, bioplynových stanicích a podobných technologických celcích*. Kunovice: EPS, s.r.o., 2011.

KLIKORKA, Jiří, HÁJEK, Bohumil, VOTINSKÝ, Jiří. *Obecná a anorganická chemie*. 2. nezměn. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. 592 s.

LOSOS, Bohumil et al. *Ekologie živočichů*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1980. 307 s.

LOUČKA, Tomáš. Biogeochemické cykly dusíku a uhlíku, solární oteplování - nové poznatky. *Studia Oecologica*. Ústí nad Labem: FŽP UJEP Ústí nad Labem, 2008, roč. 2, č. 2, s. 113-117. ISSN 1802-212X.

NÁTR, Lubomír. *Rozvoj trvale neudržitelný*. Vyd. 1. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2005, 102 s. ISBN 80-246-0987-8.

MARŠÁLEK, Blahoslav. *Znečištění povrchových vod živinami: příčiny, důsledky a možnosti řešení (eu)trofizace: sborník konference: Praha, Novotného lávka, 11. června 2009*. Praha: Český svaz vědeckotechnických společností, 2009. ISBN 80-020-2154-1.

MCKANE, Larry, KANDEL, Judy. *Microbiology: essentials and applications*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1996, 843 s. ISBN 00-704-5154-0.

MIHALJEVIČ, Martin, MOLDAN, Bedřich. *Otázky biogeochemie*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2000, 105 s. ISBN 80-246-0035-8.

MOLDAN, Bedřich. *Geologie a životní prostředí*. Praha: Československá akademie věd, 1974, 141 s.

MOLDAN, Bedřich. *Koloběh hmoty v přírodě*. Praha: Academia, 1983, 171 s.

MOLDAN, Bedřich. *Atmospheric deposition: a biogeochemical process*. Praha: Academia, 1991. 108 s.

MOLDAN, Bedřich. *Příroda a civilizace: životní prostředí a rozvoj lidské civilizace*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1997, 147 s. Odborná literatura pro žáky a veřejnost. ISBN 80-042-6434-4.

MULDER, Arnold. *Anoxic ammonia oxidation* [patent]. USA. 5078884. Uděleno 7.1.1992.

ODUM, Eugene Pleasants. *Základy ekologie*. Praha: Academia, 1977, 733 s.

RAJCHARD, Josef. *Ekologie: 3, Struktura a funkce ekosystému, produkční ekologie, biogeochemické cykly, chemické faktory prostředí, základy ekologie půdy, ekologie vodního prostředí, aktuální celosvětové ekologické problémy*. 1. vyd. České Budějovice: KOPP, 2002, 197 s. ISBN 80-723-2191-9.

RAMADE, Francois. *Ecology of natural resources*. New York: Wiley, 1984, 231 s. ISBN 04-719-0625-5.

RAVISHANKARA, A.R., DANIEL, John S., PORTMANN, Robert W. Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. *Science*. 2009, roč. 326, č. 5949, s. 123-125. ISSN 0036-8075. DOI: 10.1126/science.1176985.

ROUND, Frank Eric, LUND, John W. G. *Algae and the aquatic environment*. Bristol: Biopress, 1988. 460 s. ISBN 9780948737060.

ROSYPAL, Stanislav et al. *Nový přehled biologie*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2003, 797 s. ISBN 80-718-3268-5.

SCHLESINGER, William H. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. 2nd ed. San Diego, Calif.: Academic Press, 1997, 588 s. ISBN 01-262-5155-X.

SYMON, Karel, BENCKO, Vladimír. *Znečištění ovzduší a zdraví*. Praha: Avicenum, 1988, 250 s.

VÁVROVÁ, Hana. *Biogeochemické cykly*. Masarykova Univerzita Brno, 2010, 24 s.

WARING, Richard H., SCHLESINGER, William H. *Forest ecosystems: concepts and management*. Orlando: Academic Press, 1985, xiii, 340 p. ISBN 01-257-3441-7.

WESTBROEK, Peter. *Život jako geologická síla*. 1. vyd. Překlad Václav Cílek, Anton Markoš. Praha: Dokořán, 2003, 207 s. Aliter, sv. 8. ISBN 80-865-6942-X.

POUŽITÉ INTERNETOVÉ ZDROJE

Biogeochemické cykly. ČERMÁKOVÁ, Jana et al. *Vítejte na Zemi: multimediální ročenka životního prostředí* [online]. 2008 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://vitejenazemi.cenia.cz/vzduch/index.php?article=39>

CHIA, L. S., MAYFIELD, C. I., THOMPSON, J. E. Simulated acid rain induces lipid peroxidation and membrane damage in foliage. *Plant, Cell & Environment*. 1984, roč. 7, č. 5, s. 333–338. ISSN 1365-3040. DOI: 10.1111/1365-3040.ep11589789. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/1365-3040.ep11589789>

IGBP CONSTITUTION. *Constitution of the Scientific Committee for the International Geosphere- Biosphere Programme: A Study of Global Change (IGBP)* [online]. 2005, 4 s. [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: http://www.igbp.net/download/18.2709bddb12c08a79de780002811/IGBP_Constitution.pdf

KUYPERS, Marcel M. M. et al Anaerobic ammonium oxidation by anammox bacteria in the Black Sea. *Nature* [online]. 2003, č. 422, s. 608-611 [cit. 2013-04-10]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: http://www.ic.ucsc.edu/~saltikov/courses_backup/archive_files/Nature_2003_Kuypers.pdf

LOUČKA, Tomáš. *Biogeochemické cykly* [online]. Ústí nad Labem: FZP UJEP, 2004, 15 s. [cit. 5.4.2013]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/chemie_zp/CHZP2.DOC

Oxid dusný. In: *Integrovaný registr znečišťování IRZ* [online]. 2006 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: http://www.irz.cz/repository/latky/oxid_dusny.pdf

PTÁČEK, Vladimír. Chemické složení živé hmoty. *Masarykova Univerzita Fakulta Přírodovědecká* [online]. 2007 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/ptacek/Chemie-bar.htm>

Slovník cizích slov [online]. 2005 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: www.slovník-cizich-slov.abz.cz

ŠANTRŮČKOVÁ, Hana. *Biogeochemické cykly (BGChC)* [online]. České Budějovice, 2006 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://kbe.prf.jcu.cz/KBE102>.
Katedra biologie ekosystémů PřF JU.

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: <i>Hlavní globální cesty živin – červeně jsou vyznačeny toky, jež jsou ovlivněné činností člověka</i>	22
Obr. č. 2: <i>Zjednodušený koloběh kyslíku</i>	25
Obr. č. 3: <i>Globální biogeochemický cyklus kyslíku</i>	25
Obr. č. 4: <i>Zjednodušený koloběh uhlíku</i>	27
Obr. č. 5: <i>Biogeochemický cyklus uhlíku</i>	28
Obr. č. 6: <i>Množství dusíku v globálním cyklu</i>	29
Obr. č. 7: <i>Biogeochemický cyklus dusíku</i>	30
Obr. č. 8: <i>Zjednodušené schéma významných biochemických přeměn dusíku v přírodě</i>	32
Obr. č. 9: <i>Množství dusíku v globálním cyklu</i>	33
Obr. č. 10: <i>Biogeochemický cyklus fosforu</i>	34
Obr. č. 11: <i>Množství fosforu v globálním cyklu</i>	36
Obr. č. 12: <i>Biogeochemický cyklus síry</i>	37
Obr. č. 13: <i>Množství síry v globálním cyklu</i>	38
Obr. č. 14: <i>Roční změny koncentrace dusíku v ovzduší za posledních 2 000 let</i>	42

10. SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1: <i>Obsah jednotlivých prvků v abiotické a biotické složce</i>	14
Tab. č. 2: <i>Obsah vybraných prvků v různých systémech</i>	16
Tab. č. 3: <i>Přehled biogeochemických cyklů biogenních prvků</i>	19
Tab. č. 4: <i>Toky vybraných chemických prvků v atmosféře</i>	20
Tab. č. 5: <i>Biogeochemicky důležité toky vybraných prvků v $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$</i>	22