

Biogeochemické cykly uhlíku a dusíku

Přírodní sféry země jsou navzájem propojeny výměnou látek a energie. Tato výměna probíhá v různých časových a prostorových měřítkách a toky se výrazně liší svou rychlostí a velikostí. Největším látkovým tokem, při kterém dochází zároveň k výměně ohromného množství energie, je hydrologický cyklus. Dalšími v pořadí jsou cykly prvků, které jsou obsaženy v horninách a jsou základními stavebními kameny všech živých organismů. Díky milióny let trvajícím neustálému koloběhu látek a energie a díky udržování relativně ustáleného poměru mezi prvky přežívají na Zemi organismy. Mezi nejvýznamnější prvky v biosféře patří tzv. biogenní makroprvky (uhlík, kyslík, vodík, dusík, fosfor a síra). Z uvedených prvků bude podrobněji představen cyklus uhlíku a dusíku.

Koloběh uhlíku („C“)

Koloběh uhlíku si je možné představit jako výměnu tohoto prvku v jeho různých formách mezi jednotlivými zásobníky. Zásobníky jsou: (i) **atmosféra**, zde je uhlík přítomen v podobě uhlikatých sloučenin (CO , CO_2 , CH_4 , vyšší uhlovodíky, organické sloučeniny), (ii) **hydrosféra**, ve které se nachází jako kyselina uhličitá, uhličitany, organický uhlík, (iii) **biosféra**, zde je uhlík součástí stavebních látek (cukry, tuky, bílkoviny, aj.) všech organismů, (iv) **pedosféra**, ve které je uhlík součástí půdní organické hmoty a produktů jejího rozkladu, a poslední zásobník představuje (v) **litosféra**, ve které je uhlík přítomen především v karbonátových horninách (vápence, dolomity) a dalších sedimentech (organogenní sedimenty – kaus-tobiolity). První čtyři zásobníky jsou zásobníky uhlíku s tzv. rychlým obratem, v nichž je uhlík vyměňován maximálně v řádu let až století. Dlouhodobý cyklus probíhá desetitisíce až milióny let a součástí tohoto cyklu je uhlík uvolňovaný zvětráváním hornin nebo při sopečných erupcích. Následně pak uhlík vstupuje do krátkodobého cyklu a sedimentací se zpět stává součástí horninového prostředí. Dlouhodobý cyklus lidstvo velmi výrazně ovlivnilo spalováním a uvolňováním uhlíku vázaného ve fosilních palivech či

těžbou vápence pro výrobu cementu. Tento uhlík se tak ve velmi krátké době přesouvá z dlouhodobého do krátkodobého cyklu.

Největší množství uhlíku je vázáno v litosféře (Obr. 1, podle Ciais a kol., 2013). Ze zásobníků, které se účastní tzv. rychlého obratu uhlíku, je jeho významné množství vázáno v půdě ve formě odumřelé organické hmoty (1500–2400 PgC). V atmosféře je uhlík (C) dominantně přítomný jako CO_2 , jehož koncentrace je přibližně 390 ppm = 828 PgC, 3,9 PgC pak připadá na uhlík v atmosféře v jeho dalších formách. V živé biomase je vázáno celkové množství uhlíku mezi 450–650 PgC.

Ročně je fotosyntézou z atmosféry spotřebováno 123 ± 8 PgC, který je zabudován do rostlinných pletiv a stává se součástí potravního řetězce. Avšak polovina z tohoto množství se do atmosféry vrací v důsledku respirace organismů a další velké množství uhlíku, které odpovídá téměř polovině množství uhlíku odebraného z atmosféry fotosyntézou, je uvolněno při rozkladu organické hmoty. Po odumření organismů se uhlík stává součástí půdní organické hmoty, ze které je uvolněn zpět do atmosféry heterotrofní respirací, nebo požárem, či se dostává do vodních toků a stává se součástí cyklů v dalším zásobníku, kde se může

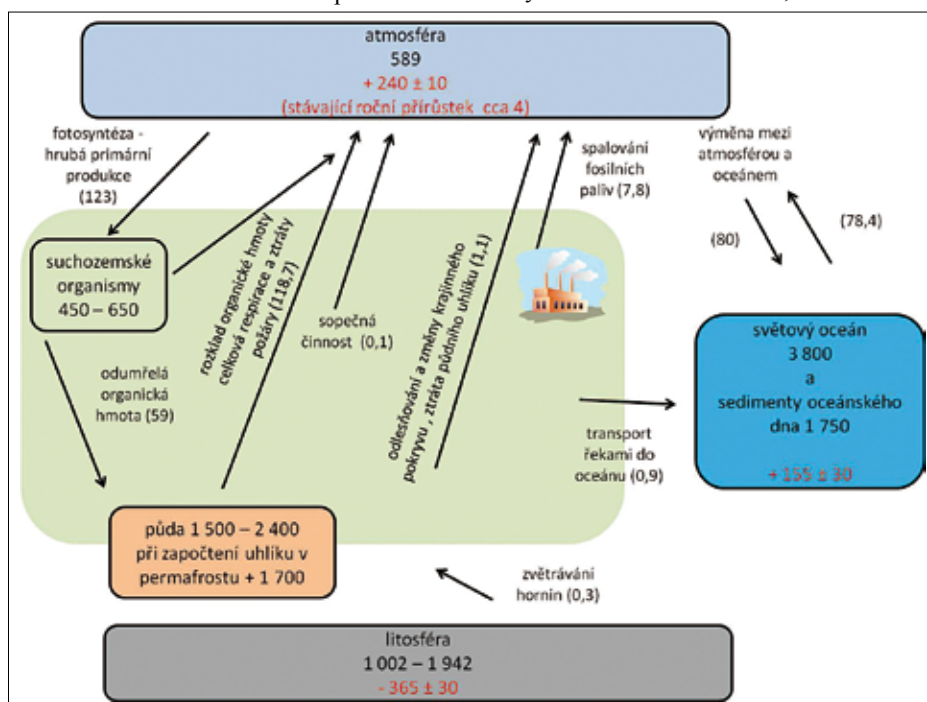
usadit v sedimentech či být uvolněn do atmosféry v podobě CO_2 . Tedy po odečtení výše jmenovaných procesů uvolňujících uhlík se ho v celkové bilanci každoročně odebere z atmosféry pouze malé množství (1,7 PgC), které je v přirozeném cyklu uhlíku zabudováno do biomasy. Stejně množství se ho však z pevniny dostává do řek a dále je uvolněno do atmosféry, uloženo do sedimentu nebo transportováno do oceánu. Světový oceán představuje největší zásobník v krátkodobém cyklu uhlíku. Atmosférický CO_2 je vyměňován s povrchem oceánu plynou výměnou, která je řízena rozdílem parciálního tlaku CO_2 mezi atmosférou a hladinou oceánu. V oceánu je uhlík přítomen především jako rozpuštěný anorganický uhlík, přibližně 38 000 PgC. Sedimenty oceánského dna obsahují 1750 PgC. Součástí oceánu jsou i produkty rozkladu organických látek, v nichž je obsaženo 700 PgC. Mořská biota obsahuje jen 3 PgC.

Přirozený cyklus uhlíku byl výrazně ovlivněn činností člověka. V důsledku spalování fosilních paliv a produkce cementu vzrostlo jeho množství uvolněného z dlouhodobých zásobníků od roku 1750 do současnosti o 375 ± 30 PgC a ročně vzrůstá o $7,8 \pm 0,6$ PgC. Změnou využívání krajiny se za stejné období zvýšilo jeho množství o 180 ± 80 PgC a nadále vzrůstá o $1,1 \pm 0,6$ PgC za rok. Z celkového množství uhlíku (555 ± 85 PgC), o který se jeho obsah v globálním koloběhu zvýšil, však jen polovina zůstala v atmosféře, zbytek je uložen ve vegetaci a půdě (160 ± 90 PgC) a v oceánu (155 ± 30 PgC).

Tento nárůst má řadu důsledků. Příkladem může být zvyšující se koncentrace uhlíku v atmosféře, která zesiluje tzv. skleníkový efekt atmosféry, v jehož důsledku dochází k nárůstu teploty na Zemi. Zvyšující se příjem CO_2 do oceánů zase vede k poklesu pH, což negativně ovlivňuje ukládání uhlíku do uhličitane vápenatého v podobě schránek mořských živočichů.

Koloběh dusíku („N“)

Dusík je společně s uhlíkem základním stavebním prvkem těl živých organismů a nepostradatelným komponentem makromolekul (bílkovin, nukleových kyselin). Je čtvrtým nejhojnějším prvkem po kyslíku, uhlíku a vodíku. Obdobně jako uhlík se i dusík nachází v různých velkých zásobnících. Odhadovaná zásoba dusíku na Zemi



Obr. 1: Schéma koloběhu uhlíku podle IPCC (2013). Hodnoty jsou uvedeny v PgC. Hodnoty v závorkách ukazují roční toky mezi zásobníky. Červená čísla ukazují nárůst či úbytek v zásobníku.

V ZORNÉM POLI GEOGRAFŮ

je 5×10^{21} g (Galloway, 2003). Největší část, necelých 80 %, je obsažena v atmosféře a 20 % připadá na zásoby v sedimentárních horninách. V porovnání s těmito hodnotami jsou obsahy N v ostatních zásobnících zanedbatelné, nicméně z pohledu výměny mezi jednotlivými zásobníky mohou mít i nepatrné změny výrazné důsledky pro fungování celých ekosystémů. Mnohem důležitější než celkové zásoby jsou tedy toky mezi zásobníky a jejich ovlivnění člověkem.

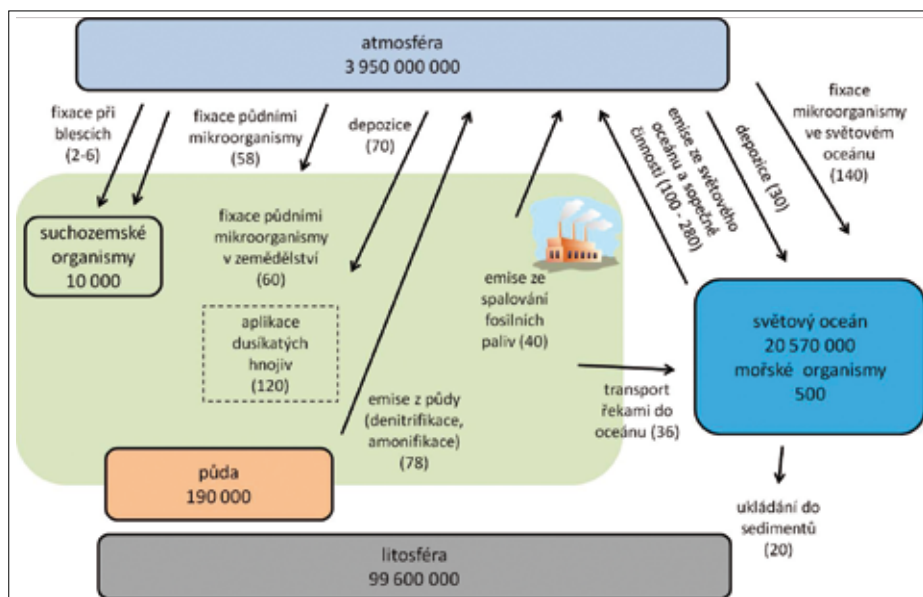
Ačkoliv se největší množství N nachází v atmosféře jako plyn N_2 , živé organismy jej neumí, až na několik výjimek, přijímat. Jen některé mikroorganismy jsou schopné fixace N_2 do forem (tzv. reaktivní dusík), které mohou využívat další organismy. Tuto fixaci provádějí buď mikroorganismy volně žijící ve vodě a půdě, nebo mikroorganismy žijící v symbióze s kořeny rostlin (rostliny z čeledi bobovitých – hrách, jetel aj.). Veškerý dusík, který je k dispozici v biosféře, byl buď fixován mikroorganismy, nebo při výbojích blesků, kdy dochází k tvorbě NH_3 a NO_3 .

Cyklus dusíku tak zahrnuje reakce jeho přeměny z plynné formy N_2 v procesu fixace do redukované formy NH_4^+ , které jsou využity organismy nebo oxidovány v procesu nitrifikace (oxidace NH_4^+ na dusitan a dusičnan) a opět využity organismy, nebo dochází k denitrifikaci (redukce dusičnanů na plynné formy N_2 , N_2O), která probíhá v půdě, a dusík se tak vrací do atmosféry. Z organických vazeb je dusík zpřístupňován amonifikací (rozklad organického dusíku na NH_4^+).

Největší výměnu dusíku (N) představuje biologická fixace v oceánu, která dosahuje 140 TgN/rok (Obr. 2, podle Fowler a kol., 2013). V suchozemských ekosystémech je méně než poloviční (58 Tg dusíku) a pouze 2–6 Tg dusíku připadá na fixaci při výbojích blesků. Vstup reaktivního dusíku z atmosféry díky mokré (srážky) a suché („usazování“ na povrchu) depozici dosahuje u suchozemských ekosystémů 70 TgN/rok a u oceánů 30 TgN/rok.

Vysvětlivky

Pg – petagram 10^{15} g
Tg – teragram 10^{12} g
ppm – jedna milióntina z celku
ppb – jedna miliardtina z celku



Obr. 2: Schéma koloběhu dusíku podle Fowler a kol. (2013). Hodnoty jsou uvedeny v TgN. Hodnoty v závorkách ukazují roční toky mezi zásobníky.

Člověk do přirozeného koloběhu dusíku zasáhl pěstováním rostlin fixujících dusík a o 60 TgN/rok tak zvyšuje vstup do suchozemských ekosystémů. Syntézou a aplikací dusíkatých hnojiv však vstup dusíku do ekosystémů ještě zdvojnásobil (120 TgN/rok). Dalším vstupem reaktivního dusíku jsou emise ze spalování fosilních paliv (40 TgN/rok). Koloběh dusíku se uzavírá tokem do atmosféry díky emisím NO a N_2O a NH_3 z půdy, které dosahují 78 TgN/rok, emisím N_2O , NH_3 z oceánu a sopečné činnosti (14,5 TgN/rok) a denitrifikací dusíku na N_2 z oceánů 100–280 TgN/rok. Část dusíku se z krátkodobého koloběhu ovšem ztrácí ukládáním do sedimentů v oceánech (20 TgN/rok).

Závěr

Přirozené cykly uhlíku a dusíku byly významně ovlivněny činností člověka. Cykly prvků jsou vzájemně propojené a tak například změna v dostupnosti dusíku může ovlivnit bilanci uhlíku v atmosféře či může vést ke změně druhového složení určitého stanoviště a celých ekosystémů nebo ke zhoršení kvality pitné vody. Dusík byl a je v přirozených ekosystémech prvkem, který limituje růst rostlin. Pokud je dusík v nadbytku, pak do-

chází k eutrofizaci. Důležitá je ovšem také koncentrace fosforu, který je jedním z dalších limitujících prvků. Ze suchozemských ekosystémů se nadbytečný dusík, který již organismy nejsou schopny využít, dostává v podobě nitrátů do vod a zhoršuje jejich kvalitu. V eutrofizovaných vodách se v průběhu teplých letních měsíců rozvíjejí sinice a bakterie, při jejichž odumírání a rozkladu se může nedostávat kyslíku ostatním vodním organismům. Eutrofizace suchozemských společenstev ovlivňuje například konkurenční vztahy mezi rostlinami a vede k šíření konkurenčně silnějších druhů, které často nejsou z ochrannářského hlediska zajímavé, proto se musejí zavádět opatření (např. odstraňování biomasy). Na zásah do cyklů nemůžeme nahlížet pouze jednostranně (negativně), ale je třeba si uvědomit, že například vynález syntetické výroby dusíkatých hnojiv byl skutečně převratným objevem, jenž zvýšil výnosy v zemědělské produkci potravin. Do té doby byl jediným zdrojem hnojiv, vedle produktů živočišné výroby, chilský ledek.

Tomáš Chuman, PrF UK

tomas.chuman@natur.cuni.cz

Filip Oulehle, Česká geologická služba

filip.oulehle@geology.cz

The Biogeochemical Cycles of Carbon and Nitrogen. Earth's environmental spheres are interconnected through the exchange of energy and material (e.g. macronutrients). Beginning with the industrial revolution, human activities have strongly influenced the cycles of essential elements, including carbon and nitrogen – the two most significant.

LITERATURA A ZDROJE DAT:

- CIAIS, P. a kol. (2013): Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Stocker, T. F. a kol. (eds.) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
FOWLER, D. a kol. (2013): The global nitrogen cycle in the twenty-first century. Phil Trans R Soc B, 368, 1–13.
GALLOWAY, J. N. (2003): The global nitrogen cycle. Biogeochemistry, Treatise on Geochemistry, 8, 557–583.

APLIKACE DO VÝUKY:

1. Na stránkách EUROSTATu (http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics) prozkoumejte, jaká je produkce CO_2 podle států, a pokuste se najít příčinu rozdílů.
2. Na stránkách EUROSTATu (http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agriculture_environmental_indicator_-_mineral_fertiliser_consumption) prozkoumejte, jaká je spotřeba dusíkatých hnojiv podle států, a pokuste se najít příčinu rozdílů.