

Proč je naše planeta dobré místo pro život

SAMOZŘEJMÉ I NESAMOZŘEJMÉ SOUVISLOSTI

Země, naše planeta, je unikátní místo. Poskytuje nejlepší podmínky pro život v celém známém vesmíru. Existence těchto podmínek je výsledkem mnoha souvisejících procesů. Skoro o všech klíčových se už ve Vesmíru psalo. Jak jsou spolu tyto procesy propojeny a jak spoluvytvářejí unikátní mechanismus fungování Země?

text **JAN FROUZ**

K TOMU, aby mohl na naší planetě existovat život, je potřeba přiměřené množství energie (tab. I), musí zde být ionizující záření, ale na druhou stranu ho nesmí být moc, potřebujeme kapalnou vodu, potřebujeme prvky, ze kterých jsou postavena naše těla a těla dalších živých organismů, a navíc potřebujeme, aby tyto podmínky trvaly dost dlouho na to, aby mohl život vzniknout a rozvíjet se.

Planeta, která umožní vznik života, jak jej známe, se musí nacházet ve správné vzdálenosti od příhodné hvězdy. Měla by mít vhodnou povrchovou teplotu, aby vyzařovala dostatek ultrafialového záření na spuštění důležité reakce v atmosféře planety, jako je vznik ozonu, ale zase ne tolik, aby jí působená ionizace zničila život vznikající na jejím povrchu. Příkon energie od hvězdy by měl být velmi stálý v čase. Navíc by hvězda měla mít dostatečně velký obsah těžkých prvků, aby umožnila vznik kamenných planet. Dobrá hvězda by také měla žít dostatečně dlouho (alespoň několik miliard let), aby umožnila vznik a vývoj života.

Podle toho, co známe z naší Země, planeta by měla obsahovat prvky vhodné pro život. Měla by mít správnou velikost. Ta ovlivňuje rychlost chladnutí po vzniku planety. Menší planety mají relativně velký poměr povrchu k objemu, a proto rychle chladnou, což může například zamezit vzniku deskové tektoniky. Velikost planety ovlivňuje její gravitaci, a tím mimo jiné velikost atmosféry a také rychlost rotace. Přiměřená rychlost rotace okolo vlastní osy je důležitá pro vznik magnetického

pole a také umožňuje rovnoměrné ohřívání planety.

IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

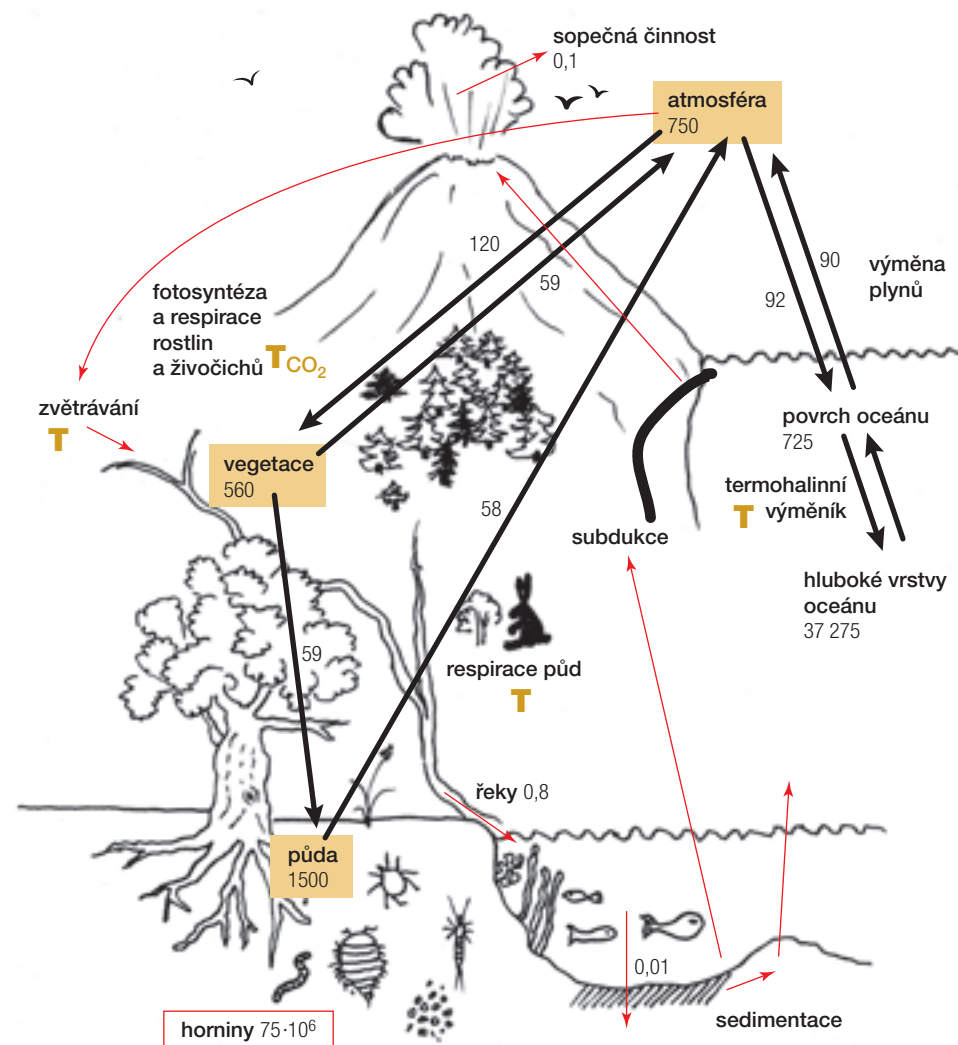
Vhodná planeta musí být vystavena dostatečnému toku ionizujícího záření, kterého ale nesmí být moc. Tuto rovnováhu ustavuje několik mechanismů, které nás před ionizujícím zářením chrání. Zde je třeba na prvním místě zmínit ochranu před kosmickým zářením, což je proud energetických částic původem z vesmíru. Většinu z nich produkuje Slunce, ale část pochází z prostoru mimo sluneční soustavu. Tvoří je především jádra vodíku a helia. Intenzita kosmického záření je značná a poškozuje organismy. Představuje jednu z významných překážek letů na Měsíc či na Mars nebo do vzdálenějšího vesmíru.

Naše Země je chráněna před kosmickým zářením svým magnetickým polem (Vesmír 100, 431, 2021/7), které nabitě částice kosmického záření vychyluje, takže velká část z nich naši planetu obletí. Další část těchto částic je uvězněna ve Van Allenových pásech, dvou soustředných oblastech kolem Země. Částice se zde pohybují podél magnetických siločar k severnímu či jižnímu pólu, kde některé reagují s atomy horní hranice atmosféry a vytvářejí polární záři. Magnetické pole Země je generováno díky konvekci probíhající v tekutém vnějším jádru planety, poháněné rozdílem teploty jádra a pláště planety. Tyto proudy jsou uspořádány díky Coriolisovým silám vyvolaným rotací naší planety. Indukují elektrické proudy, jež generují své vlastní magnetické pole. Jak jsem již zmínil, vznik magnetického pole souvisí i s velikostí planety. Například jádro Marsu

je mnohem menší než jádro Země, již se ochladilo a ztuhlo, a Mars tak nemá magnetické pole, které by ho dostatečně chránilo před kosmickým zářením.

Dalším druhem ionizujícího záření, které dopadá na naši planetu, je ultrafialová část slunečního záření. Ozonová vrstva (Vesmír 73, 37, 1994/1), nacházející se ve výškách 15 až 35 km nad povrchem Země, zachytí většinu velmi energetického ultrafialového záření (část UV C a UV B) a propustí část UV A o menší energii. Funguje to následně: UV záření o dostatečné energii štěpí molekuly kyslíku na dva kyslíkové radikály, které reagují s jinými molekulami kyslíku za vzniku ozonu. Rozštěpí-li další UV záření ozon, ten se rozpadne na molekulu kyslíku

Prof. Ing. Mgr. JAN FROUZ, CSc., (*1967) je ředitelem Centra pro otázky životního prostředí UK a ředitelem Ústavu půdní biologie a biogeochemie Biologického centra AV ČR. Zabývá se otázkami, jak interakce mezi rostlinami, půdou a půdní biotou určují postupné sukcesní změny půd a následně celých ekosystémů a jak můžeme tyto znalosti využít při obnově ekosystémů. Spolu s Jaroslavou Frouzovou je autorem knihy *Aplikovaná ekologie* (Karolinum 2021).



1. KOLOBĚH UHLÍKU a jeho vliv na koncentraci CO₂ v atmosféře. „Pomalý“ geologický cyklus (červeně) pracuje s velmi velkými zásobníky a malými toky, CO₂ ze sopečné činnosti a z riftových oblastí se dostává do atmosféry, odsud se odčerpává při zvětrávání, stává se součástí sedimentů, které se díky subdukční činnosti stanou součástí magmatu, a uhlík se jako CO₂ uvolní sopečnou činností. „Rychlý“ cyklus (černě) zahrnuje oceány, biotu a půdy. Pracuje s menšími zásobníky, mezi nimiž jsou větší toky. CO₂ se vyměňuje s povrchem oceánu a pomocí termohalinního cyklu i s hlubokými vrstvami oceánů, krom toho vstupuje fotosyntézou do biomasy rostlin, odkud se dostává do půd a uvolňuje se respirací organismů. Řada procesů cyklu uhlíku je závislá na teplotě (označeny zeleným T), některé i na koncentraci CO₂ (označeny zeleným nápisem CO₂); to umožňuje vznik řady zpětných vazeb, při nichž jsou tyto procesy zpětně ovlivňovány jednak nárůstem CO₂, jednak změnami teploty, které souvisejí mimo jiné se změnou síly skleníkového jevu. Kresba Pavel Hošek, Vesmír

a atomární kyslík, který opět vytváří ozon s jinou molekulou kyslíku.

TEPLOTA ZEMĚ

Kromě ochrany před ionizujícím zářením musí mít obyvatelná planeta teplotní poměry, které umožňují existenci kapalné vody a skupenské přechody vody. Říkáme, že planeta musí být v tzv. obyvatelné zóně.

Je přitom důležité, aby planeta setravávala v obyvatelné zóně po celou dráhu oběhu okolo své hvězdy. I zde máme štěstí, že oběh Země okolo Slunce je poměrně pravidelný. Nicméně drobné cyklické variace v pohybu Země okolo Slunce, popsané

Milankovičovými cykly, vyvolávají změny v příkonu slunečního záření, a tedy střídání dob ledových a meziledových (Vesmír 74, 488, 1995/9 a 97, 408, 2018/7).

Kromě vzdálenosti od Slunce je teplota Země ovlivňována silou skleníkového jevu. Skleníkový jev je jednou ze základních podmínek existence života na Zemi, odhaduje se, že teplota Země by bez něho byla asi -18 °C. Skleníkový jev je jedním z nejčastěji zmiňovaných přírodních jevů (Vesmír 75, 314, 1996/6 a 81, 254, 2002/5), přesto snad neuškodí zopakovat jeho princip. Na Zemi dopadá sluneční záření, jehož část se spotřebuje na ohřátí povrchu planety. Země pak

energetický tok	velikost v TW (10 ¹² W)
sluneční záření (na zemském povrchu)	80 000
termohalinní cirkulace	1 000
atmosférická cirkulace	1 000
fotosyntéza	100
lidská spotřeba energie	15

Tab. I. GLOBÁLNÍ VELIKOST vybraných energetických toků na Zemi v porovnání s energetickou spotřebou lidské společnosti.

jako každé ohřáté těleso vyzařuje energii do okolí. Vyzařované dlouhovlnné záření Země je na cestě do okolního vesmíru částečně pohlceno skleníkovými plyny, které zachycenou energii vyzáří všemi směry, tedy částečně také zpět k Zemi, čímž se Země pomaleji ochlazuje. Teplota planety je proto dána nejen příkonem slunečního záření, ale i silou skleníkového jevu. Nejvýznamnějším skleníkovým plynem je vodní pára, která je odpovědná za 36-72 % skleníkového jevu. Mezi další významné skleníkové plyny patří oxid uhličitý a metan. Vodní pára setrvává v atmosféře 8-9 dní a poté se vyprší, takže změny, které by byly vyvolány jen změnou koncentrace vodní páry, by byly velmi krátkodobé. U CO₂ je situace složitější. Na výměně CO₂ mezi atmosférou a dalšími zásobníky se podílí řada procesů s různou rychlostí, jejichž podíl závisí na mnoha faktorech. Podle podílu těchto procesů se mění i doba setrvávání CO₂ v atmosféře. Nicméně můžeme počítat zhruba s 300 až 1000 lety. To znamená, že CO₂, který přidáme do atmosféry, v ní vydrží po několik lidských generací.

REGULACE SKLENÍKOVÉHO JEVU

Již dříve jsem se zmínil, že změny příkonu solárního záření dané Milankovičovými cykly byly spouštěčem střídání dob ledových a meziledových. Bylo by však chybné se domnívat, že je to jediný hybatel této změny. Spíše si to lze představit tak, že drobná změna záření spustí další vzájemně související procesy. Malý vzestup teploty zvýší rychlost rozkladu organické hmoty v půdě a vzniklý CO₂ uniká do atmosféry. Vyšší koncentrace CO₂ vede k zvýšení teploty, to zvýší výpar, a tím se opět zvýší skleníkový jev a následně teplota. To může vést k tání ledovců. Obnažená půda pohltí více energie než sníh (sníží se albedo), čímž se zvýší množství sluneční energie pohlcené Zemí, to opět zvýší teplotu atd. Změny příkonu slunečního záření tedy působí v interakci se změnami skleníkového jevu a dalších faktorů.

Příkon slunečního záření a síla skleníkového jevu se v geologické historii Země

měníla. Svítivost naší hvězdy, Slunce, se totiž časem podstatně zvyšuje, na Zemi dnes dopadá více energie než v geologické minulosti. Z pohledu lidské historie jsou to změny zanedbatelné, ale během geologického vývoje jde v součtu o mnohem větší změny než ty vyvolané Milakovičovými cykly. Jak je tedy možné, že teplota Země byla například v prvohorách větší než dnes? Je to dáno právě různou intenzitou skleníkového jevu. V prvohorách byl totiž obsah CO₂ v atmosféře asi 10krát větší než dnes a tomu odpovídala větší intenzita skleníkového jevu, který pak zajistil teplotu podobnou té dnešní nebo i mírně vyšší i při menším příkonu slunečního záření.

Jak je možné, že se síla skleníkového jevu tak změnila? Koncentraci CO₂ v atmosféře ovlivňuje řada mechanismů. Jedním z nich je desková tektonika (Vesmír 76, 215, 1997/4 a 101, 30, 2022/1).

DESKOVÁ TEKTONIKA A KOLOBĚH UHLÍKU

Země sestává z tektonických desek, které se navzájem pohybují, to má řadu důsledků – od zemětřesení po rozšíření druhů rostlin a živočichů na zemi. Desková tektonika se také podílí na koloběhu uhlíku. Když se podsouvají oceánské desky pod desky pevninské, taví se horniny. Magma uniká na povrch a vytváří sopky. Ze sopek mimo jiné uniká do atmosféry i CO₂. Z atmosféry proniká do vody, rozpouští se v ní a dává vzniknout slabé kyselině uhlíčitě. Ta má zásadní význam při chemickém zvětrávání hornin a následném vzniku uhličitánů.

K tvorbě uhličitánů přispívají i živé organismy. Z karbonátů a vápníkových kationtů vytvářejí pevné schránky, které nakonec rovněž klesají na mořské dno, na němž se hromadí jako sedimenty. S posunem tektonických desek se po milionech let mohou uhličitany dostat do některé subdukční zóny, v níž se stanou součástí magmatu sopek. Vzhledem k tomu, že je zvětrávání jako každý chemický proces závislé na teplotě, při vyšší teplotě je i zvětrávání větší. Tak se odčerpá CO₂ z atmosféry. A naopak, je-li zima, zvětrávání je pomalé a sopky CO₂ časem do ovzduší doplní. Takže opět jedna negativní zpětná vazba.

Proces je sice velmi pomalý (takové zprostředkované toky CO₂ jsou malé např. v porovnání s výměnou CO₂ mezi atmosférou a oceány nebo atmosférou a půdou), ale mohl pomoci vyvážit teplotu planety již před vznikem života, v abiotické části vývoje Země. Proto je desková tektonika a její vazba na skleníkový jev dalším z klíčových mechanismů umožňujících život na Zemi.

Jiné geologické mechanismy, které se podílejí na produkci CO₂, jsou kontinentální rifty vedoucí k rozpadu kontinentů. Geologické procesy pracují s obrovskými zásobníky

uhlíku, množství uhlíku v horninách převyšuje obsah v ostatních zásobnících uhlíku o několik řádů. Nicméně, jak jsem již zmínil, výměna CO₂ mezi těmito zásobníky a atmosférou je velmi pomalá (obr. 1). Mnohem rychlejší je obrat mezi oceány, biosférou a půdou. Ty mohou být zdrojem i propadem CO₂, a mohou tedy skleníkový efekt jak podporovat, tak naopak snižovat. Například v permafrostu je uloženo značné množství skleníkových plynů CO₂ a metanu, vzniklých rozkladem biomasy. Na konci dob ledových permafrost roztával a uvolňoval značné množství metanu, který podpořil rychlejší oteplení. Naopak v současnosti díky zvýšené teplotě a koncentraci CO₂ pohlcuje vegetace velké množství uhlíku, který se ukládá do půdy.

Zastavme se u role mořské vody. Oceány si s atmosférou vyměňují velké množství CO₂. Přitom povrchové vrstvy oceánů, kam by se CO₂ dostal díky difuzi a promíchávání vody větrem, obsahují asi tolik CO₂, kolik je ho v atmosféře. Ovšem v hlubinných vrstvách je ho asi 50krát víc. K tomu, aby oceány mohly významně regulovat koncentraci CO₂ v atmosféře, je proto nutná výměna plynů mezi povrchem a hlubokými vrstvami oceánů. To zajišťuje termohalinní cyklus, další z významných mechanismů udržujících stabilitu podmínek na Zemi.

Termohalinní cyklus, zvaný též globální oceánský výměník, způsobuje cirkulaci hlubokomořských vod. Vítr pohání vlny jen asi do hloubky 100 m, ale termohalinní cyklus uvádí do pohybu vodstva v mnohem větších hloubkách. Je řízen rozdíly v hustotě mořské vody danými teplotou a salinitou. Do subpolárních oblastí přechází voda z teplejších částí oceánu často již poměrně slaná kvůli tomu, že se v teplejších částech vody vypařila. V polárních oblastech zchladne, a tím se její hustota ještě zvýší. Navíc část vody zmrzne, a protože do ledu vstoupí méně solí, více jich zůstane v mořské vodě, a tím se opět zvýší hustota. Hustší voda začne klesat k oceánskému dnu a vytlačuje hlubinnou vodu vzhůru. Tomuto procesu se říká vzestupné proudění (angl. upwelling, Vesmír 74, 257, 1995/5).

Voda z povrchu klesající směrem dolů přináší do hlubin rozpuštěný kyslík a CO₂, zatímco voda stoupající nahoru přináší ze dna živiny, zejména dusík a fosfor. Živiny se dostaly do hlubokých vrstev oceánu díky dešti odumřelých těl organismů postupně padajících ke dnu, kde se pozvolna rozkládají. Vzhledem k tomu, že je zde tma, neprobíhá tu fotosyntéza, živiny nejsou spotřebovávány a vystupují na povrch vzestupným prouděním. Kdyby se termohalinní výměník zastavil nebo významně zpomalil, zmenšilo by se odčerpávání CO₂ z atmosféry, což by vedlo k nárůstu jeho koncentrace a posílení skleníkového jevu.

Na udržování podmínek na Zemi se tedy podílejí různé vzájemně propojené

mechanismy. V minulosti docházelo k mnoha klimatickým výkyvům daným různými interakcemi těchto procesů. Ukážeme si jen jeden příklad za všechny. Většina velkých vymírání (čtyři z pěti největších) souvisí s velkou vulkanickou činností. Jak takové události mohly probíhat, si ukážeme na předpokládaném scénáři největšího vymírání na rozhraní permu a triasu. Odhaduje se, že při něm vymřelo 95 % mořských druhů organismů a až 70 % terestrických. Předpokládá se, že jeho počátečním hybatelem byla velká vulkanická aktivita, při níž se během geologicky krátkého období vylily na Sibiři asi 1–4 miliony kubických kilometrů lávy, která pokryla zhruba 7 milionů kilometrů čtverečních (což je téměř rozloha Austrálie).

Velké množství aerosolu, který se při této vulkanické aktivitě uvolnil do atmosféry, způsobilo snížení příslunu slunečního záření a ochlazení klimatu. Vulkanická zima vedla k vymírání na souši, to podpořilo erozi a následně přísun živin do moří a oceánů. Zároveň bylo uvolněno velké množství CO₂, jednak přímo vulkanickou činností, jednak souvisejícími požáry a produkcí CO₂. Aerosoly po nějaké době z atmosféry vypršely, avšak skleníkové plyny zůstaly. To posílilo skleníkový jev. Spekuluje se, že další významné zvýraznění skleníkového jevu způsobilo uvolnění metanu z hydrátů metanu nebo činnost metanogenních bakterií.

Nárůst teploty vedl k zpomalení termohalinního cyklu. Rozpouštění CO₂ v povrchové vrstvě oceánů způsobilo acidifikaci moří. Eutrofizace moří, tedy obohacení o živiny, které se sem dostaly smyvem z pevnin, a narušení termohalinního cyklu vedlo k anaerobióze moří. Anaerobióza a acidifikace pak byly hlavními příčinami vymírání v mořích.

Podobný scénář měla i další velká vymírání, která souvisela s vulkanickou aktivitou, globálním oteplením, zpomalením termohalinního cyklu a acidifikací a anaerobiózou oceánů. Někteří badatelé spekulují, že bychom mohli vyrobit podobné podmínky antropogenním posilováním skleníkového jevu. To nelze zcela vyloučit, na druhou stranu je těžké kvantitativně porovnat historická vymírání s dnešní situací jednak kvůli tomu, že máme často jen kusé informace o událostech v dávné minulosti, jednak proto, že podmínky byly velmi odlišné, co se týče polohy kontinentů, mořských proudů nebo příkonu slunečního záření.

Proč je tedy naše planeta tak dobré místo pro život? Může za to souhra mnoha procesů, které tiše a nenápadně vytvářejí obrovský stroj zajišťující homeostázi podmínek na naší planetě. V tomto stručném přehledu jsme ovšem jistě opomenuli mnoho zajímavých příběhů, které se k nim vážou. ●

Realizováno v rámci projektu Trendy v ochraně přírody (TOP) 3201400076, financováno z Fondů EHP a Norska 2014-2021 – program CZ-ENVIRONMENT.