

Nad osudem planety Země

Člověk, se rád považuje za nejinteligentnější druh na planetě Zemi. Často máme pocit, že právě my jsme vrcholem evoluce. Ale vývoj života ani planety Země námi rozhodně neskončí. Spíše v něm budeme jen krátkou epizodou. Jak dlouho tu lidstvo vydrží, a jaká budoucnost čeká život na Zemi? Tak, jak bude planeta stárnout a měnit se, mohla by se různorodost a rozsah biosféry snižovat a nakonec by zde mohly přežít už jen ty nejdolnější mikroorganismy, kterými evoluce na Zemi začala. O možných budoucích scénářích osudu Země jsme hovořili s RNDr. Tomášem Petráskem, Ph.D., z Fyziologického ústavu AV ČR.

Dnešní Země je plná života. Ještě než se pustíme do scénářů její budoucnosti, ohlédneme se zpátky. Můžete nám přiblížit, jak a kdy život na Zemi vlastně začal?

„První život se objevil skutečně velmi záhy. Již v nejstarších horninách nacházíme nepřímé důkazy o živých organismech. Z doby před 3,8 miliardy let už známe první mikrofossilie, které dosvědčují, že už tehdy existoval hojný mikrobiální život.“

Myslíte, že by mohla být Země ojedinelá svými podmínkami vhodnými pro život?

„Úplně ojedinelá asi ne. Vesmír je skutečně obrovský, jenom v naší Galaxii máme cca 300 miliard hvězd a minimálně stejný či vyšší počet planet, a podobných galaxií je v kosmu bezpočet. Určitě někde existují i jiné podobné planety. Zároveň ale víme, že planety i planetární soustavy jsou velmi rozmanité a mohou

se vyvíjet mnoha různými cestami. Proto si myslím, že opravdové „dvojče Země“ nebude vůbec snadné objevit. Zatím ale přesně nevíme, které rozdíly či podobnosti budou pro vznik a vývoj života ty klíčové. Na to je naše perspektiva moc omezená.“

Příběh zrodu naší planety od jejího zformování, objevení kapalné vody, přes první živé organismy a jejich postupný vývoj k vyšším a vyšším formám až k člověku je poměrně známý. Je tedy člověk vyvrcholením celého vývoje planety Země?

„To je notoricky známý příběh – ale také velký omyl. My lidé totiž máme velký sklon věřit tomu, že právě my sami jsme vrcholem evoluce a po nás již nic lepšího přijít nemůže. A snad i proto si tak rádi myslíme, že konec světa je za dveřmi, že co nevidět spadne pomyslná opona. Z pohledu života naší planety jsme ale zhruba uprostřed celého dramatu. Konec světa je tedy ještě asi daleko před námi – pokud tomu jako lidstvo nějak zásadně nepomůžeme. Svět se nezastaví ani v jednom svém aspektu. Lidé se budou dále vyvíjet, stejně tak další živočišné druhy, a nekončí ani vývoj naší planety i celého vesmíru.“

Jak můžeme předpovídat další osud Země? Skutečně se dá říci, co se s naší planetou stane a z čeho při takovém dalekém pohledu do budoucna mohou vědci vycházet?

„Určitým způsobem předpovídat další osud Země můžeme a to na základě poznatků z astronomie a astrofyziky, částečně také geologie, klimatologie, věd o živé přírodě a lidské společnosti. Liší se ale důvěryhodnost takových

předpovědí. Některé astrofyzikální či geologické procesy se při zadání dobrých vstupních dat dají matematicky skutečně velmi dobře namodelovat. S vývojem života a lidské společnosti je to však daleko obtížnější.“

Dokážeme tedy předpovědět i zánik lidstva na Zemi?

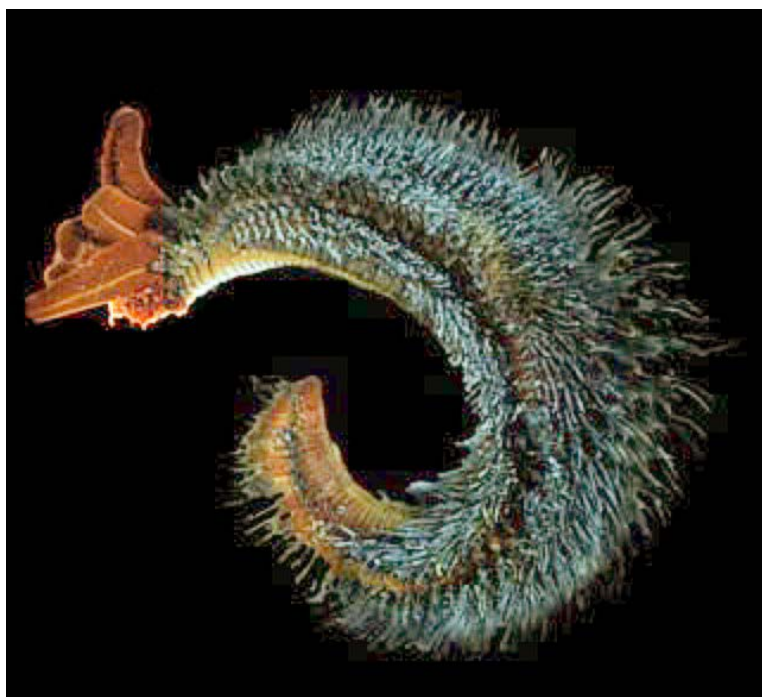
„Nevíme dne ani hodiny, ale z hlediska vývoje Země se to s největší pravděpodobností stane poměrně brzy, protože lidstvo je ze samé své podstaty velice nestabilní. Jednotlivé kultury se vyvíjejí, expandují nebo naopak zanikají v řádu století či v extrémních případech třeba tisíciletí. Ale všechny tyto děje probíhají velice rychle, pokud je srovnáme s tempem biologické evoluce, o geologii ani nemluvě. Biologické druhy obvykle existují jednotky, maximálně desítky milionů let, a to už musí mít štěstí. A poté se přemění v druhy jiné, nebo ještě častěji zanikají...“

Pokud by tedy lidský druh nezanikl tímto přirozeným způsobem, jak by mohlo lidstvo skončit?

„Těch možností je mnoho. Takovým velkolepějším osudem, který bychom si mohli uchystat a o kterém se dočteme v každé optimistické science-fiction, je, že lidstvo bude v budoucnu expandovat na jiné planety a když se mu bude dařit, osídlí třeba i velkou část našeho vesmíru.“

Může nás čekat i něco méně radostného?

„I to se může stát. Třeba se lidstvo přemění způsobem, který si dnes sotva dokážeme představit. Například přejde do virtuální reality nebo bude nahrazeno nějakým pokročil-



Poslední pozemští živočichové by mohli vypadat asi jako korzetka, o které se ví, že může žít a rozmnožovat se v prostředí zcela bez kyslíku. Nebo jako mořští červi, kteří dnes žijí v okolí hlubokomořských vývěrů v prostředí chudém na kyslík a snesou velmi vysoké teploty.



lejším vývojovým stupněm – například stroji, umělými bytostmi... Nebo se s ním stane něco, pro co dnes ani nemáme pojmenování.“

Mohlo by se lidstvo vyhubit i samo?

„Máte na mysli asi méně optimistickou verzi vývoje a to nukleární apokalypsu, že? Její stín nad námi visí už od konce druhé světové války a dnes pochopitelně není o nic méně tíživý. Dnešní geopolitická situace bohužel nenaznačuje, že by lidstvo nějak zásadně zmoudřelo. A jaderné zbraně jsou k dispozici pořád.“

Často se hovoří o ekologické či klimatologické katastrofě. Mohla by být tak ohrožující, že by způsobila konec lidstva?

„To je jeden z dalších možných konců světa, ať už bude vyvolaná naším přičiněním, nebo se na ní budeme podílet jenom menší měrou. A daly by se vymyslet i celé spousty dalších potenciálních katastrof, které by se mohly stát.“

Je možné odhadnout, kolik času nám zbývá?

„Ať už se lidstvo přemění, nebo zanikne – za deset milionů let tady po něm pravděpodobně nebude ani stopa. Biologické druhy zkrátka nejsou věčné. Dalo by se namítnout, že existují určité výjimky – takzvané živé fosilie, které nevyumřely a existují tady stovky milionů let beze změny. Je ale trochu diskutabilní, zdali je naší největší aspirací stát se živou fosilií a vývojově stagnovat. Ostatně ony ani ty živé fosilie vývojově nestagnují. Například latimerie sice připomíná rybu z doby druhohor, ale rozhodně to není stejný biologický druh se stejným způsobem života, a je jisté, že také prošla svojí docela komplikovanou evolucí.“

V rámci vyspělé biosféry jsme zhruba v polovině naší „životnosti“. Jak by mohl tento náš příběh pokračovat?

„Pokud život na Zemi nezničí nějaká jiná katastrofa, čeká planetu a život na ní postupně stárnutí a nakonec zánik. Dá se říct, že co se týče biologické produktivity, dost možná jsme již za zenitem. Postupně se bude diverzita, ale i rozsah biosféry snižovat a nakonec dojde k nevyhnutelné vývojové regresi, kde budou přežívat jenom ty odolnější a primitivnější organismy, až se nakonec vrátíme zase zpátky k mikrobům, kterými evoluce na Zemi začala.“

Ale proč takový obrázek? Vždyť například víme, že naše Slunce čeká ještě poměrně dlouhý život, než spotřebuje své palivo a postupně se z něj stane rudý obr a nakonec bílý trpaslík.

„Tohle pro biosféru bohužel neplatí. Naše existence – tedy Země jako obyvatelná planeta s kapalnou vodou na povrchu – je vázána na takzvaný planetární termostat. Jde o proces, který zajišťuje, že intenzita skleníkového efektu je vyladěná tak, aby na Zemi panovala rozumná teplota, tedy taková, která umožňuje především existenci životadárné kapalné vody. Díky tomu se podmínky na Zemi moc neměnily, i když Slunce od svého vzniku zjasnilo zhruba o třetinu a zvolna zjasňuje dál.“

Planetární termostat reaguje na změny teplot změnou množství oxidu uhličitého v atmosféře Země. Jak tento proces probíhá?

„Když se na Zemi oteplí, je oxid uhličitý rychleji vymýván deštěm z atmosféry a tím se i rychleji dostává do oceánu. Následně jsou urychleny i chemické a biologické reakce, které ho vážou například do uhličitanu vápena-



Lišejníky, které na Zemi převezmou vládu po vymření rostlinných druhů náročnějších na vyšší obsah oxidu uhličitého v atmosféře, budou signalizovat skutečný soumrak biosféry.

tého a odstraňují jej tak z atmosféry, což vede k ochlazení.“

Jak by tento děj probíhal, kdyby byla na Zemi naopak zima?

„Pokud by byla velká část Země zamrzlá a panovaly by zde velmi nízké teploty, všechny tyto procesy odstraňující oxid uhličitý z atmosféry by se zpomalily. Zároveň by dále probíhalo jeho uvolňování zpět do atmosféry, které zajišťují sopky. Jejich činností by začala koncentrace oxidu uhličitého stoupat, dokud by nedosáhla rovnovážného stavu, který postačuje k tomu, aby na Zemi byla kapalná voda.“

Země by si tedy – zdá se – poradila sama?

„Ano, vypadá to tak. Ale tento planetární termostat má jednu zásadní vadu. My už v atmosféře dnes máme jenom asi 0,25 % oxidu uhličitého, což je velice málo. Planetární termostat už nemá moc možností, jak Zemi dále chladit. Ale Slunce nepřestane dále zjasňovat...“

Co to bude znamenat, pokud termostat přestane fungovat?

„První problém je, že život potřebuje příznivé teploty, ale také dostatek oxidu uhličitého. Když by jeho množství kleslo na zhruba 0,15 %, začala by mít problémy velká většina dnešních rostlin, označovaných jako C3, a nakonec by vymřely. Naštěstí evoluce nespí, a protože je hladina oxidu uhličitého poměrně nízká již docela dlouhou dobu, objevily se rostliny, které jsou schopny tomuto problému čelit. Jsou označovány jako C4 rostliny a patří sem třeba trávy nebo kukuřice. Tyto rostliny jsou o celý řád skromnější než ostatní rostliny a dokážou si vystačit skutečně s minimálním množstvím oxidu uhličitého, takže v budoucnu postupně převládnu. Pokud by Slunce zjasňovalo skutečně rovnoměrně a planetární termostat se choval obdobně jako v minulosti, C4 rostliny by měly šanci udržet se na planetě ještě možná miliardu let, možná ještě o něco déle.“

Dnes se ale množství oxidu uhličitého v atmosféře rychle zvyšuje...

„Uhlík uvolněný z fosilních paliv může jistě ovlivnit klima a biosféru na tisíce let, což je z lidského hlediska dlouhá doba. Planetární termostat nám s aktuální klimatickou změnou ovšem moc nepomůže, protože reaguje ještě mnohem pomaleji. V měřítku planety je ovšem změna klimatu jen krátkodobá odchylka, která se časem vyrovná, podobně jako třeba ledové doby. Určitě nezmění ten

dlouhodobý klesající trend, neoddálí ani nepřiblíží zánik rostlin. Naštěstí se nezdá, že by bylo v naší moci vychýlit klima natolik, aby to ohrozilo biosféru jako takovou. To, co je zranitelné, jsme ovšem my sami... ale to se dostáváme zase na začátek.“

Co se stane, až za miliardu let vymřou i C4 rostliny...?

„Pak nastane skutečný 'soumrak biosféry'. Začnou odumírat vyšší rostliny a jejich místo převzme rostliny nižší. Nejprve mechy a lišejníky, a nakonec jednobuněčné řasy. Tím, že jsou jednobuněčné, mají mnohem větší povrch vůči objemu a tudíž jsou lépe vybaveny pro získávání plynu difúzí z atmosféry, takže dokážou žít i při mnohem nižší koncentraci oxidu uhličitého.“

Tím by ale zřejmě významně poklesla i intenzita fotosyntézy, že?

„Určitě, množství vegetace by se prudce snížilo a s tím by klesla i tvorba kyslíku. Kyslík v atmosféře je nestabilní. Kdyby nebyl neustále doplňován, jeho množství by chemickými reakcemi kleslo na polovinu už během 10-15 milionů let, možná ještě rychleji.“

Jak by fungovala Země bez kyslíku? Byl by tu ještě možný život?

„Když hladina kyslíku klesne pod únosnou mez, přestane být animální život možný, protože naprostá většina mnohobuněčných organismů je na vzdušném kyslíku bytostně závislá. Ve finále by pak zanikla i ozonová vrstva.“

Na Zem se tak bude volně dostávat nebezpečné ultrafialové záření. Znamená to tedy konec života?

„Ne úplně, ale bude to zásadní ranou pro biosféru jako takovou. Intenzivní ultrafialové záření téměř znemožní život na pevninách i v mělkém moři. Rozsah fotosyntézy na Zemi tím znovu rapidně poklesne, ale zřejmě neustane zcela, protože některé formy fotosyntézy budou pokračovat.“

Co živého v té době ještě bude moci na Zemi vegetovat?

„Poslední živočichové by mohli vypadat asi nějak tak jako korzetka, o které je známo, že dokáže žít a rozmnožovat se i v prostředí zcela bez kyslíku. Nebo něco podobného červům, kteří obývají okolí hlubokomořských vývěrů chudé na kyslík a snesou velmi vysoké teploty. Posledními přeživšími ale určitě budou bakterie. Bude to jako návrat zpátky do prahor.“



Případná nová civilizace se bude muset vyrovnat s chybějícími ložiskami ropy a uhlí. Fosilní paliva se na planetě hromadila stovky milionů let a my je vyčerpáváme velmi rychle.

Co nastane, až přestane biosféra zásadně promlouvat do vývoje planety?

„Ta přejde do úplně jiného klimatického režimu, než jaký známe. Nastane období takzvaného 'vlhkého skleníku'. Planetární termostat a tím i oxid uhličitý vypadnou ze hry a teplota začne rapidně růst.“

Začne se tedy zřejmě více odpařovat voda. Co to pro vývoj planety bude znamenat?

„Dominantním plynem v atmosféře se postupně stane vodní pára, která má ovšem tu nepříjemnou vlastnost, že je sama o sobě skleníkovým plynem. Teploty tedy zřejmě budou růst výrazně rychleji, než by odpovídalo jenom zjasňování Slunce, a ve finále tady budeme mít planetu s velmi hustou parní atmosférou a velmi vysokými teplotami na povrchu.“

Budou v tom období ještě zachovány pozemské oceány?

„Ano, ale jejich teploty budou nepříjemně vysoko, minimálně na 50 °C, aby se velmi pravděpodobně postupně vyšplhaly až na 70 stupňů či ke stovce a možná i výš. Přesnější předpověď není možné poskytnout, protože teplota na povrchu Země bude záviset i na spoustě dalších faktorů. Kromě jiného třeba i na pokrytí oblačností, tedy na tom, jak bude Země světlá a jakým způsobem bude odrážet sluneční paprsky.“

Jak by to v tomto období mohlo vypadat se životem?

„Nepochybně vymřou eukaryota, alespoň v podobě, v jaké je známe, protože ta mají teplotní limit někde okolo 70 °C, což Země s největší pravděpodobností v této fázi překročí. Ale je otevřenou otázkou, zda povrchová teplota přesáhne i limit pro život bakterií a archeí, nebo nikoliv. To nelze příliš dobře odhadnout a navíc musíme brát v úvahu, že na Zemi budou nejrůznější prostředí.“

Myslíte tím, že někde by se život udržet mohl – jak o tom uvažujeme třeba na ledových pólech Marsu?

„Kupříkladu vysokohorské oblasti poblíž pólů, kde bude teplota nižší než jinde, mohou zůstat relativně obyvatelé aspoň pro jednoduché formy života a to třeba i za dvě miliardy let. Období 'vlhkého skleníku' se bude od dnešní planety Země lišit i v dalších aspektech, i když tu stále zřejmě bude kapalná voda. Ale planeta bude fungovat úplně jinak než v dnešní době.“

Vodní pára se začne ve velkém množství do-

stávat do stratosféry. Co to bude znamenat?

„Způsobí tam několik ošklivých věcí. Kromě jiného – pokud tady ještě bude nějaký náznak ozonové vrstvy – pak s ní udělá krátký proces, protože existence ozonu s vodní párou je neslučitelná. Kromě toho dojde k masivní fotolýze vody jednak ve stratosféře, jednak i na povrchu Země. Protože i tam bude pronikat ultrafialové záření, dojde k rozkladu molekul vody na vodík a kyslík. Kyslík bude poměrně rychle reagovat s různými povrchovými minerály a tím bude odčerpáván, zatímco vodík, protože je velmi lehký, bude unikat do kosmu.“

Ze Země tak asi začne mizet voda a začne se vysušovat, že?

„V období vlhkého skleníku začnou velmi rychle mizet oceány. Tím by mohlo dojít k velmi ošklivé události, kterou by bylo nastartování takzvaného 'překotného' či 'pádového' skleníku, což je jednoduše řečeno bludný kruh. Dostatečně vysoká koncentrace vodních par v ovzduší povede k vyššímu skleníkovému efektu, ten zvýší teploty na Zemi a usnadní její další odpařování.“

Co by následovalo?

„Nakonec by veškerá pozemská voda přešla do plynného skupenství a teplota by vystoupala tak vysoko, že by se začal uvolňovat i minerálně vázaný oxid uhličitý. Tak by se i velká část pozemského inventáře uhlíku rovněž ocitla v atmosféře.“

Země by se tedy ještě více oteplila?

„Ano. Skončilo by to planetou s naprosto nepředstavitelnou teplotou přes tisíc °C. Naštěstí by tento stav nevydržel dlouho, protože stejně jako v období 'vlhkého skleníku' – jenom ještě rychleji – by se vodní pára z atmosféry začala ztrácet. Nakonec by se zřejmě planeta normalizovala na stavu, který je nám trochu povědomý, protože ho známe ze sousední Venuše, která má velmi hustou atmosféru, ale suchou, bez vodních par, jen s oxidem uhličitým. Tak by se teplota Země zastavila přibližně na 400 – 500 °C.“

Lidstvo by už v té době bylo minulostí. Co by po něm zbylo a jak dlouho by se dalo poznat, že tu kdysi existovala inteligentní civilizace?

„Většina běžných památek by zmizela velice rychle. Stavby podlehnou erozi, kovy zkorodují a to, co bude dostatečně odolné, by bylo zřejmě buď odneseno nebo pohřbeno sedimenty. Povrch by pokryla vegetace a původní přírodní společenstva, takže už po několika tisících letech už bychom asi měli velké štěstí, kdybychom našli nějakou rozpoznatelnou stavbu či její fosilizované pozůstatky.“

Existuje něco, co by mohlo o lidech na planetě vydat ještě nějaké svědectví?

„Co asi bude mít mnohem dlouhodobější dopad na planetu bude to, co provádíme s biosférou. Lidstvo totiž zlikvidovalo již téměř všechny velké živočišné druhy a veškeré ostrovy a kontinenty jsme osídlili synan-

tropními druhy živočichů, jako jsou potkan, prase nebo kočka, které se šířily s evropskou kolonizací. Takže by se dalo říci, že tu po nás zbudě globalizovaná a ochuzená fauna a flora. A tento efekt bude viditelný nepochybně ještě po mnoha stech milionech let, podobně jako dnes vidíme doby velkých vymírání.“

Další věc, co po lidstvu nepochybně zůstane, budou vyčerpané nerostné zdroje, že?

„Pokud Země v budoucnu zažije novou civilizaci, ta se bude muset vypořádat s tím, že tady prostě nebudou ropná ložiska ani uhlí. To jsou věci, které se na planetě hromadily stovky milionů let a my je vyčerpáváme velmi prudkým tempem a zase velmi dlouho potrvá, než se obnoví – pokud tedy vůbec na to ještě ve vývoji Země bude dostatek času.“

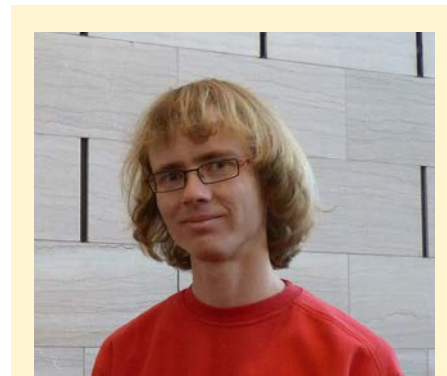
A co družice na oběžné dráze Země? Budou do nekonečna obíhat kolem planety?

„Družice na nízkých oběžných drahách poměrně rychle shoří v atmosféře, ty na vyšších oběžných drahách mohou přetrvat tisíce nebo i miliony let. Objekty umístěné mimo naši planetu budou asi nejtrvanlivějšími artefakty lidstva. Nacházejí se totiž mimo dosah eroze či povětrnostních vlivů. Například památky, zanechané astronauty na Měsíci, některé satelity obíhající naši Zem či jiné planety, a také sondy, které opouštějí Sluneční soustavu. Ty asi i po několika milionech let budou stále ještě identifikovatelné jako produkty nějaké vyspělé technologické civilizace.“

Poznámka redakce: Otázek týkajících se osudu naší planety, Sluneční soustavy i Galaxie je ovela více. Vrátime sa k nim v niektorom z nasledujúcich vydaní Kozmosu.

Jana Žďárská

Foto a ilustrace: wikimedia.org, archiv



RNDr. Tomáš Petrásek, Ph.D. (*1984) vystudoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy v Praze. Od roku 2006 pracuje ve Fyziologickém ústavu AV ČR a od roku 2014 také v Národním ústavu duševního zdraví v Klecanech. Doktorský titul získal v roce 2014. Profesionálně se věnuje studiu mozku a chování a modelům duševních poruch. Vedle toho se také věnuje popularizaci astronomie a astrobiologie (populární přednášky, knižní série Vzdálené světy), od roku 2015 přednáší Základy astrobiologie na Přírodovědecké fakultě UK. V uplynulém roce mu vyšel sci-fi román *Azhareida*.