

Dotaz na Rádio Jerevan: Kdy bude dobře?

Odpověď: Už bylo.

# Dobře už bylo

## GLOBÁLNÍ BIODIVERZITA, MASOVÁ VYMÍRÁNÍ A KLIMATICKÉ ZMĚNY

„Biologická rozmanitost Země od prvohor po dnešek roste, ale tento nárůst byl přerušen pěti masovými vymíráními, z nichž to zatím poslední proběhlo před 66 miliony lety a vymřeli při něm například dinosauři.“ S tímto souvětím by asi souhlasila velká část čtenářů Vesmíru, přesto nic z toho neplatí. V posledních letech se zásadně změnila naše představy o dynamice biologické rozmanitosti a tyto poznatky vrhají světlo i na možnou budoucnost biodiverzity v antropocénu.

text **DAVID STORCH**

**PŘEVAŽUJÍCÍ NÁHLED** na změny biologické rozmanitosti v geologické historii Země byl po několika dekádách založen na známé Sepkoskiho křivce, ukazující změny počtu rodů mořských živočichů během fanerozoika (období posledních 540 milionů let, z něhož máme k dispozici slušný fosilní materiál). Ta ukazovala nárůst diverzity na začátku prvohor, potom relativní stabilitu, přerušovanou jen občasnými vymíráními, velké vymírání na přelomu prvohor a druhohor a od té doby trvalý nárůst rozmanitosti, opět přerušovaný vymíráními (**obr. 1A**).

Tento obrázek je v posledních dvou dekádách problematizován. Ve Vesmíru jsme už psali o cyklických vzestupech a poklesech diverzity s periodou 62 milionů let, pro kterou se zatím nenašlo uspokojivé vysvětlení (Vesmír 84, 443, 2005/8), i o alternativní křivce vývoje globální diverzity, založené nikoli na interpolacích prvních a posledních nálezů daného rodu, ale na reálném počtu nalezených fosilií z daného období (Vesmír 87, 700, 2008/10). Rigorózní analýza fosilního záznamu, umožněná existencí detailních databází, zproblematizovala ale i věci, na něž dříve paleontologové přísahali, jako je nárůst

rozmanitosti směrem k současnosti, a dokonce i populárních pět masových vymírání.

### PŘERUŠOVANÉ ROVNOVÁHY BIODIVERZITY

Přestože původní analýzy ukazovaly postupně rostoucí počet taxonů od začátku druhohor až dodnes, už dlouho existovaly pochyby, zda tento nárůst není způsoben tzv. tahem přítomnosti (pull of the recent, **obr. 3**). Když se tento artefakt eliminoval tím, že se počítaly jen skutečně nalezené fosilie v daném období, a ještě navíc se standardizoval počet vzorků z daných vrstev, vznikla křivka bez zjevného vzestupného trendu, ale dost divoce kolísající (**obr. 1B**). Nedávno se ale ukázalo, že toto divoké kolísání je do značné míry způsobeno tím, že z různých geologických období máme k dispozici hodně rozdílnou část zemského povrchu, kde vůbec něco fosilizovalo [1]. Problém je, že pokusy tento efekt odfiltrovat mohou zároveň zakrýt reálné kolísání biologické rozmanitosti, poněvadž dostupnost hornin se zkamenělinami může přímo souviset s diverzitou – množství fosilií, které máme k dispozici z moří, hodně souvisí s plochou šelfových moří v tom kterém období, jenže je důvodně předpokládat, že větší rozloha šelfových moří skutečně zvyšovala rozmanitost mořského života. O kolísání globální biologické rozmanitosti v geologické historii toho tedy nelze říci o mnoho více, než že kolísá, snad i trochu periodicky, ale bez zjevného vzestupného trendu.

S efektem kolísající rozlohy zemského povrchu vhodného k fosilizaci se ale lze vypořádat tak, že se místo na globální diverzitu díváme – zase po řádném statistickém očištění dat – na rozmanitost regionální či lokální. A ta se po dlouhá geologická období mění překvapivě málo. Nejlepší model přitom odpovídá něčemu, co bychom mohli nazvat přerušované rovnováhy, kdyby tento termín nebyl v paleontologii už používán pro něco jiného, totiž pro dlouhodobou neměnnost jednotlivých druhů. Biologická rozmanitost daného území je typicky víceméně stabilní, ale tento rovnovážný stav se mění s velkými přeryvy na rozhraní geologických období [2] – zdá se například, že regionální počet druhů suchozemských obratlovců v druhohorách kolísá kolem nižší hodnoty, než jaká se pak ustavila v kenozoiku (nejmladší období, zahrnující třetihory a čtvrtohory). Biologická rozmanitost určitého území je tedy omezená, ale mění se se zásadními přestavbami celých společenstev a se vznikem evolučních novinek. Jednou takovou novinkou byl zřejmě rozvoj krytosemenných rostlin a na ně navázaného hmyzu během křídy.

Podle klasické představy zásadní přestavbu pozemských ekosystémů představovalo právě pět masových vymírání, po nichž vždy následovala rychlá radiace (tedy rozrůžňování evolučních linií), která svižně nahradila vymřelé taxony. Jenže ani tato představa není zdaleka bez kazu.

### KOLIK MASOVÝCH VYMÍRÁNÍ?

Už David Raup ve své staré, ale skvělé knize *O zániku druhů* [3] píše, že co považujeme za masová vymírání, je do značné míry arbitrární – v historii Země byla spousta vymírání, některá větší, jiná menší, a rozložení jejich velikosti je dosti kontinuální. Jiní paleontologové oponovali, že masová vymírání jsou kvalitativně jiná, postihují současně nejružnější ekosystémy a nejružnější taxony a jsou spojená se zásadními změnami chemismu atmosféry i moří. Jenže když na známá vymírání aplikujeme rigoróznější kritéria, představa pěti masových (a ostatních nemasových) vymírání se začíná drolit.

Někteří autoři například upozorňovali na to, že za propady biologické rozmanitosti v pozdním devonu a na konci triasu bylo spíš zpomalení vznikání nových druhů [4] než nějaké velké vymírání (takže by pak zbývala jen tři skutečná velká vymírání). Jiní zpochybňovali i vymírání na konci ordoviku, a objevily se dokonce i hlasy, že slavné vymírání na konci křídy, kdy vymřeli například dinosauři, nebylo zas tak zásadní, už proto, že se jej prakticky žádný velký dinosaur ve skutečnosti nedožil, a naopak někteří malí dinosauři – konkrétně ptáci – jej přežili. Jediné velké vymírání, na němž se shodnou úplně všichni, je vymírání na přelomu

1) Viz také přednášku v rámci Biologických čtvrtek: <http://dobře-uz-bylo.jdem.cz>.

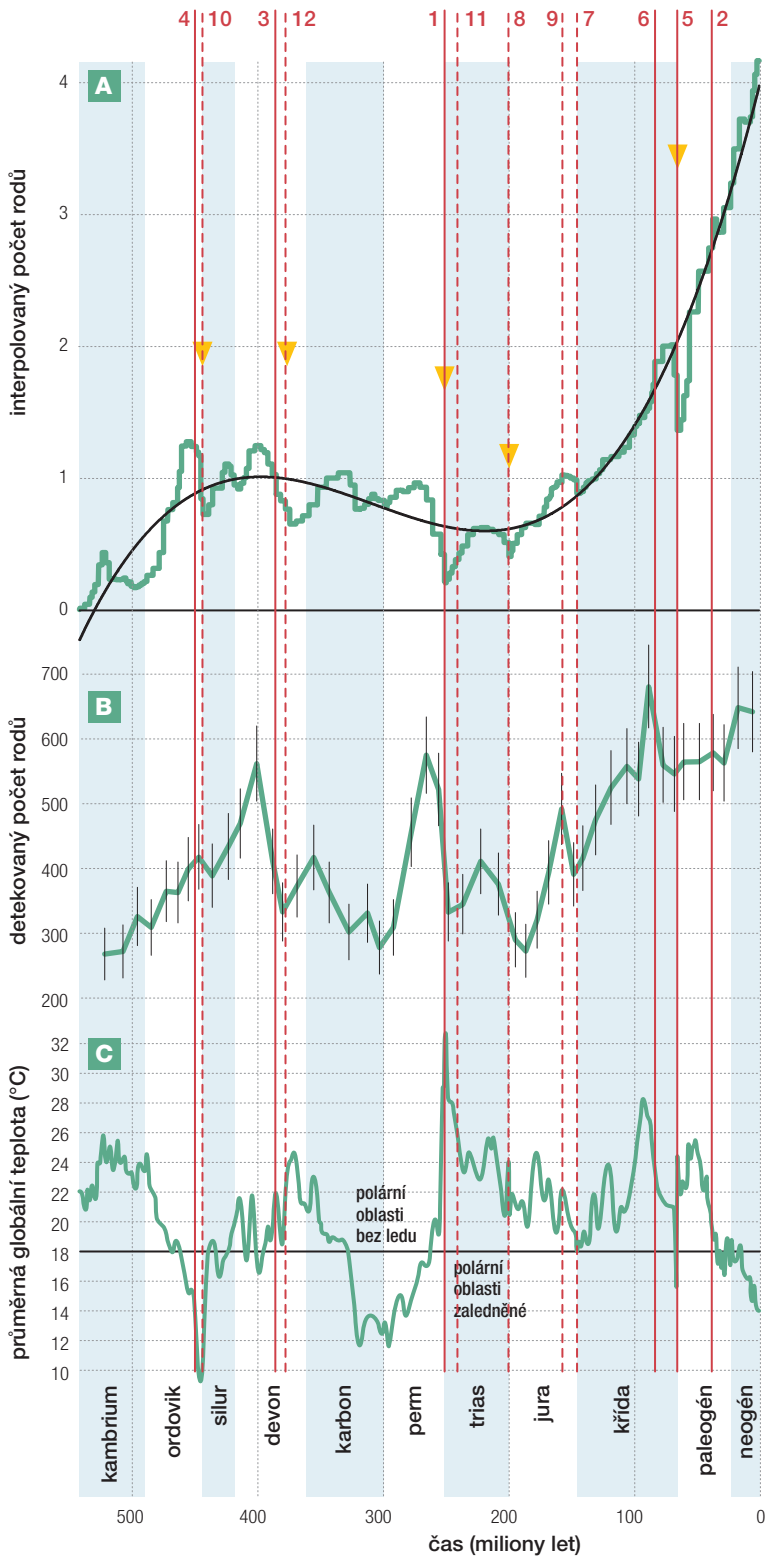
**1. ZMĚNY BIODIVERZITY** a velká vymírání v historii Země. **A.** Klasická (byť nově přepočítaná) křivka změn počtu rodů ve fosilním záznamu za posledních 540 milionů let, založená na interpolaci prvního a posledního záznamu každého rodu (viz obr. 3). Plná čára vystihuje celkový trend (na němž se výrazně podílí „tah přítomnosti“), odchylky od ní přitom mají cyklickou povahu – vzmachy a propady se střídají s periodou přibližně 62 milionů let. Oranžové trojúhelníky označují pět klasických masových vymírání. Svislé červené čáry označují prvních dvanáct největších vymírání podle nové analýzy [5] (čísla nahoře označují pořadí podle rozsahu definovaného procentem vyhynulých druhů; plná čára – prvních šest, přerušovaná čára – druhých šest). Je vidět, že klasická „velká pětka“ neodpovídá prvním pěti nejrozsáhlejšími vymíráním. **B.** Křivka změn biodiverzity počítaná podle skutečného množství fosilních rodů v jednotlivých obdobích. **C.** Rekonstrukce kolísání teploty během fanerozoika (pozor, jde sice o výsledky nejnovějších analýz, ale řada paleontologů s tím má problém a určitě v tomto ohledu nepadlo poslední slovo). Řada vymírání souvisí s poklesem teploty, někdy ovšem i s jejím prudkým nárůstem a některé změny teploty nejsou asociované s žádným z dvanácti největších vymírání. To ale může být způsobeno jen tím, že propady biologické rozmanitosti byly pozvolné, takže nebyly detekovány v „okénku“ jednoho milionu let. Nejlépe je to vidět na velkém poklesu teploty během karbonu, kde podle křivky nahoře došlo k poklesu biodiverzity, ale jako velké vymírání to nevychází zkrátka proto, že nebylo dostatečně rychlé. Upraveno podle [5], [10], [11] a [12].

permu a triasu, které před čtvrtmiliardou let ukončilo prvohory. Což není divu, poněvadž tehdy měl pozemský život skutečně namále – odhaduje se, že vymřelo přes 90 % všech druhů, což je nesrovnatelné s jakýmkoli dalším vymíráním v historii Země.

Paleontologická databáze výskytu všech fosilních taxonů byla nedávno analyzována novou metodou, založenou na strojovém učení, díky níž byla stanovena pravděpodobnost současného výskytu každé dvojice druhů v různé časově vzdálených intervalech. Tak bylo možné nalézt různá období v historii Země, kdy se prudce měnilo druhové složení, a rigorózně tak stanovit míru vymírání a vznikání druhů v jeden milion let dlouhých intervalech [5]. Autoři primárně testovali klasickou tezi, že vymírání jsou kompenzována následnými radiacemi, a zjistili, že tomu tak typicky není – v průměru je sice rozsah různých vymírání srovnatelný s rozsahem různých radiací (což odpovídá výše zmíněné relativní stabilitě diverzity v průběhu fanerozoika), ale velké radiace nemají typicky vazbu na předchozí velká vymírání a často spíše odrážejí otevření nového ekologického prostoru (jak tomu bylo třeba při osídlování souše během devonu). Tento závěr ale je třeba brát se značnou rezervou – milion let je v geologickém měřítku velmi jemné rozlišení, velké množství fosilií ve skutečnosti vůbec

není datováno s takovou přesností, a pokud radiace sice následují po velkých vymíráních, ale jsou postupné a trvají déle než milion let, touto metodou je nelze odhalit. Je přitom dost pravděpodobné, že vymírání a radiace nejsou v čase symetrické – vymření může být z geologického hlediska okamžité, zatímco vznik nových druhů trvá dlouho (typicky několik milionů let). Zajímavějším výstupem této analýzy je pořadí různých vymírání z hlediska jejich rozsahu. Pět tradičně rozlišovaných vymírání je totiž porůznu rozeseto mezi dvanácti největšími detekovanými (červené čáry

v obr. 1). První a největší vymírání je pochopitelně to na konci prvohor, ale nejslavnější vymírání na konci křídly je podle této analýzy až páté největší a předběhla jej dvě, která vůbec nejsou zahrnována v tradiční „velké pětce“. Vymírání na konci triasu (o němž jsme si řekli, že občas bývá coby velké vymírání zpochybňováno) je až osmé a vymírání na konci devonu dvanácté. V tomto posledním případě to ale není zas tak překvapivé, poněvadž už dlouho bylo známo, že devon bylo zvláštní období, kdy na začátku došlo k výrazným radiacím a pronikání do nových zón (včetně výstupu několika linií na souš),



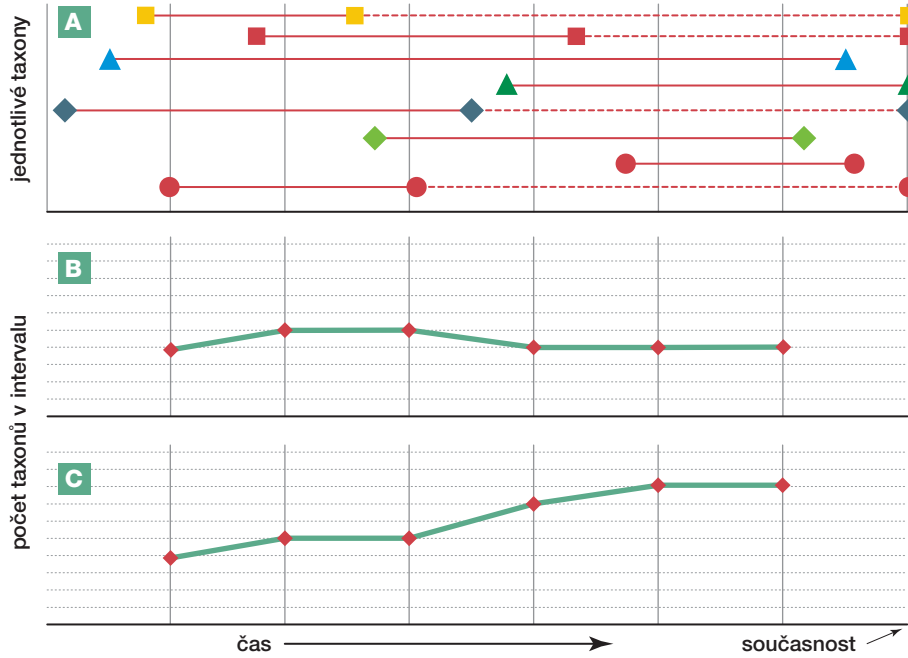
Ilustrace Tomáš Albrecht

**2. PŘÍRODA V EOCÉNU** (někdy mezi 46 a 50 miliony lety před dneškem). I v oblastech daleko od rovníku, včetně území dnešního Česka (obrázek odpovídá dnešnímu Wyomingu v USA), vládlo tropické klima a vyskytovaly se tu skupiny považované vysloveně za tropické nebo přinejmenším subtropické (třeba palmy). Ze starších třetihor je známa spousta bizarních velkých savců, jako je *Uintatherium*, které mimochodem vystupuje i v Zemanově *Cestě do pravěku*. Vlevo na stromě je jeden z nejstarších hlodavců *Uintaparamys*, vpravo primát *Notharctos*, masožravce reprezentuje *Mesonyx* uprostřed. Biologická rozmanitost byla i daleko od rovníku vysoká, ale některé skupiny tu pochopitelně chyběly – pěvce, kteří dnes představují polovinu všech ptačích druhů a žijí ve všech suchozemských prostředích, jejich radiace teprve čekala. Těžko říci, zda jejich ekologické niky tehdy využívaly jiné organismy, nebo byly tyto zdroje zatím nevyužité.

aby pak následovalo několik špatně rozlišitelných vymírání v druhé polovině tohoto období. Ostatně vymírání v polovině devonu vyšlo jako třetí největší.

**SYMÉTRIE VYMÍRÁNÍ A KLIMATICKÉ ZMĚNY** Pozoruhodné je spíše to, že jako druhé největší vyšlo vymírání před 34 miliony lety, tedy v polovině kenozoika. Podle toho by tedy neplatilo, že k poslednímu velkému vymírání došlo na konci druhohor před 66 miliony lety. Ve skutečnosti bylo už dlouho zřejmé, že přelom eocénu a oligocénu se vyznačoval velkými změnami společenstev, v případě nejlépe prostudovaných savců faun označovaných jako „grande coupure“ (velký přelom). Je možné, že vymírání „velké pětky“ jej předtím zastínila jednak proto, že vymírání v polovině kenozoika se zas tolik neprojevilo na mořském fosilním záznamu, jednak proto, že během „grande coupure“ nevymřela žádná velká a charismatická skupina, jako jsou dinosauři. Což může být prostě tím, že některé velké skupiny už vymřely předtím a jiným se během eocénu dařilo tak dobře, že vždy aspoň některé linie „grande coupure“ přežily.

Podstatná je ale klimatická dimenze dynamiky biodiverzity v kenozoiku. Na začátku třetihor se postupně teplota zvyšovala a na přelomu paleocénu a eocénu došlo dokonce k extrémně prudkému globálnímu oteplení, které bylo sice krátkodobé, ale teplota po tomto výkyvu stejně dále rostla, takže v polovině eocénu byla většina zemského povrchu tropická (obr. 2). Byla to doba maximální biologické rozmanitosti i intenzivní radiace



**3. TAH PŘÍTOMNOSTI.** Klasická křivka změn biologické rozmanitosti (konkrétně počtu rodů – druhy jsou ve fosilním záznamu špatně rozlišitelné –, obr. 1A) byla zkonstruována z prvního a posledního záznamu každého taxonu (barevné symboly v panelu A). Pokud bychom předpokládali, že rody žily právě jen mezi těmito krajními výskyty (plné červené čáry), získáme křivku počtu rodů na panelu B. Některé rody se ovšem dožily přítomnosti, takže se zdá rozumné zahrnout je i do všech období následujících po posledním fosilním nález (přerušované červené čáry); tak získáme křivku na panelu C. Potíž je v tom, že touto procedurou výrazně nadřazujeme mladším taxonům, které měly šanci se zachovat do současnosti – o současných organismech toho víme nesrovnatelně víc než o těch fosilních, takže i taxony s málo fosilními zbytky bereme jako přítomné od doby jejich fosilního nález až dodnes. Přitom tyto taxony skoro jistě žily i před dobou jejich prvního záznamu, jenže na druhé straně časové osy nemáme žádného pozorovatele, který by je zaznamenal. Když si toto uvědomíme, není překvapivé, že podle Sepkoskiho křivky na obr. 1A byla biodiverzita v prvohorách prakticky stabilní a začala růst až od druhohor – prvohorní taxony totiž většinou nepřežily vymírání na konci permu, takže se jich tah přítomnosti netýká. Ty pozdější se naopak často dožily současnosti a jejich diverzita se díky tahu přítomnosti jeví tím větší, čím jsou současnosti blíží, poněvadž tím spíše je do křivky započítáme, i když chyběly ve fosilním záznamu.

mnoha skupin. Konec eocénu byl naopak charakterizován prudkým ochlazením (včetně zalednění Antarktidy), spojeným s „grande coupure“. Od té doby se už teplota (a zřejmě ani biodiverzita) výrazně nezvýšila, s mírnou výjimkou začátku miocénu. Od druhé poloviny miocénu už se každopádně globální teplota setrvale snižuje a podle všeho se snižuje i biologická rozmanitost.

Vypadá to tedy, že biologické rozmanitosti svědčí teplo (viz **ráměček**), zatímco ochlazování vede k vymírání. Z tohoto hlediska by se zdálo, že se nemáme co bát globálního oteplování, a naopak prudké ochlazení by byl teprve problém. Jenže jak to tak v přírodě (a v životě) bývá, nic není jednoduché a nic se nemá přehánět. Rekonstrukce teplot v geologické historii Země (**obr. 1C**) ukazují, že vyšší rozmanitost bývá skutečně spojena s vyšší globální teplotou, ale prudká oteplení mohou být pro biodiverzitu stejně fatální jako výrazná ochlazení – vůbec největší nárůst teploty je spojen se zmíněným největším vymíráním v historii Země na přelomu prvohor a druhohor. K prudkým změnám teploty došlo i na konci křídý, ale tam teplota rychle klesla i stoupla, takže těžko říci, co byl vlastně problém a zda vůbec něco z toho – změna teploty totiž vůbec nemusí být přímo zodpovědná za vymírání, může jít o průvodní jev mnohem zásadnějších procesů, jako je změna chemismu oceánů a atmosféry.

Každopádně je ale pravděpodobné, že prudká změna na jakoukoli stranu je problém. Současné globální oteplování může být z hlediska biodiverzity buď nepodstatná fluktuace, nebo začátek návratu do „rajského“ tropického stavu odpovídajícího vrcholu eocénu před 50 miliony lety, anebo opravdu velký průšvih. Teď, když teprve začalo a nevíme, jak dlouho bude pokračovat, to nemáme šanci zjistit.

#### VYHNÁNÍ Z RÁJE

Kromě paleontologických údajů máme o minulosti života ještě jiný zdroj informací, totiž fylogenetické stromy vyjadřující příbuznost jednotlivých evolučních linií a v ideálním případě konkrétní časovou posloupnost jejich štěpení. V minulé dekádě se stalo velmi populární používat tyto stromy k analýze rychlosti diverzifikace (rozdružňování) evolučních linií v různých prostředích a za různých podmínek. Zásadním omezením těchto analýz je skutečnost, že skoro vždy máme k dispozici jen recentní organismy, takže tvar fylogenetického stromu odráží především nejmladší děje, zatímco dřívější procesy a události zanechávají postupně mizející stopy.

Přesto se dá usuzovat například na to, zda organismy v tropech diverzifikují rychleji než mimo tropy, tedy zda velká tropická diverzita je způsobena větší náchylností tropů ke vzníkání nových druhů. Překvapivě se opakovaně ukazuje, že je tomu právě naopak – druhy vznikají rychleji mimo

tropy, v chladnějších oblastech vzdálených od rovníku [6, 7, 8]. Jedno vysvětlení je, že biologická rozmanitost je ve všech oblastech přibližně stabilní, ale mimo tropy druhy rychleji vymírají (třeba vinou většího kolísání podmínek), takže se pořád uvolňuje ekologický prostor, který je doplňován stejně rychlým vznikáním nových druhů – zkrátka je tam větší výměna druhů v čase.

Je tu ale i další možnost, která je v dobrém souladu s tím, co jsme si řekli o změnách klimatu během konce kenozoika. Země se ochlazuje, takže lze předpokládat, že tropické oblasti se postupně zmenšují na úkor mírného pásma. Na mírné pásmo sice tlačí od pólů zalednění, ale to nemusí být tak fatální, poněvadž posunem dané zóny k rovníku se zároveň zvětšuje rozloha ve směru zeměpisné délky (Země je směrem k rovníku čím dál širší). Může to znamenat, že přinejmenším tropická biologická rozmanitost je v posledních milionech let mimo rovnovážný stav, ale na rozdíl od ještě nedávno převládajícího názoru by byla nad rovnovážným stavem, takže vymírání nyní převažuje nad vznikáním druhů. Jinými slovy je možné, že většina tropických oblastí teď hostí víc druhů, než kolik se jich tam může dlouhodobě udržet (**obr. 4**). Tropická biologická rozmanitost by tak představovala dědictví lepších (miocenních, když ne eocenních) časů, které je odsouzeno k postupnému úpadku, pokud nepřijde další pořádné oteplení.

Rozmanitost mírného pásma může pak být buď v rovnováze, nebo dokonce pod rovnovážným stavem (vznikání druhů převažuje – nebo aspoň donedávna převažovalo – nad zánikáním), pokud ochlazování Země vede k expanzi prostředí mírného pásma. Nikdy ale nedosáhne rozmanitosti tropů, poněvadž na to tam chybí dostatečná produkce zdrojů. Chladnější Země zkrátka tolik druhů dlouhodobě neuživí, a zatímco přírodě mírného pásma to nevadí, poněvadž se celá posune k rovníkům, tropy se nemají kam posouvat, takže se tam bude vymírat i bez lidského přičinění.

A lidé to nevylepší. Už teď je tlak na tropické ekosystémy enormní, v tropech nejvíc roste lidská populace a přesouvá se tam většina globální zemědělské produkce. Křehké ekosystémy, které jsou i tak náchylné k vymírání, dostávají zabrat natolik, že přes veškerou ochranu přírody se vymírat bude.

#### ANTROPOCENNÍ OBRAT

Dost bude ale záležet na tom, co lidstvo udělá. Zatím je situace spíše tristní – rozsah vymírání způsobeného člověkem sice není srovnatelný s masovými vymíráními, o nichž byla řeč (viz Vesmír 90, 568, 2011/10), ale zatím taky uplynulo málo času – a současná rychlost vymírání je asi o dva řády vyšší než běžná rychlost „vymírání na pozadí“ (background extinction). To sice zas tolik



Snímek David Storch

neznamená, poněvadž rychlost vymírání v kenozoiku hodně kolísala a i takto rychle se občas vymíralo, ale lze si jen těžko představit, že to nebude čím dál horší. Lidská populace pořád ještě roste, spotřeba na jedince taky, a i kdyby se vymíralo jen v důsledku toho, že člověk odebírá z biosféry zdroje (úroveň tzv. Human Appropriation of Net Primary Productivity, HANPP, tedy přivlastňování primární produkce člověkem, dnes dosahuje asi 25 %), zbývající ekologický prostor bude natolik zmenšen, že lze očekávat vymření až několika desítek procent druhů. Což už bychom za masové vymírání zřejmě označili.

Budoucnost je ale otevřená. Kromě tlaku na zdroje a přímého ničení přírody se totiž dnes děje leccos dalšího. Primární produkce Země se například mírně zvyšuje vlivem oteplování, antropogenního přehnojení biosféry a dalších vlivů (viz Vesmír 99, 398, 2020/7). Na kompenzaci HANPP to sice asi nestačí, ale je to něco, s čím dřívější prognózy nepočítaly. Kromě toho některé tlaky na přírodu v souvislosti se vznikem moderního průmyslového zemědělství polevily, tedy přinejmenším ve vyspělých západních zemích – člověk hospodář už v krajině skoro nežije, a tak se šíří druhy, které dřív člověk pronásledoval, jako velcí ptáci a šelmy (které pak trápí ty hospodáře, kteří v krajině ještě zůstali). Hlavně se ale mění nálada ve společnosti. Ochraně přírody se často vyčítá, že je neefektivní (a je to pravda), ale analýzy typicky ukazují, že bez ní by situace byla mnohem horší. Cílená starost o vzácné nebo ubývající organismy a typy prostředí může vymírání výrazně zpomalit, i pokud se ekologického prostoru nedostává.

Zdálo by se, že něco takového, jako je nálada ve společnosti, nemůže stačit k zvrácení

změn způsobených ekonomickým samopohybem stále rostoucího a hladovějšího lidstva. Nenechme se ale mýlit. Lidstvo postupně vstoupilo do věku, kdy zásadně ovlivňuje planetární děje, kterému říkáme antropocén [9]. A to, jak je ovlivňuje, záleží stále víc na hnutích globální mysli.

Vzpomeňme si, co všechno, ještě než vše zastínila globální pandemie (zase jiný projev antropocénu), způsobila jedna švédská gymnazistka. Antropocén se vyznačuje nejen samopohybem těžkopádných ekonomicko-sociálních mechanismů, ale také rychlými změnami společenské nálady, které mohou

## Vztah teploty a biologické rozmanitosti

**PROČ BY VLASTNĚ v teplejším prostředí mělo žít více druhů než v chladnějším? Empiricky to odpovídá, v tropech je nejvíc druhů, ale tropy se vyznačují i jinými vlastnostmi než vyšší teplotou, třeba nízkou sezonalitou, a ty mohou teoreticky být pro biodiverzitu zásadnější. Na druhou stranu globální analýzy proměnlivosti biologické rozmanitosti na povrchu Země skutečně ukazují, že teplota je spolu s produktivitou prostředí nejdůležitější korelát biodiverzity.**

**Může to být tím, že teplota podmiňuje rychlost vznikání nových druhů – podle metabolické teorie (Vesmír 83, 508, 2004/9) s teplotou roste intenzita metabolismu a následně mutační i speciální rychlost. Tato představa byla populární v první dekádě tohoto století, ale diverzifikační analýzy ji v posledních letech zpochybňují – ukazuje se, že diverzifikační rychlost v tropech zpravidla není rychlejší než mimo tropy [6, 7, 8]. Přitom se začíná ukazovat, že biodiverzita má rovnovážnou dynamiku a klíčovou roli hraje „ekologický prostor“, omezující počet druhů, které v dané oblasti mohou koexistovat. Je tedy třeba uvažovat spíše o roli teploty v těchto omezeních.**

**Nakonec se dost možná ukáže, že role teploty spočívá hlavně v jejím vlivu na primární produkci ekosystémů (včetně vlivu na délku vegetační sezony), takže by šlo vlastně spíš o množství zdrojů než přímo o teplotu. Produktivita prostředí se skutečně jeví jako o něco konzistentnější korelát biologické rozmanitosti, poněvadž vyšší teplota zvyšuje počet druhů, jen pokud je spojena s dostatkem vody – a jen tehdy zároveň ovlivňuje primární produkci. To, že teplota někdy vychází jako lepší prediktor rozmanitosti, může být jen tím, že ji dokážeme lépe měřit a také lépe odhadovat v geologické minulosti než množství zdrojů. V geologické škále navíc vyšší teplota pravděpodobně přispívá k vyšší dostupnosti vody, poněvadž roztáčí její koloběh. Složitější je to ovšem v moři, kde hraje zásadní roli množství živin, a vysoká primární produkce není zdaleka jen v nejteplejších mořích (přitom biologická rozmanitost je i v moři svázána s vyšší teplotou). Biodiverzitu jistě ovlivňuje i řada jiných faktorů, ale pořád je rozumné předpokládat, že ty jsou nějak přímo či nepřímo spojeny s teplotou, byť přesné souvislosti pořád neznáme.**

**4. AFRICKÉ SAVANY** patří mezi tropické biomy, takže by ochlazování Země v průběhu mladších třetihor mělo vést k jejich zmenšování a v posledku k snižování jejich biologické rozmanitosti. V případě tohoto prostředí to ale bude složitější. Travninné ekosystémy expandovaly až v souvislosti s vysycháním (aridizací) kontinentů v posledních pár desítkách milionů let, takže na rozdíl od jiných tropických biomů nepředstavují skomírající dědictví lepších časů počátku třetihor. Savany hostí unikátní společenstva velkých savců, a přestože jejich rozsah je ve čtvrtohorách zřejmě menší než na konci třetihor, jsou méně ohrožené než tropické lesy.

tento samopohyb obrátit neočekávanými směry. Což jistě nutně neznamená, že tyto směry budou pro lidstvo či pro biologickou rozmanitost příznivé. Nicméně antropocén se vyznačuje tím, že lidé věci mohou měnit – a to bohužel nebo bohudík i na globální úrovni –, takže zůstává naděje, že něco se může změnit i k lepšímu. ●

## K dalšímu čtení...

- [1] Close R. A. et al.: The spatial structure of Phanerozoic marine animal diversity. Science 368, 420–424, 2020, DOI: 10.1126/science.aay8309.
- [2] Close R. A. et al.: Diversity dynamics of Phanerozoic terrestrial tetrapods at the local-community scale. Nature Ecology & Evolution 3, 590–597, 2019, DOI: 10.1038/s41559-019-0811-8.
- [3] Raup D. M.: O zániku druhů. Nakladatelství Lidové noviny, Praha 1995.
- [4] Alroy J.: Dynamics of origination and extinction in the marine fossil record. PNAS 105, 11536–11542, 2008, DOI: 10.1073/pnas.0802597105.
- [5] Cuthill J. F. H. et al.: Impacts of speciation and extinction measured by an evolutionary decay clock. Nature 588, 636–641, 2020, DOI: 10.1038/s41586-020-3003-4.
- [6] Rabosky D. L. et al.: An inverse latitudinal gradient in speciation rate for marine fishes. Nature 559, 392–395, 2018.
- [7] Igea J., Tanentzap A. J.: Angiosperm diversification cools down in the tropics. Ecology Letters 23, 692–700, 2020, DOI: 10.1111/ele.13476.
- [8] Machac A.: The dynamics of bird diversity in the New World. Systematic Biology 69, 1180–1199, 2020, DOI: 10.1093/sysbio/syaa028.
- [9] Pokorný P., Storch D. (eds.): Antropocén. Academia, Praha 2020, ISBN: 978-80-200-3129-7.
- [10] Rohde R. A., Muller R. A.: Cycles in fossil diversity. Nature 434, 208–210, 2005, DOI: 10.1038/nature03339.
- [11] Alroy J. et al.: Phanerozoic trends in the global diversity of marine invertebrates. Science 321, 97–100, 2010, DOI: 10.1126/science.1156963.
- [12] Scotese C. H. et al.: Phanerozoic temperatures: The earth's changing climate during last 540 million years. Earth-Science Reviews 215, 2021, DOI: 10.1016/j.earscirev.2021.103503.