



Masová vymírání

v historii Země

Pachatel zůstává neznámý

**MARIE
VOLDŘICHOVÁ**

**STANISLAV
MIHULKA**

Masová vymírání byla ničivá a zároveň podivně výběrová, zasahovala jen některé skupiny organismů. Představa apokalyptického vymírání je tak sugestivní, že někteří lidé vidí v dnešní přírodě šesté masové vymírání, dokonce prý největší. Tak horké to asi nebude, ale není se čemu divit, biologické katastrofy minulosti zůstávají věčným tématem.

Ordovik

Za hlavního viníka prvního velkého vymírání, které proběhlo v době před 450–440 miliony let a vyhubilo až 85 % druhů organismů, se dnes považuje rychlé zmrazení všeho živého koncem ordoviku. Pro tuhle epizodu se našla spousta dokladů v Jižní Americe i Africe. Výborně zachovány jsou různé stopy po pohybu ledovců, například pozůstatky kamenných morén a suťového valu hrnutého čelem ledov-

ce. V jihoafrické cedarberské břidlicové formaci se dokonce našla unikátní chladnomilná fauna, která tam přežívala dlouho po skončení příslušné doby ledové. Není ovšem jisté, jak bylo zalednění vlastně rozsáhlé.

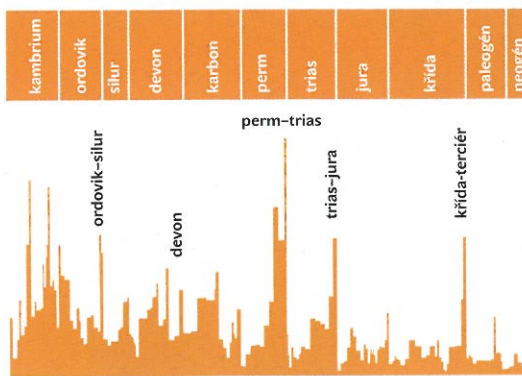
Prudký nástup glaciálu rozběhl první vlnu vymírání, především v mořích. Náhlé ochlazení spustilo intenzivní oceánské proudění, které nevídaným způsobem promíchalo moře. K hladině vystoupaly toxické látky ze spodních vrstev oceánu, společenstva dna zaskočil příliv kyslíku. Ledovce navázaly obrovský objem vody a hladina světového oceánu poklesla až o 120 m, což smetlo obyvatele mělkých příbřežních zón. Celkové ochlazení a vysušení klimatu nakonec zlikvidovalo většinu organismů, které až dosud žily v přívětivém skleníku s 16× vyšší koncentrací oxidu uhličitého, než je dnes.

← Amoniti (Amonitida) byli nesmírně rozsáhlou a početnou skupinou. Zasáhlo je hned několik vln velkých vymírání. To křídové se jim stalo osudné. Snímek © Ballista, Wikipedia.

Podruhé se vymíralo při náhlém konci glaciálu, kdy se opět promíchal oceán a příroda již přivykla chladným poměrům. Nové nálezy v Číně navíc naznačují, že oceány v tuto dobu mohly projít i anoxickou periodou. Tento sled událostí pohřbil především graptolity, kteří patrně doplatili na promíchání moří, a konodonty, jichž vymřelo přes 80 %. Zmizelo až 70 % druhů ostnokožců a těžké ztráty utrpěly i útesotvorné organismy. Co mohlo být příčinou zalednění?

● **Produkční teorie** předpokládá, že v důsledku teplých proudů rychle narůstala biomasa mořského fytoplanktonu vynášeného z hlubin oceánu. Fytoplankton spotřeboval ohromná množství oxidu uhličitého, což „srazilo“ skleníkový efekt, snížilo teplotu a způsobilo zalednění. Ochlazení podpořilo cirkulaci mořské vody, která vynášela k hladině další a další živiny. Během glaciálu si moře drželo vysokou primární produkci fytoplanktonu, a tím i velmi nízký obsah atmosférického CO₂. Situace se změnila, až když se Gondwana posunula směrem k jižnímu pólu. Tím ubylo sněhu, zmenšily se ledovce a mořské proudění se zpomalilo. Když potom bylo méně a méně dostupných živin, poklesla primární produkce a hladina CO₂ zase stoupla k původním hodnotám.

● **Zvětrávací hypotéza.** Proti tomu svědčí biostratigrafie a izotopická data získaná r. 2003 při výzkumu Copenhagen Canyon v centrální Nevadě. Zdá se totiž, že hladiny oxidu uhličitého byly vysoké během celého ordovického zalednění (snad s výjimkou kolísání na začátku). Proto se objevila hypotéza, podle níž byly horotvornými procesy obnaženy horniny bohaté na křemičitany, které začaly zvětrávat. Důkazy naznačují, že zvětrávací procesy byly v tomto období extrémně silné pravděpodobně v důsledku kyselých dešťů způsobených mimořádně vysokou sopečnou aktivitou. Chemické procesy během zvětrávání křemičovitých hornin vedly k poklesu množství CO₂ v atmosféře (díky jeho přeměně na oxid křemičitý a uhličitán vápenatý), a tím k narušení skleníkového efektu, což spolu s posunem Gondwany na sever způsobilo výrazné ochlazení a tvorbu ledovců. Ledovce překryly křemičité horniny a zastavily jejich zvětrávání, a tím i další pokles koncentrace CO₂, jehož hladina tudíž začala v průběhu zalednění opět stoupat. Výrazně k tomu napomohl i pokles hladiny moří, jejichž voda byla vázána v ledovcích. Na mělčinách byla odhalena rozsáhlá ordovická ložiska vápence, jehož zvětráváním se CO₂ opětovně uvolňoval. Atmosféra se začala znovu ohřívat, albedo mohutného ledového příkrovu ale ještě po určitou dobu bránilo oteplení Země. Došlo tedy k paradoxní situaci, kdy se atmosférický oxid uhličitý vrátil na původní vysokou úroveň před vypuknutím doby ledové (10× až 16× vyšší než dnes), ale planeta stá-



le zůstávala pokrytá ledem. Skleníkový efekt, který vytvořil, mohl převážit nad albedem ledu, až když v důsledku pohybu Gondwany k jihu klesla sněhová pokrývka a výrazně se zmenšila ledová pole.

● **Výbuch supernovy.** Další teorie vidí příčinu ve výbuchu blízké supernovy, který pokropil Zemi sprškou smrtících paprsků gama. Ty jednak zabíjely přímo, jednak poškodily ozonovou vrstvu atmosféry a vpustily na zemský povrch UV záření. Navíc paprsky gama vytvořily v ovzduší oxid dusičitý, který pak ochladil světové klima a okyslel povrch planety. Pro teorii supernovy by mohl svědčit průběh vymírání trilobitů, u nichž byly nejvíce postiženy druhy žijící poblíž hladiny oceánu.

Zdá se, že ordovické vymírání bylo vcelku mírné a jeho následky relativně krátkodobé.

Devon

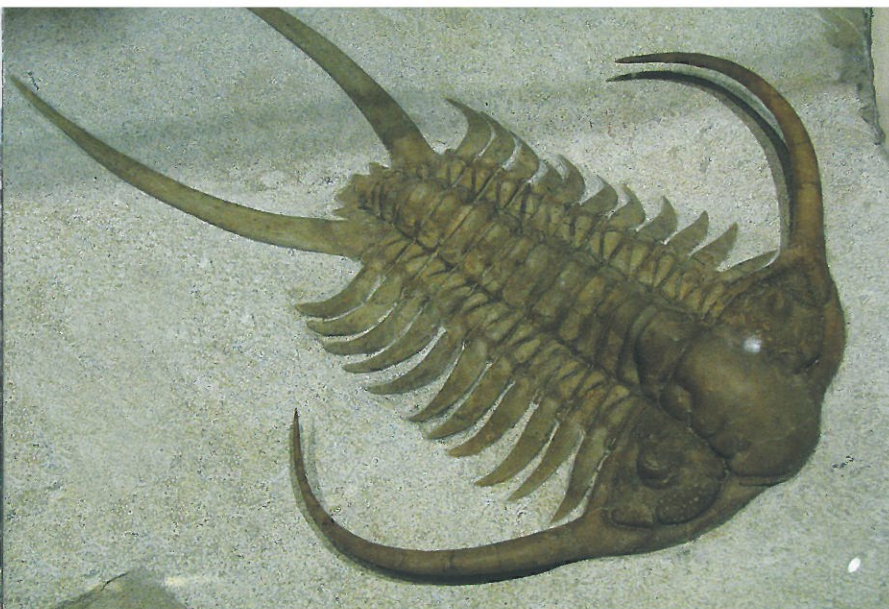
V době devonského masového vymírání (před 377,5 milionu let, tj. ve svrchním devonu na hranici dvou stupňů, frasnou a fameňu), jehož následky byly mnohem horší než u slavnějšího křídového vymírání, podivně kolísala mořská hladina – koncem devonu se takových pohybů odehrálo celkem 18. Dva největší prudké poklesy se většinou připisují opět zalednění a časově se shodují se dvěma výraznými fázemi vymírání. V mezidobích hladina moří naopak čtyřikrát stoupla, patrně v důsledku teplejších period – interglaciálů. Za příčinu ochlazení se nyní často považuje dopad dvou meteorických rojů. Kolem hranice frasnou a famenu se vskutku nacházejí tektity vzniklé nárazem meteoritů.

Prvnímu prudkému poklesu mořské hladiny předcházelo několik značných vzedmutí moře, z nichž dvě časově odpovídají stáří dopadových míst Amönu a Alamo. Datace doby vzniku Alamo však není považována za dostatečně přesnou, aby ji přesvědčivě spojila s devonskými událostmi. Druhé místo leží v jižní Dakotě a pochází z raného frasnou. Původní kráter měl průměr okolo 44 km, meteorit tehdy dopadl do hlubší vody a vytvořil slabou iridiovou anomálii. Podle této teorie oslabila první sprška meteoritů (včetně alamského) mořská společenstva, například útesová společenstva v Belgii úplně zanikla. Druhý roj meteoritů, doložený iridiovou anomálií v jižní Číně a ve státě New York, měl způsobit podstatné ochlazení klimatu a rozběhnout zalednění jižní polokoule a vymírání. Z té doby známe sedimenty, které nápad-

Procento vyhynulých fosilních mořských taxonů (svislá osa) z celkového počtu taxonů za libovolný časový úsek (podélná osa). Je na něm zřetelně vidět pět vrcholů, představujících pět masových vymírání.

Bc. Marie Voldřichová (*1984) studuje zoologii na Přírodovědecké fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

RNDr. Stanislav Mihulka, Ph.D., (*1973) absolvoval Biologickou fakultu Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Zabývá se převážně ekologií a fylogenezí rostlin. Je spoluautorem knihy *Jak se dělá evoluce – Od sobeckého genu k rozmanitosti života* (spolu s J. Zrzavým a D. Storchem).



Trilobit rodu *Paraceraurus* dosahoval délky přes 80 cm. Snímek © Vassil, Wikipedia.

Kyjonožci (*Gigantostroma*) jsou vyhynulou skupinou klepítkačů. Nepřežili vymírání na konci permu. Největší druhy dosahovaly přes 2 metry. *Eurypterus remipes* (na snímku) byl však mnohem menší. Snímek © Fossil Huntress.

ně připomínají stopy celoplanetárních vln tsunami. Druhé, slabší vymírání proběhlo po extrémním závěrečném ochlazení na konci celého glaciálu.

Mnozí vědci uvažují, že toto vymírání mohlo být také důsledkem extrémně účinného klimatického efektu El Niño, popřípadě La Niña (tedy teplého, popřípadě studeného mořského proudu). Devonské vymírání, při němž zmizelo okolo 75 % druhů tehdejší mořské přírody, by pak bylo způsobeno fatální souhrou řady dílčích faktorů. Vymřely tehdy všechny obrněné bezčelistnaté a čelistnaté ryby a je možné, že právě to umožnilo prudký rozvoj moderních paprskoploutvých ryb v karbonu. Suchozemské organismy a obyvatelé moří snázející méně kyslíku přežili bez větších následků.



Překvapivým viníkem ale mohly být dokonce i rostliny – během devonu prodělaly bouřlivou evoluci a z poměrně drobných bylin se díky vzniku cévních svazků umožňujících účinný transport živin staly mnohametrové stromy. Planeta se zazelenala – její povrch pokryly rozsáhlé pralesy s hlubokým kořenovým systémem, který rozrušil skalní podklad a vytvořil nový typ povrchu – hluboké půdy. Z půd se vyluhovalo velké množství živin, které byly následně splachovány do vodních toků a moří, jež se silně eutrofizovaly. To vedlo k prudkému rozvoji planktonu, následné anoxii a zadušení vodních organismů. Eutrofizace mohla navíc přímo způsobit úhyn oligotrofních organismů, jako jsou stromatolity a koráli, kteří byli hlavní složkou tehdejších bariérových útesů. Pralesy rovněž pohlcovaly velké množství CO_2 , což způsobilo prudký pokles jeho hladiny v atmosféře a následně ochlazení, které mělo opět za následek masové vymírání.

Perm

Permské vymírání, k němuž došlo před 251,4 milionu let, bylo spolehlivě nejničivější ze všech. Nenávratně zmizelo 90–95 % druhů v mořích a okolo 70 % druhů na souši. Podle datování nálezů v jižní Číně (pomocí izotopů uranu, olova a zirkonu) trvalo toto vymírání krátce, pouhých několik set tisíc let. Suchozemští živočichové mohli vymřít (podle dat z alpských nalezišť) dokonce za méně než 10 000 let.

Příčiny dodnes nejsou jasné. Několik hypotéz vychází z náhlého uvolnění velkého množství oxidu uhličitého do atmosféry, které organismy otrávil a zároveň vyvolalo výrazný skleníkový efekt, a tedy změnu klimatu. První z těchto hypotéz předpokládá, že náhlý výron oxidu uhličitého do ovzduší byl vyvolán promícháním vrstev v oceánu, druhá uvažuje o tom, že množství oxidu uhličitého mohlo pocházet z mohutné sopečné činnosti v oblasti dnešní Sibiře. Ta by ovšem sama o sobě k dostatečnému navýšení hladiny CO_2 nevedla. Nejnovější výzkum napovídá, že v souvislosti s vulkanickou aktivitou došlo k něčemu ještě horšímu. Plyny uvolněné do atmosféry během erupcí se staly zdrojem kyselých dešťů, které následně okyselily vodní plochy. Obzvláště těžké ztráty mezi organismy vybavenými vápenitými schránkami a některé sedimenty ukazující na silné okyselení moří by tomuto scénáři odpovídaly. Výrony lávy rovněž zapálily mohutná uhelná ložiska, což by vysvětlovalo, proč se z té doby žádná nezachovala. V jezeře Buchanan byly objeveny mohutné vrstvy popela, které tuto teorii potvrzují. Hořící uhlí uvolnilo do atmosféry oblaka toxického popela a masivní množství skleníkových plynů, které život na zemi doslova zadusily. Třetí teorie přičítá masové uvolnění oxidu uhličitého náhlému úmrtí obrovského množství organismů, snad v důsledku mimozemského impaktu (věrohodný kráter ale schází).

Nálezy rovněž ukazují na anoxickou událost v mořích. Její příčina není spolehlivě ob-

jasněna, mohla se však stát spouštěčem vymírání. Nedostatek kyslíku vyhubil organismy používající aerobní fotosyntézu a dal zelenou sírným bakteriím schopným fotosyntézy v bezkyslíkatém prostředí. Ty se prudce pomnožily a otrávily celou planetu mohutnými emisemi sirovodíku, který vypouštějí jako odpadní produkt svého metabolismu. Tato teorie na rozdíl od jiných dobře vysvětluje i masové vymírání rostlinstva.

Existuje i hypotéza o střídavém zalednění na obou pólech Země spojeném s kolísáním moří. To vedlo k celkovému vysušení klimatu a teplotním výkyvům.

Dalším potenciálním viníkem je hyperkontinent Pangea, jehož vznik zlikvidoval významnou část pobřežních biotopů. Tím se ale nevysvětluje vymírání na souši. K němu totiž došlo (podle izotopů ^{12}C a ^{13}C) téměř současně s vymíráním ve vodě a bylo obdobně ničivé. Na souši také v té době přibývaly výtrusy hub, což mohlo souviset s ohromným množstvím tlejícího rostlinného materiálu. Navíc se Pangea utvářela už od středního permu.

Uvažuje se také o náhlém výronu ohromného množství metanu, který organismy otrávil, a navíc byla překročena oxidační kapacita oceánu i atmosféry, což mělo za následek poškození ozonové vrstvy. Pravda je, že uvolňování metanu probíhalo asi 20 000 let a vcelku souhlasí s průběhem vymírání. Podílet se na něm ovšem mohla i silná sopečná činnost.

Výčet obětí je udivující. Odešli drsnatí i tabuloví koráli, do té doby hlavní stavitelé útesů, a také zbývající trilobiti. Známe jen jediný přeživší rod amonitů stejně jako lilijic. Dírkovci čelili největší katastrofě své historie. Vymřela jich celá skupina, fusulini. Na souši bylo postiženo více než 60 % druhů čtyřnožců, především všechny létající a velké býložravé formy, ale ubylo i drobných všežravců. Vymřelo mnoho rostlin, hlavně ty velké. Naopak celkem bez obtíží přežily mořské ryby.

Trias

Vymírání v triasu, přibližně před 200 miliony let, se od ostatních vymírání nápadně liší. Dělá dojem spíš postupného vymírání v důsledku souběhu nepříznivých událostí, které by samy o sobě nebyly tak zlé. Intenzivně a rychle se vymírало jen někde, například mlže a ramenonožce v severních Alpách zřejmě zlikvidovala lokální tektonika. Fossilní záznam z té doby je ale velice děravý, a tak eventuelní globální událost nemůžeme vyloučit. Pro konec triasu neexistuje oficiální stratigrafický profil – jeho hranice je v různých částech světa vedena různými způsoby.

Na konci triasu soptila centrální atlantská oblast. Nejspíš to není příčinou drastické globální změny klimatu, ale mohlo se ochladit. Ve vrstvách z té doby se nacházejí pyly připisované chladnomilným rostlinám (*Heliosporites*, *Concavisporites*). V důsledku ochlazení kolísala hladina moře se všemi již zmíněnými negativními důsledky. Rozpad Pangey zničil mnohé biotopy a rozložil zonálnost podnebí, čímž posílil monzunový charakter



klimatu. Ve vrstvách z této doby existují nepřesvědčivé doklady o dopadech meteoritů a nově byla objevena i velmi slabá vrstva iridia. Na důkaz dopadu velkých meteoritů to ale nestačí.

Vymírání tenkrát postihlo stejnou měrou suchozemské i vodní organismy. Vymřelo asi 48 % druhů mořských bezobratlých. Definitivně zanikli konodonti, kteří se postupně ztráceli po celý trias. Amoniti přežili jen jedním rodem. Těžce to odnesli archosauři, z jejichž zbytků povstala linie dinosaurů, která v podobě ptáků žije dodnes.

Křída

Nejpopulárnější ze všech masových vymírání je křídové, z doby před 65 miliony let, během něhož zaniklo až 85 % všech druhů. Vymřela většina linií dinosaurů. Katastrofou na konci křídové byly těžce pocucháni i savci. Vyhyly například celé vývojové linie vačnatců či multituberkuláti. Těžce to schytali i ptáci, jak napovídá fosilní záznam i molekulární studie. Ti zbývající vydrželi možná jen díky tomu, že žili ve sladkovodních biotopech, které podle všeho nebyly postiženy tak silně.

Za poměrně jasnou příčinu křídového vymírání byl donedávna považován dopad chicxulubského meteoritu (viz Vesmír 80, 216, 2001/4; Vesmír 79, 270, 2000/5) do Mexického zálivu. Takový dopad vymrští do atmosféry velké množství prachu, které zacloní zemský povrch. Ve tmě odumře fytoplankton i suchozemské rostlinstvo a následným dominovým efektem se zhroutí potravní řetězec. Ve vrstvách z té doby je množství výtrusů stínomilných kapradin. Poměrně úspěšně přečkaly sladkovodní organismy, neboť jejich potravní sítě závisejí na drobných organických částicích, kterých bylo dost i během pár měsíců temna. Z týchž důvodů zřejmě přežili krokodýli či obojživelníci, kteří jsou převážně sladkovodní. A z toho, že krokodýli přežili, také vyplývá, že navzdory zastíněné atmosféře asi nebylo ochlazení tak hrozné. Podobně přečkali i drobní hmyzožravci, nejspíš proto, že jejich potrava žije z humusu a opadanky, čehož bylo stále dost.

V mořích to odnesly planktonní organismy s vápnitou schránkou, které byly postiže-

Katastrofické scénáře nás baví. Snad proto je hypotéza vysvětlující velké křídové vymírání jako důsledek pádu obřího meteoritu tak oblíbená.

Abstract: Mass extinctions in Earth history by Marie Voldřichová and Stanislav Mihulka. The catastrophic mass extinction events are an undisputed part of earth history, yet they are still relatively poorly understood. This article deals with five biggest extinctions from the past and leading theories explaining their causes.

- Jan Krhovský: Hromadná vymírání bořící a tvořící, *Vesmír* 73, 435, 1994/8
- Zbyněk Roček: Dinosauři a vymírání, *Vesmír* 73, 443, 1994/8
- Anton Markoš: Čemu vděčíme za to, že jsme tady, *Vesmír* 73, 456, 1994/8
- Jiří Kolibáč: Vliv taxonomické metody na permské vymírání, *Vesmír* 75, 611, 1996/11
- David Storch: Jak rychle vymírají druhy, *Vesmír* 80, 573, 2001/10

ny více než ty se schránkou křemičitou, což možná ukazuje na doprovodný spad kyselých dešťů. Tenké vrstvy sazí dokládají existenci tehdejších lokálních požárů.

O vlivu dopadu meteoritu v Chicxulubu na křídový svět se ale doposud vedou spory. Podle jistých názorů dopadl 300 000 let předtím, než křídové vymírání začalo (Keller et al. 2009). Meteorit o předpokládaném průměru 10–20 km navíc dle některých propočtů nemohl být tak velký, aby dramaticky ovlivnil globální klima (Morrison 2001, *Science* 1993). Kontroverzním tématem je i údajný obří kráter Shiva a několik dalších velkých impaktových struktur. Vznikly na přelomu křídy a triasu, kdy se Země zřejmě stala terčem celého roje obřích meteoritů vzniklých rozpadem většího vesmírného tělesa. Některé výzkumy navíc naznačují, že obsah prachových částic v iridiové vrstvě, která se považuje za klíčový doklad celoplanetárního působení dopadu meteoritu, je dost nízký. To znamená, že oblak vyvrženého prachu nemohl být dost velký na to, aby významněji zastínil zemský povrch. Přesto r. 2010 došel mezinárodní tým vědeckých výzkumníků po pečlivém zrevidování veškerých dostupných poznatků o Chicxu-

lubsckém kráteru k závěru, že těleso, které ho vytvořilo je s nejvyšší pravděpodobností skutečně viníkem křídového vymírání.

Původcem křídového vymírání mohla být také vulkanická činnost. Dekanské trapy (deskovitě členěná tělesa) v Indii, vzniklé výlevy bazaltů na ploše 2 000 000 km², mohly být křídovému světu osudné, ale jejich datování je dosud sporné. Pokud se vylily rychle, mohly tehdejší globální klima změnit, v opačném případě nemohly. Potíž je i s množstvím iridia v iridiové vrstvě, není jasné, jestli vůbec může pocházet ze sopečné činnosti.

Lepším vysvětlením se nezdá být ani kolísání mořské hladiny (hladina z konce křídy se jen vrátila na úroveň z počátku druhohor), moře jistě nezavinilo vymírání na souši. Poslední výzkumy naznačují, že se podmínky v křídě postupně zhoršovaly již několik milionů let před vymíráním. Snad za to mohlo postupné oteplování, které způsobilo stagnaci mořského proudění. Změny poměru izotopů síry naznačují, že mořské biotopy mohly být otráveny sirovodíkem vyprodukovaným některými mikroorganismy.

Záhada konce doby velkých dinosaurů přetrvává i nadále.

Žijeme v době šestého masového vymírání?

Odhady rozsahu současných změn biodiverzity po deseti letech

DAVID STORCH

Doc. David Storch, Ph.D., (*1970) vystudoval biologii na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. Zabývá se makroekologií a evoluční ekologií, přednáší na Přírodovědecké fakultě UK a na Přírodovědecké fakultě JU. Je spoluorganizátorem proslulého semináře „Biologické čtvrtky ve Viničné“ a spoluautorem knih *Úvod do současné ekologie, Biologie krajiny: biotopy České republiky a Jak se dělá evoluce*. Je editorem časopisu *Ecology Letters*. Spolu s P. A. Marquetem a J. H. Brownem editoval knihu *Scaling biodiversity pro Cambridge University Press*. Je ředitelem Centra pro teoretická studia, společného pracoviště UK a AV ČR.

Už dlouho se dozvídáme z médií o bezprecedentním vymírání živočišných a rostlinných druhů vlivem činnosti člověka. Bývá přirovnáváno k pěti masovým vymíráním v geologické historii Země. Před deseti lety jsem ve *Vesmíru* (80, 573, 2001/10) poukazoval na naši neschopnost přesně určit, jak moc se dnes vlastně vymírá ve srovnání s minulými vymíráními a na neoprávněnost odhadů srovnávacích současné vymírání s těmi masovými. Za těch deset let jsme ve schopnosti posoudit současný stav biosféry a rychlost jejího ničení zas tak moc nepostoupili, v posledních pár letech jsme se ale přece jen něco nového dozvěděli. A teprve letos byly tyto poznatky řádně shrnuty,¹ takže o současném vymírání nakonec lze něco podstatného říci.

Rozsah současného vymírání

Poněvadž dobře doložených vymření jednotlivých druhů v historické době máme dosud málo, ještě donedávna byly odhady rychlosti současného vymírání založené na vztahu velikosti plochy a počtu druhů (*species-area relationship*). Čím je větší plocha, tím více druhů na ní nalezneme. Předpokládalo se, že pokud známe matematickou formu této zákonitosti, budeme schopni odhadnout, kolik druhů ubude, když se zmenší plocha jejich přirozeného

prostředí. Jenže to moc nevycházelo: i na maličkých ostrůvcích zbylého pralesa se často zachovalo mnohem víc druhů, než bylo předvídáno na základě vykáčené plochy (*Vesmír* 85, 140, 2006/3). Nakonec se ukázalo, že zmíněná zákonitost je mnohem složitější, chová se jinak, než jsme si představovali, a pro správný odhad úbytku druhů bychom toho potřebovali vědět mnohem víc, než jen kolik prostředí ubylo. Ukázalo se také, že úbytek druhů související s přeměnou původních biotopů nelze jednoduše odvodit z toho, co známe o nárůstu počtu druhů s rostoucí plochou jejich prostředí.²

Asi ještě větší problém byl, že jakékoli odhady současného vymírání byly jen těžko srovnatelné s vymíráními rozpoznatelnými ve fosilním záznamu. Fosilní záznam je fragmentární a pořádně se z něj dovíme něco jen o družích relativně hojných, dobře fosilizujících a žijících mimo tropy, jenže to jsou zároveň druhy, které dnes zatím moc nevymírají. Nebylo tedy možné říci přesně, kolikrát současná intenzita vymírání přesahuje běžnou rychlost vymírání v historii Země, když jsme znali běžnou rychlost ve fosilním záznamu jen u těch druhů, které dnes nevymírají. A navíc je hodně ošemetné srovnávat současnou rychlost vymírání odhadovanou jen ze změn ploch původních typů prostředí, když



nevíme, jak se tyto plochy měnily v minulosti, a navíc máme značné podezření, že i celkem nedávno, během cyklů dob ledových a meziledových, se měnily ještě víc než teď.

Dnes u některých skupin docela dobře víme, kolik druhů během posledních pár desítek až stovek let vymřelo, a máme i slušné odhady druhového bohatství těchto skupin. Ukázalo se, že podíl druhů vymřelých během posledních 500 let se pohybuje maximálně v jednotkách procent (u většiny skupin ještě o hodně méně) a zatím se to tedy nedá ani zdaleka srovnat s masovými vymíráními v geologické historii Země, při nichž mělo vymřít vždycky více než 75 procent všech druhů (obr. 1 v rubrice Data a souvislosti na s. 570). Z tohoto hlediska tedy rozhodně zatím nežijeme v éře šestého masového vymírání, přestože člověk zabral velkou část přirozeného prostředí a přivlastnil si skoro polovinu produktivity biosféry.

Rychlost vymírání

Má to ale háček. Během masových vymírání v geologické minulosti Země toho sice vymřelo nesrovnatelně víc, ale za mnohem delší dobu. Podíváme-li se na rychlost současného vymírání namísto jeho rozsahu (obr. 2 v rubrice Data a souvislosti na s. 570), situace se nejeví zdaleka tak optimisticky. Kromě vymírání na konci křídy, které mohlo být relativně rychlé, všechna vymírání probíhala pomalu a trvala relativně dlouho. Současná rychlost vymírání je vyšší (v závislosti na tom, zda po-

čítáme jen skutečně vymřelé druhy, nebo taky druhy ohrožené, u nichž je pravděpodobné, že vymřou v brzké době). Lze odhadnout, že kdyby současné vymírání pokračovalo stejnou rychlostí dále, dosáhneme rozsahu srovnatelného s masovými vymíráními během pár stovek až pár tisíců let. O moc přesněji to říci nelze, poněvadž počet skutečně vymřelých druhů je příliš nízký na nějakou pořádnou statistiku a u těch ohrožených zase nevíme, zda a kdy skutečně vymřou. I tak je to ale docela varující, zvláště když se nemůžeme spolehnout na to, že civilizační tlak na přírodu se nějak výrazně omezí (obr. 4 v rubrice Data a souvislosti na s. 570).

Celá věc je ještě komplikovanější, uvědomíme-li si, že rychlost vymírání nikdy není konstantní, vždycky byla období rychlejšího a období pomalejšího vymírání, a to i docela nedávno (z geologického hlediska). Můžeme se tedy ptát, zda má současný nárůst rychlosti vymírání nějakou obdobu v minulosti, případně v jak vzdálené. Musíme přitom ale zohlednit délku intervalu, během kterého počítáme vymřelé druhy, poněvadž čím kratší si tyto intervaly zvolíme, tím extrémnější rychlosti nám vyjdou (v delších intervalech se vzmachy a propady biologické rozmanitosti zprůměrují). Abychom mohli srovnat současné vymírání s těmi minulými, musíme mít k dispozici skupinu, o jejímž současném stavu máme dobré informace a u níž zároveň máme kvalitní fosilní záznam. V podstatě jedinou takovou sku-

Američtí bizoni byli masivně loveni až téměř vyhubeni v sedmdesátých letech 19. století. Dnes je však mnohem významnějším faktorem odpovědným za změnu biodiverzity přeměna původních typů prostředí.

1) Barnosky A. D. et al.: Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471, 51-57, 2011.

2) He F., Hubbell S. P.: Species-area relationships always overestimate extinction rates from habitat loss. *Nature* 473, 368-371, 2011.

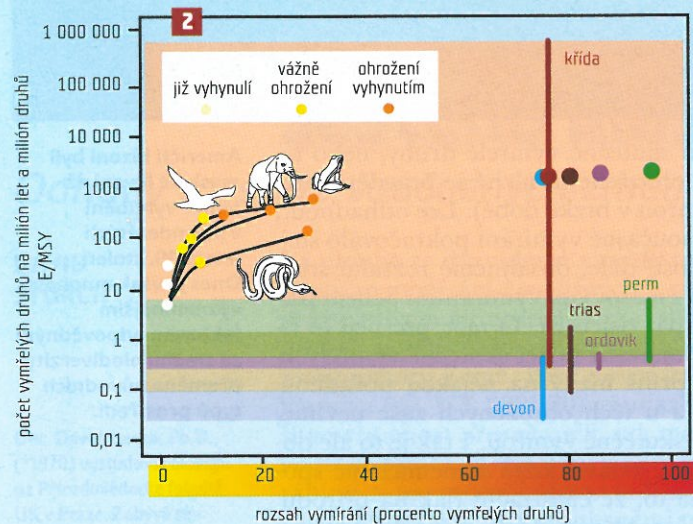
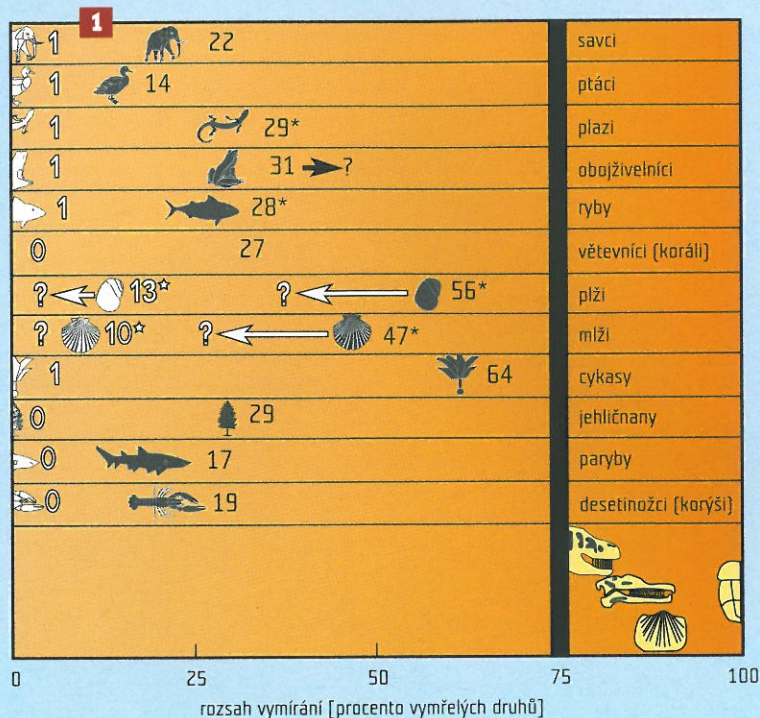
Současné vymírání

GLOBALNÍ KRIZE BIODIVERZITY

K článku Davida Storcha na s. 568

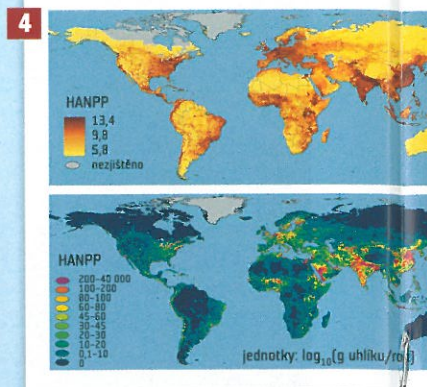
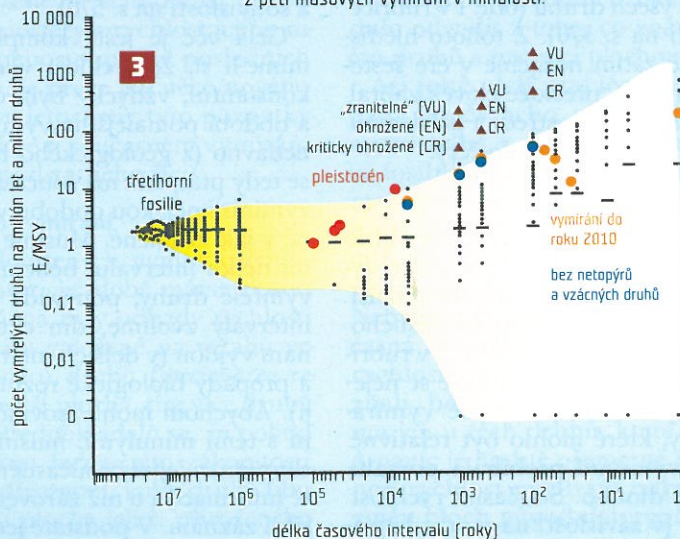
Tabulku připravil David Storch,
layout © Pavel Hošek,
kresby © Zora Göthová, tabulka © Vesmír

1 Rozsah současného vymírání: procento vymřelých (bílá čísla a ikonky) a ohrožených (tmavá čísla a ikonky) druhů během posledních 500 let ve srovnání s procentem druhů vymřelých během pěti masových vymírání, která se vyznačují více než 75 procenty vymřelých druhů (tlustá čára). Údaje označené hvězdičkou jsou zřejmě přehnané, poněvadž u nich byla mnohem větší pozornost věnována druhům vymřelým či ohroženým než těm ostatním.



Vztah mezi rozsahem vymírání (procentem vymřelých druhů) a jeho rychlostí (E/MSY = počet vymřelých druhů za milion let a na milion druhů) pro současné vymírání a masová vymírání v geologické minulosti Země (která vždy následovala na konci geologických období, vyznačených v obrázku). Vertikální čáry značí rozsah možných rychlostí pro vymírání v geologické minulosti, který nelze stanovit z fosilního záznamu příliš přesně (zvláště v případě vymírání na konci křídly, kde záleží na tom, zda bylo vymírání celé způsobeno dopadem meteoritu či planety, nebo zda byly příčiny složitější a vymírání bylo postupnější). Tečky odpovídajících barev označují, jaká by v minulosti musela být rychlost vymírání, kdyby to všechno mělo vymřít během 500 let. Jak je vidět, tato hypotetická rychlost není příliš vzdálená od současné rychlosti vymírání, ovšem jen za předpokladu, že za „vymřelé“ budeme považovat i druhy ohrožené (oranžové tečky); u druhů v současnosti skutečně vymřelých (bílé tečky) je rychlost skoro o dva řády nižší. V každém případě je vymírání během posledních 500 let rychlejší než čtyři z pěti masových vymírání v minulosti.

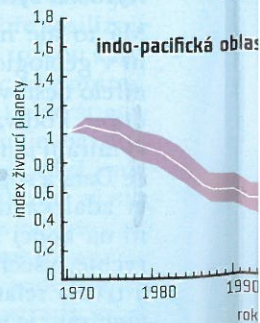
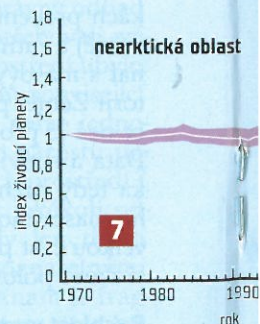
3 Vztah mezi délkou časového intervalu a rychlostí vymírání savců pro různé dlouhé úseky třetihor a čtvrtohor. Šedé tečky se vztahují k vymírání patrnému z fosilního záznamu, oranžové a modré k současnému vymírání savců (modré jsou spolehlivější pro srovnání, poněvadž neobsahují netopýry a vzácné druhy, o jejichž vymírání ve fosilním záznamu toho nevíme dost). Trojúhelníčky představují rychlost vymírání za předpokladu, že v brzké době vymřou i druhy (odspodu) kriticky ohrožené, ohrožené a zranitelné („vulnerable“). Červené tečky odkazují k vymírání na konci pleistocénu (na sklonku poslední doby ledové), které do určité míry pravděpodobně způsobil paleolitický lovec.

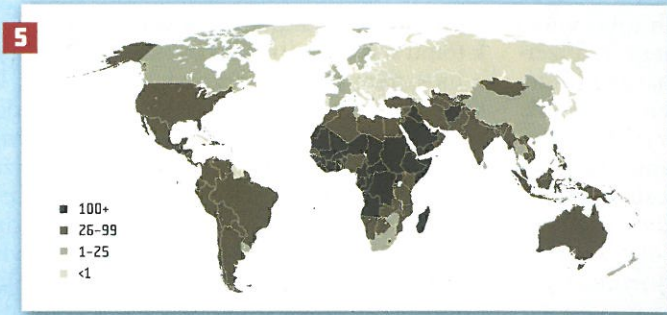
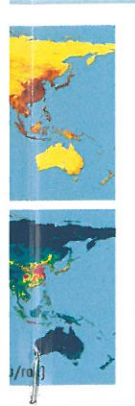


4 Obrázek nahoře ukazuje množství primární produkce ekosystémů, kterou si přivlastňuje lidská populace různých místech zeměkoule (NPP, Net Primary Production, se měří jako množství organického vázaného rostlinami za jednotku času na jedno plochy; HANPP znamená „Human appropriation of NPP“). Jde o docela dobrý odhad lidského vlivu na přírodu v různých oblastech. Na obrázku dole je poměr NPP přivlastňované člověkem z celkové produkce ekosystémů. Tento poměr může přesáhnout 100 procent, pokud je na daném místě lidská spotřeba zdrojů uspokojována importem ze vzdálenějších oblastí. To je třeba příklad některých pouštních oblastí nebo rozsáhlých městských aglomerací.

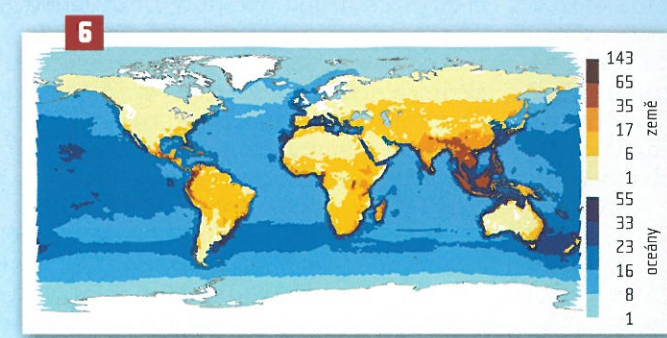
ZDROJE OBRÁZKŮ A LITERATURA

- 1, 2 a 3: Barnosky A. D. et al.
- 4: Imhoff M. L., Bounoua L., Sofer S. et al. Net primary production. Nature 429, 821-824 (2004)
- 5 a 8: Roberts L. 9 Billion People: The World in 2050. Living Planet Report 2006
- 6: Hoffman M. et al. The Living Planet Report 2006
- 7: Ceballos G. & Ehrlich P. R. 2002

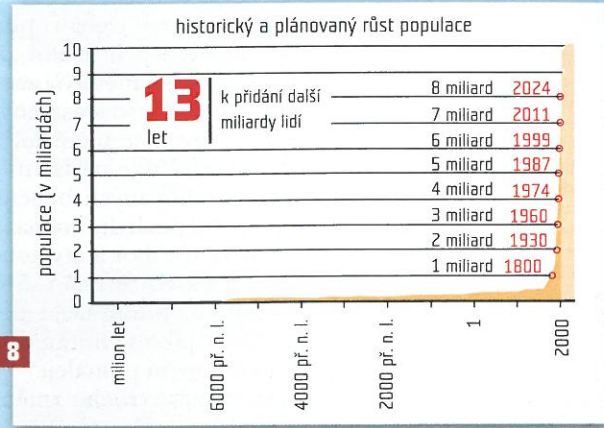




5 Očekávaný relativní populační přírůstek v jednotlivých zemích světa v rozmezí let 2005–2050. Prakticky veškerý populační růst se bude odehrávat v rozvojových zemích, přičemž dominovat bude Afrika. Nezapomeňme ale, že použití relativní míry růstu zakrývá skutečnost, že v absolutních číslech budou nejvíc přibývat populace těch zemí, které mají již nyní nejvíce obyvatel – v případě Indie a Číny stačí i malý pozitivní procentuální přírůstek, aby se velikost populace velmi zvýšila.



6 Prostorová variabilita počtu globálně ohrožených obratlovců na povrchu Země. Je vidět, že zdaleka nejvíc ohrožených druhů je v tropických oblastech (a zvláště některých), což je zčásti tím, že tam žije nejvíc druhů, ale zčásti tím, že je tam vyšší tlak rostoucí lidské populace (viz ostatní mapky).



8 Historický nárůst lidské populace a jeho projekce do budoucnosti. Narozdíl od předpovědí týkajících se klimatických změn jsou demografické predikce poměrně přesné a nelze očekávat, že by došlo k výraznému zvratu oproti předpovídanému trendu. Jedinou výjimkou by mohl představovat globální válečný konflikt nebo pandemie; z tohoto hlediska je tedy ovšem tato demografická předpověď asi tou lepší variantou.

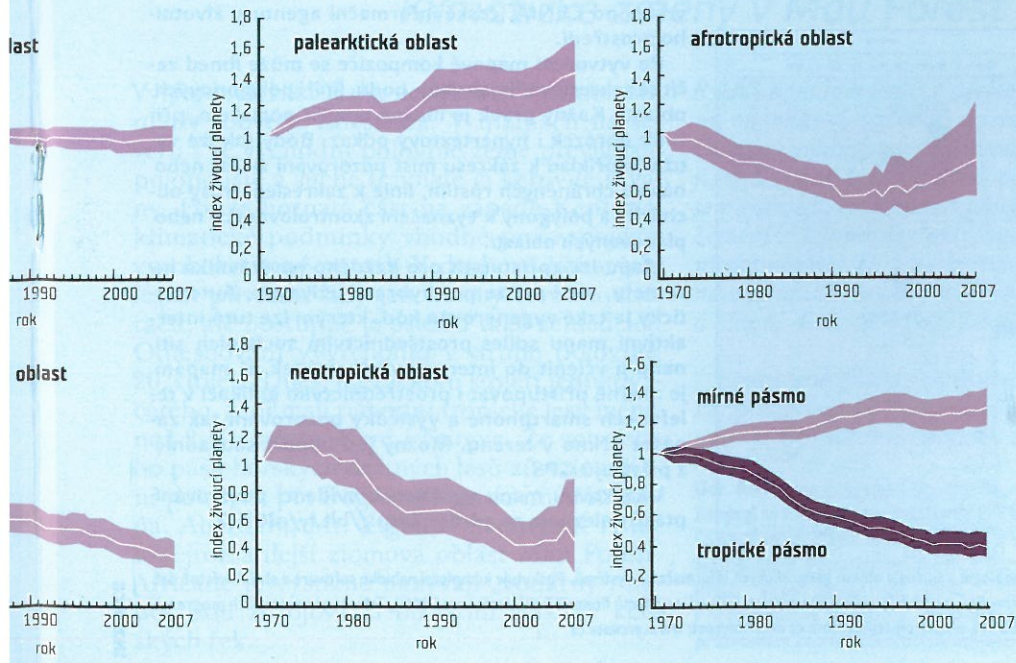


9 Procento savčích druhů, vymizelých z kvadrátů o rozměrech 2x2 stupně. V tomto případě samozřejmě nejde o globální vymírání, poněvadž druh často ustoupí z části původního areálu, ale jinde přežívá. Mapka je trochu zavádějící, poněvadž zvýrazňuje oblasti, kde bylo přirozeně málo savčích druhů (extrémním případem je Sahara), takže tam i ústup několika málo druhů způsobí velké procentuální změny.

...ní produkce populace na římany...
...ckého uhlíku jednotku...
...riation...
...ého vlivu na...
...dole je...
...ilkové...
...přesáhnout...
...dská...
...ze...
...některých...
...kých

KLIMATURA

A. D. et al.: Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? Nature 471, 51–57, 2011.
 Louca L., Ricketts T., Loucks C., Harris R. & Lawrence W. T.: Global patterns in human consumption of net primary production. Nature 429, 870–873, 2004.
 How many? Science 333, 540–543, 2011.
 I.: The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. Science 330, 1503–1509, 2010.
 report 2010, viz http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/
 Ulrich P. R.: Mammal population losses and the extinction crisis. Science 296, 904–907, 2002.



7 Index živoucí planety, udávající průměrné změny populací obratlovců sledovaných dostatečně dlouhou dobu v různých oblastech. Jednotlivé grafy ukazují průměrný index pro různé biogeografické zóny a srovnání tropických oblastí s oblastmi mírného klimatického pásu. Zatímco v mírném pásmu jsou v průměru populace stabilní (v případě nearktické oblasti, tedy Severní Ameriky) nebo dokonce spíše rostou (v případě palearktu, tedy severu Eurasie), v tropech klesají. Nejhorší je z tohoto hlediska asi situace v indo-pacifické (neboli orientální) oblasti, kde se kombinuje populační růst s růstem ekonomickým, provázeným bezohlednou exploatací původního prostředí agresivními východoasijskými firmami. Trochu podobně je na tom neotropická oblast (Jižní a Střední Amerika), kde ale zatím žije přece jen o něco méně lidí. Situace v afrotropické oblasti jakoby se v poslední době konsolidovala, což může souviset s efektivní ochranou v národních parcích a rezervacích, ale může to být značně zkrleseno tím, že právě v rezervacích se nejčastěji sledují populace různých organismů (čili nelze vyloučit, že mimo rezervace není situace zdaleka tak dobrá). Ostatně podobné zkrleslení se může týkat i zmíněné palearktické oblasti, kde se naprostá většina sledovaných populací nachází v Evropě. A tam může být průměrný nárůst populací způsoben efektivní ochranou přírody, ale také tím, že k ničení přírody tu došlo dříve než v jiných oblastech (a lidská populace zde dnes neroste), takže teď už se zbylé populace mohou vzpamatovávat.

Abstract: Do we live in the era of Earth's sixth mass extinction? Estimates of current biodiversity changes by David Storch. Current biodiversity crisis is often compared to the five mass extinctions in geological history. Here I review the evidence concerning current global extinction, showing that its extent is so far much smaller than was in the case of the five big extinction events. However, global extinction rate is currently quite high, so that if the rate remains the same, the magnitude of the sixth global mass extinction could be reached within next several hundreds years. The tropics are now much more vulnerable to animal and plant extinction than is the temperate zone.

3) Viz Vesmír 85, 140, 2006/3.

4) Living Planet Report 2010, http://www.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/.

Pozn. red.: Článek Davida Storcha je zároveň jakýmsi úvodním slovem k rubrice Data a souvislosti na s. 570-571.

pinou jsou savci – třeba o ptácích toho víme o něco víc, ale jejich fosilní záznam je mizerný; naopak mořští měkkýši zanechávají krásné fosilie, ale o jejich současném stavu toho tolik nevíme. U savců se ukázalo, že rychlost současného vymírání je na horní hranici rychlostí občas dosahovaných během posledních 65 milionů let od posledního masového vymírání (tedy během třetihor a čtvrtohor, obr. 3 v rubrice Data a souvislosti na s. 570). Jinými slovy, během tohoto období savci už párkrát vymírali tak rychle, jako vymírají dnes, ale většinou vymírali mnohem pomaleji.

Situace se zase trochu změnila, když nebudeme počítat jen ty skutečně vymřelé druhy, ale i ty ohrožené; v takovém případě by rychlost vymírání (ovšem zatím jaksi nerealizovaná) byla vyšší než kdykoli během třetihor. Je ale otázkou, jak s ohroženými druhy vlastně počítat. Většina druhů je vzácných (viz Vesmír 88, 784, 2009/12), takže potenciálně ohrožených vyhynutím po celou dobu své existence, nezávisle na činnosti člověka i jakýchkoli jiných vnějších vlivech. Řada druhů zjevně v tomto „stavu ohrožení“ dokázala přežít miliony let. Ale bude tomu tak i nadále? Asi jak u kterých druhů a jak v kterých oblastech.

Geografie vymírání

Odhadování celkové míry či rychlosti současného vymírání je nejen ošemetné, ale trochu i zbytečné. Ze všech odhadů totiž plyne to, co jsme už dlouho tušili: zatím se současné vymírání zdaleka nedá srovnat s masovými vymíráními v geologické historii Země, ale když bu-

deme tímhle tempem pokračovat, nebudeme k tomu mít brzy (během pár stovek let) daleko a moc nám tu toho nezůstane. Z hlediska konkrétního rozhodování, co s touto situací dělat, je ale mnohem důležitější vědět, co kde vymírá a proč. Různé oblasti na Zemi jsou postiženy vymíráním velmi různě (obr. 6 a 9 v rubrice Data a souvislosti na s. 570), přičemž záleží jednak na tom, jak moc jsou jednotlivé oblasti vhodné pro život lidí a pro zemědělství, jednak na míře endemismu, tedy na tom, kolik vzácných druhů (přesně řečeno druhů vázaných právě na danou oblast) se na daném místě vyskytuje. Přestože nejohroženější nejsou nížinné tropické pralesy³ (není tam zas tolik endemitů ani moc vhodná půda k zemědělství), tropy jsou na tom obecně výrazně hůře než ostatní oblasti. Svědčí o tom i „index živé planety“ (Living Planet Index), sestavený na základě dlouhodobého sledování dynamiky skoro 8000 populací různých druhů obratlovců.⁴ Zatímco v mírném pásmu je tento index v průměru stabilní nebo dokonce mírně narůstá, v tropech za posledních několik desítek let výrazně klesl (obr. 7 v rubrice Data a souvislosti na s. 570).

Lidská populace roste (a nejvíc právě v tropických zemích) a tlak na přirozené typy prostředí bude stoupat (obr. 5 a 8 v rubrice Data a souvislosti na s. 570). Je tedy zřejmé, že řadě ztrát prostě nezabráníme. Na druhou stranu situace rozhodně ještě není ztracená a cílenou ochranou zaměřenou na konkrétní území a konkrétní druhy lze dosáhnout lečeho. Je to každopádně lepší než hořekování nad šestým masovým vymíráním. ☹

ARCDATA PRAHA
 **esri** Official Distributor

Interaktivní mapy pro vaši práci

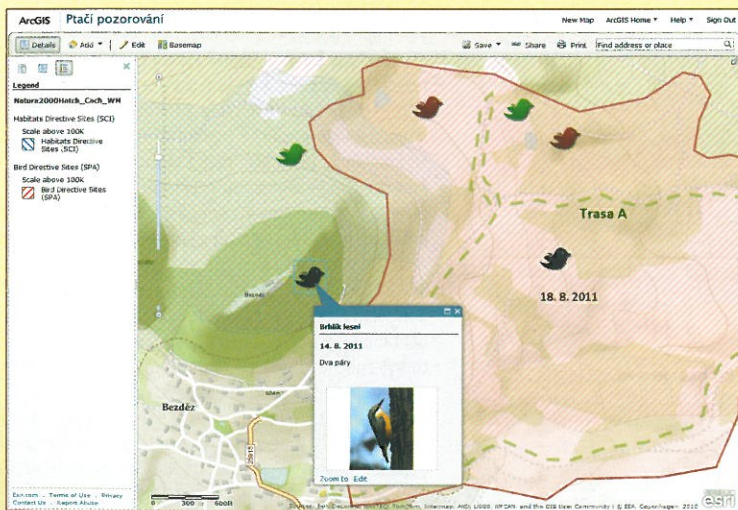
Potřebujete zaznamenávat informace do mapy? Hodilo by se vám sdílet tuto mapu s kolegy? Měla by být vždy a všude dostupná? Pak využijte mapový portál ArcGIS.com.

Zde si můžete bez jakýchkoli poplatků vytvořit vlastní interaktivní webovou mapu nebo využít stovky již publikovaných map po celém internetu. Jako podklad je tu vedle ortofotomapy k dispozici i topografická mapa s podrobností až 1:10 000. Ty lze doplnit o různá další data, například sedmdesát tematických vrstev od CENIA, české informační agentury životního prostředí.

Po vytvoření mapové kompozice se může ihned začít se zakreslováním prvků – bodů, linií i polygonových oblastí. Každý prvek je možné opatřit popiskem, přidat obrázek i hypertextový odkaz. Body tak lze využít například k zakreslení míst pozorování zvířat nebo nálezu chráněných rostlin, linie k zakreslení trasy obchůzky a polygony k vyznačení zkontrolovaných nebo plánovaných oblastí.

Mapu lze zpřístupnit pro každého návštěvníka internetu, ale i pouze pro vybrané uživatele. Automaticky je také vygenerován kód, kterým lze tuto interaktivní mapu sdílet prostřednictvím sociálních sítí nebo ji včlenit do internetových stránek. K mapám je možné přistupovat i prostřednictvím aplikací v telefonech smartphone a výsledky pozorování tak zanechat přímo v terénu. Možný je i import souřadnic z přístrojů GPS.

Ukázkovou mapu využitou k evidenci pozorování ptáků naleznete na adrese: <http://bit.ly/pICXtZ>.



ARCDATA PRAHA, s.r.o., je firma plně specializovaná na technologie a služby v oblasti geografických informačních systémů. Poskytuje kompletní nabídku software a služeb včetně dat dálkového průzkumu Země. Je autorizovaným distributorem firmy Esri, největšího světového výrobce GIS, dále systémů firem ITT VIS (software ENVI), Telvent a kompresních programů firmy Lizardtech v České republice. Bližší informace: tel.: 224 190 511, e-mail: office@arcdata.cz nebo internet: www.arcdata.cz.