**Masová vymírání v historii Země**

Pachatel zůstává neznámý

[Stanislav Mihulka](https://vesmir.cz/cz/o-nas/autori/m/mihulka-stanislav.html), [Marie Voldřichová](https://vesmir.cz/cz/o-nas/autori/v/voldrichova-marie-2.html)

 |  6. 10. 2011

 |  Vesmír 90, 564, [2011/10](https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2011/cislo-10/)

*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 vděčným 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 zmražení 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 ledovce. 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.

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 křemíkových hornin vedly k poklesu množství CO2 v atmosféře (díky jeho přeměně na oxid křemičitý a uhličitan 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 stále 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 okyselil 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, frasnu a famenu), 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 frasnu 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 Amönau a Alamo. Datace doby vzniku Alama však není považována za dostatečně přesnou, aby ji přesvědčivě spojila s devonskými událostmi. Druhé místo leží v jižní Dakotě a pochází z raného frasnu. 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 nápadně 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 snášející méně kyslíku přetrvali 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 CO2, což způsobilo prudký pokles jeho hladiny v atmosféře a následné 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 otrávilo 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 CO2 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. Obzvlášť 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 objasněna, mohla se však stát spouštěčem vymírání. Nedostatek kyslíku vyhubil organismy používající aerobní fotosyntézu a dal zelenou sirným 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 význačnou část pobřežních biotopů. Tím se ale nevysvětluje vymírání na souši. K němu totiž došlo (podle izotopů 12C a 13C) téměř současně s vymíráním ve vodě a bylo obdobně ničivé. Na souši také v té době přibyly 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 přetrvaly 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 vymíralo jen někde, například mlže a ramenonožce v severních Alpách zřejmě zlikvidovala lokální tektonika. Fosilní záznam z té doby je ale velice děravý, a tak eventuální globální událost nemůžeme vyloučit. Pro konec triasu neexistuje oficiální stratigrafický profil – jeho hranice je v různých částech světa vedena různým způsobem.

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 křídy byli těžce pocucháni i savci. Vyhynuly 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](https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2001/cislo-4/chicxulub-dira-do-yucatanu.html); Vesmír [79, 270, 2000/5](https://vesmir.cz/cz/toto-cislo-neni-archivu.html)) 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 řetězce. 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 postiženy 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 all. 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 Chicxulubském 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.