

Záhada hlavolamu

STÁLE NEROZUMÍME ZÁKLADNÍM KLIMATICKÝM TRENDŮM GEOLOGICKÉ SOUČASNOSTI

Dlouhodobě se nedaří urovnat spor mezi komunitou klimatologů, kteří ve snaze o porozumění dlouhodobé dynamice klimatického systému Země používají numerické modely, a komunitou paleoekologů, kteří rekonstruují klimatický vývoj současného interglaciálu na základě údajů získávaných z geologických záznamů. Navržena už byla řada chytrých řešení, ale konsensus je stále v nedohlednu.

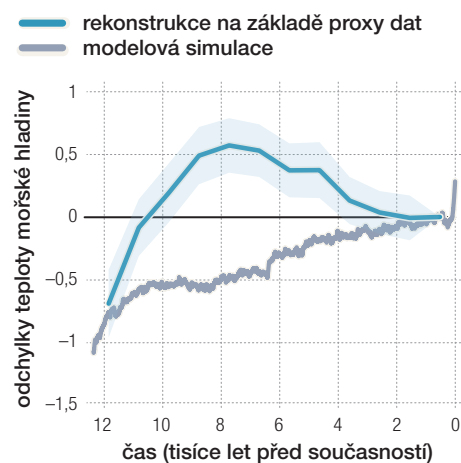
text **PETR POKORNÝ**

EVROPŠTÍ a severoameričtí paleoekologové tradičně označují vrcholnou fázi současného interglaciálu, holocénu, termínem „klimatické optimum“. Již dlouho je známo, že v době před 8000 až 6000 lety se teplomilné organismy vyskytovaly dále na severu, než je tomu dnes. Bylo to způsobeno nejen klimatickými poměry rámcově srovnatelnými s dnešními, ale též jejich dlouhodobou stabilitou, díky které se geografické rozšíření druhů mělo šanci ocitnout v rovnováze s latitudinální klimatickou zónací. Geologické archivy zkoumané pomocí plejád moderních klimatických *proxy* dat,¹ jakýchsi geochemických a biologických

„paleoteploměřů“, dávají velmi podobnou a veskrze konzistentní výpověď: Ukazují rychlé oteplování na počátku holocénu (12 000–10 000 let před současností). Po přechodné fázi jen mírného oteplování následuje zmíněné „klimatické optimum“. V posledních 6000 letech pozorujeme velice pozvolný trend poklesu teplot, který byl přerušen až současným globálním oteplováním, jež začalo ve druhé polovině 19. století, a na pozadí klimatické variability současného interglaciálu se jeví jako velice prudké.

Je dobré upřesnit, že v tropických a subtropických severních šířkách nejsou rozdíly zcela tak dramatické jako dále na severu a že

jižní polokoule jako celek vykazuje ještě větší dlouhodobou klimatickou stabilitu. Trendy jsou všude podobné, pouze amplitudy příslušných velkých fluktuací jsou tím menší, čím dále na jih se posouváme. Nejnovější rekonstrukce vývoje průměrných globálních teplot na základě celé řady nezávislých *proxy*



1. REKONSTRUKCE vývoje holocenních teplot na základě mnoha *proxy* dat (modře) a modelová simulace vývoje ročních průměrných teplot ve stejném období (šedě). Rozpory v trendech jsou očividné a jsou společné všem podobným srovnáním.

Upraveno podle Hertzberg J.: Nature, 2021, DOI: 10.1038/d41586-021-00115-x

2. PRACHOVÁ BOUŘE V SEVERNÍM SÚDÁNU, v řídké savaně na jižním okraji Sahary. Za určitých meteorologických situací dolétne tento prach až k nám do střední Evropy, a někdy v takovém množství, že dokáže zabarvit povrch terénu dožluta (Vesmír 100, 206, 2021/4). Prašnost atmosféry má podstatný vliv na klima na zemském povrchu, i když sám tento vliv může být ambivalentní – prach sice odštiňuje část slunečního záření, ale na druhou stranu může pohlcovat jeho dlouhovlnnou složku, což působí ohřátí podobně jako u skleníkového efektu s molekulami plynu. Celková termodynamická bilance by však měla být za všech okolností negativní – prach v atmosféře působí v úhrnu spíše ochlazování. Snímek Petr Pokorný

dat a v mnoha jednotlivých dokumentačních bodech (obr. 1) jsou však očividně ovlivněny robustními boreálními a cirkumpolárními trendy severní polokoule. Nepřestává tak

platit stará poučka, že globální klima „se vaří“ v severním Atlantiku.

Holocene temperature conundrum, slovní spojení, které od roku 2014 koluje v odborné

1) Klimatická *proxy* data, nebo též zkráceně *proxy*, jsou výsledky měření určitých parametrů v geologických záznamech, které jsou rozumně korelovatelné s moderním klimatickým měřením teplot, srážek a podobně. Nejpoužívanější klimatická *proxy* jsou poměry mezi stabilními izotopy lehkých prvků (hlavně vodíku a kyslíku), vzájemné poměry určitých organických molekul v odumřelých organismech nebo geografické posuny v rozšíření biologických druhů se zřetelnými klimatickými nikami.

paleoklimatologické literatuře, navrhuji přeložit do češtiny jako *holocenní klimatický hlavolam*.

V čem řečený hlavolam spočívá, jestliže jsou klimatické rekonstrukce pro období holocénu když ne úplně triviální, tak aspoň slušně konzistentní? Jak bylo naznačeno v úvodním odstavci, záhada hlavolamu spočívá v nesouhlasu těchto rekonstrukcí s výsledky klimatického modelování (obr. 1). Autoři klimatických modelů hledají příčinu rozporu v hrubých systematických zkresleních, tzv. *biasech* paleoekologických *proxy* rekonstrukcí, zatímco paleoekologové kritizují údajně málo realistické přístupy ke klimatickému modelování. Případně se snaží identifikovat některé další vlivy, které by měly být do klimatických modelů zahrnuty tak, aby byly rozpory vyřešeny.

POTÍŽE S MILANKOVIČEM
Kritiku ze strany klimatologů lze v kostce shrnout následovně: Paleoekologické

rekonstrukce jsou ovlivněny vysokou citlivostí naprosté většiny využívaných proxy dat k sezonním výkyvům počasí. Dává to smysl vzhledem k tomu, že téměř všechna používaná proxy přímo či nepřímo souvisejí s biologickými systémy, které jsou mnohem aktivnější, doslova živější, v teplých částech roku. A pokud využívaná proxy souvisejí třeba s fyzikálním procesem odparu vody z mořské hladiny a její kondenzací v atmosféře (jako v případě poměru izotopů kyslíku či vodíku v ledovcových záznamech), jsou ovlivněna podobným způsobem, protože odpar i kondenzace, tyto dva protichůdné procesy, jsou na kontrastech mezi teplou a chladnou částí roku závislé úplně stejně. Sezonně závislá je také izotopická frakcionace probíhající během srážení uhlíkatu vápenatého v jeskynních sintroch, což je další ze široce využívaných „paleoteploměřů“.

Kde se za takových okolností vezme vytýkané systematické zkreslení v holocenním teplotním záznamu? Vysvětlení je v tomto případě docela jednoduché: Díky aplikaci známé Milankovičovy teorie (Vesmír 74, 488, 1995/9 a 89, 242, 2010/4) spolehlivě víme, že ve středním holocénu byly na severní polokouli Milankovičovy orbitální parametry nastaveny tak, že generovaly hlubší sezonní rozdíly, zatímco směrem k dnešku je kontrast mezi severním létem a zimou čím dál tím slabší.

Mohlo by se zdát, že hlavolam je právě uvedenou úvahou elegantně vyřešen. Že paleoekologické rekonstrukce hrubě zkreslují, protože reflektují převážně vývoj v teplých částech roku. Že tudíž nepostihují vývoj *průměrných ročních* teplot, které jsou naopak předmětem klimatického modelování. Potíž je ovšem v tom, že se do klimatických modelů stále nedaří zahrnout dynamiku Milankovičových parametrů tak, aby řešení bez problémů fungovalo. Vliv sezonních rozdílů se ukazuje jako příliš slabý. V tropických oblastech se navíc takové sezonní rozdíly neprojeví a na jižní polokouli jev funguje dokonce v protifázi, což podobnému druhu řešení do karet nehraje.

CO KLIMATICKÝM MODELŮM (MOŽNÁ) CHYBÍ?

Paleoekologové kritizují aktuálně používané klimatické modely pro jejich přílišnou citlivost k určitým parametrům. Modely nejsou žádné dogma, ale jen nejpřesnější způsob, kterým dokážeme přemýšlet o velice složitých vztazích. Jaké modely si postavíme, takové máme. Představují umělý, na expertních rozhodnutích závislý, tedy do velké míry arbitrární systém. Aktuálně používané makroklimatické modely jsou podle svých kritiků nastaveny tak, že až příliš citlivě reagují na proměny globálního

zalednění (jde především o jeho *albedo*, jakož i *albedo* mořského ledu a sněhové pokrývky na souších) a zejména na vliv skleníkového efektu oxidu uhličitého a metanu. O obou těchto klíčových skleníkových plynech víme, že jejich atmosférické koncentrace už řadu tisíciletí (u CO₂ je to asi 6000 let a u CH₄ asi 4000 let) rostou, aniž dodnes máme jistotu, co je příčinou jejich nárůstu v dlouhém předindustriálním období.

Paleoekologové také průběžně upozorňují na nejrůznější další parametry, které by do modelů mohly nebo měly být zahrnuty,

„Jaké modely si postavíme, takové máme. Představují umělý, na expertních rozhodnutích závislý, tedy do velké míry arbitrární systém.“

aby modely dávaly realističtější výsledky, respektive výsledky konzistentnější s proxy daty. Zajímavým návrhem je například nedávné upozornění na význam prašnosti atmosféry (opět zejména té severní) pro termodynamickou rovnováhu planety (**obr. 2**).

„Paleoekologické rekonstrukce jsou ovlivněny vysokou citlivostí naprosté většiny využívaných proxy dat k sezonním výkyvům počasí.“

Na základě spolehlivých dat víme, že ve středním holocénu bylo v globální atmosféře prachu minimum a že prašnost atmosféry od té doby významně narůstá. Souvisí to nepochybně s dramatickými proměnami prostoru Sahary a do jisté míry i většiny dalších pouští na severních kontinentech.

Díky zvýšenému letnímu oslunění docházelo ve středním holocénu (viz aplikaci Milankovičovy teorie výše) k intenzivnímu letnímu monzunovému proudění, které zalévalo nitra kontinentů monzunovými dešti. Dnešní pouště proto nebyly pouštěmi, ale zelenaly se vegetací a byly pokryté půdami. Právě Sahara, v mladším holocénu až dodnes zdaleka největší globální zdroj atmosférického prachu, byla pokryta rozsáhlými jezery, vnitrozemskými říčními deltami a vegetačním krytem africké savany s travou a řídké rozptýlenými stromy. Podle realistických propočtů získával povrch planety díky snížené prašnosti atmosféry v průměru 0,3 wattu tepelného výkonu na čtvereční metr navíc oproti současnému stavu. Tento vliv by sám o sobě mohl stačit na vyřešení podstatné části holocenního klimatického hlavolamu. Potíž je pouze v tom, že jeho testování už je opět závislé na parametrizaci příslušných makroklimatických modelů, které se tím v lepším případě mohou stát o něco realističtějšími, v horším případě právě naopak,

protože jejich komplexita, a tudíž ošidnost, tím ještě o něco vzroste.

Vzdálená minulost není přístupná experimentům, ale jen „detektivní“ práci s proxy daty, kterými bychom rádi příslušné modely validovali. A právě to se nám přes veškerou snahu prozatím nedaří.

POSLOUCHEJTE VĚDCE... KTERÉ ALE?

Nedávno zesnulý ekolog Edward O. Wilson (10. června 1929 - 26. prosince 2021) by v souvislostech, které jsme naznačili, možná

mluvil o problému chybějící *konsilience*, o nesouladu mezi poznatky různých věd. O tom, že má-li být něco považováno za vědecké, nemělo by to být v zásadním rozporu s poznatky jiných, srovnatelně rigorózních disciplín.

Soukromě bych měl tendenci odhadnout, že svůj díl pravdy budou mít v našem případě obě strany sporu a že obě skupiny argumentů budou svou vahou rámcově srovnatelné. Sezonní zkreslení klimatických rekonstrukcí je očividně reálný a docela závažný problém. Stejně jako je reálným problémem ošidná povaha modelů, které simulují chování komplexních dynamických systémů. Lepší model však, marná sláva, postavit neumím a na nějaké geniální proxy, které by nezkrasleně ukázalo minulou realitu, taky ne a ne přijít. ●

K dalšímu čtení...

Bova S., Rosenthal Y., Liu Z. et al.: Seasonal origin of the thermal maxima at the Holocene and the last interglacial. *Nature* 589, 548–553, 2021, DOI: 10.1038/s41586-020-03155-x.

Kaufman D., McKay N., Rouston C. et al.: Holocene global mean surface temperature, a multi-method reconstruction approach. *Scientific Data* 7, 201, 2020, DOI: 10.1038/s41597-020-0530-7.

Liu Z., Zhu J., Rosenthal Y. et al.: The Holocene temperature conundrum. *PNAS* 111, E3501–E3505, 2014, DOI: 10.1073/pnas.1407229111.

Liu Z., Zhang M., Zhengyu L. et al.: A Possible Role of Dust in Resolving the Holocene Temperature Conundrum. *Scientific Reports* 8, 4434, 2018, DOI: 10.1038/s41598-018-22841-5.

Ruddimann W.: The Anthropocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 41, 45–68, 2013, DOI: 10.1146/annurev-earth-050212-123944.