

Expres zvaný Eocén!

Ako sa zdá, ľudstvo má rezerváciu do jeho „luxusnej“ prvej triedy. Chcete sa zviest? Nech sa páči! Veď lístok Vás nebude takmer nič stáť – „poctivo“ sme si ho zaslúžili všetci a predplatili nám ho de facto už naši predkovia, pred viac ako 200 rokmi. Lákavá ponuka, no nie? Avšak ešte predtým ako nastúpíte, malé upozornenie na úvod – keď sa expres už raz rozbehne, pravdepodobne zastaví až vo svojej konečnej „destinácii“, v EOCÉNE. Že Vám to nič nehovorí? Nečudo. Na súčasnej mape sveta by ste ho hľadali zbytočne. Stačilo by však, keby ste rotáciu našej planéty obrátili a vydali sa v čase o nejakých 35 miliónov rokov naspäť. Koľko krát by ste museli Zem otočiť okolo jej osi? Stačilo by nejakých 13 miliárd krát, približne(!). Cestovanie naspäť v čase môže byť síce celkom zaujímavý zážitok, no pri pomyslení na to, ako to v konečnej stanici bude nakoniec vyzeráť, a hlavne, čo všetko nás ešte cestou čaká a veľmi pravdepodobne neminie, si skôr prajem, aby nášmu expresu odpadli všetky kolesá a zhorel motor už pri jeho rozjazde!

Ak ľudstvo v dohládnej dobe nepoľaví vo využívaní fosílnych palív a nezvráti vývoj emisií hlavných skleníkových plynov, v čele s CO₂, je veľmi pravdepodobné, že klimatický systém Zeme už v priebehu tohto storočia nastúpi na trajektóriu takých zmien, ktorých konečným výsledkom bude svet diametrálne odlišný od toho súčasného. Svet, ktorý bude, a to nielen svojou teplotou, pripomínať skôr dobre rozohriaty skleník. Ako sme však už naznačili vyššie, oveľa dôležitejšie ako o konečnom stave, do ktorého sa zemská klíma veľmi pravdepodobne v priebehu najbližších storočí dostane, je potrebné uvažovať skôr o zmenách, ktoré klimatický systém pri prechode do nového stavu bude musieť ešte prekonať. Približnú predstavu o tom, ako by mohli tieto zmeny vyzeráť, o tom nám niečo hovoria paleoklimatologické a geologické záznamy z celého sveta. Problémom nastávajúcej klimatickej zmeny je však to, že aj v prípade, že sa splní stredný a najlepší odhad rastu globálnej teploty, teda o približne 4 °C do roku 2100, pôjde veľmi pravdepodobne o vôbec najrýchlejšiu zmenu globálnej klímy akú sme schopní zatiaľ doložiť z geologických záznamov. V porovnaní s ňou blednú dokonca aj tak obrovské klimatické „skoky“, akými boli napríklad klimatické rozhranie PETM (paleocénno-eocénne termálne maximum) pred 55,5 mil. rokmi, či dokonca globálne otepľovanie na konci proterozoika, ktoré ukončilo globálnu dobu ľadovú pred príchodom kambria pred približne 550 mil. rokmi. Okrem toho, že si rozsah a rýchlosť týchto zmien zatiaľ nevieme do všetkých dôsledkov ani len predstaviť, náš najväčší hazard spočíva v tom, že doposiaľ sme neurobili takmer nič, aby sme týmto zmenám a ich nepriaznivým dôsledkom predišli. Najväčšou iróniou na tomto všetkom je to, že zmeny, ktoré registrujeme už v súčasnosti a ktoré veľmi pravdepodobne predstavujú akýsi predvoj zásadnejších zmien vo viac-či-menej vzdialenej budúcnosti, nás opakovane stavajú do pozície prekvapených a nepripravených, aj navzdory tomu, že o ich pôvode už čo to vieme(!).

Eocénny skleník

Eocénom (obdobie pred 55 až 34 mil. rokmi) vyvrcholila a skončila jedna z najteplejších období v známej geologickej histórii Zeme, ktorá mala svoj počiatok ešte v druhohorách, uprostred kriedy, pred približne 90 mil. rokmi. Veľmi teplé a vlhké podnebie tropického rázu

panovalo takmer na celej Zemi. Oveľa teplejšie ako dnes boli predovšetkým polárne oblasti, kde priemerná ročná teplota bola o celých 30°C vyššia ako v súčasnosti. Na globálnej úrovni bolo teplejšie o približne 6 až 8 °C (výnimkou boli, z geologického hľadiska, relatívne krátke hypertermálne obdobia – ako napr. PETM – kedy bolo dokonca ešte teplejšie). V niektorých oblastiach Grónska a Aljašky mala klíma takmer subtropický charakter. Potvrdzujú to nálezy fosílnych zvyškov paliem, či dokonca krokodílov, napríklad z Ellesmerovho ostrova v severnej Kanade. Geografická konfigurácia kontinentov a oceánov bola, až na menšie „drobnosti“, takmer totožná s tou súčasnou. Európa, Severná či Južná Amerika sa už viac-menej nachádzali vo svojich súčasných polohách. Avšak tie „drobnosti“, ktoré sme v predošlej vete bez povšimnutia preskočili, zohrali pri formovaní eocénnej klímy zásadnú úlohu. Okrem vysokých koncentrácií CO₂, ktoré sa v prvej polovici Eocénu pohybovali vysoko nad úrovňou 1000 ppm, to bola predovšetkým podstatne odlišná konfigurácia morských prúdov a teda aj intenzívnejšia výmena tepla medzi trópmi a polárnymi oblasťami, čo z Eocénu vytvorilo doslova saunu. Pred 55 mil. rokmi bola Antarktída spojená kontinentálnymi mostmi s ďalšími dvoma veľkými pevninskými blokmi – Austráliou a Južnou Amerikou. Toto prepojenie umožňovalo, aby sa k Antarktíde dostávala teplá povrchová voda z tropických oblasti južnej pologule. Výsledkom boli teploty v priemere o minimálne 25 °C vyššie aké panujú v Antarktíde v súčasnosti. Celý kontinent bol pokrytý lesmi mierneho podnebného pásma a zaľadnenie, ak vôbec v tomto období existovalo, sa obmedzovalo len na najvyššie horské oblasti (treba však pripomenúť, že Antarktída v tejto dobe pripomínala skôr rozsiahle súostrovie ako kompaktný kontinent). V dôsledku absencie kontinentálneho zaľadnenia Grónska a Antarktídy siahala hladina svetových oceánov o 50 metrov vyššie ako dnes. Dôkazy o horúcom podnebí z prvej polovice Eocénu sú k dispozícii aj z hlbokomorských vrtov. Tie naznačujú, že oceány boli prehriate až ku dnu. V porovnaní so súčasnou teplotou na dne oceánov (priemerne okolo 0-2°C) boli teploty v Eocéne skutočne extrémne vysoké – 14 až 16°C (!). Zohľadniac vtedajší objem všetkých morí a oceánov ako aj existenciu minimálneho vertikálneho a horizontálneho gradientu teploty vody, je asi len veľmi ťažké si predstaviť, aké ohromné množstvo energie v podobe tepla bolo v eocénnych oceánoch „uložené“.

Vrásnenie Himalájí a izolácia Antarktídy

Niet divu, že následné ochladzovanie v druhej polovici Eocénu prebiehalo viac-menej plynulo a veľmi pomaly – trvalo niekoľko miliónov rokov a súviselo s obrovskou tepelnou zotrvačnosťou svetových oceánov. Výraznejšie ochladenie globálnej klímy, o ktorom vieme, že spustilo rozsiahle zaľadnenie v Antarktíde, nastalo až na prelome Eocénu a Oligocénu, pred zhruba 34 mil. rokmi. Prispelo k nemu hneď niekoľko skutočností. Tou prvou bol fakt, že došlo k oddeleniu Antarktídy od Austrálie, neskôr aj od Južnej Ameriky, čím sa v priestore okolo južného kontinentu stabilizoval chladný cirkumpolárny prúd, ktorý znemožnil prístup teplejších vôd k brehom Antarktídy. Výrazne ochladenie Antarktídy, ako aj začiatok prvého z veľkých zaľadnení, prinieslo celý rad zásadných globálnych dôsledkov – nielenže výrazne poklesla teplota na južnej pologuli, ochladzovať sa začali aj svetové oceány, a to predovšetkým vo väčších hĺbkach. Chladná a hustejšia hlbinná voda formujúca sa pri brehoch Antarktídy začala prenikať do všetkých okolitých oceánov, čím sa naštartovala termohalinná cirkulácia morských prúdov. Tá zohráva v súčasnosti mimoriadne dôležitú úlohu najmä pri formovaní klímy severnej pologule (napr. významne podmieňuje existenciu Gofského prúdu).

Druhou závažnou skutočnosťou bolo rozsiahle alpsko-himalájske vrásnenie (orogenéza), ktoré práve v tomto období naberalo na rýchlosti, a to najmä v kolíznej oblasti Indie a južnej Ázie. Ako to súvisí s globálnym ochladením? Pred približne 35 mil. rokmi sa začala hlavná etapa vrásnenia najrozsiahlejšej a najvyššej horskej sústavy na planéte – Himaláji a priľahlej Tibetskej plošiny. Aj keď k najrýchlejšiemu zdvihu tohto pohoria došlo až o 15 mil. rokov neskôr, už v tomto období sa v dôsledku čelnej kolízie Indie a južnej Ázie vrásnia rozsiahle série karbonátových hornín, ktoré vznikli v priestore medzi oboma približujúcimi sa pevninskými blokmi. Vrásnením sa karbonáty dostali do styku s atmosférou, ktorá mala v tomto regióne výrazné tropické rysy. Kombinácia vysokých koncentrácií CO₂, vysokej vlhkosti a teploty vzduchu viedla k intenzívnemu chemickému zvetrávaniu, ktorého výsledkom bol v konečnom dôsledku výrazný pokles atmosférických koncentrácií oxidu uhličitého (pokles CO₂ z 1200 ppm v strednom Eocéne na približne 600 ppm na začiatku Oligocénu). Ako ukazujú aj niektoré štúdie, hodnota 600 ppm v prípade CO₂ predstavuje hranicu pre tvorbu stabilného a rozsiahleho zaľadnenia v polárnych šírkach. Vrásnenie a zdvih himalájskeho orogénu a Tibetskej plošiny malo ešte jeden, dosť podstatný dôsledok na klímu severnej pologule. Vysoká horská hradba, ktorá sa formuje v podstate dodnes, výrazne ovplyvnila a zmenila prúdenie letného a zimného monzúnu nad rozsiahlou ázijskou pevninou. Pre vlhkosný letný monzún sú Himaláje neprekonateľnou prekážkou. Väčšia časť vlhkosti sa doslova vyprší na južných svahoch tohto pohoria a do hlbšieho vnútrozemia prenikne len malý zlomok potrebnej vlahy. Najmä kvôli Himalájam je vnútrozemie Ázie suché a aj relatívne chladné (nie je to len prejav vysokej nadmorskej výšky). Existujú dokonca vedecké indície, že podstatná časť iniciálneho ochladenia na konci treťohôr, pred približne 3 mil. rokmi, ktoré nakoniec viedlo k pravidelnému striedaniu dôb ľadových a medziľadových bola spôsobená práve zdvihom horstiev v južnej a strednej Ázii, vrátane Tibetskej plošiny.

Ludstvo na ceste do Eocénu?

Od počiatku priemyselnej revolúcie, pred 250 rokmi, dokázali ľudia zvýšiť koncentráciu skleníkových plynov na úroveň, aká panovala na Zemi naposledy pred približne 15 až 20 mil. rokmi. A dokázali sme to urobiť veľmi rýchlo. Zemi trvalo 40 miliónov rokov, kým za pomoci vlastnej autoregulácie a globálneho teplotného termostatu znížila úroveň CO₂ zo 700 ppm na predindustriálnych 280 ppm. Vďaka rozsiahlemu využívaniu fosílnych palív v energetike a doprave, ale aj vďaka odlesňovaniu a zmeny využívania krajiny, dodávame v súčasnosti do zemskej atmosféry vyše 9 miliárd ton čistého uhlíka ročne (33-34 mld. ton CO₂), čo je niekoľkonásobne rýchlejšie tempo ako počas známej hypertemálnej periódy PETM (vtedy dosiahli globálne emisie uhlíka približne úroveň 1,7 mld. ton C ročne). Podľa dokonca aj toho najpravdepodobnejšieho emisného scenára IPCC (SRES A1B), by celkové koncentrácie CO₂ mohli do roku 2100 dosiahnuť úroveň 700 ppm, teda hodnota, ktorá sa naposledy na Zemi vyskytovala práve v období Eocénu, ešte pred zaľadnením Antarktídy. Dokonca aj keď zoberieme do úvahy o niečo optimistickejší scenár SRES B1, ktorý je v prípade absencie akýchkoľvek mitigačných opatrení a redukcii emisií CO₂ skôr nereálny, predpokladané koncentrácie CO₂ v roku 2100 budú pravdepodobne stále vyššie než v období posledných 30 mil. rokov (500 ppm). Keďže však vývoj emisií CO₂ v poslednom desaťročí skôr konvergoval k pesimistickejším scenárom IPCC, treba zobrať do úvahy aj možnosť, že by koncentrácie v roku 2100 mohli dosiahnuť hodnotu okolo 1000 ppm (scenár A1F1), čo je už hodnota príznačná pre prvú a najteplejšiu fázu Eocénu. V prípade, že by sa tak skutočne

stalo, je veľmi pravdepodobné, že do roku 2300 by mohla globálna teplota vzduchu vzrásť o 8 až 10°C, čo by boli podmienky zrovnateľné s najteplejšími periódami Eocénu. Ako sme už uviedli vyššie, Zemi trvalo 40 miliónov rokov než sa ochladila z eocénneho „skleníka“ na dnešné holocénne teplotné optimum. Ako sa však zdá, ľudia majú potenciál sa vrátiť do Eocénu asi 200 tisíc krát rýchlejšie. Pochopiteľne, je veľmi otázne, či dokonca aj v prípade, že vývoj pôjde cestou najpesimistickejších emisných a teplotných scenárov, sa globálne oteplí o spomínaných 10°C. Predsalen, globálna geografia oceánov a pevnín je v súčasnosti trochu iná ako tomu bolo v Eocéne a okrem toho, odozva antarktického kontinentálneho ľadovce bude relatívne pomalá (niekoľko tisíc rokov). Isté neistoty vyplývajú aj s použitia samotných emisných scenárov, a ešte väčšie z absencie fyzikálneho chápania a parametrizácie všetkých spätných väzieb v klimatickom systéme Zeme (niektoré globálne otepľovanie zosilnia, iné ho môžu potlačiť). Avšak argumentácia pomocou existujúcich neistôt, či už v klimatických modeloch alebo empirických údajoch, nie je z pohľadu riešenia globálnej klimatickej zmeny tým najšťastnejším krokom. Ako vieme veľmi dobre, neistoty takmer vždy hrajú v náš neprospech!

Jozef Pecho

Literatúra

Archer, D. 2009. The Long Thaw. Princeton University Press. 2009. 180 p.

Burroughs, W. J. 2007. Climate Change: A Multidisciplinary Approach. Cambridge University Press, New York. 378 p.

Hartmann, D. L. 1994. Global Physical Climatology. Academic Press – Elsevier. 1994. 412 p.

Kump, L. R. 2011. The Last Great Global Warming. Scientific American, 2011, p. 56-61.

Ruddiman, W. F. 2008. Earth's Climate: Past and Future. Druhé vydanie, V. H. Freeman & Com.

<http://www.skepticalscience.com/eocenepark.html>

<http://www.skepticalscience.com/end-of-the-hothouse.html>

http://www.skepticalscience.com/New-Understanding-of-Past-GW-Events_UNH.html

<http://www.skepticalscience.com/Petmpf.html>

Obr. 1: Konfigurácia pevnín a oceánov v priebehu Eocénu (55-34 mil. r.; Zdroj: <http://www.skepticalscience.com/eocenepark.html>)

Obr. 2: Umelecká predstava eocénnej krajiny (Zdroj: http://forces.si.edu/atmosphere/02_02_07.html; autor: Bob Hynes)

Obr. 3: Rekonštrukcia proxy údajov koncentrácie CO₂ a globálnej teploty vzduchu v období posledných 65 mil. rokov (Zdroj: <http://www.skepticalscience.com/eocenepark.html>)

Obr. 4: Ukážka trendov globálnej teploty vzduchu v období kenozoika (65 mil. r.- súčasnosť; zdroj: http://www.globalwarmingart.com/wiki/File:65_Myr_Climate_Change_Rev_png)

Obr. 5: Vybrané scenára IPCC koncentrácií CO₂ do roku 2100 (Zdroj: http://www.ipcc-data.org/ddc_co2.html)