



Projevy změn klimatu na nejteplejších kontinentech

Sousloví globální oteplování nebo změna klimatu jsou skloňována snad ve všech pádech, ale podíváme-li se na ně zblízka, bývá tento problém vztahen pouze k severní polokouli nebo k polárním oblastem. Ale jak je tomu na nejteplejších kontinentech? Podle čeho se v těchto končinách usuzuje na klimatické změny, když rozšíření ledovců, na kterých se změny klimatu pozorují, je tady minimální? Tento článek má ukázat, že změny klimatu během kvartéru jsou dokumentovány i na nejteplejších kontinentech – Austrálii a Africe, a zaslouží si tedy přívlastek globální. Pro sledování těchto změn se využívá jezerních sedimentů, které v sobě nesou stejné informace o klimatu, jako ledovce ve vysokých zeměpisných šířkách.

Úvod

Jak jsme se mohli již dočíst v předchozích číslech Geografických rozhledů, docházelo na celé planetě během čtvrtohor k výrazným výkyvům klimatu v různých dlouhých obdobích (Křížek, M. – Pohyby Země a klima. *Geografické rozhledy*, 2004, roč. 14, č. 2, s. 30–31; Pretel, J. Rizika klimatické změny. *Geografické rozhledy*, 2007, roč. 16, č. 4, s. 2–5). Tyto změny se však projevují odlišně v jednotlivých podnebných pásích. Například klimatické podmínky dob ledových vypadaly jinak v severních oblastech Evropy, jinak na jejím jihu a zcela odlišně v prostoru dnešní Sahary. Podle toho v různých částech Země odlišně reagovala příroda a procesy, které v ní působí.

Jedním z mnoha důsledků klimatických změn je i kolísání hladin jezer. Změny rozlohy jezer a kolísání jejich hladin jsou v současnosti předmětem podrobného výzkumu, avšak některé jeho výsledky jsou známy už dnes. Mezi hlavní indikátory klimatických změn, kolísání hladin a změny chemismu jezer patří rozsivky, což jsou mikroskopické organismy vázané druh od druhu na určité podmínky. Z výskytu specifického druhu rozsivek ve vrstvách jezerních sedimentů lze pak usuzovat na prostředí, jaké v době života těchto rozsivek panovalo, a odborníci je tedy mohou použít pro paleoklimatické rekonstrukce. Tím však informace obsažené v jezerních sedimentech nejsou zdaleka

vyčerpány. Ze sedimentů lze zjistit změny týkající se oslunění, vegetačního krytu, rozložení srážek a výparu atd. Mnohé tyto informace poskytuje i analýza pylových zrn, která jsou v sedimentech obsažena. Také okolní reliéf poskytuje řadu cenných dat, například z orientace a vnitřní stavby starých písečných dun lze indikovat změny převládajících směrů větrů. Všechny tyto informace jsou pak zasazeny prostřednictvím radiometrického datování do časové škály (viz článek Křížek, M. – Určování geologického času. *Geografické rozhledy*, 2006, roč. 15, č. 4, s. 5.) a tak se dozvíme, kdy dané podmínky působily.

Austrálie

Austrálie je ideální kontinent pro sledování klimatických změn, protože leží v několika podnebných pásích a nejsou zde žádné větší hory, které by byly překážkou pro globální cirkulaci vzdušných hmot. Pro výzkum směru vzdušného proudění v minulosti byly využity barchany, pahorky půdorysného tvaru půlměsíce, které jsou tvořeny jemnozrnným materiálem naneseným větrem při prachových bouřích (většinou se nacházejí na závětrných stranách jezer). Tyto tvary se vyskytují hlavně v jihovýchodní Austrálii. To souvisí s tím, že rozložení jezer bylo a je v Austrálii velice nerovnoměrné. Téměř 76 % se jich nachází zde na jihovýchodě Austrálie a liší se navzájem rozměry i hloubkou.

Hlavní období vzniku písečných dun proběhlo před 25 000–13 000 lety. Analýza orientace těchto dun vzniklých během poslední doby ledové ukazuje pozoruhodnou shodu s tvary budovanými větrem v současnosti. Dá se tedy říci, že cirkulace vzduchu během poslední doby ledové byla v centrálních částech Austrálie obdobná jako dnešní, ovšem byla daleko silnější. Čtvrtohorní zalednění bylo na australském kontinentu minimální.

Abychom pochopili jaké změny v klimatu nastaly, je nutné si připomenout, jak a čím je ovlivňováno současné klima Austrálie. To je podmíněno proudem sestupujícího vzduchu ze subtropické tlakové výše pod silným subtropickým jet-streamem. Během australské zimy je zóna tropické konvergence více na severu, a do jižní oblasti proto zasahují západní větry, které sem přináší zimní deště. Naopak v době australského léta padají srážky zase v severní oblasti kontinentu, které jsou ovlivněny letním monzunem, jen přináší srážky, a australský jih je v důsledku odtlačení západních větrů v této době suchý. Centrální část Austrálie je celoročně pod vlivem pasátů a také tlakové výše, což vede k tomu, že v této oblasti je extrémně suché podnebí. Ukazuje se, že rozložení srážek nad kontinentem je podmíněno silou východo-západního proudění, tzv. Walkerovy cirkulace. Síla této cirkulace souvisí s rozdílem teplot hladin ve východním rovníkovém Pacifiku a v indonéské oblasti. Ochlazení v oblasti východního Pacifiku vede k zesílení tzv. Walkerovy cirkulace a k zvýšení přízemního toku vzdušných hmot k jihu přes severní a východní Austrálii, který do těchto oblastí přináší srážky.

Během poslední doby ledové byly veškeré atmosférické fronty posunuty oproti současné poloze směrem k jihu. To způsobilo, že jižní Austrálie byla mimo vliv západních větrů, které by jí přinášely srážky, a proto byla daleko sušší než dnes. Před 30 000–24 000 lety byl celý kontinent vlhčí. V období následujícím před (24 000–20 000 lety) byly podmínky sušší, což bylo způsobeno polohou atlantické polární fronty, která se nacházela o 6–7° severněji. Následovalo ochlazení hladiny moří, jejichž povrchové teploty byly nižší než dnes, a omezení Walkerovy cirkulace, na niž jsou vázány srážky. Právě uprostřed období snížené Walkerovy cirkulace



Obr. 1: Pohled z družice SPOT na část pouště Namib s lineárními a hvězdovitými dunami.



PLANETA VOLÁ SOS

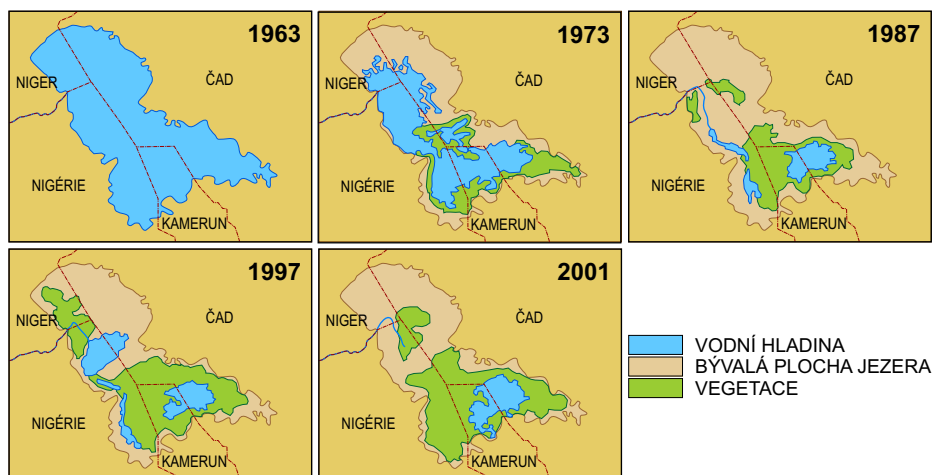
(tj. cca před 22 000 lety) vykazuje 70 % australských jezer nízkou a velmi nízkou úroveň hladiny oproti současnosti. Tato perioda byla vystřídaná krátkým obdobím s vyšší vlhkostí (před 15–13 000 lety), pak ale přišla doba maximální suchosti (před 12 000 lety), která odpovídá glaciálnímu maximu (vrcholu poslední doby ledové), kdy byly západní větry stlačeny hluboko k jihu. S koncem posledního glaciálu se zvyšovaly i povrchové teploty moří, např. před 9000 lety byly subantarktické vody o 2–3 °C teplejší, než je tomu dnes. Zhruba před 11 000–6000 lety se jižní západní větry ustálily v poloze, v jaké je známe i nyní. V rámci současné doby poledové – holocénu – se objevilo období s maximálním množstvím srážek (asi před 7000 lety). Následovalo opět období sucha (před 6000 lety), ale už ne tak výrazného, jako panovalo během chladných výkyvů poslední doby ledové, vystřídané dalším vlhčím obdobím (před 4000 lety). Od této doby se klima pozvolny stává sušším.

Výkyvy vlhkosti a suchosti jsou také tady ovlivněny vegetačním krytem. Po konci posledního glaciálu se rozšířily lesy a úměrně s tím stoupaly i úrovně hladin jezer.

Afrika

Současné klima Afriky ovlivňuje několik faktorů. Severní a jižní oblasti jsou ohraničeny subtropickými pouštěmi (Saharou na severu a Namibem na jihu kontinentu – obr. 1), které nejvíce ovlivňují stálé tlakové výše v Atlantském oceánu. Tyto suché zóny jsou odděleny pásmem tropického klimatu s tlakovou níží v oblasti rovníku. Tato tropická zóna konvergence sezonně migruje a má za následek v okrajových částech monzunové klima s letními dešti a suchými zimami, rovníková zóna je pak charakterizována dvěma maximy srážek. Saharu lze rozdělit na dvě odlišné zóny. Severní (mezi 20 a 24° s. š.) je charakteristická zimními dešti, naopak jižní získává občasnou vláhu z letních monzunů. Důležitým faktorem ovlivňujícím klima Afriky je, na rozdíl od méně členité Austrálie, také reliéf v podobě horstev.

U Afriky se vzhledem k omezenému rozsahu článku budeme zajímat o změny klimatu až od posledního ledovcového maxima v období před 23–18 tisíci lety, kdy většina kontinentu měla chladnější klima a nižší srážky než dnes. První známky deglaciacie (odlednění) se v afrických tropech



a subtropích začínají projevovat už před 17 000 lety, což je dříve než v severním Atlantiku (viz Engel, Z. Zalednění arktické oblasti. *Geografické rozhledy*, 2005, roč. 15, č. 2, s. 56–7). Důvodů bylo zřejmě několik. Především to byla planetární precese (viz Křížek, M. – Pohyby Země a klima. *Geografické rozhledy*, 2004, roč. 14, č. 2, s. 30–31), která změnila oslunění polokoulí, zvýšila oslunění v létě, což vedlo v důsledku zvětšení rozdílu tlaku mezi oceánem a pevninou k zesílení monzunové cirkulace. To se projevilo suchem, které postihlo severní části kontinentu, naopak v jižních se objevily zvýšené srážky. Ovšem najdou se i výjimky, které dokumentují lokální sucha v jižních jezerech Lobatse, Pretoria Sultpan nebo Trikrivakeli na Madagaskaru. Ochlazení tropů způsobilo i zesílení pasátů na severní polokouli. V dalších obdobích došlo k opětovnému mírnému oteplení a zvýšení srážek, což dokumentuje pylová analýza jezerních a mořských sedimentů. Takovýchto náhlých přechodů od suchých k vlhčím podmínkám bylo zaznamenáno v době posledního ledovcového maxima několik. Finální oteplení zvýšilo výpar, vodní pára se stala součástí atmosféry a jako skleníkový plyn způsobila roztávání ledovců na celé jižní polokouli. Sucho, které následovalo v období před 14,4–12,5 tisíce let před současností, bylo pravděpodobně způsobeno reaktivací studeného Bengálského oceánského proudu podél západního pobřeží jižní Afriky.

Archeologické výzkumy dokázaly, že v období před 10–4 tisíci lety obývaly neolitické civilizace zelenou Saharu (obr. 2). Udržoval se zde ekosystém savany. Ve stejnou dobu měla jezera na severu východní Afriky úroveň hladin desítky až stovky metrů nad tou současnou.

Střídání suchých a vlhkých dob pak pokračovalo v celém období holocénu. Není však zatím možné přesně zjistit rozložení srážek během roku, a proto ani identifikovat vodní zdroje, které daly možnost existence vegetace na Sahaře, jelikož zdejší jezera byla napájena hlavně podzemní vodou. Víme jen, že suchá období se začala objevovat před 6–5,5 tisíce a 4,5–4 tisíci let na celém území Sahary. Sahara byla celkově suchá už v pozdním holocénu, tedy už před 2 tisíci lety, a extrémně krutá sucha se začala objevovat před 1,2–1 tisícem let. Tehdejší podmínky jsou srovnatelné s dnešními a do budoucna jsou očekávána další a delší sucha v důsledku globálního oteplování.

Za posledních 40 let se voda v jezerech Afriky oteplila průměrně o 0,5 °C. Zvýšení teploty vede k vysychání jezer (například Čadské jezero) a k tání horských ledovců. Stejně jako v Austrálii i v Africe se objevuje problém spojený s vysycháním jezer a s rozšiřováním pouští.

Marek Křížek,
PřF UK v Praze,
krizekma@natur.cuni.cz

OTÁZKY DO VÝUKY:

1. Najdi na mapě Afriky a Austrálie pouštní oblasti a nalezni v nich vysychající jezera. Jak jsou tato jezera znázorněna kartograficky?
2. Vysvětli, co jsou to vádí, a ukaž, jak jsou znázorněna v mapách.
3. Pověz, co je to Sahel.
4. Existují také v Evropě písečné duny – současné i fosilní?
5. Diskutujte o předpokládaném přínosu vysokorychlostních tratí v Česku.
6. S využitím dostupných kartografických podkladů uvažujte, kam budou směřovat jednotlivé větve vysokorychlostních tratí zobrazených na mapce.

LITERATURA:

- Sandy P. Harrison (1993): Late Quaternary Lake-level Changes and Climates of Australia, *Quaternary Science Reviews*, Volume 12, Issue 4, s. 211–231.
- Francoise Gasse (2000): Hydrological changes in African tropics since the Last Glacial Maximum, *Quaternary Science Reviews*, Issue 19, 2000, s. 189–211.
- Philip Barker (2003): New evidence for a reduced water balance in East Africa during the Last Glacial Maximum: Implication for model-data comparison, *Quaternary Science Reviews*, Issue 22, 2003, s. 823–837.