

# Přílivy a odlivy pouští

Václav Cílek, Petr Pokorný

*V pondělí 3. června za horkého větru jihovýchodního jsme odpoledne zaslechli zvláštní pronikavé zvuky; jako by se byly někde daleko ozvaly parní píšťaly. Vyšed ze zámku, byl jsem obklíčen tisíci a tisíci kobyilkami. Tvořily husté mračno, jímž ani slunce nepronikalo. Snášely se. Zakrátko pokryly celé okolí dobře na tři prsty. Každá větévka, každý stonek se pod nimi ohýbal. Nervy se mně rozbolely ze stálého chrastění jejich křídel a sanic. Šel jsem k terebintovým stromům na otop. Tisíce, ba snad statisíce kobylek na nich viselo. Jednotlivé větévky se pod nimi lámaly.*

(Alois Musil, *V roklích edomských*, 1932)

## Spletitý příběh bez konce – klimatická variabilita na Sahaře

Sahara je největší, nejsušší a nejteplejší poušť světa. Je v neustálém pohybu, fosilní záznam starších klimatických změn je ničen jak deflací, odvanutím sedimentů, tak naopak jejich pohřbením pod mocnými vrstvami písku, případně přínosem materiálu při silných přívalových deštích. Výsledek je, že na Sahaře a na jejím jižním okraji – v sahelu – jen málokdy nalézáme starší datovatelné sedimenty. Jen několik málo ze stovek dostupných radiouhlíkových dat je starších než 11 tisíc let.

Na nejstarší historii Sahary proto usuzujeme z mořských vrtů v Arabském moři a v Atlantském oceánu, kde je ukazatelem aridity přilehlého kontinentu množství větrem donesených křemenných zrn se stopami srážek s jinými zrny a načervenalý až oranžový povlak železa. Jiným indikátorem jsou polohy vápnných usazenin blízkých našim pěnvcům, či dokonce lučným křídám, které se tvořily v mocnostech i přes 20 m v mělkých jezerech a vápnných močálech. Jedna významná

epizoda jejich formace se odehrála před 45–23 tisíci let, tedy v období, kdy i v našich středoevropských spraších pozorujeme nejméně tři vlhčí epizody spjaté s paleolitickými kulturami „lovců mamutů“: bohuniciénem a pavloviénem. Přesto se ukazuje, že souběžnost saharského a evropského počasí funguje jen někdy, protože v jiných případech se více uplatňují mechanismy, jako je *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) či *Indian Ocean Dipole* (IOD), typické pro jižní polokouli; podstatou obou mechanismů jsou několikaleté změny povrchové teploty Indického a Tichého oceánu, které ovlivňují sílu větrů přinášejících nad kontinenty srážky.

Další nepřímé údaje o přílivech a odlivech pouští v rytmu klimatických změn můžeme vyčíst z pásma dnes již neaktivních („fosilních“) pouštních dun, které jsou dnes pokryty vegetací, anebo ze střídání jemných jezerních usazenin a písčitých poloh mezi dunami. Proto se nám někdy zdá, že saharské klima má jenom dvě krajní polohy: sucho a vlhko. Obraz dlouhodobých klimatických změn je však zastřen krátkodobými variacemi – např. v suchých letech 1970–1990 postoupil

Dno periodického jezera v pánvi Etosha v Namibii na konci období sucha. V bahně vyschlého jezera přežívají dvojdyšné ryby.  
←



Jen menší část Sahary je pokryta písečnými dunami, zbytek je spíše skalnatý nebo jej tvoří jednotvárné *hamady* – kamenité pláně. Duny jsou všude tam, kde je dostatečný zdroj písku, obvykle poblíž starých říčních koryt. Po nástupu suchého období říční písek přemístil vítr a nejčastěji ho uložil v podobě lineárních pásů dun. Egyptská Západní poušť.

Pohyblivé duny nesou název *barchany*. Jejich tvar je půlměsíčitý, obě špičky směřují po větru. Súdán, Horní Núbie.



Pěnovce (travertiny) se usazovaly na vývěrech vody a ve vápnatých močálech. Jsou jedním z indikátorů kdysi vlhkého klimatu v prostoru dnešní Sahary. Na obrázku z egyptské Západní pouště (tzv. Bílé pouště na okraji oázy Farafra) je vidět větrem vypreparované stopy po kořenech rostlin a po lezení živočichů; tehdejší močál zjevně překypoval životem.

jižní okraj Sahary až o 130 km na jih, z výskytů fosilních dun datovaných do poslední doby ledové můžeme usuzovat na rozšíření Sahary až o 200 km jižním směrem. K podobnému výsledku tedy v jednom případě stačí zdánlivě okrajová epizoda o délce trvání méně než 30 let a v druhém razantní klimatická událost, jakou doba ledová určitě je (či její suchá část, která na Sahaře začala nejpozději před 66 tisíci lety), o délce několik desítek tisíců let.

Saharské klima má navíc dva vládce – prvním jsou na severní třetině Sahary severozápadní větry přinášející vláhu od Atlantského oceánu, druhým je úplně jiný mechanismus, působící na jižní polovině Sahary a spjatý s polohou tzv. mezitropické zóny konvergence (*Inter-Tropical Convergence Zone*, ITCZ), která ovlivňuje monzunové srážky. Tyto dva mechanismy jsou někdy „ve fázi“ a působí společně, zatímco jindy se rozcházejí. Například jezero Čad mělo vysoké hladiny v letech 1100–1400 n. l. a později v 17. století, zatímco v 15. až 16. století bylo částečně

vyschlé. Ve stejné době se východoafrická jezera chovala opačně.

V čem spočívá jedinečnost saharského a sahelského klimatu?

- Klimatické zvraty jsou radikální. Co bylo jezerem, stalo se pouští a jednou bude možná opět jezerem.
- Klimatické zvraty jsou rychlé a početné. Může k nim dojít již během jednoho desetiletí, a to kdykoli – v dobách ledových, meziledových, v holocénu i v nejbližší budoucnosti.
- Každá pouštní krajina má svoji trochu jinou klimatickou odezvu. Pramen či jezero si může udržet vodu po dalších desetiletí či staletí, zatímco jen několik desítek kilometrů vzdálené místní zdroje dávno vyschly. Environmentální změny, krize a migrace mívají individuální, těžko předvídatelný průběh.
- Detailní výzkumy rovněž ukazují nejen to, že každá oblast má svoji jedinečnou historii, ale i že lidé nereagují na sucho jednotným způsobem – naopak mají celou řadu strategií a inovací,



takže zevšeobecnění je obtížné nebo nemožné.

- S tímto klimatickým režimem souzní adaptabilita lidských společností, v níž proměna lovců a rybářů v zemědělce a zemědělce v pastevece je běžná a patří k životu stejně jako nomádství a s ním související občasné kmenové války.
- Sucho v tropickém lese východní Afriky znamená zvětšení travnatých ploch na úkor lesů, a tím výhodnější podmínky pro pastvu i život člověka. Totéž sucho v sahelu ovšem znamená zánik osídlení. Je pravděpodobné, že dlouhá kontinuální evoluce moderního člověka i jeho předků je vázána na hornatý reliéf zejména východní Afriky právě proto, že tam klimatická změna znamená relativně malý posun biotopu na svahu jedné sopky o pár set metrů výš nebo níž.

Saharská oblast sice vypadá jednolitě, ale přece jen leží na rozhraní dvou klimatických systémů.

Ze severu a severozápadu proudí vlhčí oceánské větry, které přinášejí od pobřeží vláhu, ale při kontaktu s teplým a suchým saharským vzduchem se ředí a rychle se vysušují, takže pobřeží přechází na vzdálenosti 10–30 km do pouště ostrým klimatickým a vegetačním gradientem. Nad pouští během dne stoupá horký a suchý vzduch, který během noci opět klesá. Výsledkem tohoto cyklického padavého pohybu je nulový odpar a nulové srážky.

Saharská oblast tedy negeneruje vlhké klima a ani směrem od severu nepřijímá významnější srážky. Jak je tomu od jihu?

Téměř jediným zdrojem vlhkosti je od jihu přicházející letní monzun. Během

Jihoafrická „poušť“ Kalahari je ve skutečnosti suchá (aridní) savana, o její pouštní minulosti však svědčí pásma písečných dun, dnes zarostlá vegetací. Na obrázku je zarostlá lineární duna vysoká několik desítek metrů a dlouhá mnoho kilometrů. Podobné lineární duny, ovšem aktivní, najdeme dnes na Sahaře.

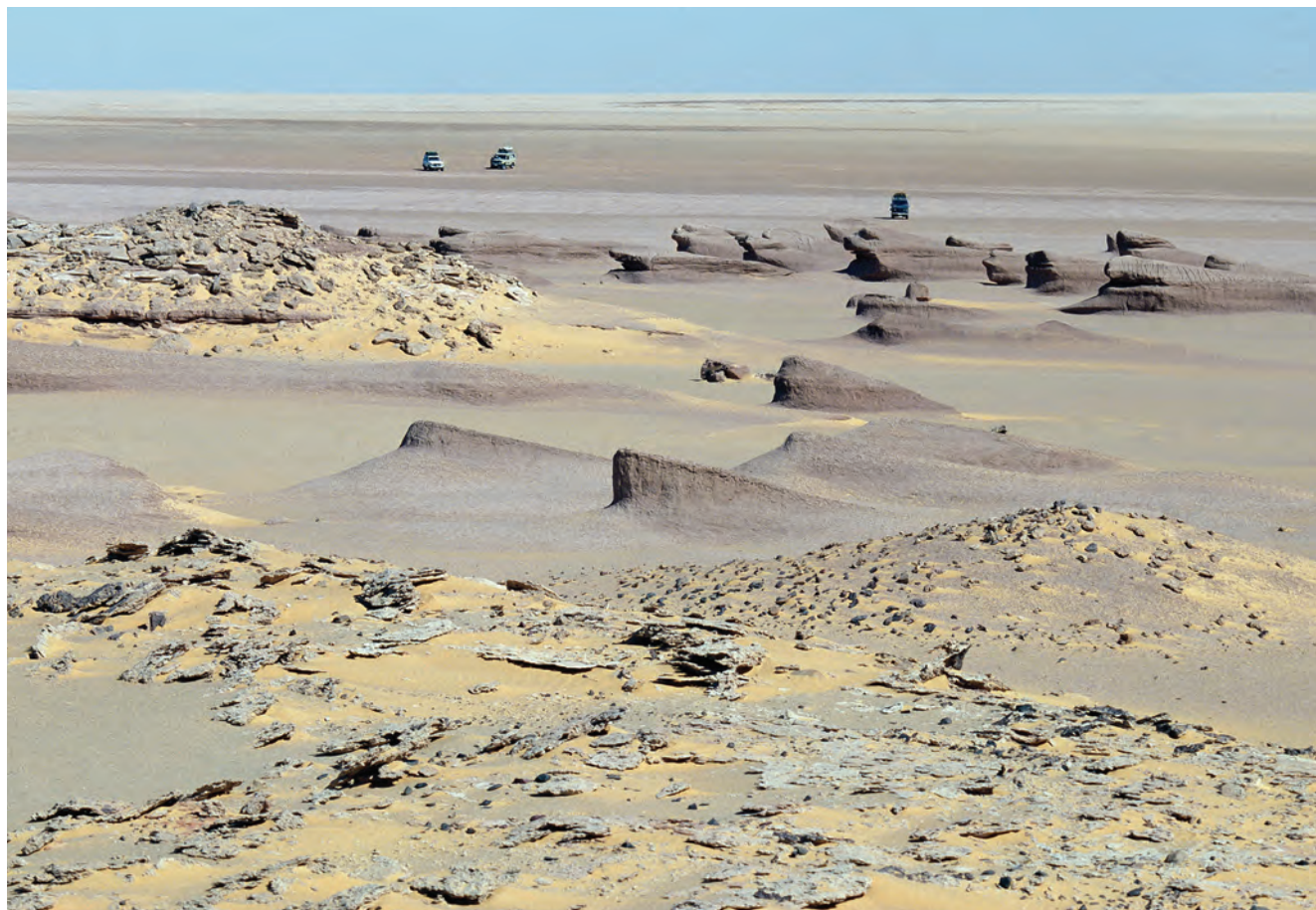
posledních tří desetiletí klimatologové prokázali, že monzun funguje na základě *insolace*, tedy množství slunečního záření, které dopadá na jednotku plochy (Kutzbach a Street-Perrot 1985). Toto množství závisí v delších časových úsecích (měřených v tisících a desetitisících let) na vzájemné pozici Slunce a Země, tedy na momentální konfiguraci v rámci tzv. Milankovičova cyklu. Pokud na souš dopadá více energie, více se zahřívá. Teplý vzduch stoupá vzhůru a vytváří oblast nízkého tlaku. Vzdušné masy obecně proudí jako voda z vysokých do nízkých oblastí. Teplá souš tak vlastně nasává vlhký vzduch nad oceánem. Sahara leží podél obratníku Raka, tedy v zeměpisných šířkách, které dostávají v letním období nejvíce slunečního záření. Vysoká insolace

na Sahaře znamená, že monzun zasáhne hlouběji do nitra kontinentu a zaplní jezero tropického pásma, jež jsou zdrojnicí Nilu. Občasné menší deště však budou zasahovat dále na sever, takže poušť se rovněž posune na sever a její jižní okraj se promění v polopoušť, nebo dokonce v savanu. Vysoké hory jako Tibesti, Ahagar nebo Džebel Uweinát budou dostávat mnohem více srážek (v některých případech dokonce o staletí dříve než okolní poušť; Hoelzmann a kol. 2004) a stanou se zdrojnicí dlouhých řek překonávajících Saharu, případně napájejících jezerní pánve.

Saharské klima je citlivé k jakýmkoliv změnám. Snadno dojde k překročení prahu stability. Je málo oblastí na Zemi, kde je vazba mezi klimatem a životním prostředím (či lidskými společnostmi) tak

Děšť, na který se na Sahaře čeká třeba i několik let, je příležitostí pro rostliny, aby vyrašily, zazelenaly se a vykvetly. Je s podivem, kolik semen a podzemních orgánů rostlin pod povrchem pouště čeká na svoji příležitost. Na obrázku kvete hvězdicovitá rostlina hadí mord (*Scorzonera undulata*).





výrazná jako v saharské oblasti. V obdobích vysoké insolace je monzun silnější a prší víc. Základní insolační cyklus je řízen Milankovičovým parametrem precese (popisujícím změny v krouživém pohybu zemské osy pod gravitačním vlivem Měsíce a Slunce) s periodou přibližně 22 tisíc let. Protože ledové doby trvají během posledního milionu let přibližně 100 tisíc let, jsou při periodě 22 tisíc let přerušovány vlhčími obdobími, které by měly zhruba odpovídat některým paleolitickým migracím ven z Afriky (viz kapitolu J. A. Svobody). Všechny meziledové doby včetně té současné, holocénu, rovněž začínají větší insolací, takže i počátky či první poloviny meziledových dob jsou vlhké. V těchto obdobích vznikala na Sahaře rozsáhlá mělká jezera s krokodýly a hrochy a ob-

jevila se stáda slonů, žiraf a antilop, jaká dnes známe z Keni, Tanzanie či jižní Afriky a jaká jsou zaznamenána na stovkách skalních kreseb a rytin celé Sahary. Těmto obdobím říkáme obecně „zelená Sahara“. Poslední takové období, které označujeme jako africkou vlhkou fází (*African Humid Phase*), nastalo před 12–6 tisíci lety. Doklady dřívějších „zelených Sahar“ se opírají hlavně o systémy různě starých fosilních vádí a o výskyt sedimentů ve starých jezerních pánvích.

Vysoké vodní stavy Nigeru a krátce poté i Nilu začaly před 13 500 lety, ale pak nastoupil suchý mladší dryas, který zhruba před 12 000 lety přešel do dlouhého vlhkého období odpovídajícímu zvýšeným stavům Nilu a zelené Sahaře. Toto vlhké období bylo přerušeno nejméně jednou

Co bylo jednou jezerem, stalo se pouští. Dokladů holocenního vysychání najdeme v prostoru Sahary nepřeberné množství, mezi nejčastější patří zbytky jezerních usazenin modelované větrnou erozí do bočníkovitých tvarů, tzv. *jardangů*. Hojnost a datování takových dokladů svědčí, že Sahara byla ještě před 6 tisíci lety krajinou jezer, jež se nacházela v každé, i mělké sníženině. Na obrázku jsou *jardangy* z oblasti Gilf Kebír v egyptské Západní poušti.

výraznější suchou fází odpovídající klimatické události před 8200 lety, což je jediná známá klimatická změna v rámci holocénu, která prokazatelně zasáhla celý svět (i když různou měrou a různým způsobem; Walker a kol. 2012).

Z hlediska celého kontinentu skončilo vlhké období před 5500 lety, ale různé oblasti reagovaly odlišně, takže se tato fáze odehrávala zhruba před 6500–5500 lety. Migrace z vysychající Sahary do nilského údolí podle současných teorií vytvořila sociální a organizační základ, ze kterého během necelého tisíciletí vznikla nejstarší vyspělá civilizace světa. Její formování můžeme poprvé sledovat v oblasti Núbie, tedy na pomezí dnešního Egypta a Súdánu. K poznání souvislostí mezi vysycháním Sahary, formováním komplexních neolitických kultur v Núbii a vznikem staroegyptské civilizace významně přispěly výzkumy archeologů Freda Wendorfa a Romualda Schilda, jejichž spojená prehistorická expedice po několik desetiletí působila v egyptské Západní

poušti (Wendorf, Schild a kol. 2006). Jako přelomový se v tomto kontextu ukázal archeologický výzkum unikátního souboru lokalit Nabta Plaja, datovaných do 2. poloviny 5. tisíciletí př. n. l. a ležících přibližně sto kilometrů na západ od slavného chrámu Ramesse II. v Abú Simbelu. Je unikátní astronomicky orientovanými stavbami monumentálního charakteru, které lze chápat jako předobraz pozdější staroegyptské architektury.

Další velmi výrazné suché období nastalo v severní Africe v době rozpadu egyptské Staré říše před 4200–4000 lety. Africká tropická jezera tehdy ukazují silně rozkolísaný chod klimatu i v měřítku desetiletí a staletí. Odrazem těchto událostí v horním povodí Nilu byl těžko předvídatelný povodňový režim v řece. Dobové doklady svědčící o nepravidelných nilských povodních máme např. v podobě slavné Palermské desky s písemnými údaji o výšce záplav v jednotlivých letech. Výšky hladiny Nilu zaznamenané na Palermské desce byly pravděpodobně naměřeny



Dalším „klasickým“ důkazem vlhké minulosti Sahary jsou nálezy pštrosích vaječných skořápek. Jsou přímo datovatelné radiouhlíkovou metodou. Pštros je savanový pták a jeho postupný ústup na jih v průběhu vysychání je snadno dokumentovatelný. Mezolitičtí a neolitičtí obyvatelé Sahary ze skořápek vyráběli zdobené nádoby na vodu a korále, které se nacházejí na archeologických lokalitách. Foto z oblasti Abú Ballás, jihozápadní Egypt.

přímo ve starověkém městě Memfidě, které leželo poblíž pyramidových polí v Sakkáře a Abúsíru (Wilkinson 2000).

Poslední 2 tisíce let vnímáme jako poměrně stabilní období, ale vrty do jezerních sedimentů ve střední Keni ukazují, že za posledních 1800 let došlo k nejméně sedmi dlouhým obdobím sucha trvajících nejméně 10 let, které byly intenzivnější než jakákoli sucha zaznamenaná ve 20. století! Znamená to, že zhruba každých 250 let dochází k devastujícím suchým výkyvům, jaké mohou v časovém horizontu 100–150 let směrem do budoucna postihnout celou Afriku nebo její větší část.

Při analýzách rozmanitých údajů o změnách klimatu od konce poslední ledové doby docházejí někteří badatelé k přesvědčení, že se jim podařilo identifikovat harmonický (nebo alespoň kvazi-harmonický) globální cyklus střídání chladných a teplých, respektive vlhkých a suchých period. Americký klimatolog Gerard Bond takových cyklů identifikoval pět a stanovil jejich periodicitu na 1500 let. Domnívá se, že příčinou jsou změny oceánické cirkulace ovlivněné cyklem sluneční aktivity (Bond a kol. 1997, 2001). Ani tato suchá a vlhká období nejsou tak homogenní, jak se zpočátku zdálo, ale jsou přerušována nepravidelnými oscilacemi v měřítku 30–50 let. Kromě toho existují také silně nepravidelné „cykly“ o délce trvání 5–7 let a 2–3 let. Výsledkem mezihry těchto cyklů je mimořádně proměnlivé klima ve velmi různých časových škálách.

V okolí saharských jezer to v období „zelené Sahary“ muselo vypadat podobně jako na fotografii z pánve Etosha v severní Namibii: spousta zvířat a na obzoru bouřková oblačnost letního monzunu. Saharská jezera byla mělká a v suché (zimní) části roku částečně nebo úplně vysychala. Proto muselo docházet k velkým migracím zvířat.





