

Cesty saharského prachu

Pouště severní Afriky jsou největším globálním zdrojem atmosférického prachu. Z více než poloviny přispívají k jeho produkci. Čas od času dorazí saharský prach i k nám do střední Evropy. Nažloutlý poprašek zakalí vodu v loužích a objeví se na karoseriích aut. Naprostá většina ho však skončí v Atlantském oceánu a v tropickém pásu obou Amerik. Na své cestě od zdroje do místa uložení sehrává tento prach zásadní klimatickou a ekologickou úlohu. Odráží, rozptyluje a pohlcuje sluneční záření, čímž ovlivňuje radiační rovnováhu planety. Kondenzační jádra v podobě prachových částic významně přispívají k tvorbě oblačnosti. Železo, fosfor a v menší míře i další živiny v prachu obsažené zúrodňují vzdálené oceánské i suchozemské ekosystémy.

Sahara v dnešní podobě vznikla před pouhými pěti tisíci let. Šlo o největší ekologickou katastrofu v postglaciálních dějinách naší planety. Někdejší savana plná jezer, řek a vnitrozemských delt se v překvapivě krátké době změnila v absolutní poušť. Život se stáhl do drobných oáz, k řece Nilu, na pobřeží Středozemního moře a především daleko k jihu, do sahelského pásu a ještě dál směrem k rovníku (Pausata a kol. 2020). Ohromné prostory severní Afriky ovládl Aiolos, bůh větru (latinsky Aeolos). Vítr začal rozfoukávat všechno jemné, co se tu za dlouhá tisíciletí uložilo: prach z rozpadlých hornin, z půd, z jezerních a říčních usazenin. Zásoba prachu je natolik velká, že dodnes nebyla vyčerpána.

Vzduch nad Saharou je prachem nasycen téměř neustále. Za extrémních meteorologických podmínek tu vznikají děsivé

prachové bouře, při kterých se téměř nedá dýchat a oči je nutno zakrývat šátkem. Prach skřípe mezi zuby, ničí počítače, fotoaparáty i veškerou další techniku. Jakmile se zvedne do vyšších vrstev atmosféry, chopí se ho pasáty, které trvale vanou od východu na západ. Na jejich křídlech letí jemný materiál přes polovinu planety, ze vzduchu postupně vypadává a hnojí Atlantský oceán i pralesy Střední a Jižní Ameriky. Oceán „vykvétá“ zeleným planktonem a na neúrodných půdách Amazonie bují tropické deštné lesy. Zdá se to neuvěřitelné, ale bez přísunu úrodného saharského prachu by Amazonské pánvi nejspíš vévodily travnaté tropické savany typu llanos a pantanal, s galeriovými lesy podél vodních toků. Saharský prach totiž kompenzuje průběžnou ztrátu biogenních prvků způsobenou vymýváním pralesních půd

ve vlhkém tropickém klimatu, čímž udržuje podmínky pro existenci bujného tropického lesa (Wang a kol. 2023).

V říši větrného boha

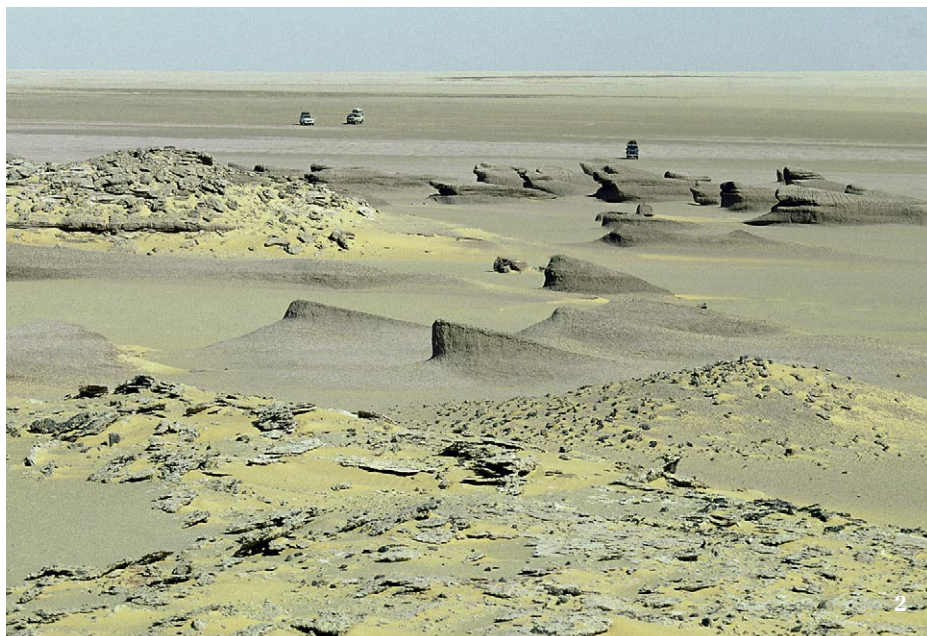
Když se Středoevropan ocitne na Sahaře, zpočátku vůbec netuší, co má vlastně před očima. Je zmaten a nechápe, jak mohly vzniknout všechny ty roztodivné tvary skal, terénní prohlubeniny, protáhlé hřbety, písčná moře a pouštní dlažby. Nejsme zvyklí na krajiny, které modeluje denní výheň, noční chlad a především všudypřítomný vítr. Učíme se dávat spatřené jevy do souvislostí, nalézat smysl v podobě celých nedozírných krajin. Chápat ohromnou sílu větru, který hlodá a přesouvá materiál po malých zrnkách, zato však setrvale. Vítr tu pracuje se starými horninovými substráty jako sochař. V tvrdých skalách vyvrtává otvory, vytváří neforemné věže a gigantické bochníky (obr. 1). Lehce si pohrává s měkkými usazeninami z časů, kdy Sahara nebyla ještě pouští, ale savanou, překypující životem (obr. 2 a 3). Obnažuje práchnivé kosti, skořápky pštrosích vajec, archeologické pozůstatky z nejrůznějších dob. Udušává terén tak, že je úplně tvrdý, a jinde ho naopak kypří, takže je obtížné se v něm pohybovat. Klasifikace nejrůznějších eolických procesů a výsledných terénních tvarů zabírá celé učebnice pouštní geomorfologie (z novějších např. Parsons 2009; blíže také str. 218–220 této Živy). Slovo eolický je odvozeno od řeckého jména boha větru, výše zmíněného Aiola.

Kolébání planety a saharská vodní pumpa

Osa otáčení Země se vůči rovině oběžné dráhy kolébá jako špatně vyvážený setrvačnick. Děje se tak velice pomalu, s periodou 26 tisíc let. Tento děj nese název precesní cyklus a má dalekosáhlé důsledky.

1 Větre modelovaná krajina v egyptské Západní poušti





Mechanismus precese je docela jednoduchý, ale je poměrně obtížné objasnit ho v psaném textu. Nezbyváá než odkázat na některé z řady instruktážních videí dostupných na internetu (např. <https://www.youtube.com/watch?v=adx547ptck>).

Zazelenání prostoru dnešní Sahary umožnilo před 11 tisíci let určité postavení Země vůči Slunci v době kulminace jedné z krajních fází precesního cyklu (Kutzbach 1981). V čase severního léta svírala osa denní rotace planety nejostřejší úhel vůči rovině oběžné dráhy, se severním pólem přivráceným ke Slunci. Při pohledu ze Země, z míst kolem obratníku Raka, tehdy putovalo Slunce téměř dokonale nadhlavíkem, zatímco dnes putuje o něco níže nad jižním obzorem. Velké množství sluneční energie dopadající tehdy na jednotku plochy spouštělo jakousi gigantickou „pumpu“ na vlhký vzduch z přilehlých oceánů a rovníkových tropických pralesů a pohánělo letní monzuny přinášející na sever déšť. Zahřátý povrch souše v prostoru kolem obratníku Raka generoval vzestupné (konvekční) proudění teplého vzduchu, které nasávalo vlhký vzduch z okolí.



Později, když se orbitální konfigurace více přiblížila dnešnímu stavu, začala Sahara vysychat. Letní monzun zeslábl a deště se tím pádem nedostávaly tak daleko na sever. Při pohledu ze Sahary už se minimálně pět tisíc let nacházíme na šikmé ploše vedoucí pomalu k příchodu další ledové doby. Není to zvláštní představa, jestliže se dnes tolik mluví o globálním oteplování? Nikoli. Současné oteplování způsobené lidskou činností je totiž faktor, který právě popsanou aktivitu letního monzunu v podstatě neovlivňuje. „Skleníkové“ oteplování atmosféry naopak zvyšuje lokální odpar vody, čímž ještě víc prohlubuje vodní deficit suchých oblastí.

Popsaná historie se do jisté míry týká i jiných pouštních a polopouštních území ležících uvnitř velkých severních kontinentů. V jejich případě ovšem není efekt kolísání monzunové aktivity zdaleka tak dramatický, protože významnou roli hrají velké horské bariéry, které na Sahaře nejsou. Vysoká pásmová pohoří totiž do značné míry blokuji vstup vodou nasycených vzdušných mas dál do nitra souše. Jižní polokoule funguje z hlediska vodní „pumpy“ v protifázi, protože pomalé kolébání Země vůči

2 Vyschlé dno velkého jezera, které v oblasti Gifl Kebir, na pomezí dnešního Egypta, Libye a Súdánu, existovalo v období staršího holocénu. Hnědě zbarvené sedimenty byly po vyschnutí jezera téměř úplně odneseny větrem a zbytek erodoval do podoby protáhých hřbítů – jardangů.

3 Staré jezerní usazeniny z předchozího snímku nesou jasné stopy po někdejší bujném životě. Bahno bylo prorostlé kořeny mokřadní vegetace a prohnětené činností bezobratlých živočichů.

4 Savana v severozápadní Botswaně porůstá rozsáhlé pásmo starých pouštních dun. Jižní polokoule, na rozdíl od polokoule severní, dnes v rámci čtvrtohorního klimatického cyklu zažívá relativně vlhké období. Tak nějak mohly vypadat saharské krajiny ve starší polovině holocénu.

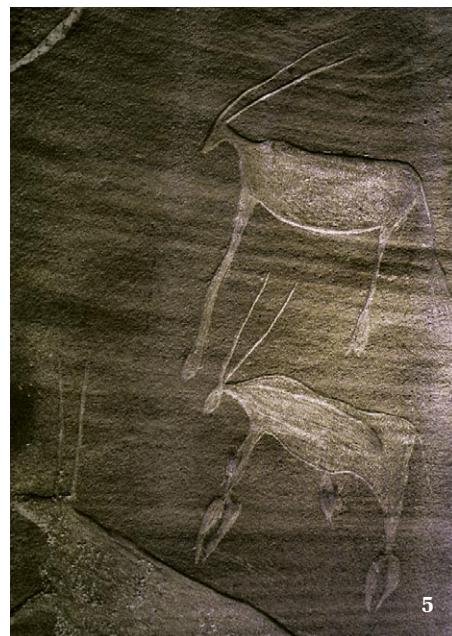
5 Skalní rytiny neolitického stáří v oblasti Gifl Kebir dokumentují lidskou přítomnost v tomto dnes velmi odlehklém pouštním území. Zároveň umožňují rekonstruovat faunu z období zelené Sahary. Snímky P. Pokorného

rovině oběžné dráhy se projevuje na severu a na jihu v odlišnou dobu. Když sever dostává hodně slunečního záření, na jihu je ho nedostatek. A platí to i naopak (obr. 4). Jižní kontinenty ale nejsou tak rozlehlé a většinu plochy tam tvoří oceány, což vznikou velkých kontinentálních pouští – s výjimkou Austrálie – obecně neprospívá.

Historie Sahary čtená ze dna oceánu

Opakované zelenání a vysychání saharského prostoru v průběhu čtvrtohorního klimatického cyklu řízeného výše popsanými orbitálními vlivy máme dnes podrobně zdokumentováno. Můžeme studovat kolísání hladiny dosud existujících saharských jezer, jako je např. jezero Čadské. Během výzkumu starých sedimentů můžeme datovat okamžik vyschnutí vodních ploch, které dnes už ani neexistují. S využitím archeologických nálezů a díky dokumentaci skalního umění (obr. 5) můžeme datovat vznik a zánik lidského osídlení v saharském prostoru. Jeden zvlášť zajímavý zdroj poznání této dramatické historie však stojí za obsáhlejší zmínku, protože přímo souvisí s dálkovými cestami saharského prachu.

Od 70. let minulého století probíhá intenzivní průzkum oceánského dna za pomoci hlubokomořských vrtů. V Atlantském oceánu, na západ od severoafrického pobřeží, se ve vrtných jádrech podařilo identifikovat minerální složku, která má původ právě na Sahaře. Obsah prachu usazeného na dně je ale silně proměnlivý v čase. Podle očekávání odpovídá vývoji podmínek v severní Africe pod taktovkou výše popsaných proměn oběžné dráhy Země (Demenocal 2000). V souvislých sedimentárních archivech vytažených ze dna oceánu je skutečně možné identifikovat celou řadu do sebe vnořených cyklů, včetně 26 tisíc let dlouhého cyklu precesního. Orbitální cykly jsou pozvolné a harmonické. Přesto mohou být jejich projevy plné náhlých zvrátů, jak ukazují právě hlubokomořské záznamy. Souvisí to se složitou povahou nejrůznějších zpětných vazeb v planetárním systému, který zahrnuje kosmické prostředí Země, atmosféru, oceány,



kryosféru (ledovce), kontinenty a biosféru. Setrvačné procesy někdy mohou brzdit bezprostřední projevy řídicích složek celkové dynamiky. Na druhou stranu mohou být nastartovány pozitivní zpětné vazby, které přivodí body zlomu (ve vědách o planetě Zemi ony často skloňované tipping points), a výsledky se naopak dostaví nečekaně rychle.

Příkladem účinku bodu zlomu je právě severoafrická ekologická katastrofa, která

nastala před pěti tisíci let, kdy se Aiolos tak nečekaně a mocně ujal vlády nad Saharou. Všechno zlé ale může být k něčemu dobré, což vidíme z toho, jak se saharská krize promítla do dění v údolí Nilu (Kuper a Kröpelin 2006). Přímo odpovědí na šíření neobyvatelné pouště byl vznik jedné z nejstarších starověkých civilizací světa. Obyvatelé vysychající severovýchodní Afriky se totiž museli stáhnout do úzoučké říční oázy podél dolního toku Nilu. Příchozích

bylo tolik a byli soustředěni na tak malém prostoru, že jim nezbylo, než vyvinout organizačně náročnou technologii závlahového zemědělství, aby se uživil. Neustále ji zdokonaľovali a výsledek byl nakonec natolik efektivní, že mohlo vzniknout všechno to, co na staroegyptské civilizaci obdivovaly pozdější věky, a co obdivujeme dodnes.

Použitou literaturu uvádíme na webové stránce Živy.

Pavla Dagsson-Waldhauserová

Polární prachové bouře

Většina pouští na světě se rozkládá v subtropickém pásu a okolo obratníků. Tyto pouště jsou hlavním zdrojem prachu. Je to dáno cirkulací atmosféry, protože v oblastech obratníků dochází k sestupu suchého vzduchu z vyšších vrstev atmosféry a k častému výskytu tlakových výší. Dále se pouště nacházejí ve srážkových stínech na závětrných stranách pohoří nebo vznikají vlivem studených mořských proudů. Existují ale i pouště a zvířený prach polárních oblastí. Velké množství prachu na světě rovněž pochází z lidské činnosti, např. ze zemědělstvím nebo průmyslem odkrytých půd nebo nepevných sedimentů. I takové prachové bouře se šíří stovky kilometrů napříč kontinenty. Prachové bouře všeho druhu mohou způsobovat zdravotní, technické i dopravní, zejména letecké komplikace i s ohrožením života.

Rozlehlé pouštní oblasti se tedy vyskytují také v polárních nebo chladných horských územích. I když je největší poušť Sahara s 9 miliony km², velké plochy pouští se nacházejí skryté pod ledovcem. Jen antarktická poušť by měla 14 milionů km². Polární a subpolární oblasti jsou největrnějšími místy na zeměkouli a rozloha prokazatelně aktivních pouštních zdrojů prachu pro atmosféru v nich zaujímá přes 1,6 milio-

nu km². Pouště vyšších zeměpisných šířek (VZŠ) zásobují atmosféru alespoň 5 % celkového pouštního prachu ve vzduchu na světě. Jde přibližně o 100 milionů tun ročně. Nejaktivnější místa jsou často na okrajích ledovců, které produkují enormní množství nejjemnějšího prachu. Říká se jim anglicky dust hotspots neboli kritické prachové zdroje. Prachové bouře se často odehrávají několik hodin po každodenním odpoled-

ním tání ledovců a hlavně po ledovcových záplavách, tzv. jökulhlaup. Další aktivní prachové hotspots najdeme v řečištích řek, na pobřežích jezer, ve vyschlých jezerech, na písčitých plážích oceánů apod.

Nejznámější a nejprašnější pouště ve VZŠ se nacházejí na obou polokoulích Země. Na severu mezi ně patří Island, Kanada, Spojené státy americké, Grónsko, norské Špicberky, Skandinávie a severní Asie. Na jižní polokouli prach nejvíce uvolňuje Patagonie v Jižní Americe, Antarktida a Nový Zéland. Prachové zdroje v Antarktidě byly zatím velmi málo prozkoumány. Je to dáno i tím, že pouze 3 % tohoto kontinentu nepokrývá ledovec a měření přes zimní období jsou komplikovaná. Díky českým vědcům ale máme od r. 2018 unikátní letní měření z ostrova Jamese Rosse z Mendelovy polární stanice, která potvrzují, že tato oblast prochází nejrychlejšími změnami v Antarktidě, spojenými s velmi četnými prachovými bouřemi. V antarktickém létě 2020–21 zde byl vzduch znečištěný poléťavým prachem stejně jako v jedné z nejznečištěnějších měst Evropy, např. v Madridu, Barceloně či Londýně.

Dalším významným fenoménem je dálkový přenos prachových částic z pouští po celém světě. Prach z pouští v teplých oblastech dokáže cestovat přes 20 tisíc km, a ovlivnit místa relativně vzdálená. Příkladem je brazilský prales, pravidelně vystavovaný velkému množství saharského prachu, který dodává pralesu potřebné živiny a minerály. Pocházejí právě z uložení a odumřelých organismů na dně vyschlých jezer a řek na Sahaře, jež bývala oblastí