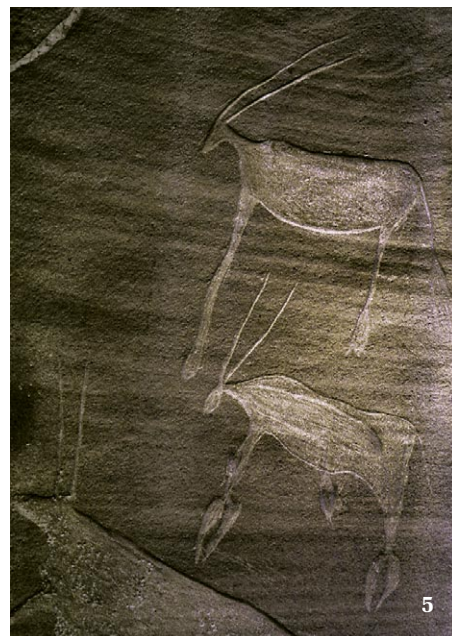




kryosféru (ledovce), kontinenty a biosféru. Setrvačné procesy někdy mohou brzdit bezprostřední projevy řídicích složek celkové dynamiky. Na druhou stranu mohou být nastartovány pozitivní zpětné vazby, které přivodí body zlomu (ve vědách o planetě Zemi ony často skloňované tipping points), a výsledky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



1 Černá písečná část pouště Dyngjúsandur na severovýchodním Islandu, která postupně pohřbívá kousky lávy a sopečných bomb z erupcí Holuhraun v letech 2014–15 a stratovulkánu Askjy pravděpodobně z 60. let 20. století (kráter v podobě horského hřebene v pozadí). Vzadu prachová bouře s jemnějšími částicemi, které mají světlejší barvu.

2 Koncová část ledovce Kötlujökull ústí přímo do pouště Mýrdalssandur na jižním Islandu. Černá poušť je tvořena jemným materiálem bohatým na vulkanické sklo. Ten je spolu se zbytky sopečného popela z erupcí v letech 2010 a 2011 unášen větrem na povrch ledovce, který je tím velmi znečištěn a tmavý. Slabší vrstva prachu způsobuje rychlé tání ledu, zatímco vrstva silnější než 1,3 cm ledovce izoluje a tání zabraňuje. Rychlé tání ledovce sledujeme jeho snímáním v dvouhodinových intervalech širokoúhlými kamerami v rámci projektu Planetwatch by Enlaps.

3 Prachová bouře na poušti Mýrdalssandur 5. září 2015. Hlavní prachové zdroje Islandu jsou monitorovány pomocí kamer, protože jsou velmi špatně dostupné. Jemný ledovcový prach je unášen na velké vzdálenosti a způsobuje znečištění ovzduší až v hlavním městě Reykjavíku. Detekován byl ale také v Irsku či Srbsku, nebo naopak až na Špicberkách.

4 Měření kvality vzduchu při prachové bouři na poušti Dyngjúsandur severně od ledovce Vatnajökull (bílý vrcholky v pozadí) v srpnu 2022. Koncentrace polétavého prachu v blízkosti zdrojových oblastí prachu mohou dosahovat až tisíckrát vyšší úrovně, než je doporučená hodnota bezpečná pro lidské zdraví podle evropské směrnice. Snímky P. Dagsson-Waldhauserové, není-li uvedeno jinak

5 Satelitní snímek prachové bouře z jižního Islandu směrem na Faerské ostrovy. Prachové bouře se ukazují jasnějšími barvami nad tmavým oceánem. Tato bouře proběhla 9. ledna 2021 a viditelná je její asi 300 km dlouhá část. Na jižní půlce Islandu se zimní prachové bouře vyskytují často. Zdroj: NASA

s hojnou vegetací (podrobněji v článku na str. 225–227). Najít ale důkazy dálkového přenosu prachu z pouští VZŠ je těžké, protože satelitní snímky tyto oblasti zachycují hůře. Bývá zde zataženo, v zimě je tu krátká doba slunečního svitu a neexistuje zatím parametrizace prachových zdrojů ze všech těchto oblastí pro prachové modely. První studie už ale potvrdily, že částčky prachu z polárních pouští se vzduchem dostávají tisíce kilometrů po Arktidě, z Arktidy do Evropy nebo z Patagonie do Antarktidy. Zde je nutno zdůraznit, že kromě prachu dokážou cestovat tisíce kilometrů i saze, např. z lesních požárů nebo domácích topenišť. Často cestují saze z požárů v Kanadě a USA do Arktidy a Skandinávie, naproti tomu saze z topenišť ve střední a východní Evropě, včetně České republiky, mohou negativně ovlivňovat kvalitu ovzduší a tání ledovců až v Arktidě.

Nejlépe prozkoumanou pouští VZŠ je Island. Přes 40 % jeho rozlohy tvoří poušť. S velikostí 44 tisíc km² jsou největší evropskou pouští. Islandský prach je navíc unikátní i svými vlastnostmi. Sopečný původ mu dává černou barvu, zrnka má atypicky drobná, ale ostrá, ve srovnání se zaoblenými prachovými zrnky např. ze Sahary. Pracho-

vé bouře jsou zde podle statistik od r. 1949 pozorovány průměrně 135 dní v roce, často na různých místech zároveň. Na severovýchodě se vyskytují nejčastěji od dubna–května do října–listopadu, na jihu nejvíce koncem islandské zimy a začátkem jara. Výskyt zimních prachových bouří v subpolární oblasti, jako je Island, je tímto velmi jedinečný. Při měření se ukázalo, že koncentrace jemného polétavého prachu, který dokáže člověk vdechnout, převyšují až tisíckrát hodnotu doporučenou podle evropské směrnice a dvoutisíckrát hodnotu podle Světové zdravotnické organizace. Podobná měření s tak vysokými hodnotami jsou vzácná i z hlavních světových pouští.

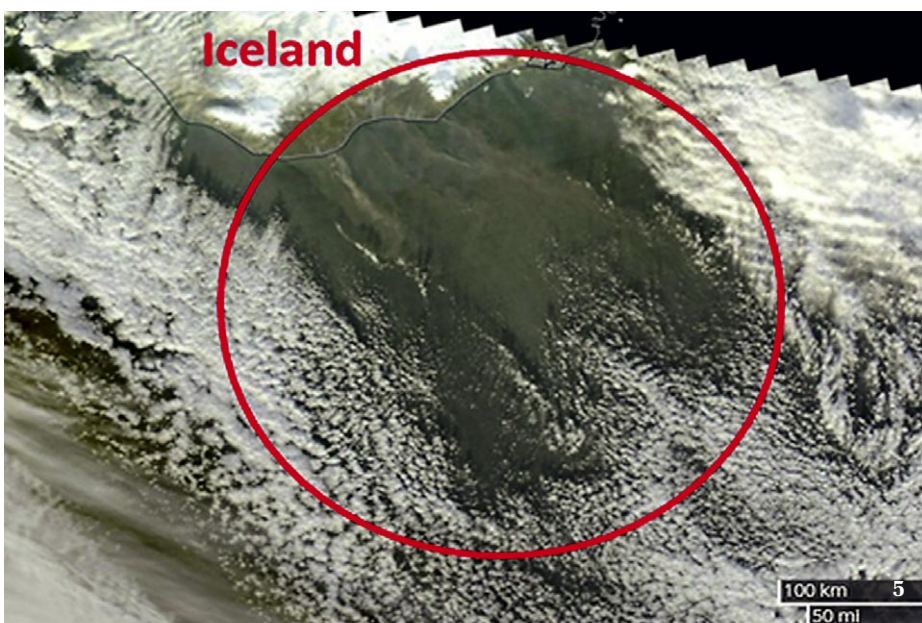
Islandský prach lze vzhledem k sopečnému původu snadno rozlišit od prachu z většiny Sahary, asijského prachu, ale i prachu z Grónska a Špicberk. Na základě studií, kde byl islandský prach zjištěn z filtrů umístěných v Evropě nebo na Špicberkách, nyní víme, že překoná až 3 500 km směrem do Evropy i do Arktidy. Ze satelitních snímků jsou detekované prachové bouře také směrem do Grónska a USA. Dálkový přenos do většiny Evropy způsobuje mírně zhoršenou kvalitu ovzduší, přičemž na Islandu

a v Arktidě je zhoršena více. Zároveň zde tento tmavý prach představuje významný činitel, který ovlivňuje klima několika různými přímými i nepřímými způsoby. Také proto se stal Island první pouští VZŠ, která disponuje předpovědí polárního prachu pomocí modelu DREAM z týmu Slobodana Nickovice ze Srbského hydrometeorologického ústavu. Model pohybu polárního prachu pro Island a Evropu je k dispozici na stránkách Světové meteorologické organizace vedle předpovědí pro Saharu a Blízký východ – World Meteorological Organization on Sand/Dust Storm Warning Advisory and Assessment System.

Vlivy vulkanického prachu na klima a polární oblasti

Atmosférická částice, která má podle zpráv Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) největší vliv na oteplování klimatu, je tmavá saze. Nejenže otepluje klima přímým kontaktem se slunečním zářením v atmosféře, ale nejvíce přispívá k oteplování, když saze napadají na led a sníh (přímý kontakt s kryosférou). Prach na Islandu je vulkanického původu a také tmavé barvy, proto funguje stejně jako saze – snižuje albedo (odrazivost slunečního záření od povrchu). Saze i islandský prach snižují zadržování vody ve sněhu. Naopak když je vrstva prachu po prachové bouři dostatečně silná (více než 13 mm), působí na led jako izolace a brání jeho tání. Arktický prach podle studií z Islandu, Špicberk a Severní Ameriky ovlivňuje velmi efektivně tvorbu oblaků a má v tomto ohledu velký klimatický význam, protože působí jako kondenzační jádra smíšených oblaků a rovněž mění jejich albedo. Z těchto důvodů byl polární prach vyhlášen významným klimatickým činitelem v polárních oblastech ve zprávě IPCC v r. 2019. Další studie ukázaly, že islandský prach ovlivňuje klima přímo v atmosféře. Reaguje se skleníkovými i jinými plyny, čímž se mění složení jednotlivých komponent. Ve srovnání s prachem ze Sahary a Asie absorbuje sluneční záření 2–8krát více v oblasti blízké infračervenému spektru, ve kterém nejsou klimatické vlivy zatím příliš probádány.

Islandský prach ovlivňuje tedy atmosféru a kryosféru, což je v polárních a subpolárních oblastech, které se oteplují až čtyřikrát rychleji než zbytek světa, stěžejní. Tím, že je Island ostrov, je důležité neopomenout vlivy na suchozemské i mořské ekosystémy, ale nezapomínat ani na socioekonomický sektor (zdraví, solární energetiku, leteckou dopravu). Island, často vyhledávaný pro nedotčenou přírodu, klame zdáním. Rozsáhlé pouště a téměř vymizení lesního porostu byly způsobeny zemědělskými postupy prvních obyvatel, kteří ostrov během méně než 120 let odlesnili. Kvůli drsnějším klimatickým podmínkám než v severní Evropě se dodnes nepodařilo ostrov přiblížit původnímu stavu. Následně prachové bouře vedly k masivní erozi, totálnímu kolapsu ekosystému a zániku historických farem. Naopak částečně pozitivní vliv islandského vulkanického prachu byl prokázán na rozšíření a rozmanitosti ptáčích druhů a obohacení půd a mořské vody živinami. V případě oceánů jde o další klimatický faktor pro vliv na fytoplankton a pohlcování oxidu uhličitého.



Polární prach je velmi důležitý klimatický činitel v křehkých polárních oblastech, a zároveň látka znečišťující ovzduší podobně jako ty z lidské činnosti, a proto bychom mu měli věnovat větší pozornost.

Práce byla podpořena Grantovou agenturou ČR (projekt č. 20-06168Y).

Použitou literaturu uvádíme na webových stránkách Živa.