

Grónský ledový příkrov

Záznam klimatologických údajů a krajinný fenomén

RADEK MIKULÁŠ

Grónský ledový příkrov je jediným ledovcem kontinentálního typu na severní polokouli. Kromě toho, že je na něj vázána plejáda fascinujících krajinných tvarů, využívá se – zejména v posledních patnácti letech – pro výzkum klimatu (viz Vesmír 72, 624, 1993/11). Záznamy o přibývání a ubývání ledové masy v současnosti jsou užitečné pro modelování soudobých klimatických trendů. Vrtná jádra zas poskytují informace o teplotách a složení atmosféry v mladším kvartéru. Navíc je grónský ledový příkrov podobný někdejší evropským kontinentálním ledovcům v pleistocenních ledových dobách, a proto umožňuje pochopit lépe procesy, které formovaly

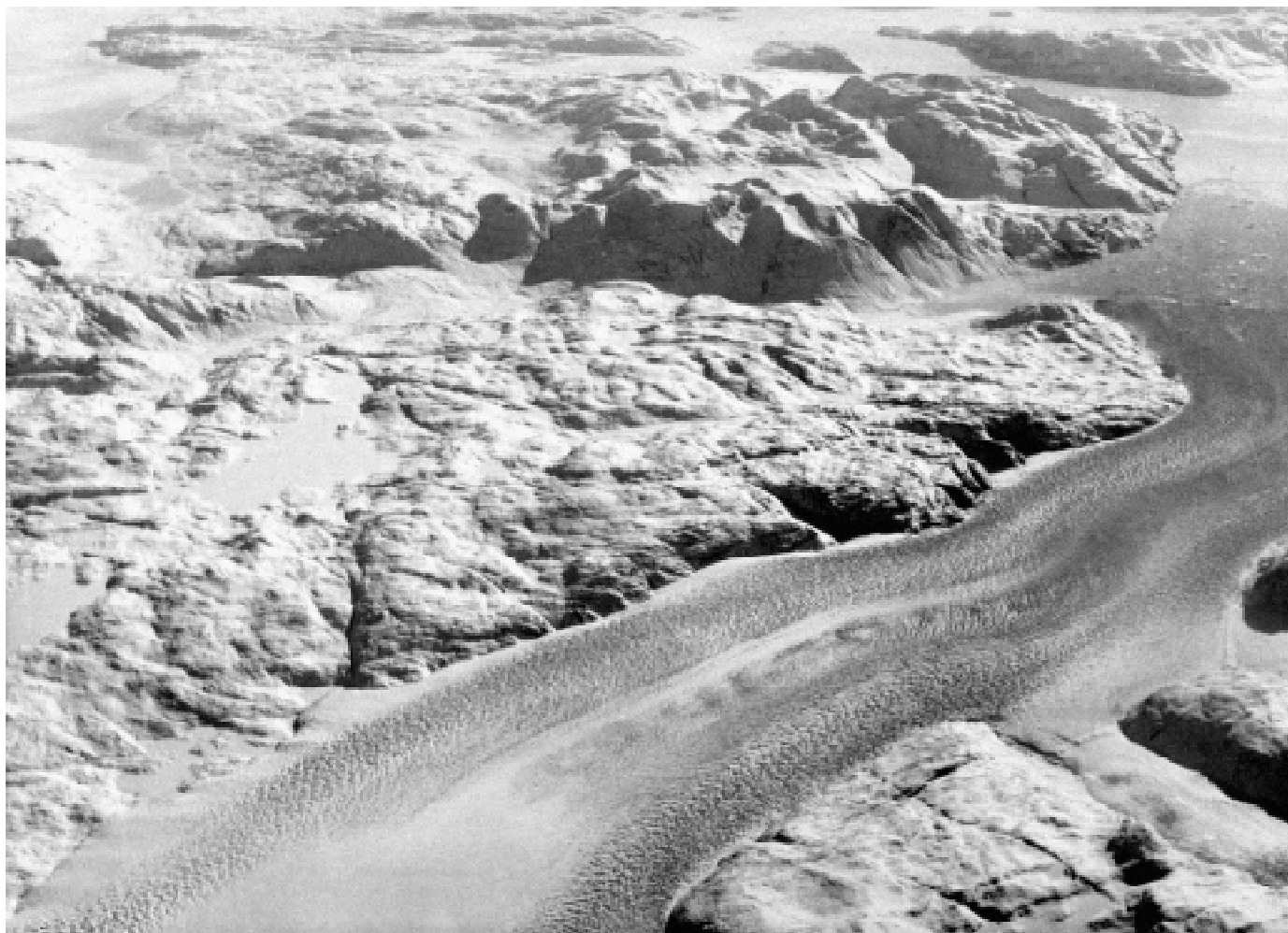
např. skandinávskou, ale do jisté míry i středoevropskou krajinu.

Topografie a vnitřní stavba grónského ledovce

Grónský ledový příkrov pokrývá přibližně 1,7 miliónu km², maximální délka je 2460 km od severu k jihu a 1100 km od východu na západ. Ve srovnání s ledovcem antarktickým je poměrně snadno dostupný: Grónsko má zejména na jihozápadním pobřeží stálé lidské osídlení a v létě i poměrně příznivé klima. Průměrná tloušťka ledu je přibližně 2 km, maximální 3 km. Grónský ledovec představuje 11 % z celkového objemu všech současných ledovců a obsahuje množství vody, které by způsobilo vzestup mořské hladiny o šest metrů. Firnová čára (hranice akumulární oblasti ledu) leží na severu Grónska v nadmořské výšce 200–400 m, na jihu 1600–1800 m. Uvnitř akumulární oblasti lze podle podílu ledu a vody rozlišovat oblast suchého sněhu a oblast průsakovou. Úzká okrajová zóna mimo akumulární oblast je místem, kde ubývá led – jednak táním na pevnině, jednak odlamováním ker na konci ledovcových splazů modelujících fjordy. Podmínky pro odtávání ledu jsou ovšem i na bázi ledovce, kde působí jednak tlak

RNDr. Radek Mikuláš (*1964) vystudoval geologii na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. V Geologickém ústavu AV ČR se zabývá studiem ichnofosilií. (e-mail: mikulas@gli.cas.cz)

1. Jihozápadní pobřeží Grónska poblíž Narssaliku je oblastí fjordů, částečně dosud dotvářených ledovcovými splazy, částečně již zalitých mořem (a tedy vytvořených v pleistocénu). Ve fjordu vidíme (zleva a odspoda) ledovcový splaz, mořský led a volnou mořskou hladinu. Snímky z března 1998 na této dvoustraně © Radek Mikuláš



nadloží, jednak vyšší teploty. Teplota ledu je totiž v povrchových vrstvách centrální části ledovce kolem $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale do hloubky a k okrajům se zvyšuje.

Grónský ledovec vyplňuje mělkou sníženinu. Skalní podklad leží v centrálních částech zpravidla pod úrovní mořské hladiny a horské hřbety jsou při okraji (obr. 3). Pohybující se ledová hmota směřuje ze dvou center – dómů – ve středovýchodní a v jižní oblasti směrem k okrajům a do hloubky. Pohyb ledu v těchto akumulčních zónách je poměrně pomalý, zpravidla několik metrů za rok. Hlavní dómy jsou odděleny sedlem a z něj směřuje k západu několik ledovcových proudů, které sledují údolní tvary skalního podkladu. Směřují do zálivů Disko a Umanak, kde v důsledku toho vzniká obrovské množství ker. Rychlosti toku ledu dosahují při okraji proudů neuvěřitelných 10 km za rok, a celkovém úbytku ledu se však přesto podílí větší měrou tání na bázi ledovce.

Během pleistocenního zalednění byl grónský ledovec podstatně větší. Podle J. S. Abera byl odhadem o 500 m silnější a sahal až k dnešní hraně kontinentálního šelfu [1]. Řada vrcholů dnešních pobřežních hor se projevovala jako *nunataky* – skalní suky vyčnívající z rovinnatého povrchu ledu (slovo *nunatak* pochází z eskymáckých jazyků). Ani v ledových dobách nebylo klima natolik chladné, aby *nunataky* byly zcela zbaveny vegetace a živočišstva. Větší plošné rozšíření ledovce bylo umožněno poklesem mořské hladiny v ledových dobách až o 150 m, a proto se předpokládá někdejší spojení grónského ledovce s ledovcovým pokryvem Ellesmerova ostrova. Větší zatížení pevniny ledem v pleistocénu vedlo zároveň k hlubšímu ponoření skalního podkladu, takže vzájemné poměry dnešních procesů a terénní konfigurace s procesy tehdejšími jsou komplikované. Rozšíření silného ledu mimo pevninské prostředí není na severní polokouli známo (např. průměrná tloušťka mořského ledu v oblasti severního pólu je v současnosti pouhých 1,5 m).

Podle současných poznatků lze datovat vznik grónského ledovce do svrchního miocénu (tj. asi před 7 miliony let). Již v sedimentech tohoto stáří byly totiž na dně severní části Atlantského oceánu nalezeny balvany vypadlé z pohybujeících se ledových ker.

Metody výzkumu

Studium exotického horninového materiálu ledovcového původu v sedimentech severního Atlantiku je jednou z možností jak získat data k rekonstrukci podoby a funkce ledovce v geologické minulosti. Další, ve vědeckých časopisech často popularizovaná metodou je vrtání do ledovce a získávání ledových jader. Přestože se očekávalo, že se ledová masa obměňuje v poměrně krátkých časových intervalech, dochovaly se v některých částech ledovce vrstevnaté masy ledu značného stáří (100 000 i více let). Jádra vrtů poskytují především údaje o složení atmosféry v době, kdy led vznikal. Získání jader a interpretace těchto výsledků byly součástí mezinárodních projektů GISP (Greenland Ice Sheet Project) ve druhé polovině 80. let 20. století a GRIP (Greenland Ice core Project) na začátku let 90.

Pro soudobé pozorování povrchových změn ledovce jsou nejužitečnější údaje z metod dálkového průzkumu Země, např. z družic Seasat a Geosat (viz Vesmír 77, 294, 1998). Družice zaznamenávají jak přírůstek či úbytek ledové hmoty, tak rozšíření jednotlivých sněhových typů. Nové zpracování dat získaných v minulých letech méně propracovanými technikami nabízí obstojnou představu o tom, co se nedávno dělo na povrchu ledovce. Ukazuje se, že se



2. Dva ledovce horského typu, které se „vlévají“ do pevninského splazu (jihozápadní Grónsko, poblíž Narssalik)

grónský ledovec nachází zhruba v rovnovážném stavu, s malými přírůstky hmoty v akumulčních oblastech a úbytky v jižní části. Většina ostatních svě-

3. Kontinentální ledovec v jihovýchodní části Grónska, ležící přibližně na 62. stupni s. š. V popředí jsou vyčnívající skalní suky (*nunataky*) a v pozadí horská pásma lemující východní pobřeží Grónska.





4. Tentýž ledovcový splaz z jiného pohledu. Relativně rovný terén ve střední části snímku byl v pleistocénu patrně bází pevninského ledovce, zatímco vrcholky v horní části obrázku byly nunataky. Snímek © Radek Mikuláš

ových ledovců, tj. antarktický ledový štít a horské ledovce všech kontinentů, vykazují naproti tomu úbytek ledové masy. Výjimkami jsou jen některé le-

5. Ledovcový splaz v jižním Grónsku během letního období. Snímek © Henning Sørensen



dovce v Patagonii a na Novém Zélandu, které naopak přibývají.

Jak rychle se klima může změnit?

Vyhodnocení údajů z ledových jader, z materiálu v mořských sedimentech, který sem byl transportován ledem, a z dalších zdrojů ukazuje, že ledovce měly při tvorbě klimatu podstatně „aktivnější“ úlohu, než se dosud soudilo [2]. Zajímavé je srovnat změny, které se odehrály celosvětově (ty jsou zpravidla důsledkem orbitálních procesů), se změnami omezenými pouze na severní polokouli. Klimatické změny menšího měřítka se po vyhodnocení např. jader eemského stáří (asi 120 000 let) zdají být mnohem méně závislé na orbitálních cyklech, než se donedávna předpokládalo. Zatímco současný interglaciál (období od poslední ledové doby před 10 000 lety) se jeví jako klimaticky neobvykle stabilní, v eemském interglaciálu se udály rychlé a dramatické změny v teplotě i v obsahu skleníkových plynů v atmosféře. Rovněž se ukazuje, že přechod z jednoho klimatického stadia do druhého mohl být záležitostí pouhých několika let, po nichž následovala desetiletí či staletí stability. Z hlediska předpovědi vývoje klimatu to obavy z rychlých změn pochopitelně spíše zvyšuje než rozptyluje. □

K DALŠÍMU ČTENÍ:

- [1] Aber J. S.: Modern glaciers and ice sheets, 1997, ES 331/767 Lecture 2, <http://academic.emporia.edu/aberjame/ice/lec02/lec2.htm>.
- [2] Clark P. U., MacAyeal D. R., Andrews J. T., Bartlein P. J.: Ice Sheets Play Important Role in Climate Change, *Eos* 76, 27, 265–270, 1995
- [3] Peltier W. R. (ed.): Ice in the climate system, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1993

Povrch pevninského ledovce poblíž letiště Sønder Størmfjord v jižní části západního pobřeží Grónska. Reliéf splazů pevninského ledovce je obdobou reliéfu horských ledovců – převládajícím prvkem jsou příčné trhliny. Kontinentální splazy se však pohybují mnohem rychleji než horské ledovce (až 10 km za rok).



Na koncích splazů grónského kontinentálního ledovce vzniká obrovské množství ker různé velikosti. Na úbytku ledovce se ale větší měrou podílí odtok vody z podloží ledové masy. (Narsaq, jižní Grónsko)



Úbytek ledovce na jihu Grónska poblíž Narsarsuaq v letním období. Z tajícího ledu vypadává velké množství klastického materiálu různé velikosti – od prachové frakce po bloky řádově desítek metrů. Za povšimnutí stojí domek zhruba uprostřed snímku – umožní udělat si představu o rozměrech ledovce.





Pánev kontinentálního ledovce v jižním Grónsku lemovaná pásmem pohoří. V popředí je skupina nunataků.



Největší kry vznikající pod splazy grónského pevninského ledovce dosahují rozměrů stovek metrů.



V ledových krách je velké množství úlomků hornin transportováno do oceánských pánví. Situace je dobře známa i z horninového záznamu; například v jemnozrnných horninách svrchního ordoviku Barrandienu byly nalezeny valouny žul se stopami transportu v ledu. (Nahore Narsarsuaq, uprostřed dole okolí Narsaq, jižní Grónsko) Snímky © Henning Sørensen