

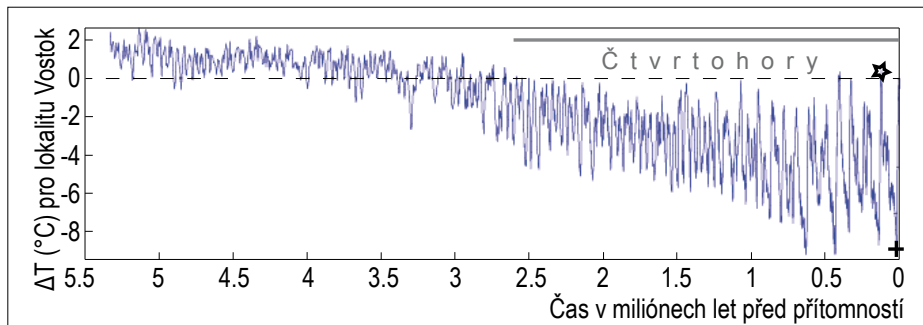
Čtvrtohorní zalednění Severní Ameriky

Severní Amerika byla během chladných období čtvrtohor – glaciálů – ze značné části pokryta pevninskými ledovci a většina vyšších horských masivů byla zaledněna ledovci alpského typu. Na vrcholu posledního glaciálu zaujímal severoamerický ledovcový komplex rozlohu mírně větší, než je současné zalednění Antarktidy. Ústup zalednění byl výrazně rychlejší než jeho nástup. Porozumění dynamice odlednění na konci pleistocénu je důležité při posuzování současného vývoje ledovcových štítů v podmínkách globálního oteplování. Přílohy jsou uloženy v Materiálech na webu Geografických rozhledů.

Historie poznání kvartérního zalednění Severní Ameriky

Teorie kontinentálního zalednění, která vysvětluje utváření krajiny a reliéfu i charakter a rozmístění sedimentů, se v Severní Americe prosadila během druhé poloviny 19. století. Kvartérně-geologické mapování (dokumentující transport sedimentů a směr ledovcových rýh) umožnilo postupně rozpoznat oblasti, odkud se pevninské ledovce šířily a kde se během vrcholu glaciálů nacházely nejvyšší partie ledovcových štítů. Hlavní příčinou klimatických oscilací prvního řádu (tj. střídání glaciálů a interglaciálů) jsou periodické změny v množství a rozložení sluneční energie v důsledku změn excentricity dráhy Země okolo Slunce a sklonu a precese zemské osy.

V první polovině 20. století bylo na základě analýzy usazenin ledovcových jezer v Nové Anglii (počítání a porovnávání jednotlivých vrstev usazovaných v rámci sezonního cyklu během ústupu ledovce) vypracováno první časové zařazení ústupu zalednění. Nástup radiokarbonového datování v 50. letech umožnil stanovit stáří organického materiálu uloženého v ledovcových sedimentech nebo pod nimi, a tím i datovat počátek posledního zalednění. Poznatky o charakteru moderních ledovcových štítů v Antarktidě a Grónsku, získané jejich výzkumem ve druhé polovině 20. století, byly aplikovány i na pleistocenní ledovcové štíty severní polokoule. Bylo rekonstruováno uspořádání tzv. ledovcových proudů (ice streams) v síť, z jejichž centra proudila masa ledovce k okrajům ledovcových štítů. Současně byla zmapována a datována ledem hrazená jezera, která měla během



Obr. 1: Křivka kolísání klimatu během posledních 5 milionů let rekonstruovaná na základě hodnot $\delta^{18}\text{O}$ z benthických foraminifer v hlubokomořských sedimentech. Výkyvy $\delta^{18}\text{O}$ jsou pro ilustraci převedeny na odpovídající výkyvy teplot v lokalitě Vostok v centrální části Východoantarktického ledovcového štítu. Výkyvy klimatu ve středních zeměpisných šířkách severní polokoule měly přibližně dvojnásobnou amplitudu ve srovnání se záznamem z Antarktidy. Hvězdička značí poslední interglaciál a křížek vrchol posledního glaciálu. Zdroj: Wikimedia Commons [<http://tinyurl.com/z7797yk>]

ústupu ledovců větší rozlohu i objem než všechna současná jezera (včetně Kaspického moře) a jejichž náhlé vyprázdnění a odtok do oceánu značně ovlivnily klimatický systém Země. K hlubšímu pochopení vývoje klimatu na přelomu pleistocénu a holocénu přispěla i jádra sedimentů z mořského dna. V posledních dekádách se nové poznatky získávají i díky počítačovému modelování, které umožňuje simulovat řadu přírodních procesů.

Zalednění Severní Ameriky v průběhu posledního glaciálu

Ke střídání dob ledových a meziledových dochází přibližně poslední tři miliony let, přičemž amplituda změn se zvyšuje (obr. 1). Přesto je v některých částech Severní Ameriky jako nejrozsáhlejší vymezeno jedno z raných zalednění, ke kterým došlo za mírnějších klimatických podmínek, než jaké nastaly během vrcholných glaciálů středního

a pozdního pleistocénu. Větší územní rozsah zalednění v méně příhodných klimatických podmínkách je vysvětlován postupem ledovce po mocných zvětralinách do té doby nezaledněného terénu, které umožňovaly snazší pohyb ledovců než pozdější tvrdé, opakovaně zaledněné a erodované povrchy.

Nejchladnější klimatické výkyvy nastaly během vrcholných fází posledního glaciálu, kdy dosáhlo zalednění (wisconsinské) na řadě míst Severní Ameriky svého nejzazšího rozsahu. K jeho prvnímu nástupu došlo po skončení posledního interglaciálu (zvaného v Severní Americe Sangamonian, ~ 129 000 až 116 000 let před současností, obr. 1), během něhož bylo o několik stupňů tepleji než v současnosti a hladina světového oceánu se nacházela o několik metrů výše. Přibližně před 70 tisíci lety pokrýval ledovcový štít celou centrální část Kanady a před 30 tisíci lety se začal přibližovat maximu svého rozsahu, které nastalo o 5 tisíc let později, a to s určitým zpožděním v některých částech ledovcového komplexu.

Během posledního ledovcového maxima pokrýval severoamerický ledovcový komplex celé území dnešní Kanady, zasahoval rozsáhlými splazy do severních států USA a na severovýchodě Kanadského arktického souostroví se napojoval na pevninský ledovec grónský, který byl tehdy též rozsáhlejší než dnes (viz přílohu 2 v Materiálech na webu GR). Nezaledněná zůstávala v severních zeměpisných šířkách pouze část povodí řeky Yukon, kde bylo podnebí pro růst ledovce příliš suché (podobně jako na většině území Sibíře). Během této doby byla hladina světového oceánu přibližně o 120 m níže než dnes a prostor současné Beringovy úžiny tvořil pevninský most mezi Asií a Amerikou, po kterém nedlouho po vrcholu glaciálu pronikli



Obr. 2: Vodopády Yosemite Falls padají ze strmé stěny ledovcového trogu. Foto: M. Margold

VÝZKUM A VÝVOJ

do Ameriky první lidé. Severoamerický ledovcový komplex sestával ze dvou hlavních, na sobě nezávislých ledovcových štítů: menšího Kordillerského (rozlohou a objemem srovnatelného s dnešním štítem Grónským), který pokrýval horská pásma západní Kanady a zasahoval až k Aleutským ostrovům, a většího Laurentinského (srovnatelného s dnešním zaledněním Antarktidy), který se rozprostíral od východního úpatí Kordiller k pobřeží Atlantského oceánu. Laurentinský štít vyplňoval svými splazy pánve Velkých jezer a na severu pokrýval celé Kanadské arktické souostroví (příloha 2). Jako samostatná jednotka z něj bývá vyčleňován tzv. Inuitský ledovcový štít, který pokrýval severní část Kanadského arktického souostroví a splýval s ledovcovým příkrovem Grónska (příloha 2).

Laurentinský a Kordillerský ledovec se propojily na východním úpatí Kordiller pouze na několik tisíc let a před 15–12 tisíci lety mezi nimi postupně opět vznikl nezaledněný koridor (příloha 2). Před 14,6 tisíci lety začalo několik set let dlouhé období, během kterého hladina světového oceánu stoupla přibližně o 10–15 metrů a tempo růstu hladiny světového oceánu dosahovalo hodnot 2 cm za rok (pro srovnání, za 20. století činil nárůst celkem 15 cm). Přestože příčiny extrémně rychlého nárůstu hladiny světového oceánu v tomto období, nazývaném Meltwater Pulse 1A, nejsou plně známy, rychlý kolaps ledovcového sedla mezi Laurentinským a Kordillerským ledovcem patří k jedné z hypotéz. Rychlý ústup ledovcových štítů dočasně ustal v období tzv. mladšího dryasu, které je datováno 12 900–11 700 let před současností. Během tohoto období došlo k náhlému ochlazení a návratu do podmínek doby ledové. Příčina tohoto výrazného chladného výkyvu dodnes není plně pochopena a zůstává jednou z důležitých otázek kvartérního výzkumu. Převládá názor, že tavné vody Laurentinského ledovcového štítu narušily systém hlubinných mořských proudů, které odvádějí teplo do vyšších zeměpisných šířek.

Po skončení mladšího dryasu následoval opětovný ústup ledovcového příkrovu Severní Ameriky a Kordillerský ledovcový štít během několika set let zanikl. Laurentinský ledovcový štít ustupoval do centrálních oblastí severní Kanady, severozápadně od Hudsonova zálivu a na poloostrov Labrador (příloha 2). Současně ustupoval ledovcový proud v Hudsonově průlivu a po určité době zůstal zachován



Obr. 3: Ledovcem modelovaný terén v oblasti Yosemite. Pohled přes ohlazené žulové plotny směrem k Yosemite Valley, Half Dome v pozadí. Foto: M. Margold

pouze úzký pás zalednění spojující centra zalednění v centrálních částech severní Kanady a na poloostrově Labrador. Tento pás zalednění odděloval rozsáhlé jezero Agassiz, živě tavnými vodami ledovce, od moře v Hudsonově zálivu. Před 8 200 lety prolomily vody jezera Agassiz slábnoucí pás ledovcového štítu a odtok do severního Atlantiku znovu narušil systém mořských proudů a vyvolal několikasetleté ochlazení (tzv. 8.2 event).

Po zániku zalednění v centrálních částech severní Kanady a na poloostrově Labrador (okolo 7 tisíc let před současností) se poslední část Laurentinského ledovcového štítu zachovala na Baffinově ostrově, její rozloha se však během středního a svrchního holocénu rychle zmenšovala (příloha 2). V dnešní době představují poslední zbytky Laurentinského ledovcového štítu dvě ledovcové čapky na Baffinově ostrově (Barnes a Penny ice caps, příloha 2).

V horských oblastech na jih od severoamerického ledovcového komplexu se vyskytovalo během čtvrtohorních glaciálů zalednění horské, které významným způsobem přetvářelo reliéf horských celků. Nejznámějším takovým případem je oblast Yosemite v pohoří Sierra Nevada, kde splazy náhorního ledovce přehlubily říční údolí v ledovcové trogy, hluboce zaříznuté do odolných plutonických hornin (příloha 3).

Význam kvartérního zalednění pro studium soudobých ledovcových štítů

Poznání dynamiky kvartérního zalednění severní polokoule je v současnosti cenné z-

jména v souvislosti s posuzováním budoucího vývoje ledovcových štítů v Antarktidě a Grónsku. Oteplení podnebí po odeznění malé doby ledové a výrazný nárůst teplot během posledních několika dekád vytváří situaci částečně analogickou s podmínkami v závěrečné fázi posledního glaciálu. Budoucnost Grónského ledovcového štítu závisí především na nárůstu teploty vzduchu, který je v Arktidě výrazně rychlejší než ve středních zeměpisných šířkách. V důsledku oteplování dochází k rozšiřování ablační zóny ledovce na úkor akumulčních oblastí. Sekundárním problémem je pronikání teplejší oceánské vody k čelům ledovcových proudů, což vede k jejich rychlejšímu telení a ústupu ledovcových splazů. Tento problém je výraznější v oblasti západní Antarktidy, kde ústup čel ledovců po podloží klesajícím směrem do nitra ledovcového štítu může vést k pozitivní zpětné vazbě, která by v budoucnosti mohla vyvolat kolaps okrajových částí ledovcového štítu a výrazný nárůst hladiny světového oceánu. Vzhledem k tomu, že analogické situace nastávaly v různých částech kvartérních ledovcových štítů severní polokoule během jejich ústupu na konci posledního glaciálu, umožňuje jejich paleogeografický výzkum hlubší poznání mechanismů a zákonitostí, které ovlivňují chování dnešních ledovcových štítů v rychle se oteplujícím světě.

Martin Margold,

*Institutionen för naturgeografi,
Stockholms universitet, Švédsko
martin.margold@natgeo.su.se*

Quaternary Glaciation in North America. The paper presents a brief history of North American Quaternary geology and an overview of the configuration and evolution of the North American Ice Sheet Complex during the last glacial cycle. The relevance of Quaternary glacial history research is illustrated with comparisons to the processes occurring in existing ice sheets and glaciers in the warming world.

LITERATURA A ZDROJE DAT:

DENTON, G. H., HUGHES, T. (1981): *The Last Great Ice Sheets*. Wiley-Interscience, New York, 484 s.
DYKE, A. S. (2004): An outline of North American deglaciation with emphasis on central and northern Canada. In: Ehlers, J.,

Gibbard, P. L. (eds.) *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology*, 2, s. 373–424.
FULTON, R. J. (1989): *Quaternary Geology of Canada and Greenland*. Geological Survey of Canada, Ottawa, 839 s.
Kompletní seznam literatury a zdrojů je uložen v Materiálech na webu Geografických rozhledů.