

Příčiny klimatických změn v kvartéru

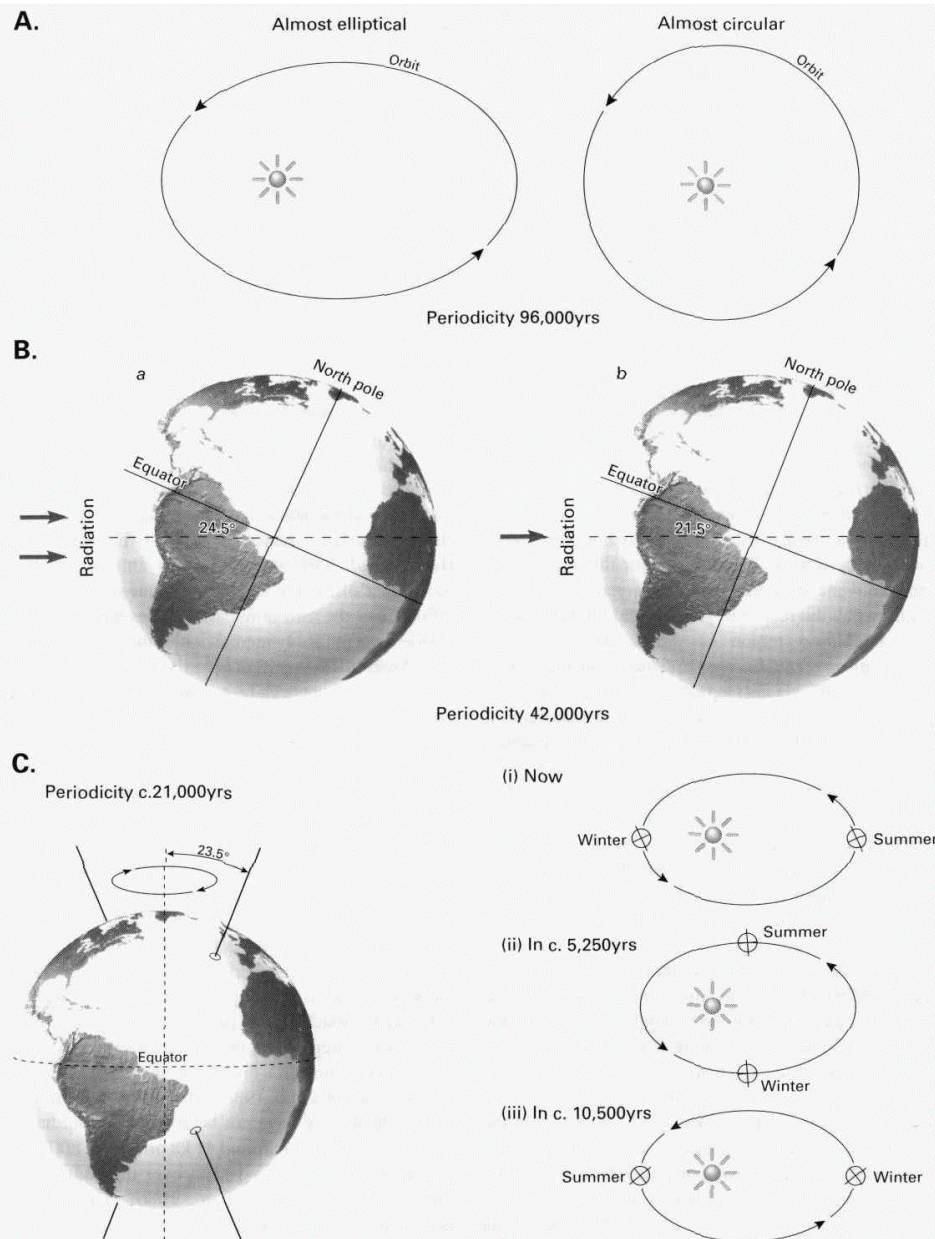
Příčiny klimatických změn

'Astronomická teorie' - Teorie předpokládá, že povrchová teplota Země může kolísat v závislosti na pravidelných a předvídatelných změnách pohybu Země a její osy (M. Milankovič):

a) **excentricita orbitální dráhy** - orbitální pohyb Země se mění v periodě **asi 100 000 let** od téměř kruhového po eliptický a zpět

b) **šikmost ekliptiky** - sklon zemské osy kolísá od $21^{\circ}39'$ do $24^{\circ}36'$ a zpět v periodě **asi 41 000 let** (měří se v závislosti na ploše ekliptiky (tj. plocha vymezená eliptickým pohybem Země okolo Slunce))

c) **precese bodů rovnodennosti** - roční období (nebo též **rovnodennost**) se pravidelně mění v závislosti na pohybu Země kolem Slunce - způsobeno kolísáním zemské osy vlivem gravitačního tahu Slunce a Měsíce. Důsledek - roční období, během kterého je Země nejbližší Slunci (tzv. **perihelion**) kolísá. V současnosti - zimní období severní polokoule v perihelionu, léto probíhá v období, kdy je Země od Slunce nejdále (**aphelion**). Stejná situace se bude opakovat za asi 21 000 let



DALŠÍ FAKTORY

Astronomická teorie - vysvětlení hlavních klimatických změn během kvartéru - není to jediný ovlivňující faktor.

Středně velké ledovce známe z období asi 2,5 Ma BP (Shackleton et al. 1984), proxy data z hlubokomořských vrtů dokazují, že k ochlazení klimatu došlo již před 3,15 Ma. Navíc kvartérní klimatické cykly nebyly konstantní a posunuly se z periodicity 41 ka před více než 800 000 lety do cyklů asi po 100 ka v posledních 700-800 tis. letech (Ruddiman et al. 1986). To bylo doprovázeno zjevným zesilováním glaciální činnosti a růstem ledovců severní polokoule, které byly mnohem většího rozsahu než před 1,6-1,7 Ma.

Hlavní doplňkové jevy

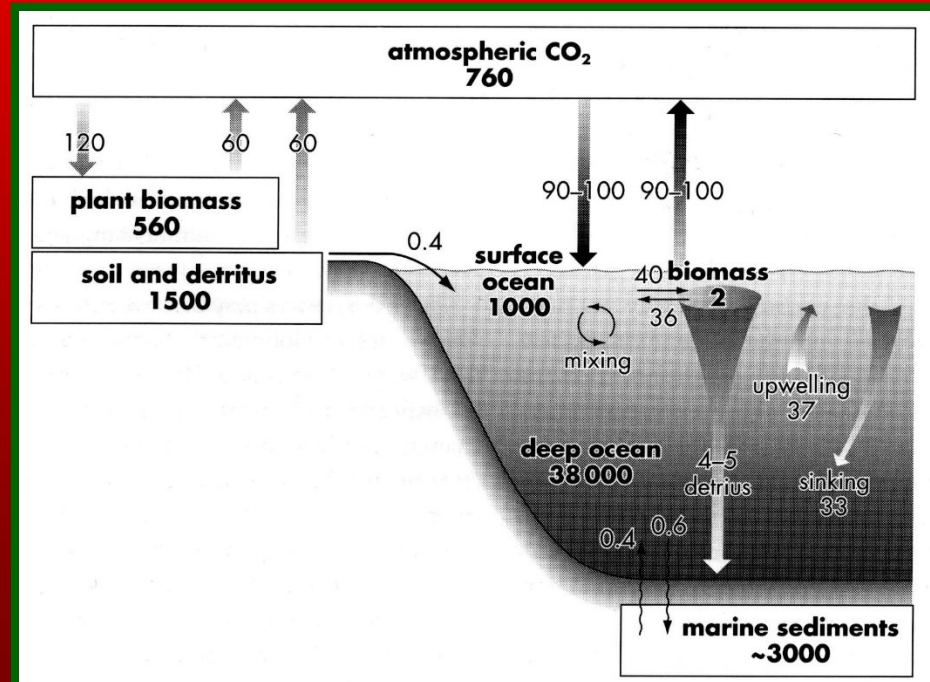
- **MAGMATICKÝ PROCES** - změny ve složení atmosféry, např. CO_2 , metanu (CH_4) a prachových částic
- **KONTINENTÁLNÍ DRIFT** - rozmístění zemských mas, změny oceánské cirkulace a změny v rozsahu ledovců
- **TEKTONICKÁ AKTIVITA** - tektonický výzdvih kontinentů

Data z oceánských vrtů a polárních ledovců - během posledního studeného cyklu bylo podstatně méně atmosférického CO_2 než během minulých nebo současného interglaciálu (Shackleton et al. 1983) a podobně to bylo i s množstvím CH_4 . Z těsné paralely mezi množstvím CO_2 a teplotních profilů Antarktických ledovcových vrtů vyplývá, že množství CO_2 mohlo výrazně ovlivnit (zmírnit) dlouhotrvající klimatické změny způsobené vlivem astronomických faktorů (podobně i s CH_4).

Magmatický proces

- **asi 120 Ma BP** - vzrůst rychlosti formování oceánské kůry podél středooceánských hřbetů (Pacifik, Indický oceán)
- **výlevy na kontinentech** - uvolnění velkého množství CO_2 do atmosféry - asi 3-15x více než je současná předprůmyslová úroveň 280 ppm = skleníkový efekt, oteplení o $3^{\circ}C-8^{\circ}C$
- **zvětšení množství vodních par** až o 150%, což by mělo za následek další oteplení, neboť vodní páry jsou nejefektivnějším skleníkovým plynem
- **svrchní křída** - polární oblasti mnohem teplejší, atmosféra vysokých zeměpisných šířek mohla udržet až o 1000 % více vodních par, než je tomu dnes
- **úbytek vodních par během kenozoika** mohl hrát v globálním oteplení významnou roli. V té době se hlavní oblasti vzniku atmosférických vodních par (tropické a subtropické oceány) zmenšovaly, zvláště po uzavření Tethydy

Svrchnokřídové hladiny moře – snad až o 300 m výše než dnes - důsledek redukce množství oceánských pánví zapříčiněný vzrůstem rychlosti rozšiřování oceánské dna a vznikem rozsáhlých podmořských lávových ploch. Zápavy rozsáhlých území také mohly přispět ke globálnímu oteplení a předpokládá se, že teplota mohla vzrůst až o $8^{\circ}C-13^{\circ}C$ ve srovnání s dneškem. Toto souhlasí se vzrůstem teplot o $6^{\circ}C-16^{\circ}C$, zjištěných na základě studia mělkovodních mořských fosilií.

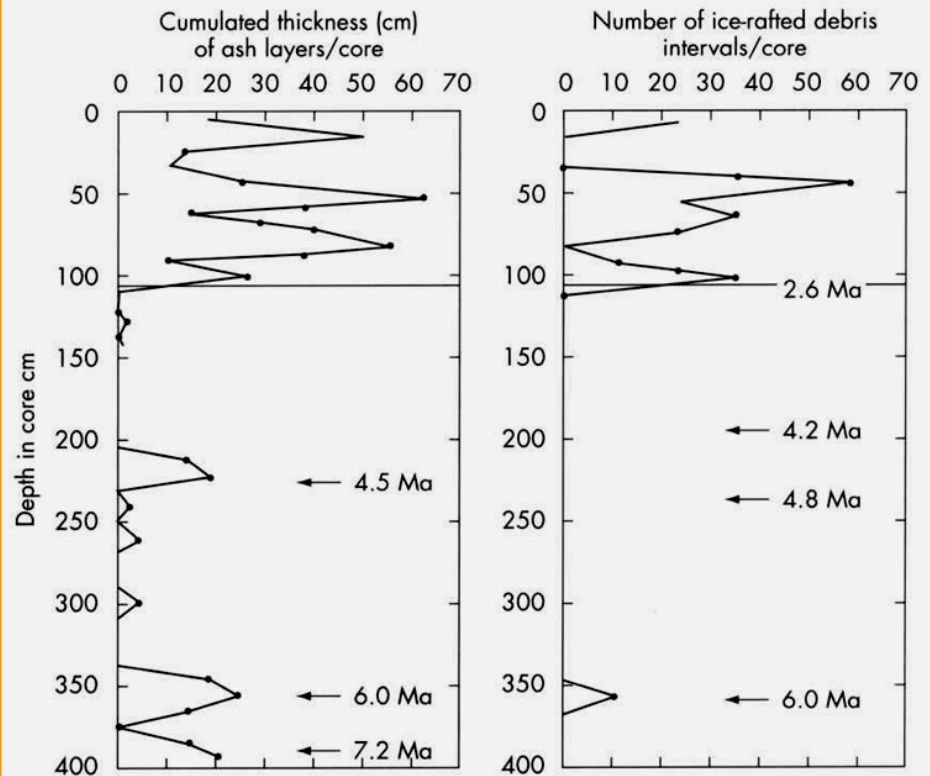
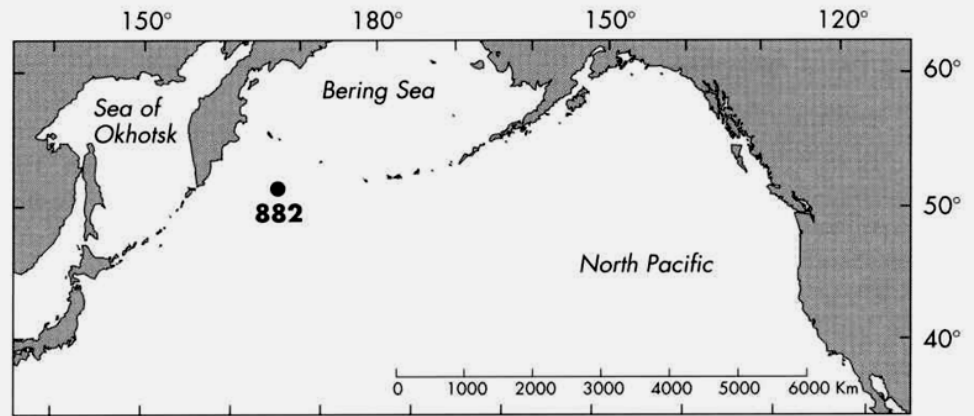


ukončení magmatické aktivity = ochlazení.
Snížení množství atmosférického CO_2 +
snížená hladina světového oceánu = vzrůst
sezónnosti klimatu (zvláště vyšší zeměpisné
šířky - zalednění)

Hlavní roli v magmatické činnosti mají CO_2 a vytvoření sirných aerosolů. Ty zvyšují albedo Země. Jsou to mnohem významnější činitelé než sopečný prach.

- **vulkanismus v lokálním měřítku** - sirné aerosoly se v atmosféře udrží jen několik málo let
- **vulkanismus v regionálním měřítku** - sirné aerosoly se v atmosféře udrží řádově déle - vztah mezi vulkanismem a klimatem
- **vrty severního Pacifiku** - vzrůst moci vulkanického prachu koreluje se vzrůstem množství led. tříště v době před 2,6 Ma
- **rozsáhlé erupce na Kamčatce** - vzrůst polárních ledovců do té míry, že dosáhly okrajů moře

Vrstvy tvořené vulkanickým prachem a úlomky ledové tříště z vrtu č. 882A ze severního Pacifiku. Vzrůst moci vrstvy prachu koreluje s množstvím ledovcové tříště ve vrtu na úrovni 2,6 Ma, což indikuje vznik zalednění na severní polokouli.



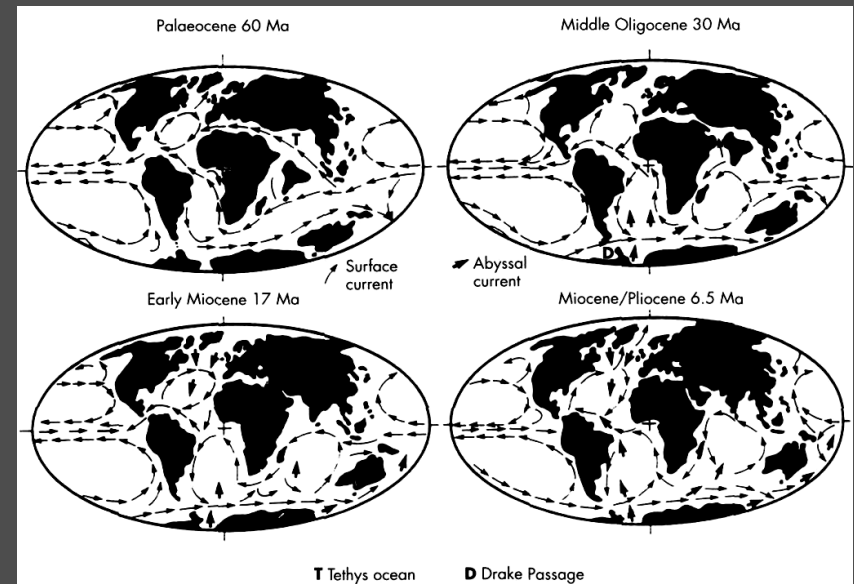
Kontinentální drift a oceánské cesty

- **tepelný přenos** z nižších do vyšších zeměpisných šířek zajištěn téměř rovnoměrně prostřednictvím atmosféry a oceánů
- **pokřídové globální ochlazení** - jedním z důležitých činitelů mohlo být změněné oceánské proudění
- **změny oceánské proudění** - změna konfigurace kontinentů během terciéru - otevření jedněch nebo uzavření jiných oceánských cest

Severní polokoule - uzavření průlivu mezi Severní a Jižní Amerikou před 4,6 Ma-2,5 Ma - zalednění. Zároveň - zvýšení salinity Karibského moře, posílení Golfského proudu a zvýšení vlhkosti atmosféry ve vyšších zeměpisných šířkách. Větší vlhkost a sezónnost klimatu = vzniku ledovců. Posílení Golfského proudu a severoatlantický drift mohli zdržet průběh zalednění oteplením oblastí okolo Severního Atlantiku.

Změny uspořádání kontinentů během terciéru a předpokládaná oceánská proudění (povrch: malé šipky; hloubky: velké šipky). Na mapách - dva klíčové eventy: (i) otevření oceánské cesty mezi Jižní Amerikou a Antarktidou asi 25-30 Ma BP a vznik cirkumantarktického proudění; (ii) uzavření úžiny mezi Střední a Jižní Amerikou v pliocénu, izolace Atlantiku a uzavření rovníkové cirkulace mezi ním a Pacifikem.

Antarktida – paleocén až většina eocénu – pokryta lesem (jako je dnes v Chile). První ledovce - asi střední eocén. Ochlazení v Antarktidě – částečně postupujícím uzavřením Tethydy (začalo již ve svrchní křídě) - zabránilo průniku teplé vody do Antarktidy z tropů, zásadním eventem bylo otevření Drakeova průplavu mezi Antarktidou a Jižní Amerikou 35 Ma BP. Antarktida - izolovaná od teplého proudění, začal se vyvíjet ledovec, který dosáhl až k mořskému pobřeží. Začalo docházet k ukládání značného množství ledovcové tříště, ledová pokrývka se však v plné míře nevyvinula ještě v průběhu dalších 15 Ma.



Tektonický zdvih

Vyzvednutí plošně rozsáhlých oblastí kontinentální kůry může vývoj klimatu ovlivnit následovně:

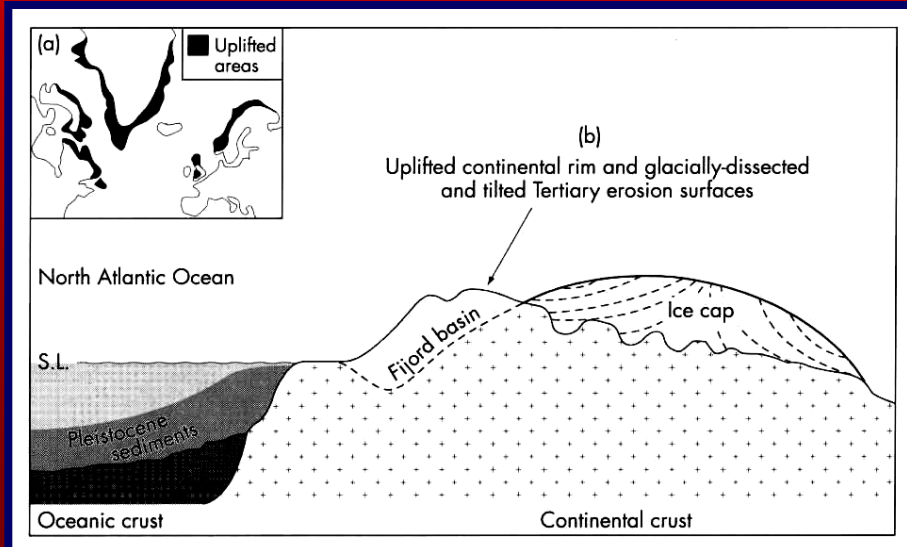
- vyzvednutí oblastí nad regionální sněžnou linií (limit ledovce) umožňuje vznik ledovce
- ovlivnění průběhu globální atmosférické cirkulace
- vzrůst zvětrávací rychlosti vyplývající v odstranění CO_2 z atmosféry

Okraje Severního Atlantiku vykazují zvláštní topografii kvůli kombinaci tektonického výzdvihu a glaciální eroze. Nachází se zde šikmé plošiny, vysoký reliéf na okraji moře a hluboká glaciální údolí, která dnes tvoří **trogová jezera nebo fjordy**.

Růst severských ledovců: oblasti terciérního výzdvihu kolem severního Atlantiku. (a) vyzvednuté příbřežní oblasti Labradoru, Grónska, Británie a Skandinávie. (b) idealizovaný řez vyzdvihnutou oblastí, ukazující vývoj ledové čapky a hlubokého glaciálního údolí na straně přivrácené k moři.

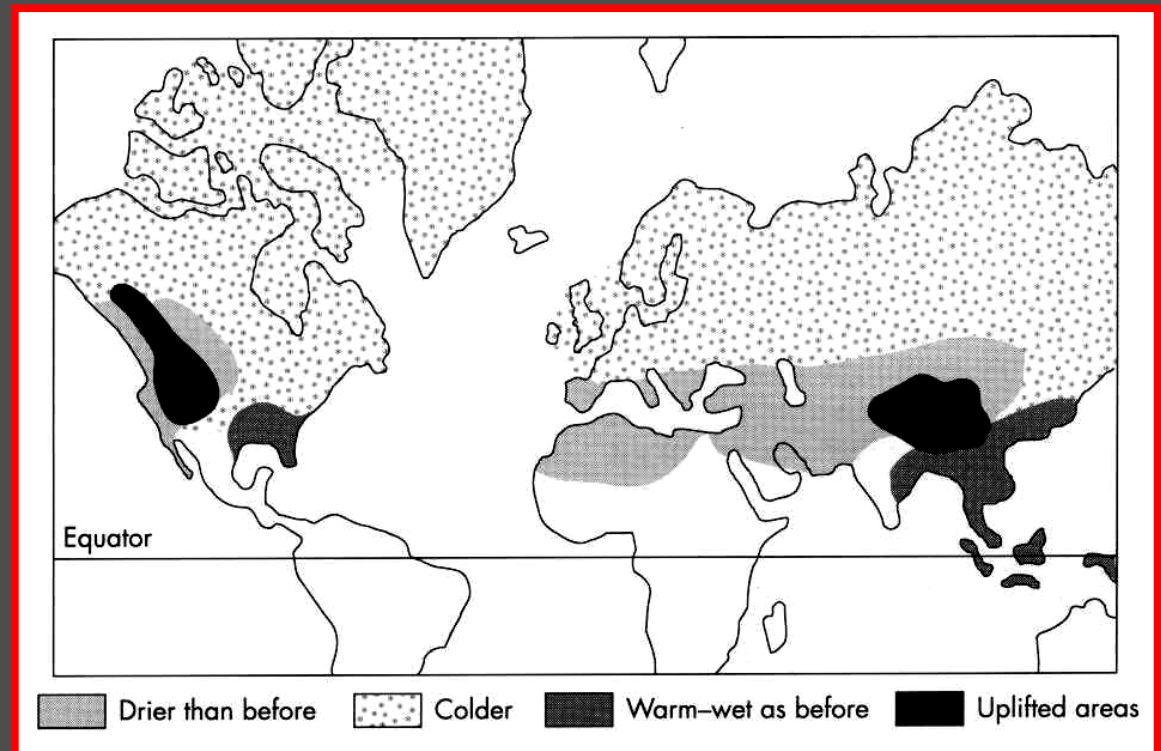
SEVERNÍ POLOKOULE

Centra hlavní kvartérní ledovcové akumulace na severní polokouli – leží těsně k oblastem ohraničujícím Atlantský oceán a Labradorské moře. Tyto oblasti byly vyzvednuty v terciéru až o 2 km. Vyzdvihnutím nad sněžnou linií (nebo snížením této linie v důsledku globálního ochlazení) sníh během letních měsíců zcela neodtaje. Oblasti Labradoru, Grónska, Británie a Skandinávie - nad touto hraniční linií ($60^\circ N - 80^\circ N$). Výzdvih ve dvou etapách: 1. asi 60 Ma BP, (spojena s rozsáhlým vulkanismem v sz. Skotsku a východním Grónsku, otevření Severního Atlantiku. 2. miocén.



Svrchnoterciární orogenetická činnost mohla významně ovlivnit atmosférickou cirkulaci. Himálaj a Tibet jsou v tomto ohledu zvláště důležité. Z klimatických modelů vyplývá, že v důsledku vyzdvižení rozsáhlých oblastí (západní USA, Kolorádo a Tibetská plošina) se původně vlhčí oblasti staly suššími a severní šířky chladnějšími. Vyzvednutí Tibetské plošiny zesílilo asijské monzunové větry, řízené zvýšenými teplotními rozdíly na plošině v zimě a v létě. Zimní chlad je zdůrazněn odtokem chladného vzduchu z náhorní plošiny. V Severní Americe vyplynuly chladnější zimy z posunutí od převážně západních větrů k severním, které přinesly studený jižní polární vítr.

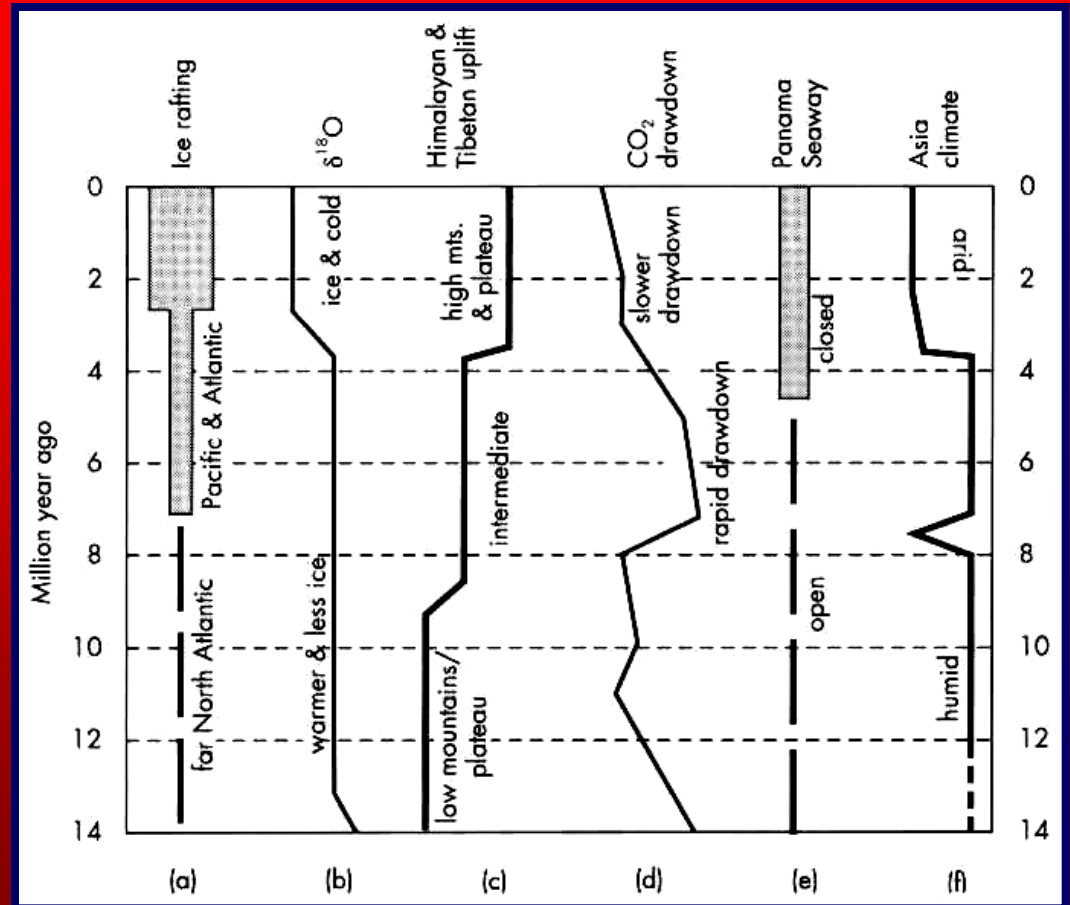
- **severní Pacifik - ochlazení** - asi před 3,6 Ma (doloženo vrty, kde vlivem aridity výrazně vzrostlo množství prachových částic)
- **Asie - zvýšení aridity** vlivem význačného výzdvihu Tibetské plošiny
- **Desetinásobný vzrůst prašnosti atmosféry** ve vysokých severních zeměpisných šířkách v té době zapříčinilo výrazné ochlazení zemského povrchu, které vedlo v době před 3,6 Ma a 2,6 Ma k vytvoření ledovců



Počítačový model změn klimatu v důsledku svrchnoterciárního výzdvihu Tibetské plošiny a západní Severní Ameriky.

OCHLAZENÍ - HLAVNÍ EVENTY

- **tektonický výzdvih** - vysoká rychlost zvětrávání a eroze. Chemické zvětrávání hornin - zvyšují spotřebu CO_2
- **Tibetská plošina** - výzdvih asi o 5 km - **významný event v historii Země**. Vlhké humidní klima na j. a jz. okraji - výjimečně rozsáhlé zvětrávací procesy (výrazné omezení množství CO_2 v atmosféře = globální ochlazení)
- **Ganga a Indus** - odnos množství materiálu z Himálaje a Tibetu = zvýšená sedimentační rychlost v Indickém oceánu + pohřbení množství organického materiálu (= další úbytek CO_2 z atmosféry)
- **krize klimatu** - dle některých vědců v důsledku tektonických pohybů (asi 3,0 Ma BP), finální vliv pak mohly mít Milankovičovy jevy podmíněné astronomicky (tj. rozdíly v intenzitě slunečního osvětlení)



Hlavní eventy spojené s ochlazením celosvětového klimatu koncem terciéru a na počátku kvartéru.