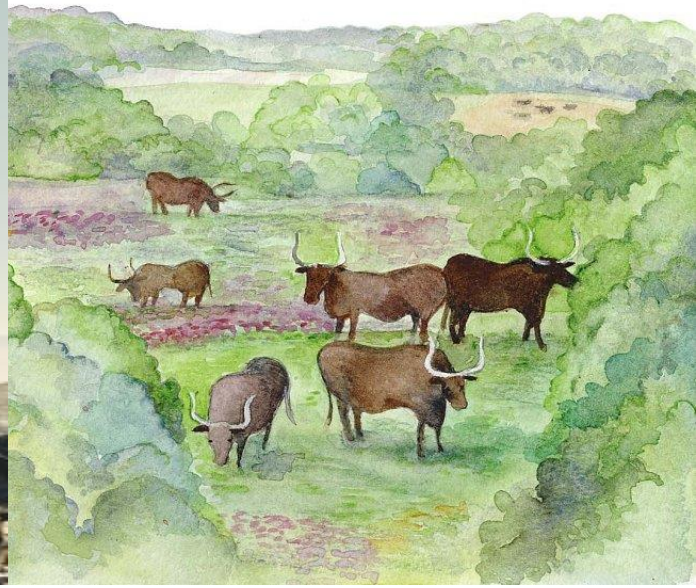
Příroda ve čtvrtohorách



Michal Horsák & Jan Roleček

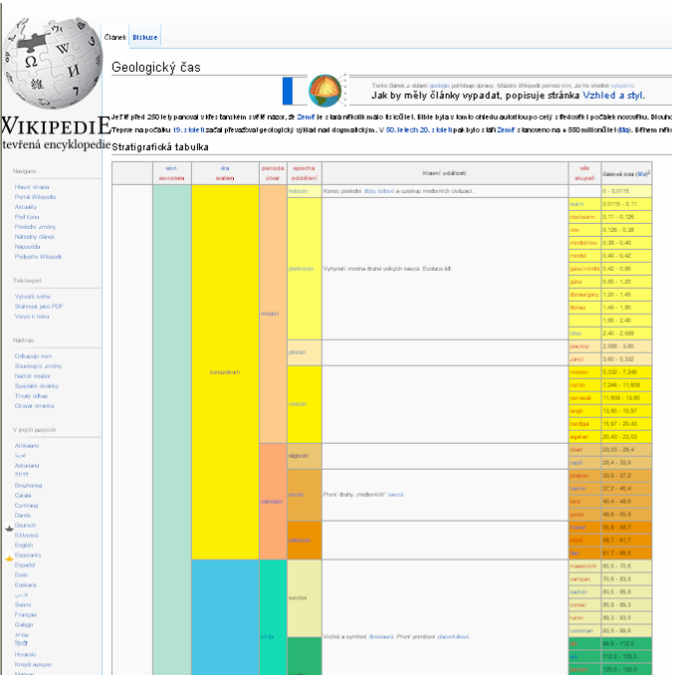
UBZ PřF MU, Brno

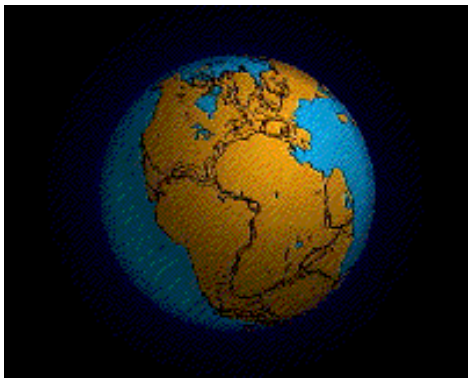
II. přednáška – obsah, literatura

Změny klimatu v historii Země: podrobné změny od mladších třetihor a jejich příčiny, členění kvartéru, geologické procesy

viz text na Wikipedii:
detailní datace geologických období:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Geologick%C3%BD_%C4%8Das

a také poutavý dokument Davida Attenborougha – The first life

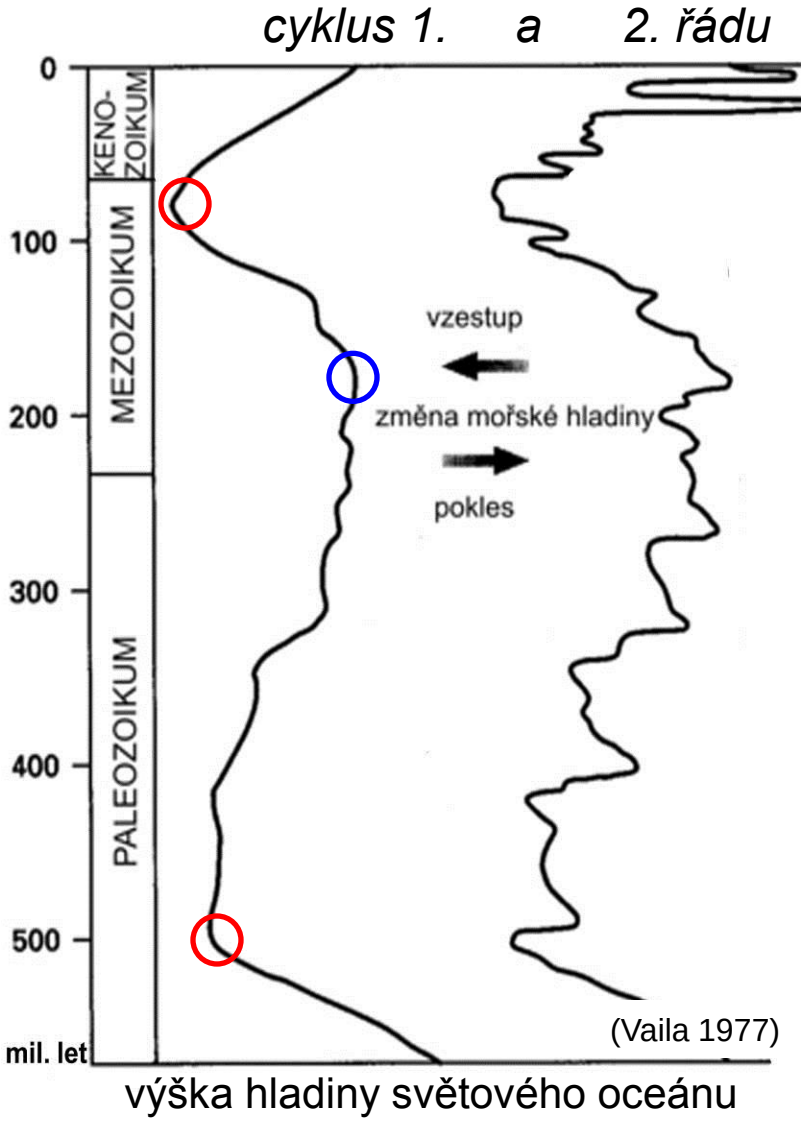




rozpad superkontinentu Pangea před 200 mil. lety
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Pangea_animation_03.gif

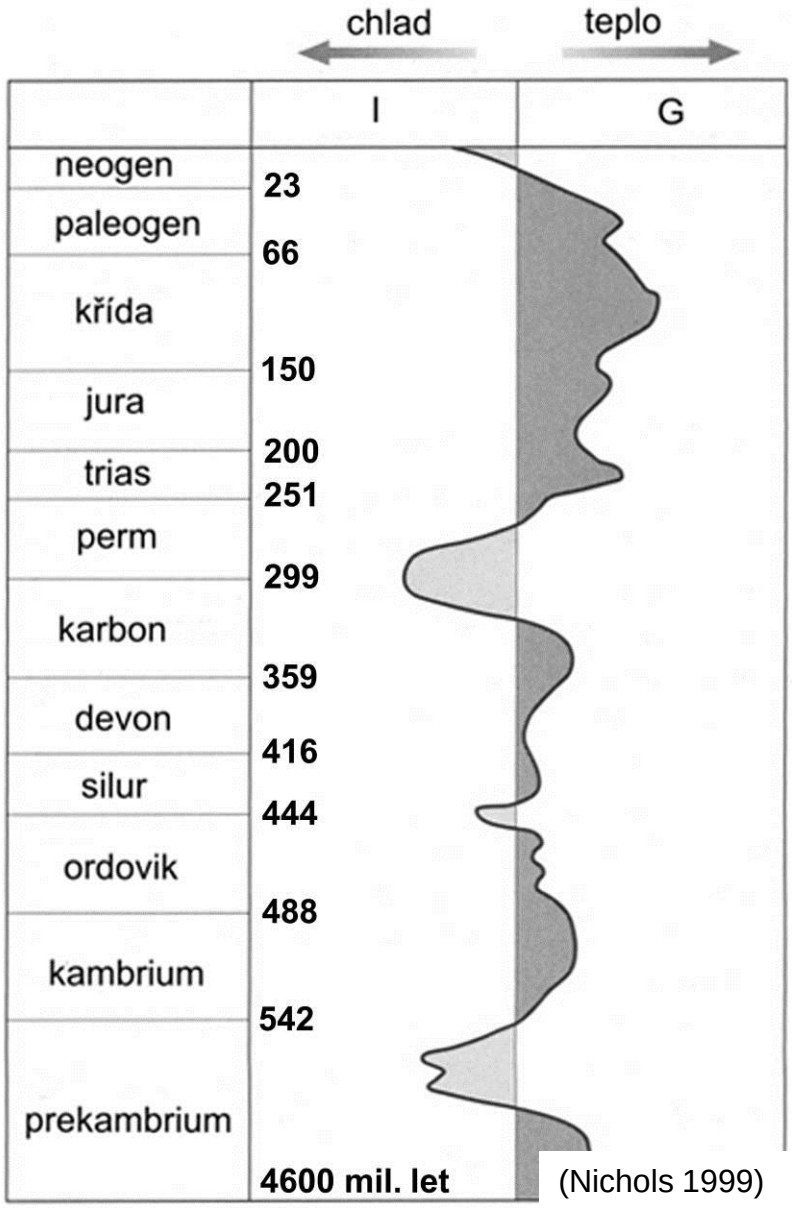
Klimatické výkyvy v geologické minulosti

- cyklické změny klimatu **nejsou** pouze záležitostí čvrtohor
- změny klimatu ovlivňují sedimentaci – v sedimentech můžeme rozlišit cykly 6 řádů:
  - 1. řádu: trvání 250–400(500) mil. let, sledovatelné za poslední 2 miliardy, výrazně se mění hladiny oceánu (až stovky metrů)
  - 2. řádu: trvání 10–100 mil. let
- oba tyto cykly souvisí s deskovou tektonikou (tepelným tokem v kůře a plášti): pohybem litosférických desek, formováním a rozpadem kontinentů, rozpínáním mořského dna (vysoká hladina oceánu)
  - křivka ukazuje dvě maxima mořské transgrese (svrchní kambrium a křída) a jedno maximum regrese (jura)



Klimatické dopady cyklů 1. a 2. řádu

- desková tektonika ovlivňuje výšku hladiny světového oceánu a také globální klima
  - dlouhodobě vysoká hladina oceánu způsobuje klima „skleníkového typu“ – klima je teplé a stabilní
  - dlouhodobě nízká hladina způsobuje klima „ledárenského typu“ – klima je chladné a proměnlivé

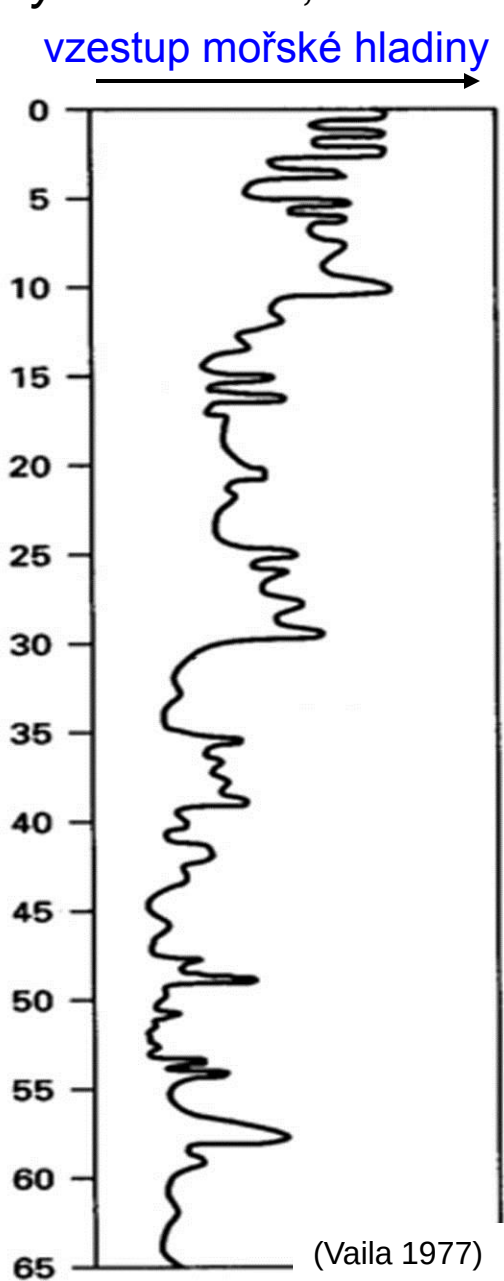


(Nichols 1999)

Pozn.: na konci permu došlo k největšímu vymírání (vymřelo 95 % známých rodů) většinou se nevysvětluje změnou klimatu

Klimatické výkyvy v geologické minulosti

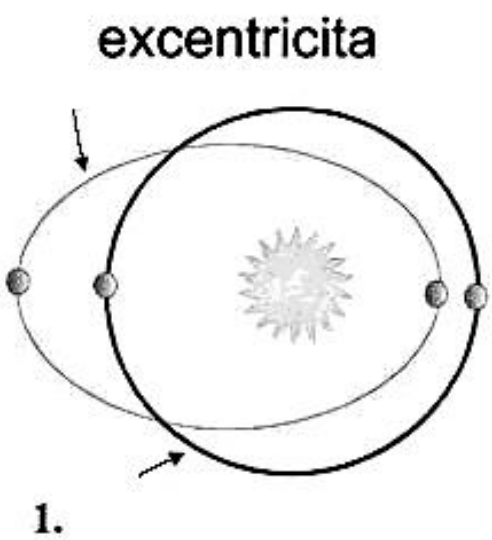
- změny klimatu ovlivňují sedimentaci – v sedimentech můžeme rozlišit cykly 6 řádů:
  - 3. řádu: trvání 1–10 mil. let, rovněž podmíněny rozpínáním mořského dna a lokálním vulkanismem, také jsou glacieustatického původu (pohyb kontinentů vlivem váhy ledovců)
  - 4.–6. řádu: podmíněny astronomickými silami, tzv. Milankovičovy cykly
  - 4. řádu: trvání 106–410 tis. let, cyklické kolísání excentricity oběžné dráhy Země
  - 5. řádu: trvání cca 41 tis. let, cyklické kolísání sklonu zemské osy (o 3°) k rovině oběžné dráhy (větší tepelné rozdíly na severní než na jižní polokouli)
  - 6. řádu: trvání cca 25 tis. let, tzv. sumární lunisolární precesní perioda, zemská osa opisuje za tuto dobu dvojitou kuželovou křivku, vyvolanou přitažlivostí Slunce a eliptického tvaru Země, vliv má i Měsíc

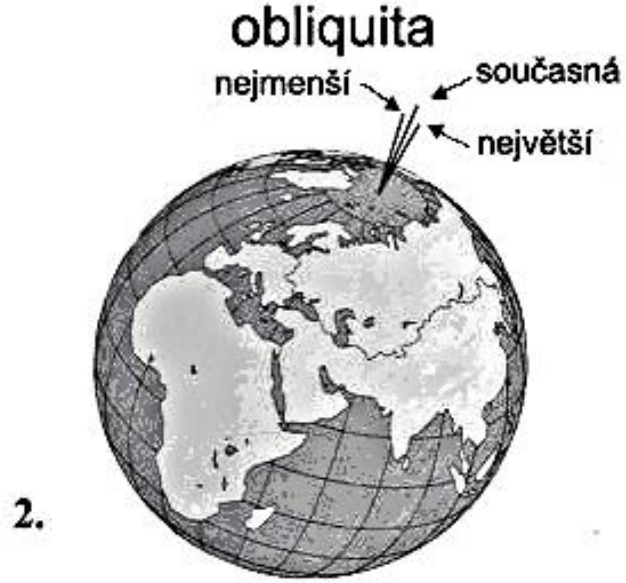


(Vaila 1977)

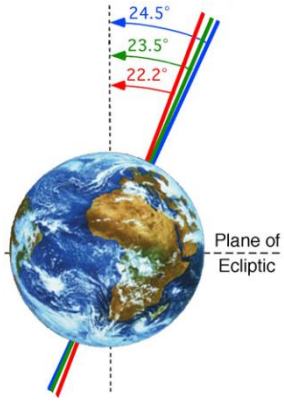
Milankovičovy parametry

cykly 4. řádu, 106–410 tis. let, odpovídá glaciálům, (supercykly excentricity)

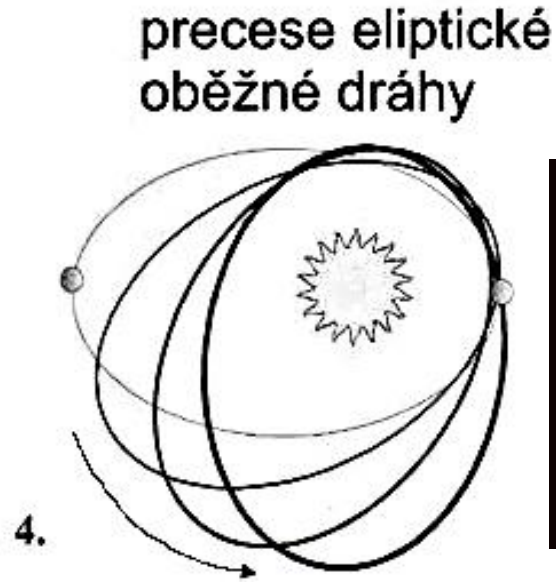


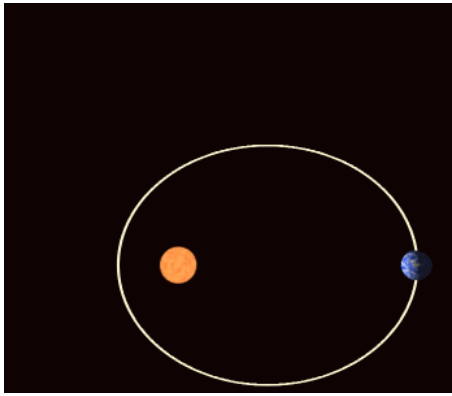


cykly 5. řádu, 41 tis. let, odpovídá glaciálům



cykly 6. řádu, 26 tis. let, odpovídá glaciálům, (precesní cykly)



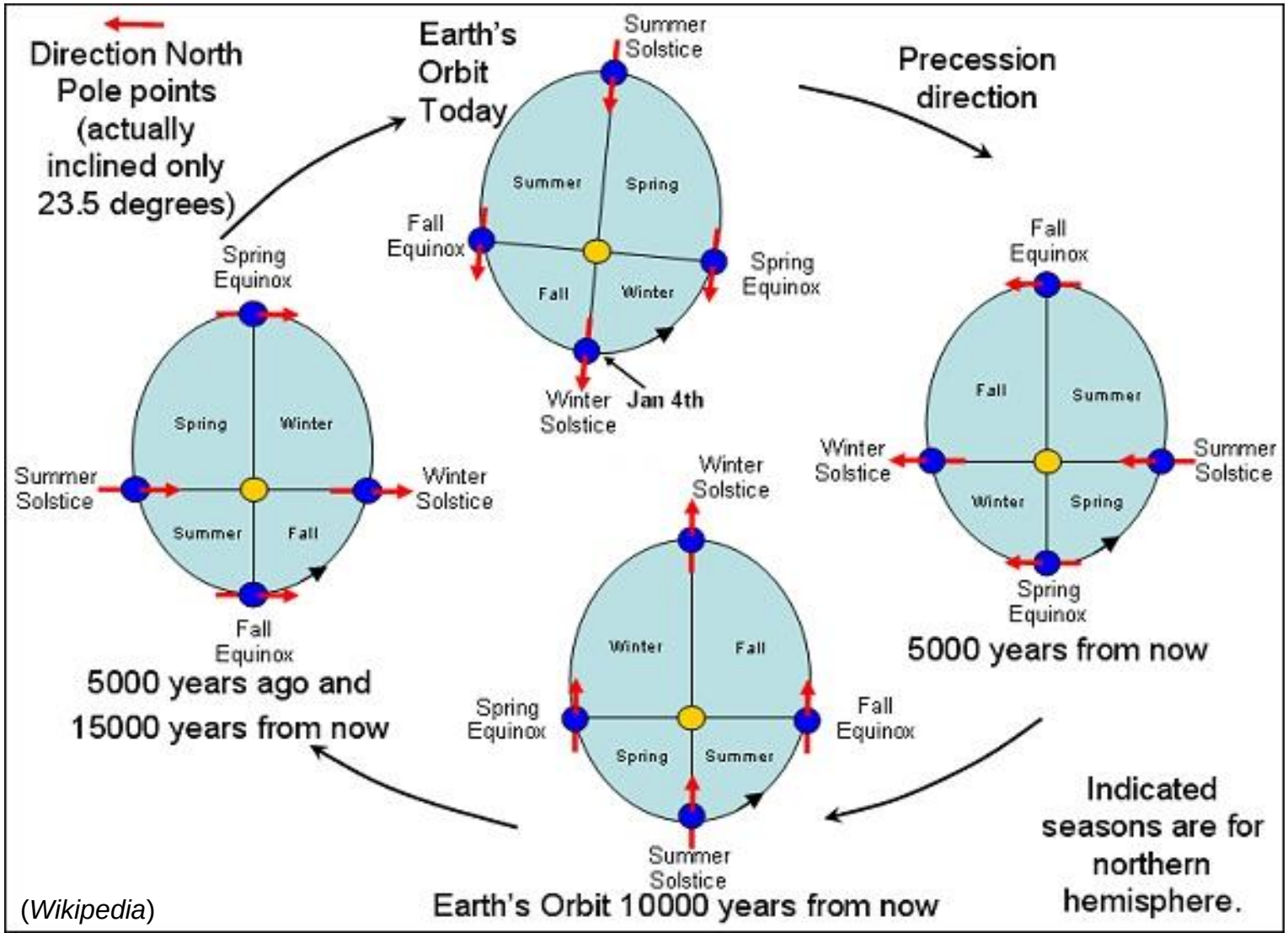


(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Precessing_Kepler_orbit_280frames_e0.6_smaller.gif)

(Michalík et al. 1999)

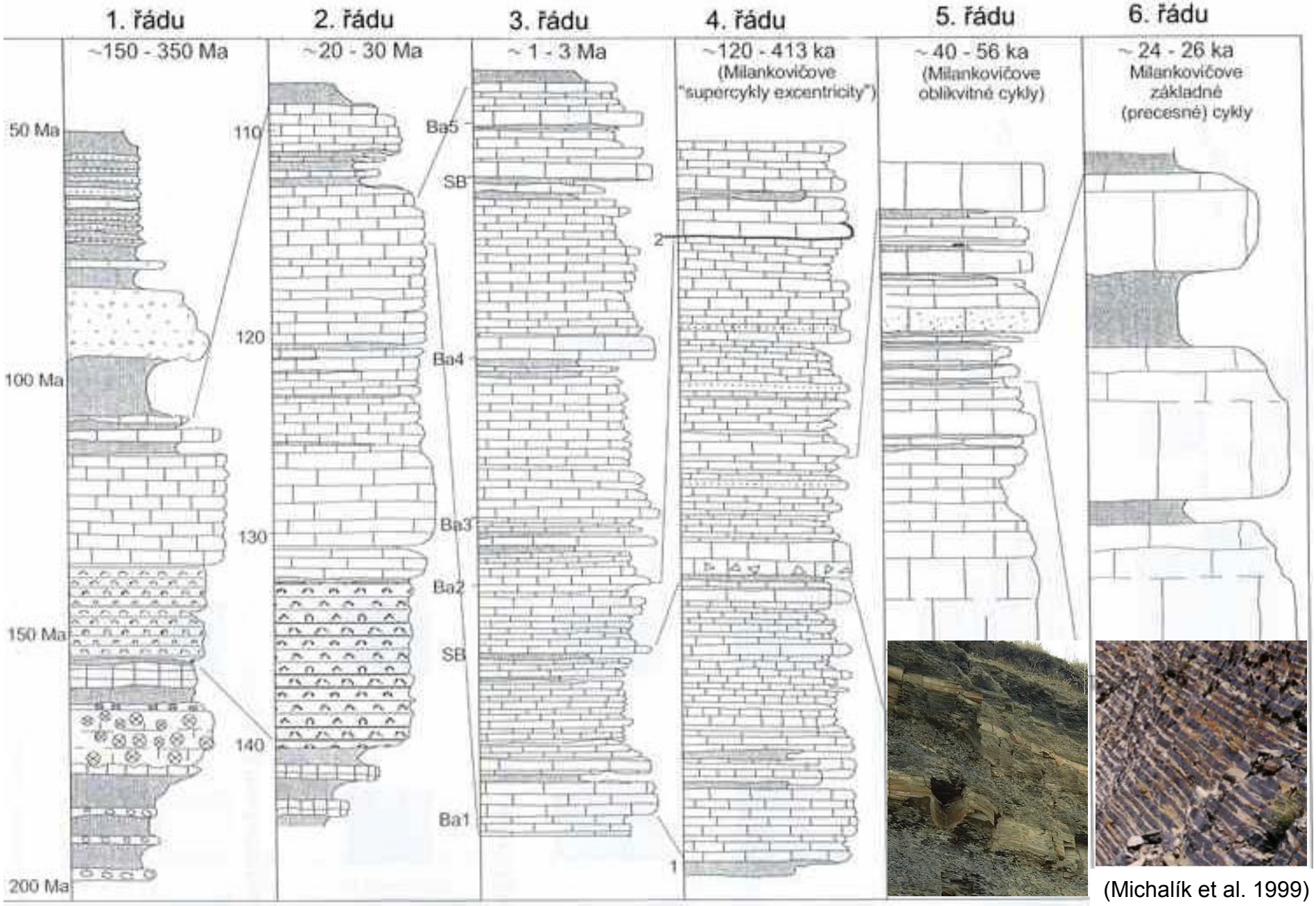
Vliv precese orbity v návaznosti na roční období

- všimněte si <u>měnící se vzdálenosti od Slunce v určitém ročním období</u>, severní pól přivrácen ke slunci (červená šipka) – jaro a léto na severní polokouli



(*Wikipedia*)

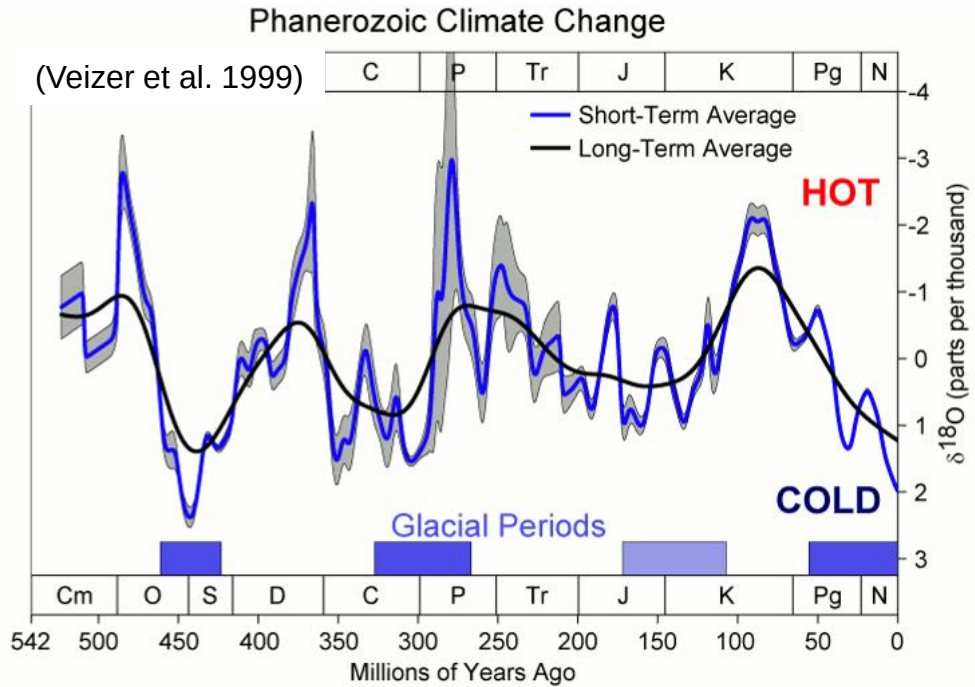
Základní cykly v sedimentačním záznamu

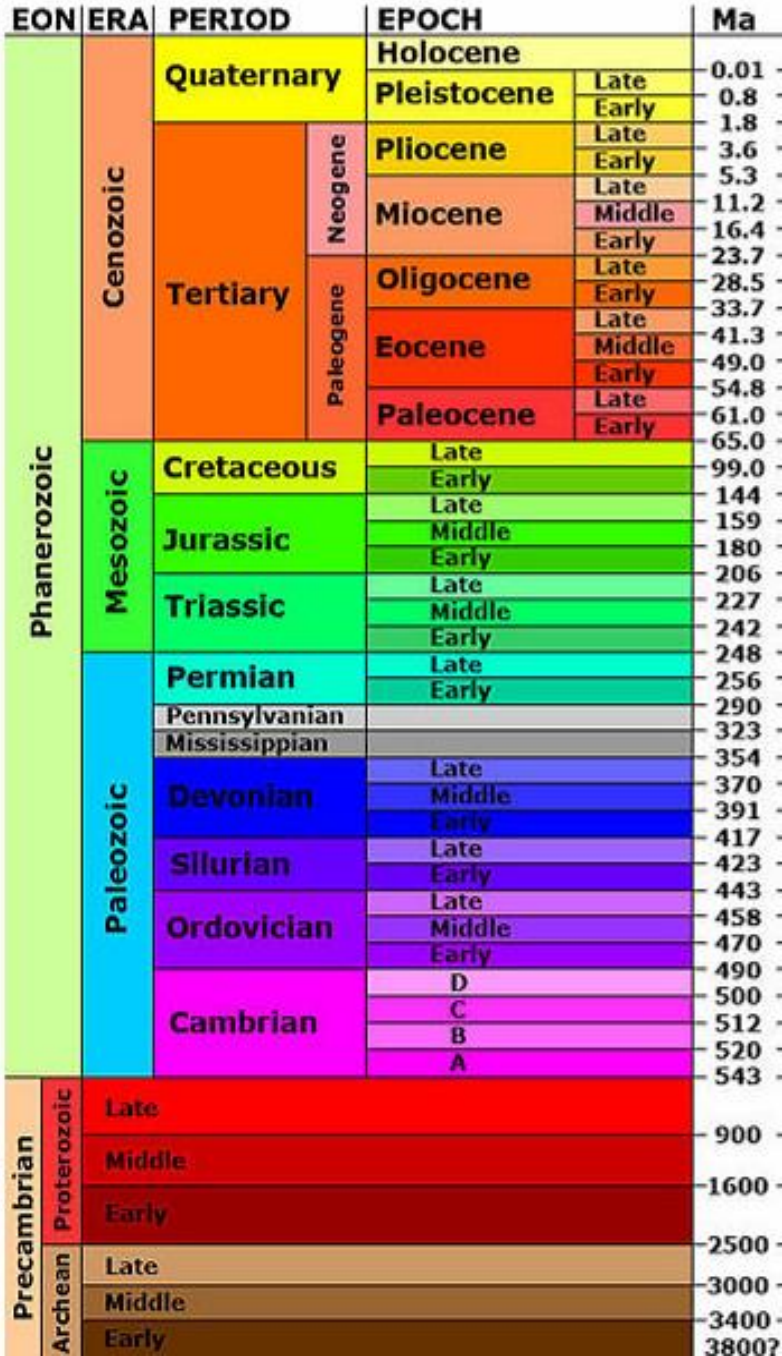


(Michalík et al. 1999)

Klimatické výkyvy v geologické minulosti

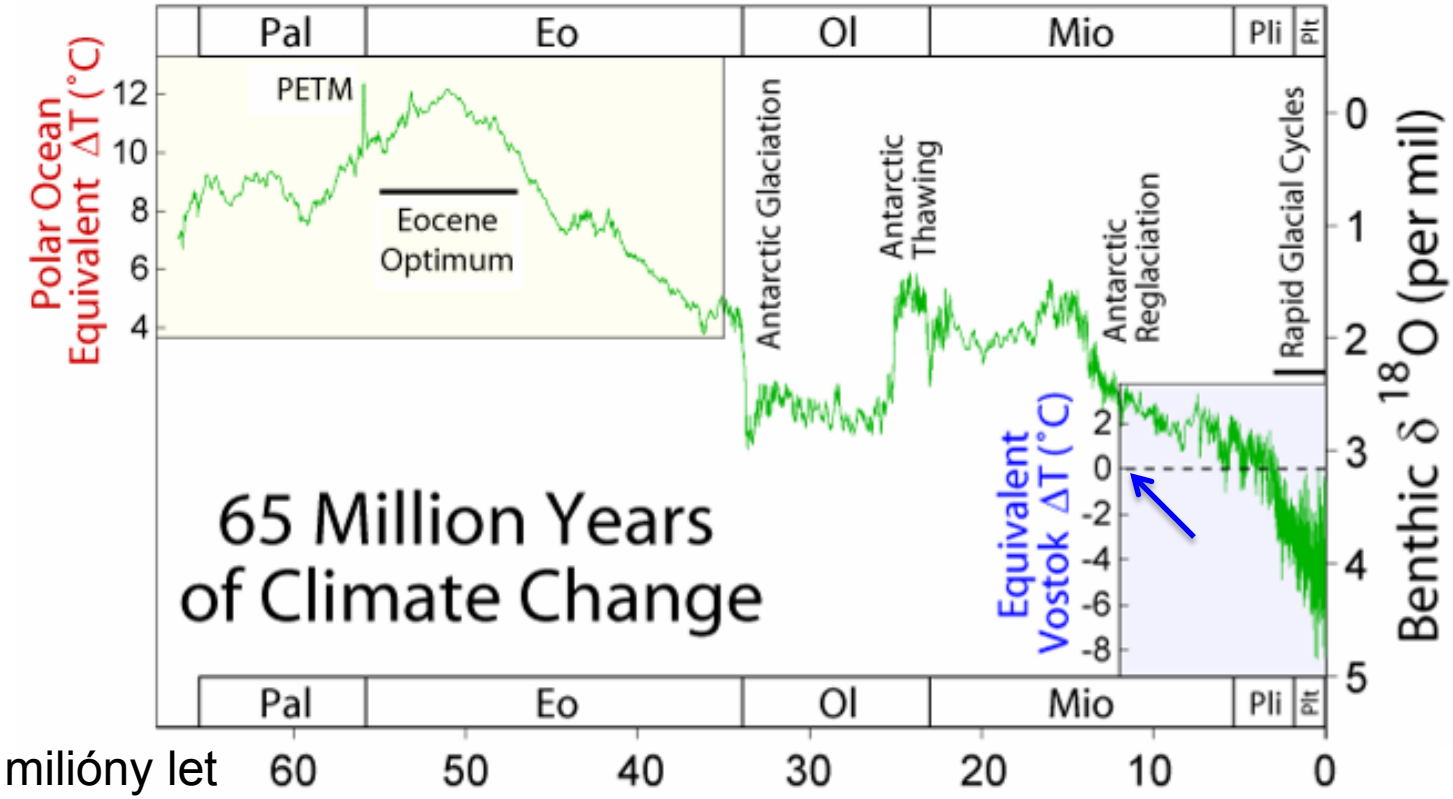
- „The Snowball Earth“ – nejrozsáhlejší zalednění v historii Země (pravděpodobně celé planeta pokryta ledem) v cryogenu, před cca 630 mil. let, přežití života v okolí hlubokomořských riftů (u tzv. hlubok. kuřáků)
- běžné situace v prekambriu, asi z důvodu o 15 % nižší koncentrace CO_2 (tepelné ztráty bez „skleníkových“ plynů v atmosféře)
- několik ledových dob i během fanerozoika





Klimatické výkyvy od třetihor

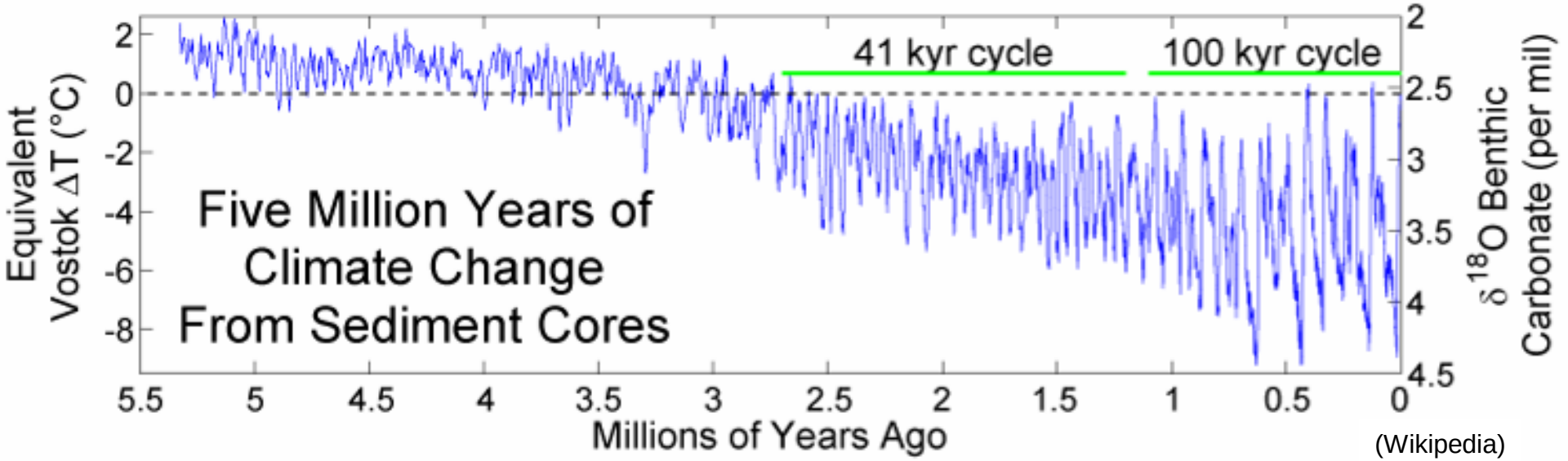
- vývoj teploty během posledních 65 miliónů let, hodnota 0 (vpravo dole, viz šipka) odpovídá dnešní průměrné teplotě na Zemi
- první třetina třetihor výrazně teplá, poté trvalé ochlazování, ale s výkyvy
- před 34 mil. let tvorba antarktického ledovce, před 25 mil. taje a 13 mil. let expanduje zpět na dnešní stav
- grónský a severoamerický ledovec se začínají tvořit až před 3 mil., lety



(Wikipedia)

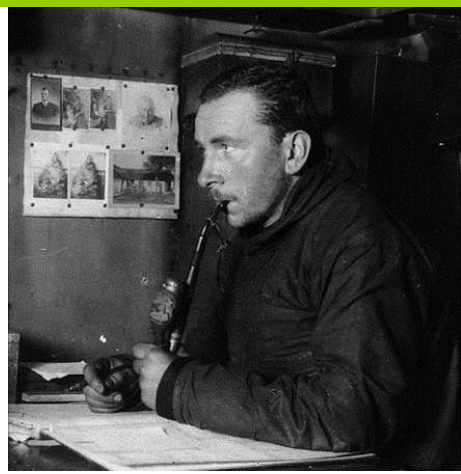
Klimatické výkyvy od třetihor

- koncem třetihor o něco tepleji než dnes, jen malé výkyvy
- pleistocén, zejména jeho druhá polovina, typický velkými a cyklickými výkyvy (glaciály a interglaciály)
- důvody nástupu ledové doby nejsou zcela jasné, souhra více faktorů:
  - pokles koncentrace skleníkových plynů (CO_2 a metan) v atmosféře (hlavně vlivem nižší vulkanické aktivity)
  - pohyb kontinentů – ovlivňuje hromadění sněhu a tím zvyšuje albedo, mořských proudů i proudění větru
  - změny planetárních parametrů (Milankovičovy parametry)
  - změny intenzity slunečního záření, dopady meteoritů



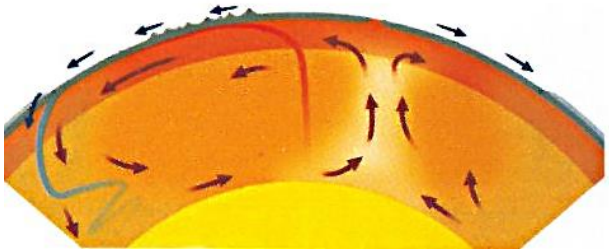
(Wikipedia)

Teorie litosférické tektoniky

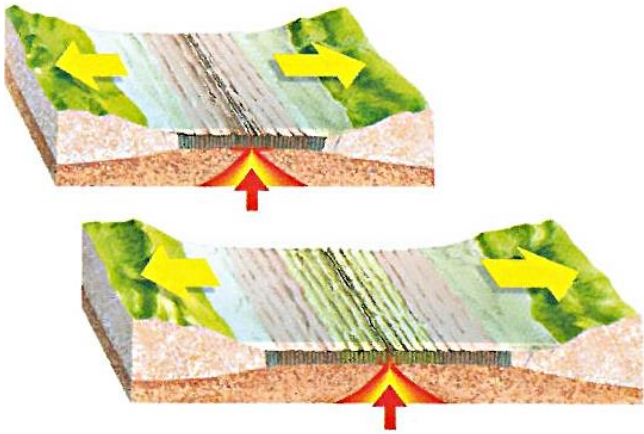


- Alfred Wegener (1880–1930): německý klimatolog
  - 1915: formuloval teorii kontinentálního driftu – shoda pobřeží Jižní Ameriky a Afriky, a nově i analýza fosilií
  - kontinenty plují na tekutém plášti Země (**nepřesné**)
- dnes teorie deskové tektoniky: litosféra tvořená z desek, které se proti sobě posouvají jako skládačka po tekuté astenosféře (vlivem konvenčních proudů)

dobová karikatura inspirovaná Wegenerovou teorií *(Dawkins 2009)*



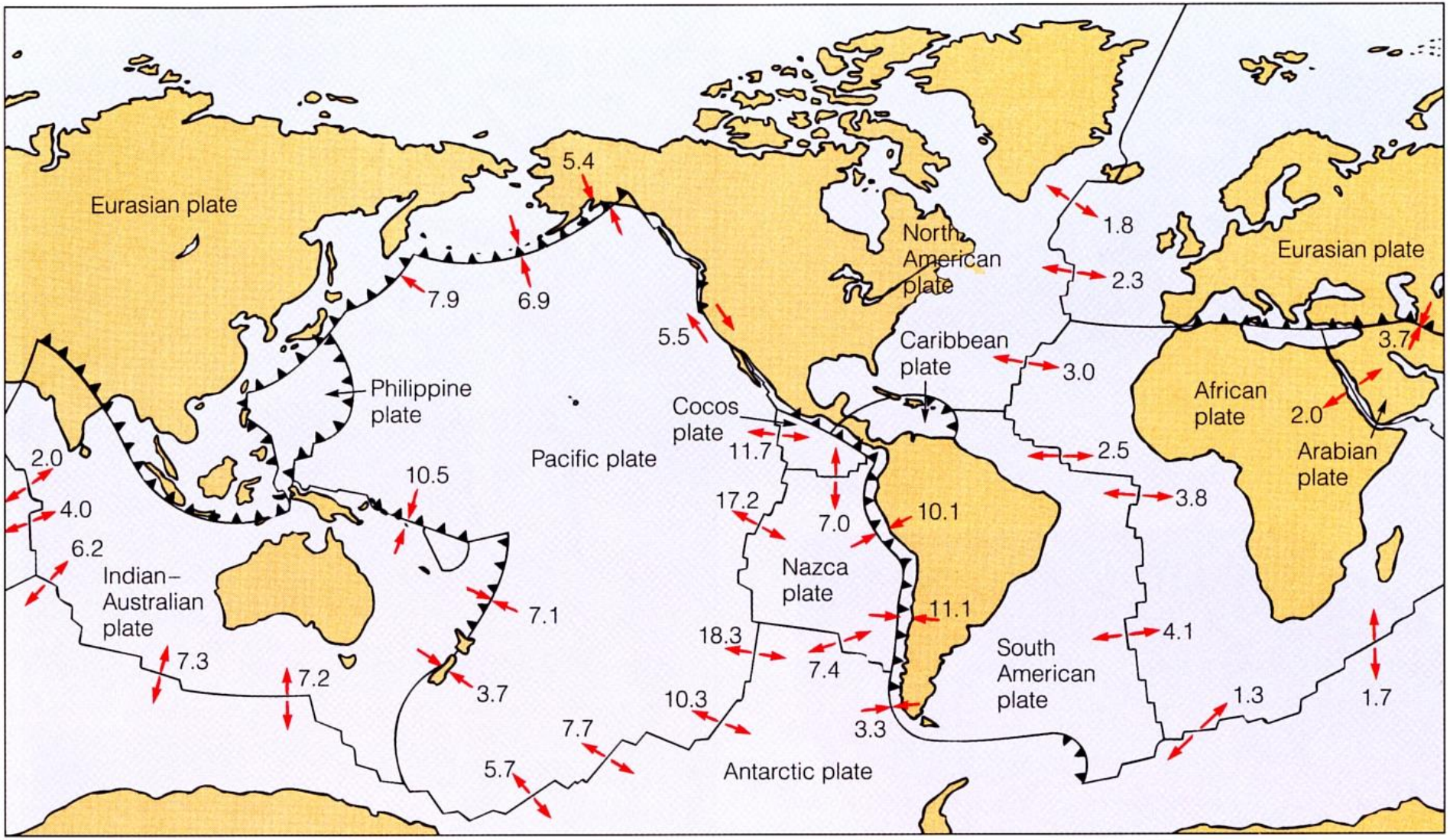
hluboké a pomalé konvenční proudy, které pohybují deskami



proces rozšiřování mořské dna mezi vzdalujícími se deskami

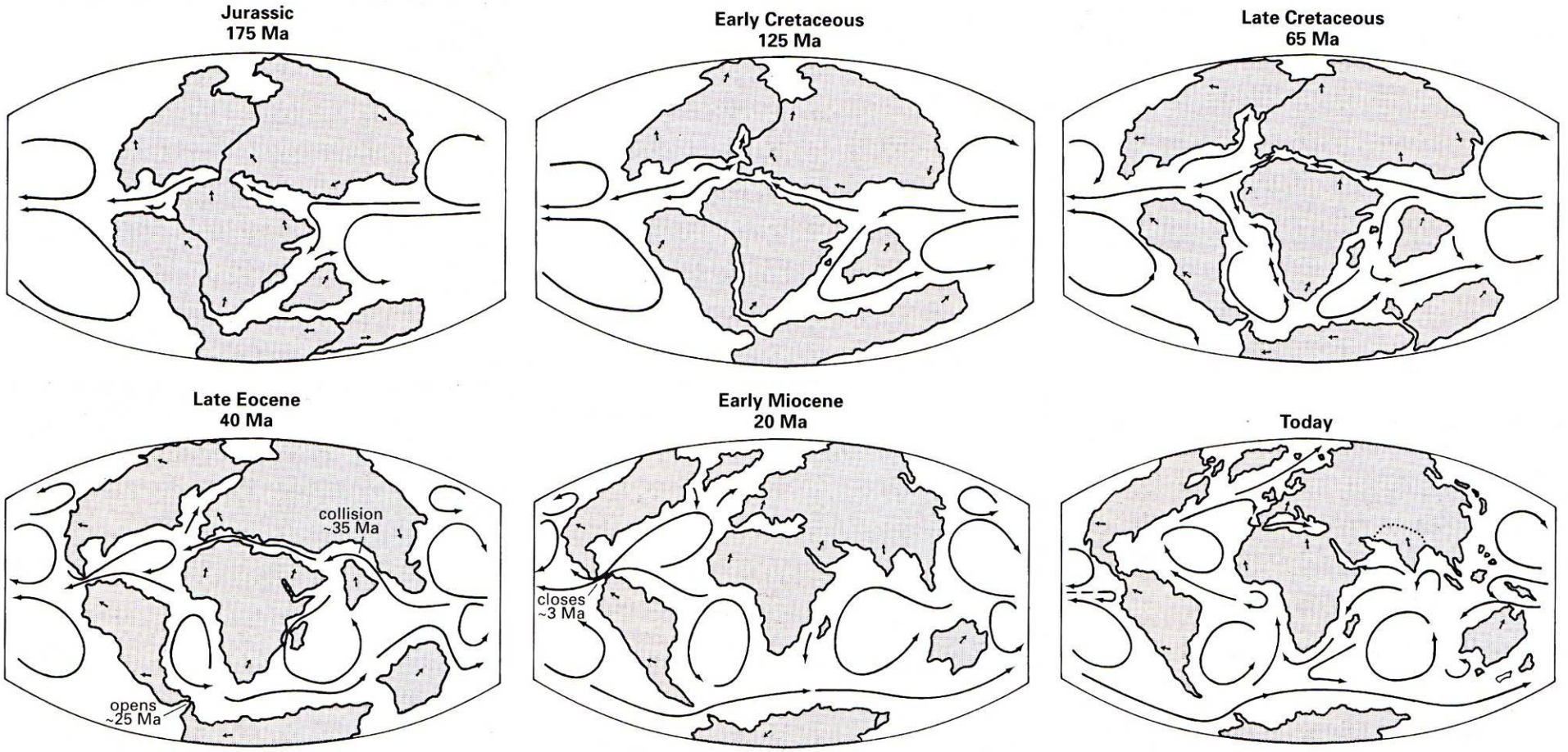
Rozložení a pohyb litosférických desek

- současná rychlost pohybu litosférických desek (cm/rok), (přirovnává se k rychlosti růstu nehtů)



Rozložení kontinentů – změny mořských proudů

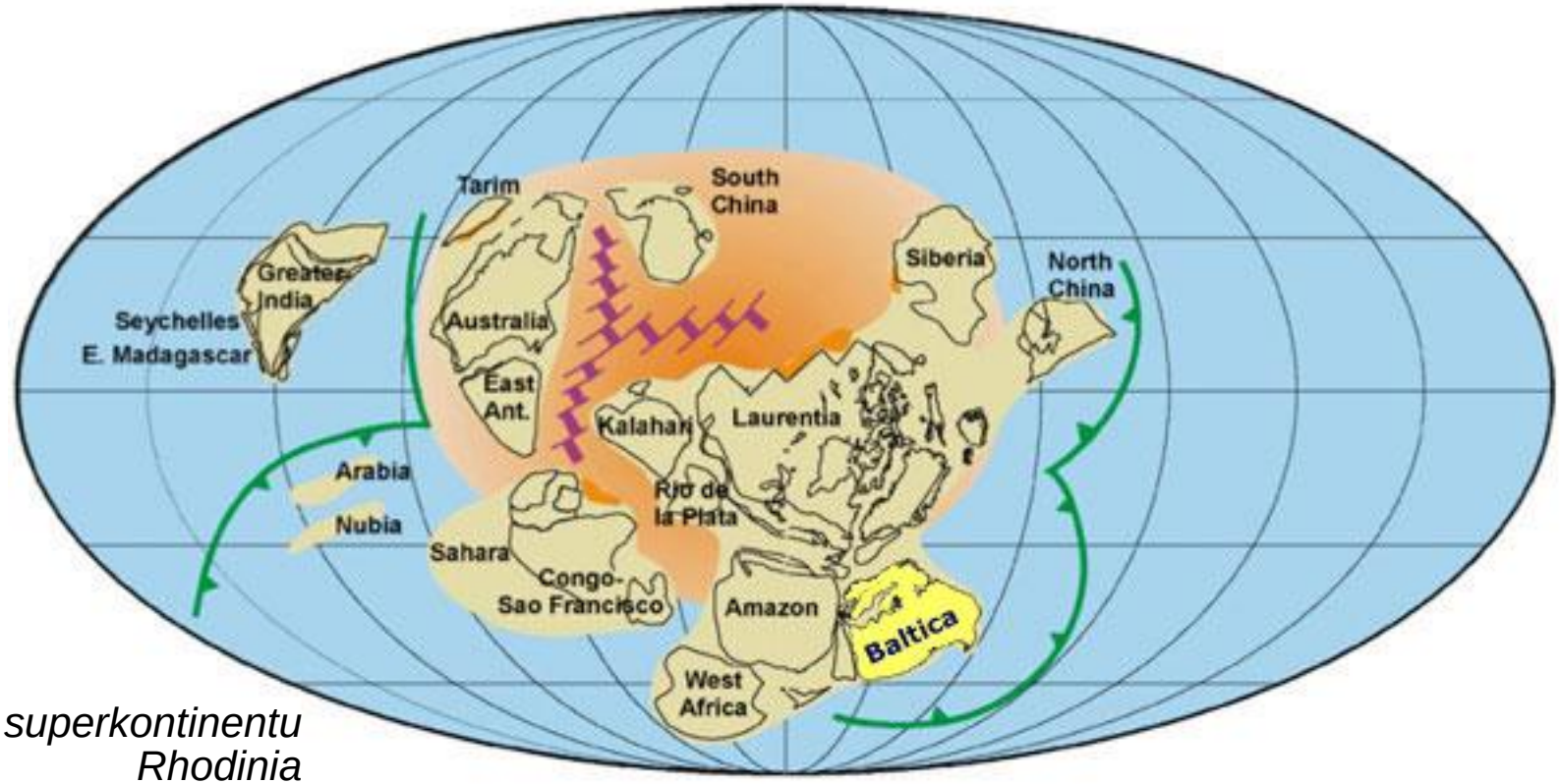
- změny polohy kontinentů a jejich vliv na mořské proudy během posledních 175 mil. let
- Jura – počátek rozpadu superkontinetu Pangea; až o něco později se začíná rozpadat jižní Gondwana



(podle van Andel 1985 a Strahler & Strahler 1987)

Pozice kontinentů a glaciální periody

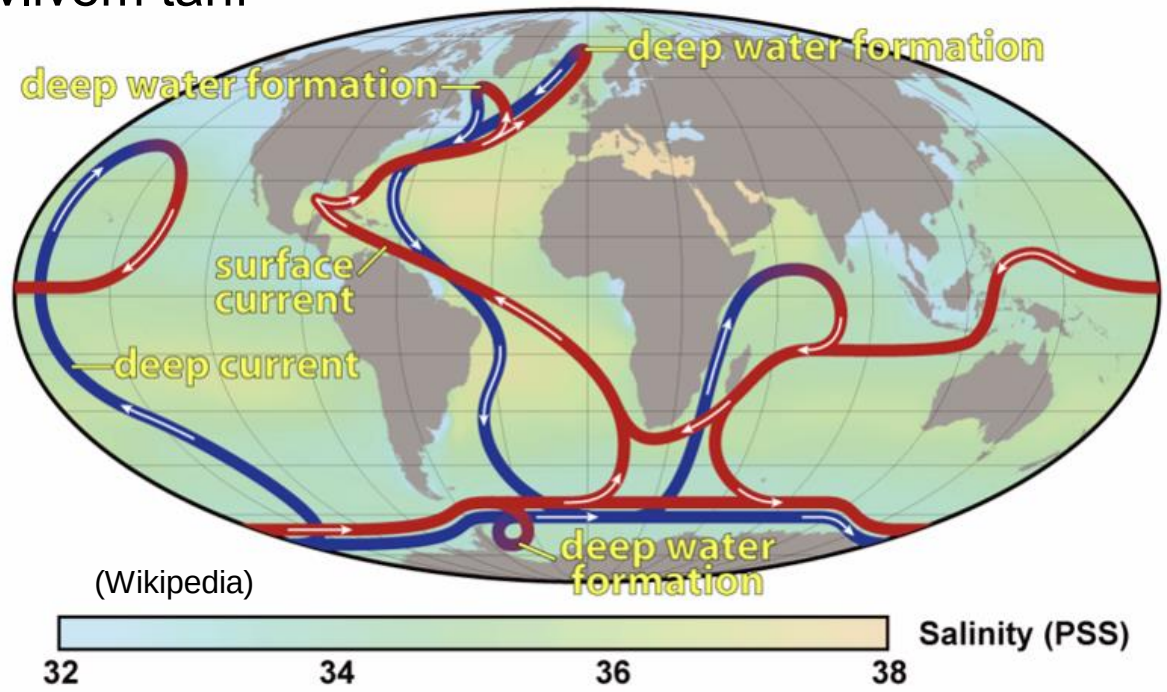
- tři možné pozice kontinentů, které blokují či redukují proudění teplé vody od rovníku k pólům
  - kontinent sedí přesně na pólu (jako Antarktida dnes)
  - polární moře má povahu pevniny (jako Arktický oceán dnes)
  - superkontinent pokrývá většinu rovníku (jako Rhodinia v cryogenu, před 700 mil. lety – první superkontinent)



Rekonstrukce superkontinentu Rhodinia

Pozitivní zpětná vazba a termohalinní oceánský výměník

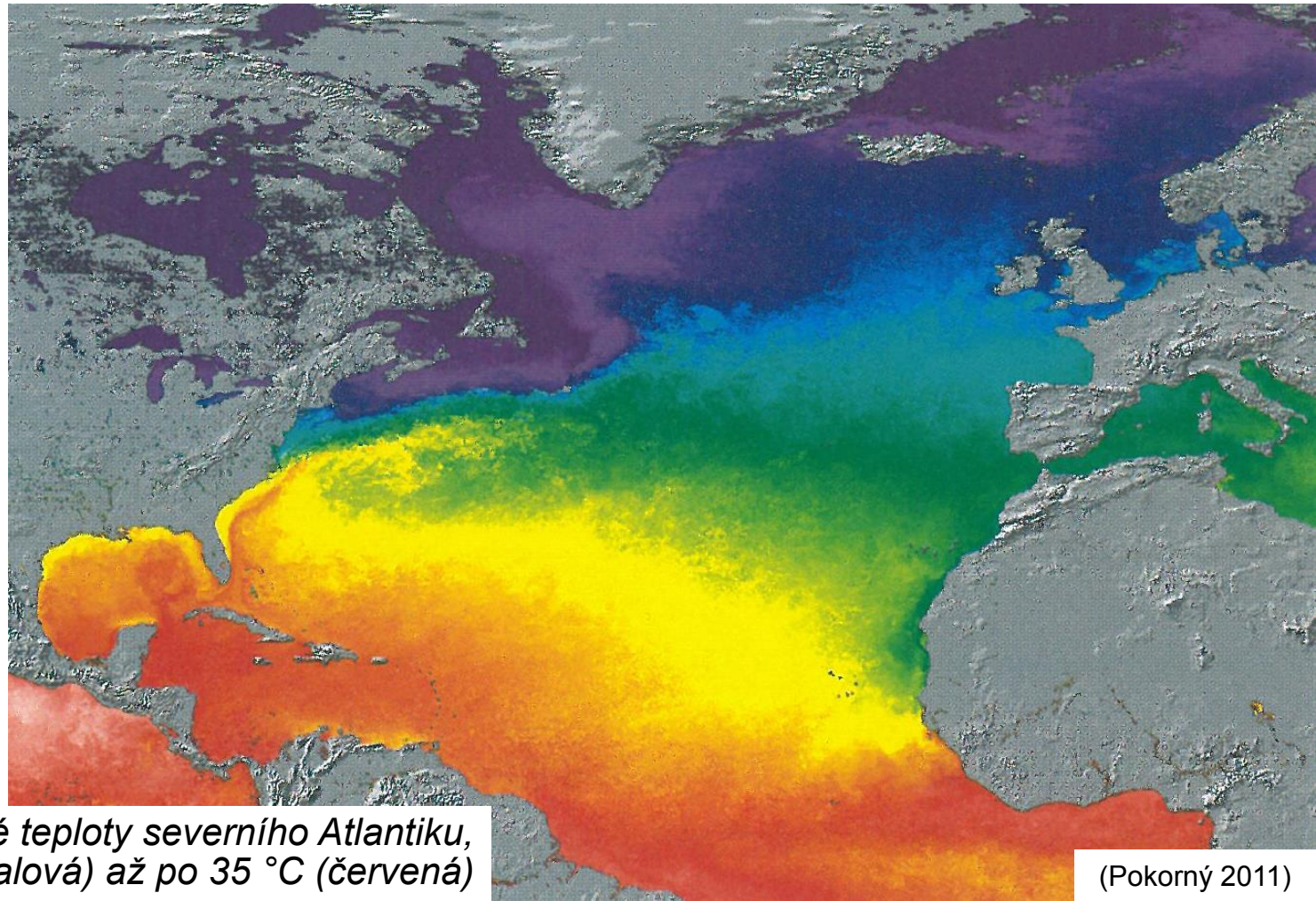
- pro příchod glaciálu na konci třetihor pravděpodobně zásadní pozice kontinentů – dostatek pevniny v blízkosti pólu, kde se v zimě hromadí sníh
- Milankovičovy oscilace na konci třetihor – podoba glaciálů a interglaciálů
- pozitivní zpětnou vazbou se:
  - zvyšuje albedo – více záření se odrazí a méně absorbuje – pevnina se ochlazuje – tím se hromadí více sněhu – dále se zvyšuje albedo – atd.
  - následná redukce plochy lesa také zvyšuje albedo
  - oceánický termohalinní výměník – přenos tepla z tropů k pólům (Golfský proud), snížení salinity vlivem tání v teplých obdobích – porušení cirkulace – ochlazení
- naopak suché glaciální klima snižuje srážky potřebné k zalednění



(Wikipedia)

Golfský proud a jeho vliv

- Golfský proud rozvádí teplo z rovníkových oblastí na pobřeží Evropy – porušením jeho cirkulace by došlo k výraznému ochlazení evropského klimatu (tak jako během glaciálů)

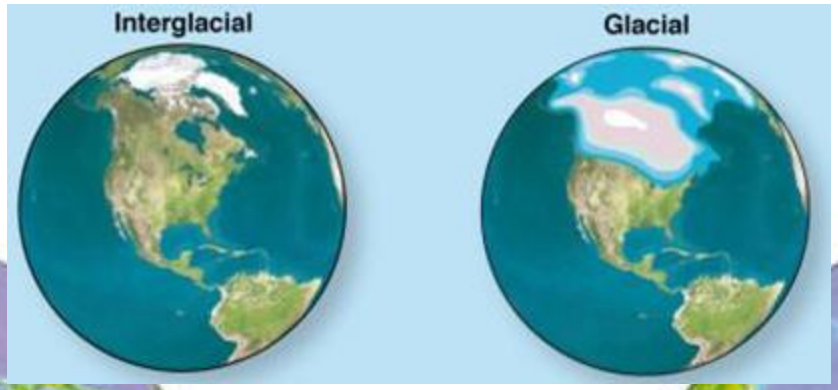


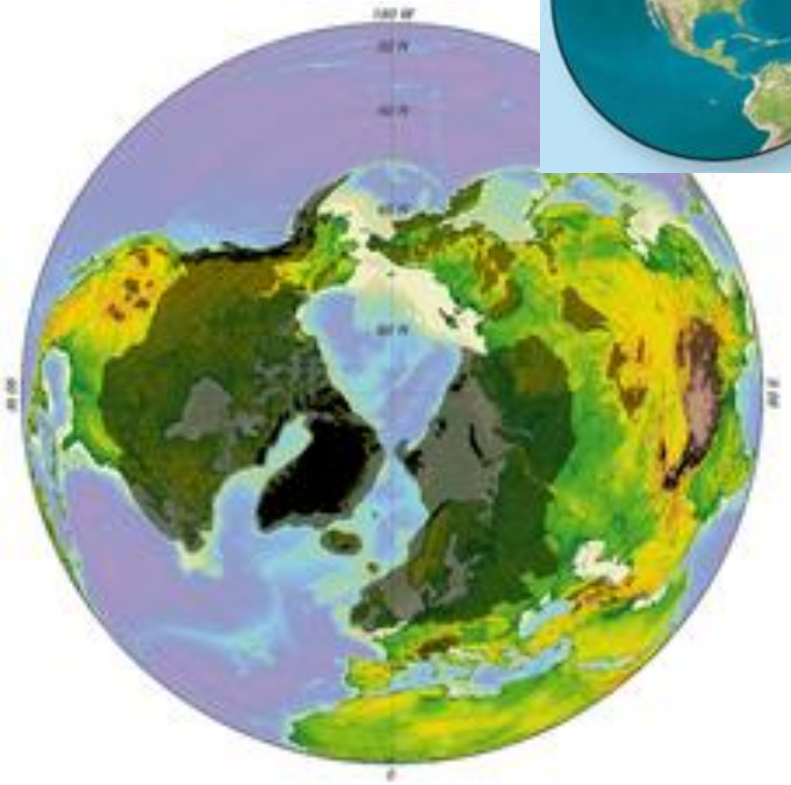
Současné povrchové teploty severního Atlantiku, do 0 °C (tmavě fialová) až po 35 °C (červená)

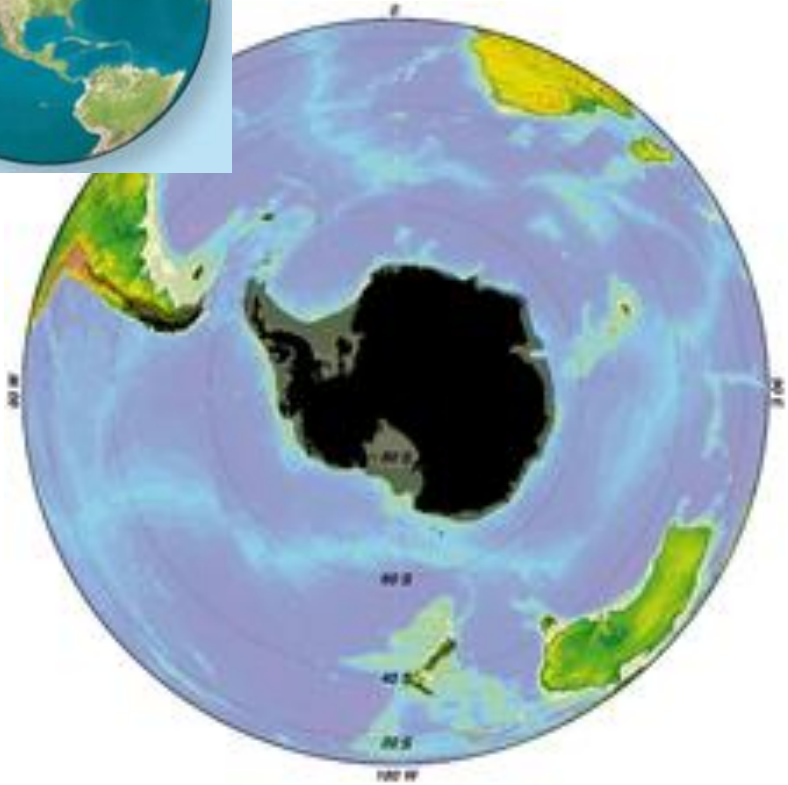
(Pokorný 2011)

Kolísání arktického a antarktického zalednění

- rozsah minimálního (černě) a maximálního (šedě) zalednění severní a jižní polokoule
- rozdíly na severní polokouli jsou vyšší v řádech – význam zhuštění kontinentů u severního pólu



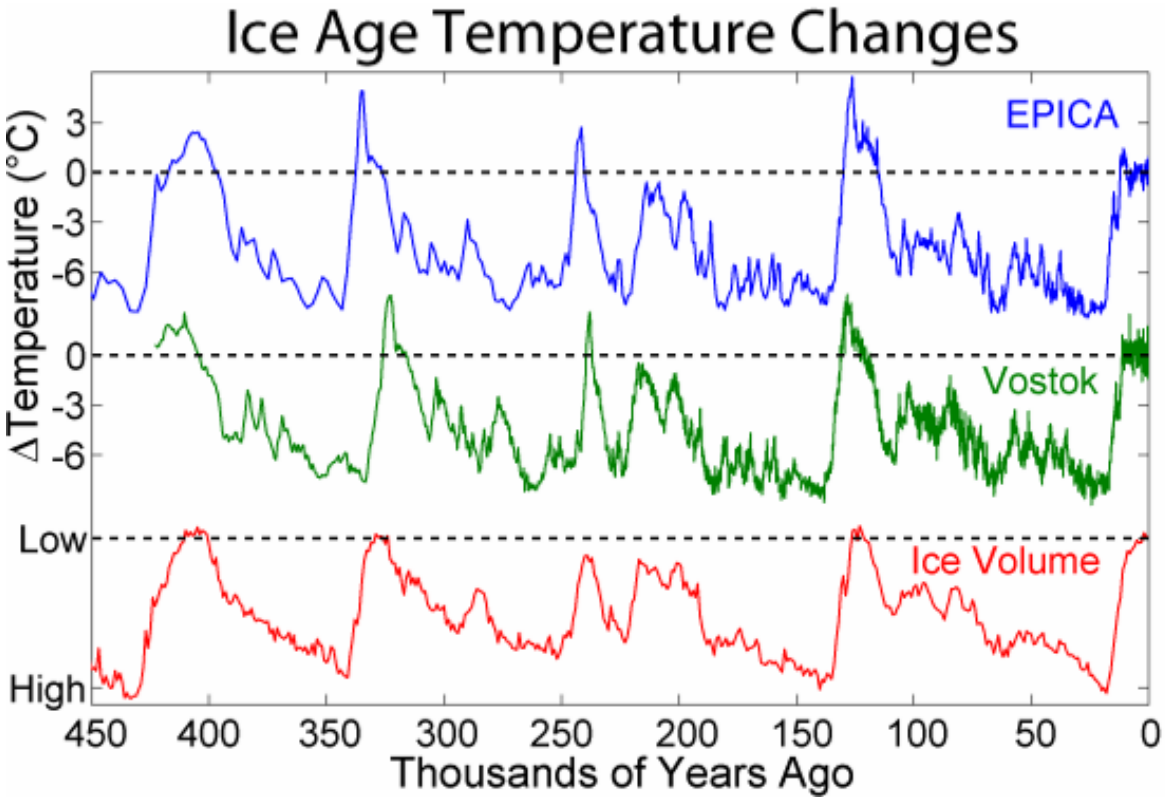




(Wikipedia)

Vrty ledovcem – klíč k poznání klimatických změn

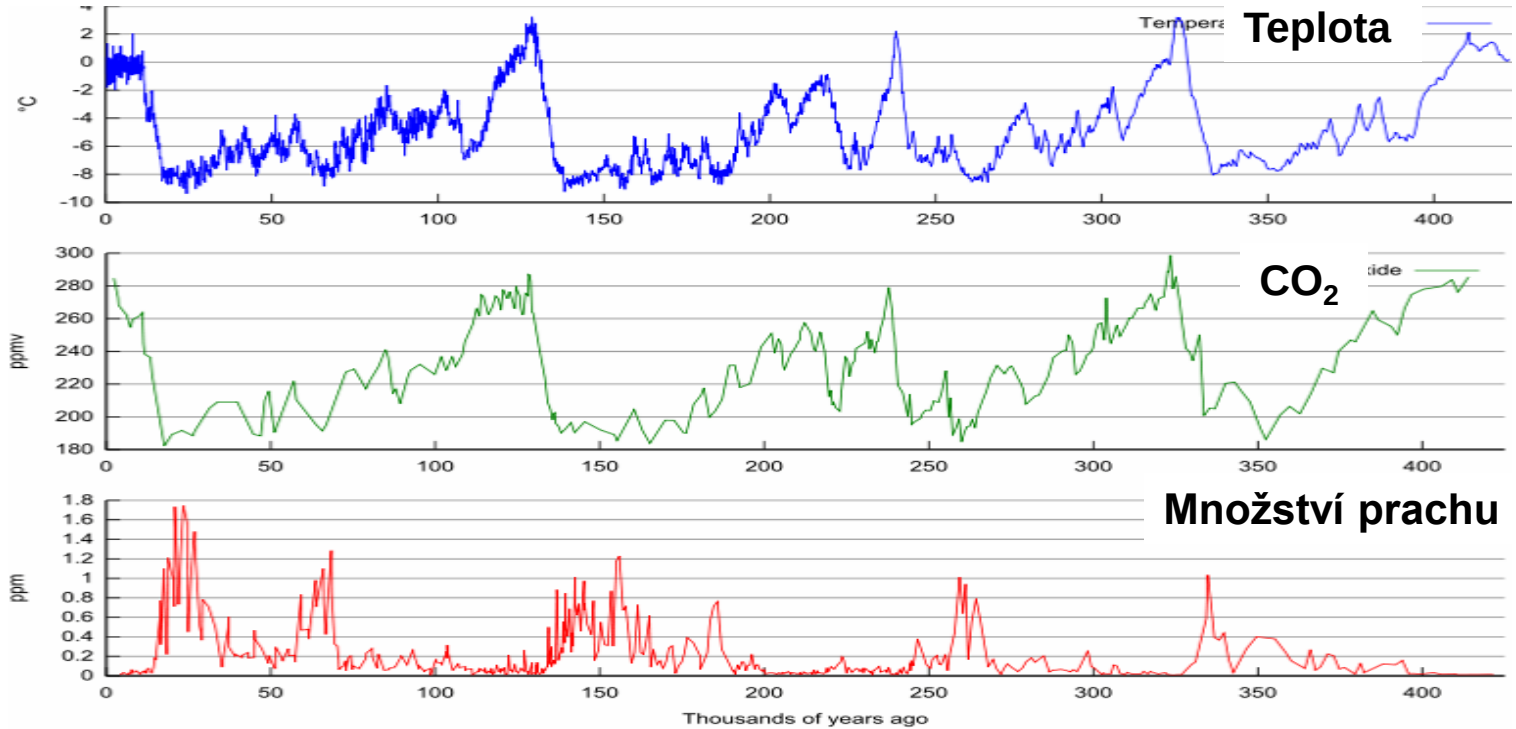
- s myšlenkou přišel už A. Wegener – 25 m hluboký vrt Grónským ledovcem
- technicky náročné, zvládnuto až na konci 80. let, vrty až do 3 km
- v Antarktidě několik vrtů (Vostok, EPICA, Dome C – stáří až 1 milion let)
- grónské vrty (GRIP, GISP2) mladší (100 tis. let), ale velmi podrobné – roční vrstvičky (díky vydatnějším srážkám – kvalitní chronologie)



(Wikipedia)

Vrty ledovcem – měřitelné veličiny

- pH ledu odráží sopečnou činnost
- obsah a charakter prachových částic ukazuje na zdroj a celkové množství prachu v atmosféře (viz obr.)
- obsah těžkého izotopu kyslíku ($\delta^{18}O$) – dlouhodobé teplotní křivky
- obsah izotopu ^{10}Be je měřítkem intenzity kosmického záření (suma energie, kalibrace radiokarbonových datací)
- hlavně analýza paleoatmosféry ze vzduchových bublinek (korelace skleníkových plynů s globálními teplotami)



(Wikipedia)

Stratigrafie kvartéru: MIS a OIS fáze

- **MIS** = marine isotope stages, marine oxygen-isotope stages; **OIS** = oxygen-isotope stages
  - jedná se o milníky střídání teplých a chladných fází v paleoklimatu Země
  - odhadují se na základě obsahu a poměru izotopů kyslíku (^{18}O a ^{16}O) z vrtů mořskými sedimenty, nověji i antarktickým či grónským ledovcem
  - základní myšlenka a klasifikace od C. Emilianiho: množství těchto izotopů se v kalcitu schránek organizmů mění v závislosti na teplotě okolní vody, nyní se přikládá větší vliv změnám objemu kontinentálních ledovců
  - více než 100 fází bylo nalezeno do současnosti (za posledních 6 milionů let), v budoucnu se předpokládá klasifikace za posledních 15 mil. let
  - fáze přesně odpovídají Milankovičovým cyklům, terestrickým sedimentům, dendrochronologickým i dalším údajům
  - MIS jsou však detailnější a úplnější než všechny terestrické ekvivalenty

sledy mořských sedimentů u pobřeží Grónska (Wikipedia)

Základní MIS fáze kvartéru

- **MIS 1** – 11 kya (= tisíců let), konec mladšího dryasu, označuje začátek holocénu
- **MIS 2** – 24 blízko LGM
- **MIS 3** – 60
- **MIS 4** – 71 (74)
- **MIS 5** – 130, včetně eemu, dále členěn na a-e subfáze:
  - MIS 5a – 84,74
  - MIS 5b – 92,84
  - MIS 5c – 105,92
  - MIS 5d – 115,105
  - MIS 5e – 130,115
- **MIS 6** – 190
- **MIS 7** – 244
- **MIS 8** – 301
- **MIS 9** – 334
- **MIS 10** – 364
- **MIS 11** – 427
- **MIS 12** – 474
- **MIS 13** – 528
- **MIS 14** – 568
- **MIS 15** – 621
- **MIS 16** – 659
- **MIS 17** – 712 (689)
- **MIS 18** – 760 (726)
- **MIS 19** – 787 (736)
- **MIS 20** – 810 (763)
- **MIS 21** – 865 (790)

některé starší fáze, v mya (miliony let)

- **MIS 22** – 1.03 mya, označuje konec periody „Bavelian" v Evropě
- **MIS 62** – 1.75, konec periody „Tiglian"
- **MIS 103** – 2.588, konec pliocénu a začátek pleistocénu

Místní chronologie kvartéru

- celkem přes 50 cyklů, ale významných je 5-7 koncových cyklů (intenzivní)
- terminologie se geograficky různí (např. pevninské vs. horské zalednění, Evropa vs. Amerika)

	Alpy	S America	S Evropa	UK	J Amerika		tis. let
Holocene 11 550 let				Flandrian		interglacial	present – 12
	Würm	Wisconsin	Weichselian or Vistulian	Devensian	Llanquihue	glacial period	12 – 110
	Riss-Würm	Sangamonian	Eemian	Ipswichian	Valdivia	interglacial	110 – 130
	Riss	Illinoian	Saalian	Wolstonian or Gipping	Santa María	glacial period	130 – 200
Pleistocene	Mindel-Riss	Pre-Illinoian	Holstein	Hoxnian		interglacial (s)	200 – 300/380
	Mindel	Pre-Illinoian	Elsterian	Anglian	Río Llico	glacial period(s)	300/380 – 455
	Günz-Mindel	Pre-Illinoian		Cromerian*		interglacial (s)	455 – 620
	Günz	Pre-Illinoian	Menapian	Beestonian	Caracol	glacial period	620 – 680

(Wikipedia)

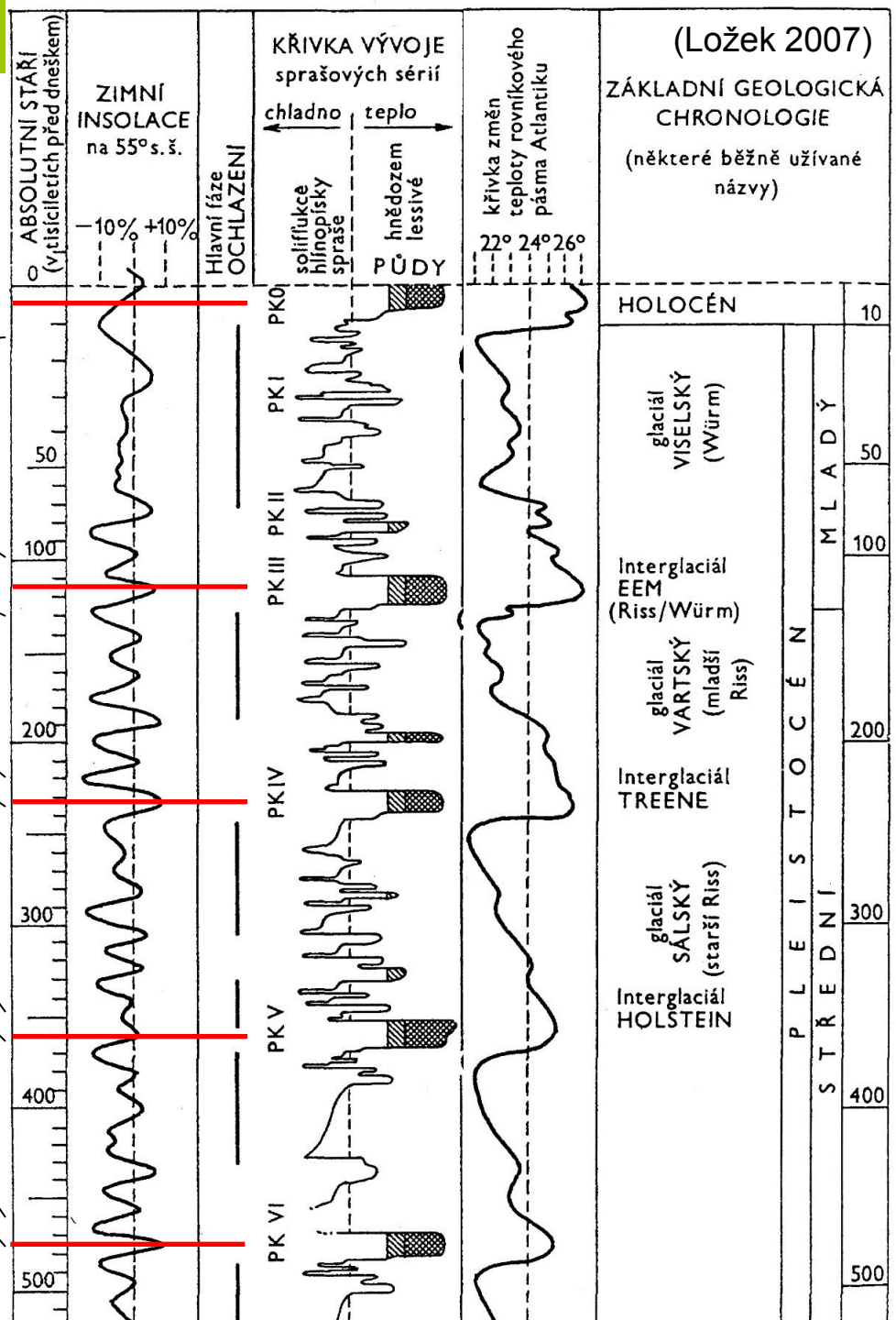
Členění kvartéru dle evropského dělení

- pro nás nejpoužívanější terminologie, alpská (vlevo) a severoevropská

holocén 11 550 let	mladší	subrecent subatlantik subboreál	(Chlupáč et al. 2002)
	střední	epiatlantik atlantik	
	starší	boreál preboreál	
pleistocén 2,588 mil. let	svrchní	würm riss–würm	weichsel eem
	střední	riss mindel–riss mindel günz–mindel	saale holstein elster cromer
	spodní	günz	menap waal eburon

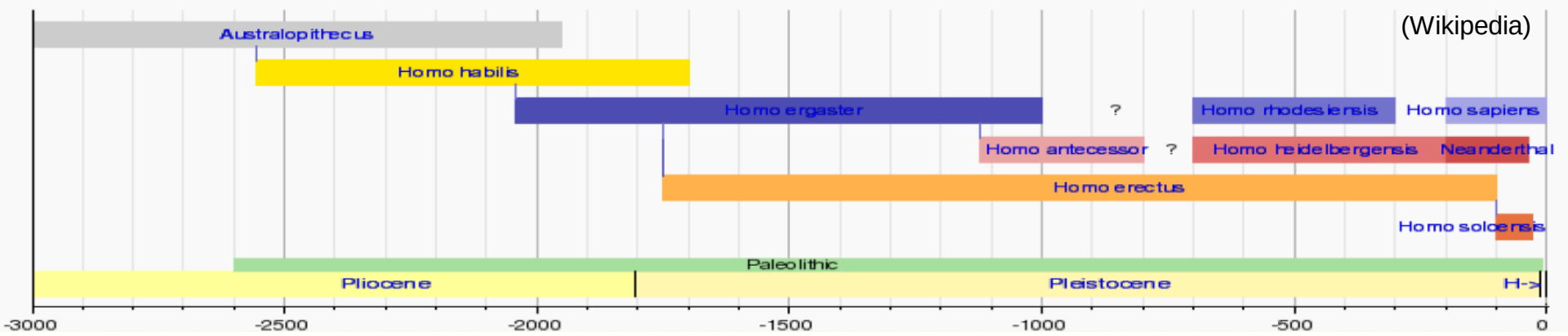
Členění kvartéru u nás

glaciál x interglaciál	počátek tis. let
holocén	11,6
viselský (Würm)	100
eemský (Riss/Würm)	135
vartský (mladší Riss)	225
Treene	240
sálský (starší Riss)	350
holštýnský (Mindel/Riss)	370
elsterský (Mindel)	470
cromerský (Günz/Mindel)	485
weybourneský (Günz)	590
tegelénský (Donau/Günz)	610
butleyský (Donau)	ca 1000



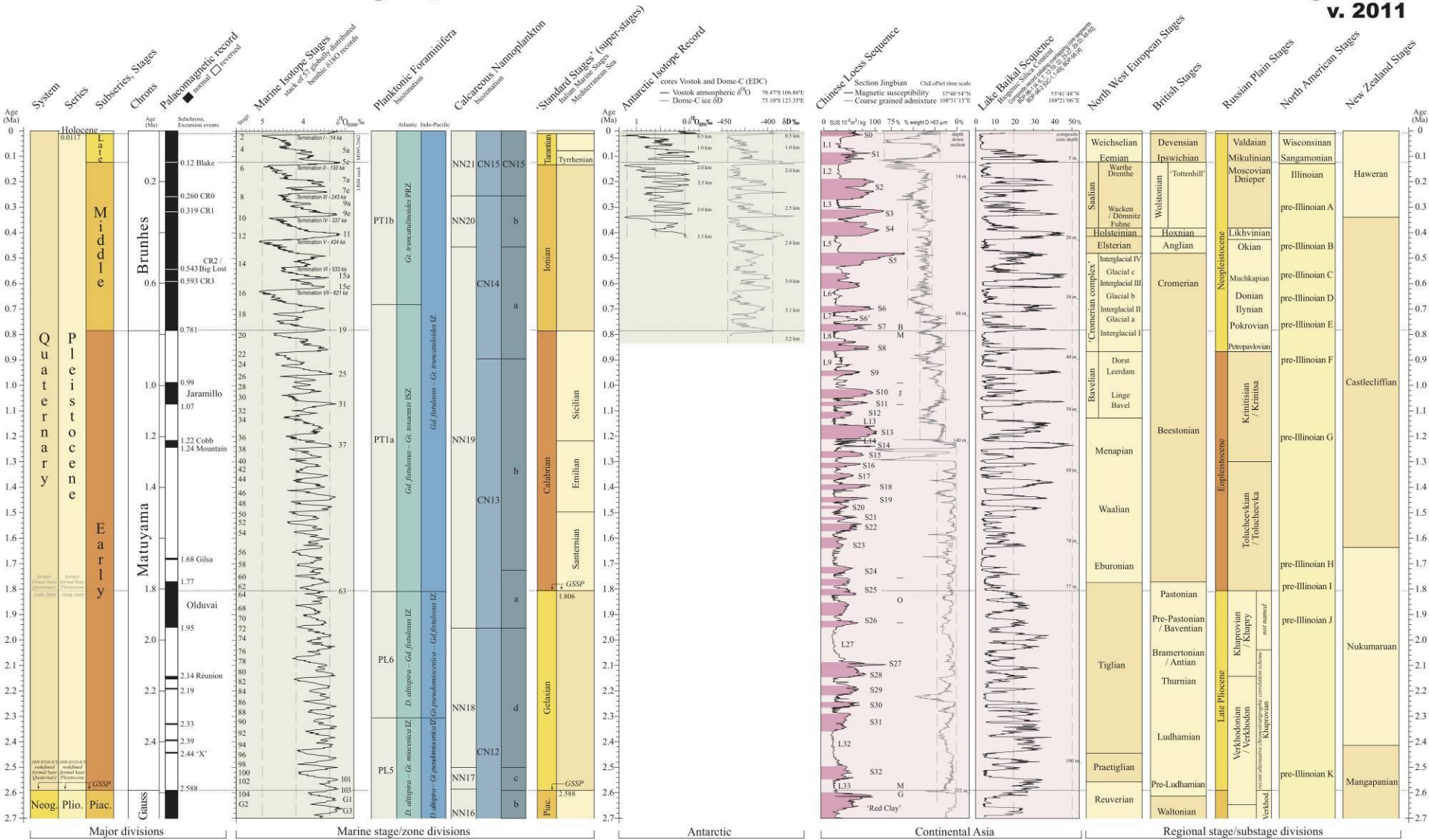
Archeologické členění kvartéru

- **paleolit** (starší doba kamenná)
  - starší: 2,6–0,3 mil. let – *Homo habilis*, *H. ergaster*, *H. erectus*
  - střední: 0,3–0,04 mil. let – *Homo sapiens neandertalensis*
  - mladý: 40–13 tis. let – *Homo sapiens sapiens*
  - pozdní: 13–10 tis. let BP (cal.)
- **mezolit** (střední doba kamenná): 10–8 tis. let BP (cal.)
- **neolit**: 5200–4300 let BC
- **eneolit**: 4300–2100 let BC
- **doba bronzová**: 2100–800 let BC
- **doba železná**: 800–0 let BC



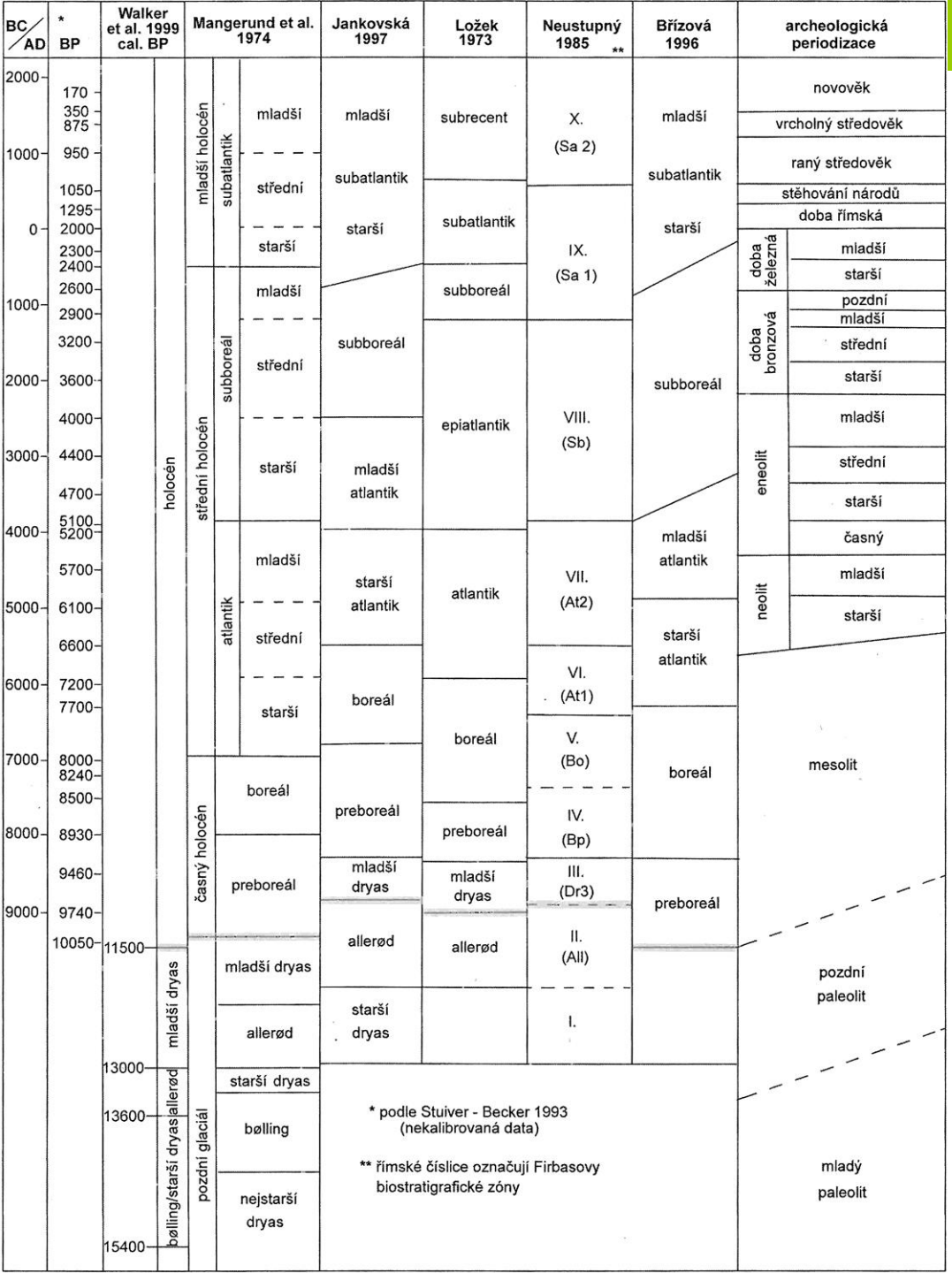
Srovnání stratigrafického členění na základě různých metod

- viz: http://www.quaternary.stratigraphy.org.uk/charts/



Možná členění holocénu

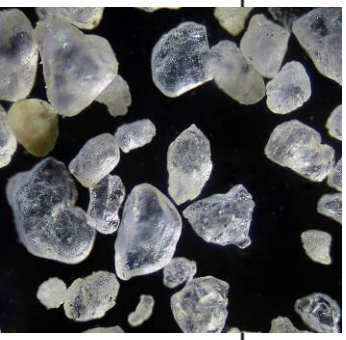
- chronologické a biostratigrafické členění pozdního glaciálu a holocénu

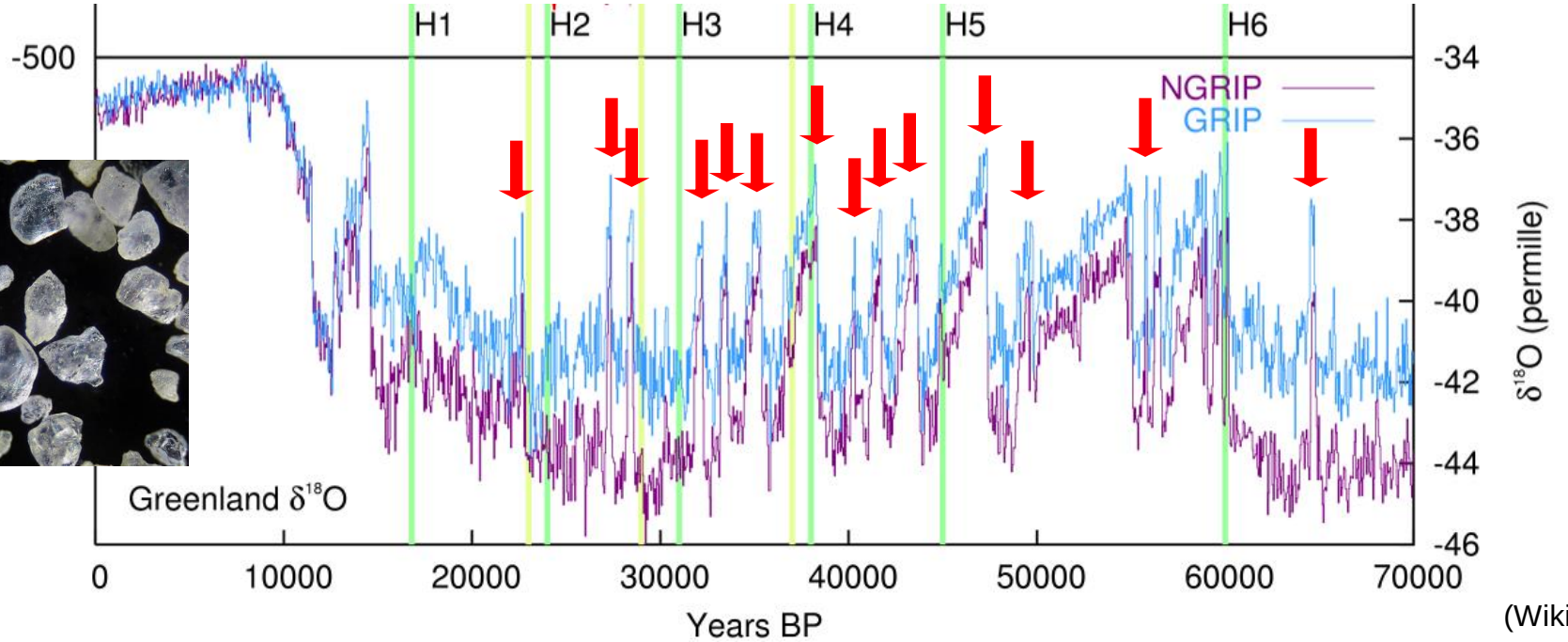


(Pokorný 2011, sestavila D. Dreslerová)

Dansgaard–Oeschgerovy a Heinrichovy události

- „Dansgaard–Oeschger events“: během posledního glaciálu došlo k velmi rychlým a krátkodobým oteplením (asi 25 krát, viz červené šipky)
  - doloženo z vrtů Grónským ledovcem (doba od konce eemského intergalciálu)
  - vrty antarktickým ledovcem ukazují, že se totéž dělo i v předešlých glaciálech
- „Heinrich events“: uvolnění ledových mas do sev. Atlantiku při zemětřesení, tání ledu porušilo termohalinní cirkulaci – ochlazení klimatu, H1-6 (viz obr.)
  - odhaleny v oceánských sedimentech – 6 vrstev s vysokým podílem písku kontinentálního původu (až 3 mm – nemohly přinést proudy), dnes potvrzeno vrty ledovcem)



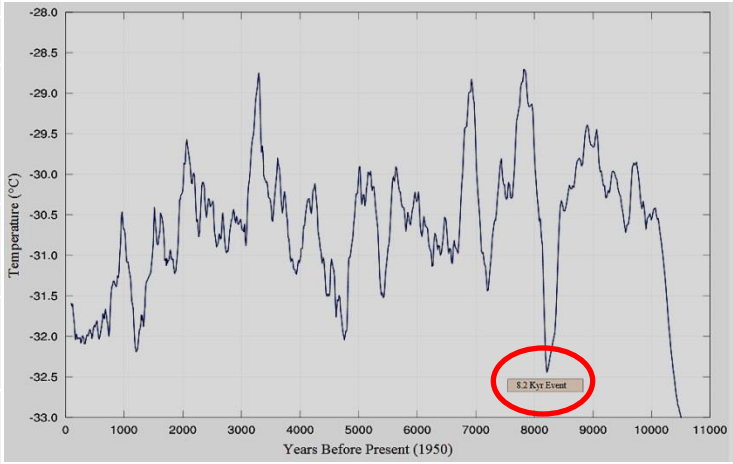


(Wikipedia)

Bondův cyklus a Bondovy události

- Bondův cyklus popisuje cyklickou změnu sluneční aktivity (ca 1500 let)
- „Bond events“: klimatické fluktuace ca 1470 ± 500 let během holocénu
  - primárně doloženy střídáním sedimentů unášených ledovcem
  - změny sluneční aktivity – sesuvy ledovce do severního Atlantiku
  - interglaciální obdoba glaciálních Dansgaard–Oeschgerových událostí
  - většina nemá jasný klimatický signál: některé korelují s výrazným ochlazením (např. "slavný" event 8200), jiné z aridizací některých oblastí

Číslo	Datace (BP)	Možné důsledky
0	≈0.5 ka	Malá doba ledová
1	≈1.4 ka	Velké stěhováni národů
2	≈2.8 ka	Sucho ve východním Mediteránu počátkem 1. st. BC, možný důvod kolapsu pozdně bronzové kultury
3	≈4.2 ka	aridizace Mezopotámie – kolaps Akadského impéria, konec starého Egypta
4	≈5.9 ka	extrémní aridizace, počátek vysychání Sahary, změna koryta Nilu
5	≈8.2 ka	"event 8,200" – výrazné a rychlé ochlazení (3,3 °C za 20 let!) na 2-4 století (ovál)
6	≈9.4 ka	"Erdalen event" glaciální aktivity v Norsku, chladný výkyv v Číně
7	≈10.3 ka	
8	≈11.1 ka	Přechod z mladšího dryasu do boreálu



(Wikipedia)

Příčiny příchodu glaciálu – shrnutí

- kontinenty (teplotně nestabilní) v severských výškách (hromadění sněhu)
- pokles koncentrace skleníkových plynů v atmosféře
- porušení oceánické cirkulace – snížení rozvodu tepla od rovníku k pólům (změna salinity vlivem nárůstu ledovců)
- vyzdvižení Tibetského plato – porušení atmosférické cirkulace – vysušení atmosféry – snížení rozvodu tepla od oceánu ke kontinentu
- snížení plochy vegetace (hlavně tropických lesů) suchem a chladem – teplo ze slunečního záření se odráží
- všechny tyto faktory jsou v pozitivní zpětné vazbě (př. hromadění sněhu – roste albedo planety, růst ledovců, vysušení atmosféry, další ochlazování planety…)
- **tyto jevy zesilují účinek stále probíhajících Milankovičových cyklů**

- *pozn.: klimatolog William Ruddiman se pomocí modelování snaží dokázat, že lidstvo (zejména šířením zemědělství) ovlivňuje klima planety již ca 5000 let – "bez tohoto působení by údajně již přišel další glaciál"*

Literatura

Dawkins R. (2011): Největší show pod Sluncem. Argo/Dokořán, Praha, pp. 246–256.

Chlupáč I., Brzobohatý R., Kovanda J., Stráník Z. (2002): Geologická minulost České republiky. Academia, Praha.

Ložek V. (2007): *Zrcadlo minulosti. Česká a slovenská krajina v kvartéru.* Dokořán, Praha.

Pokorný P. (2011): Neklidné časy. Kapitoly ze společných dějin přírody a lidí. Dokořán, Praha.