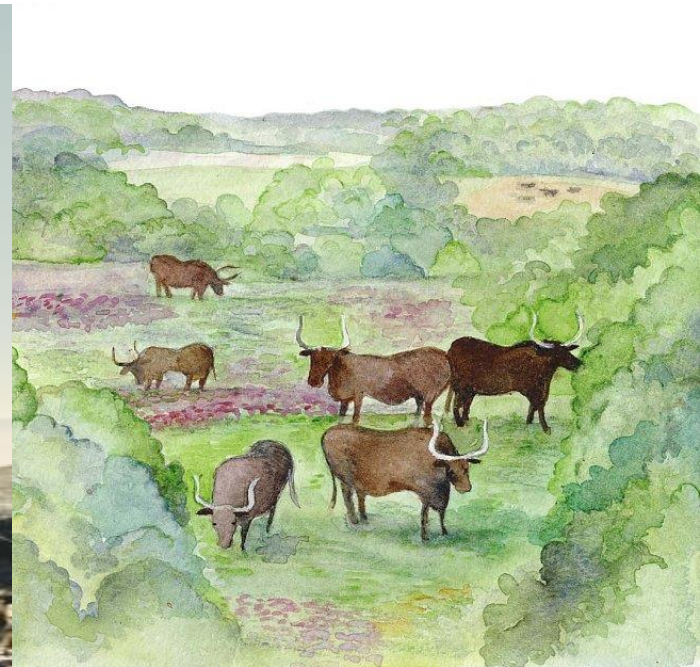


Příroda ve čtvrtohorách



Michal Horsák & Jan Roleček

UBZ PřF MU, Brno

II. přednáška – obsah, literatura

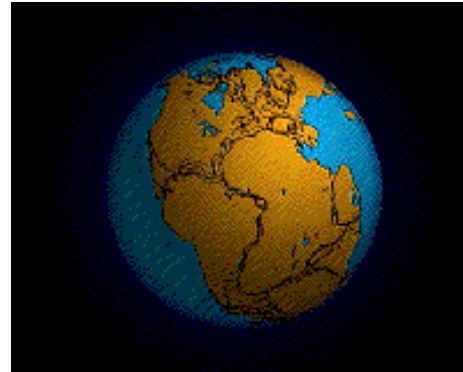
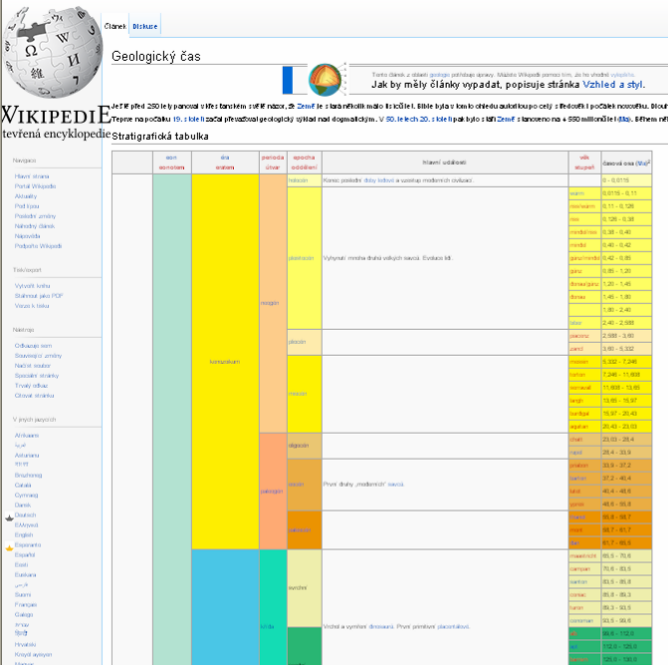
Změny klimatu v historii Země: podrobné změny od mladších třetihor a jejich příčiny, členění kvartéru, geologické procesy

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

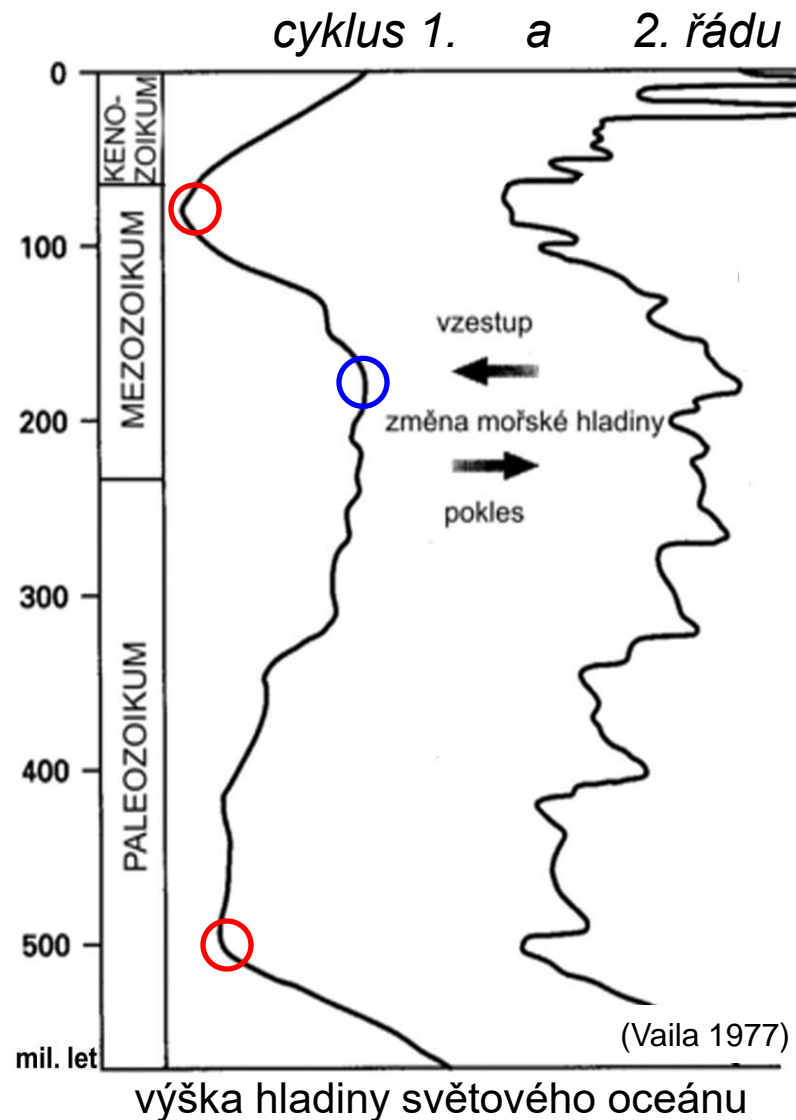


rozpad superkontinentu Pangea před 200 mil. lety
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Pangea_animation_03.gif



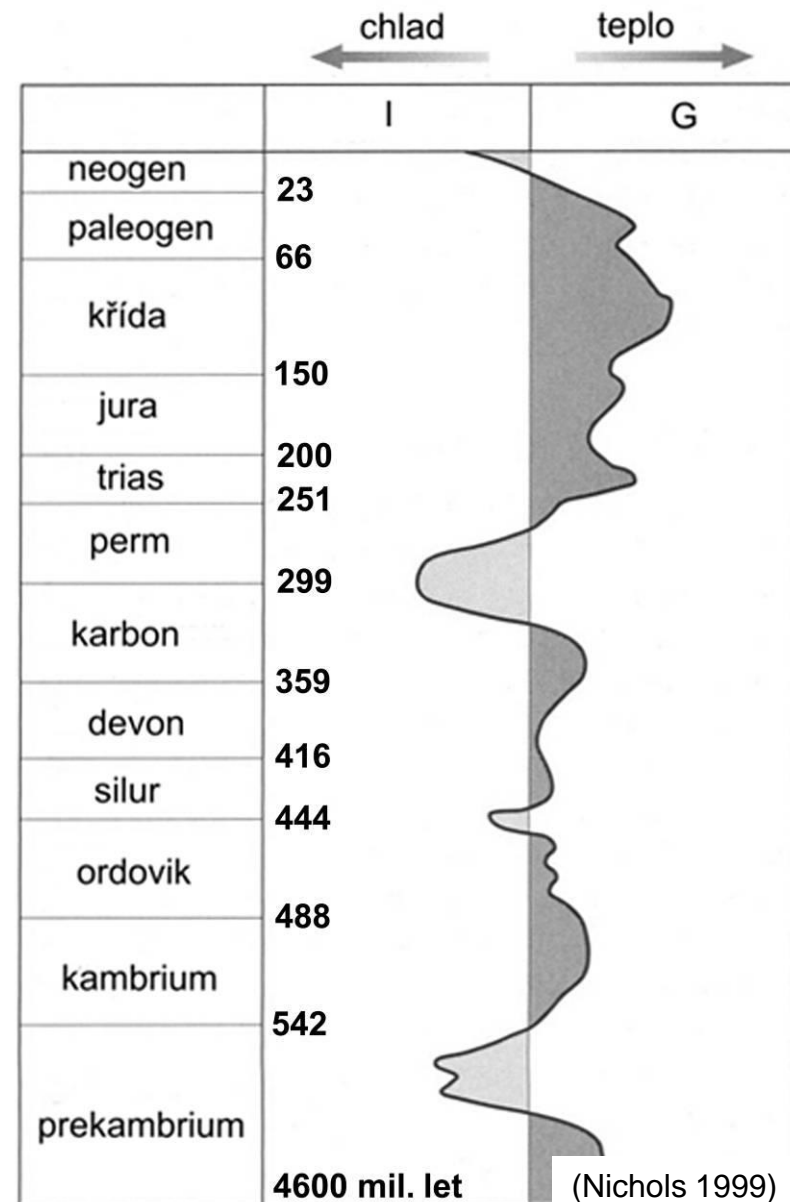
Klimatické výkyvy v geologické minulosti

- 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



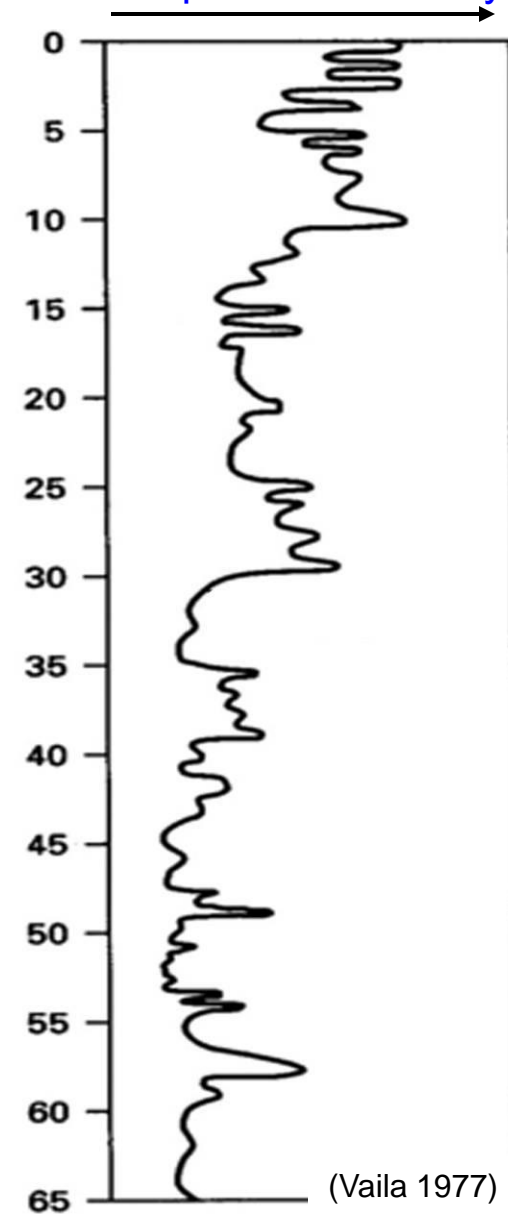
Pozn.: na konci permu došlo k největšímu vymírání (vymřelo 95 % známých rodů) většinou se nevysvětluje změnou klimatu

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

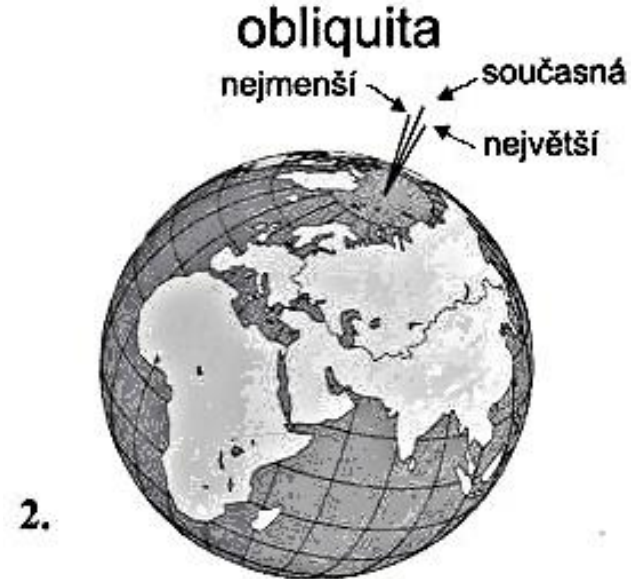
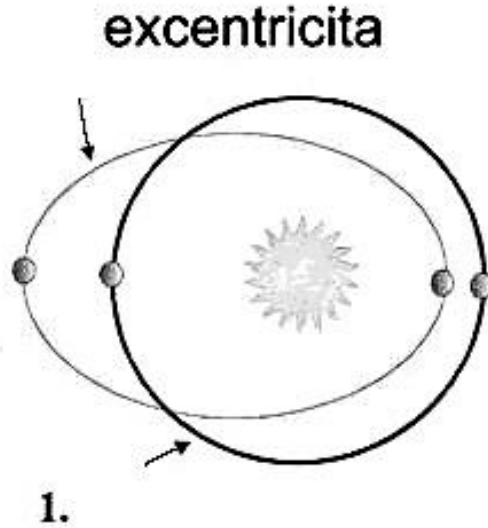
cyklus 3. řádu, mil. let

vzestup mořské hladiny

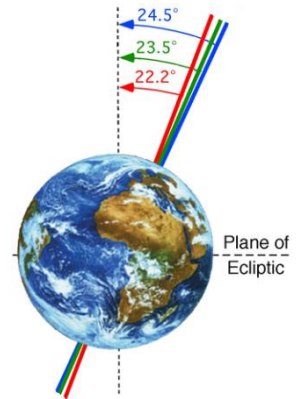


Milankovičovy parametry

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



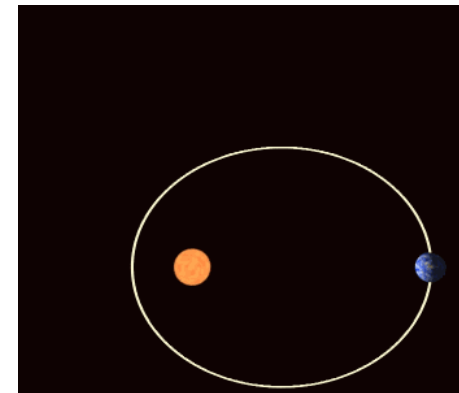
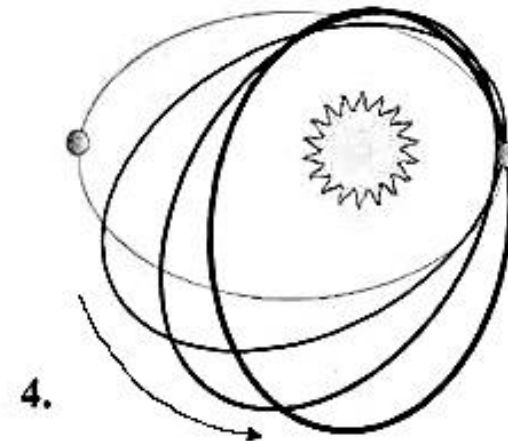
cykly 5. řádu,
41 tis. let,
odpovídá
glaciálům



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



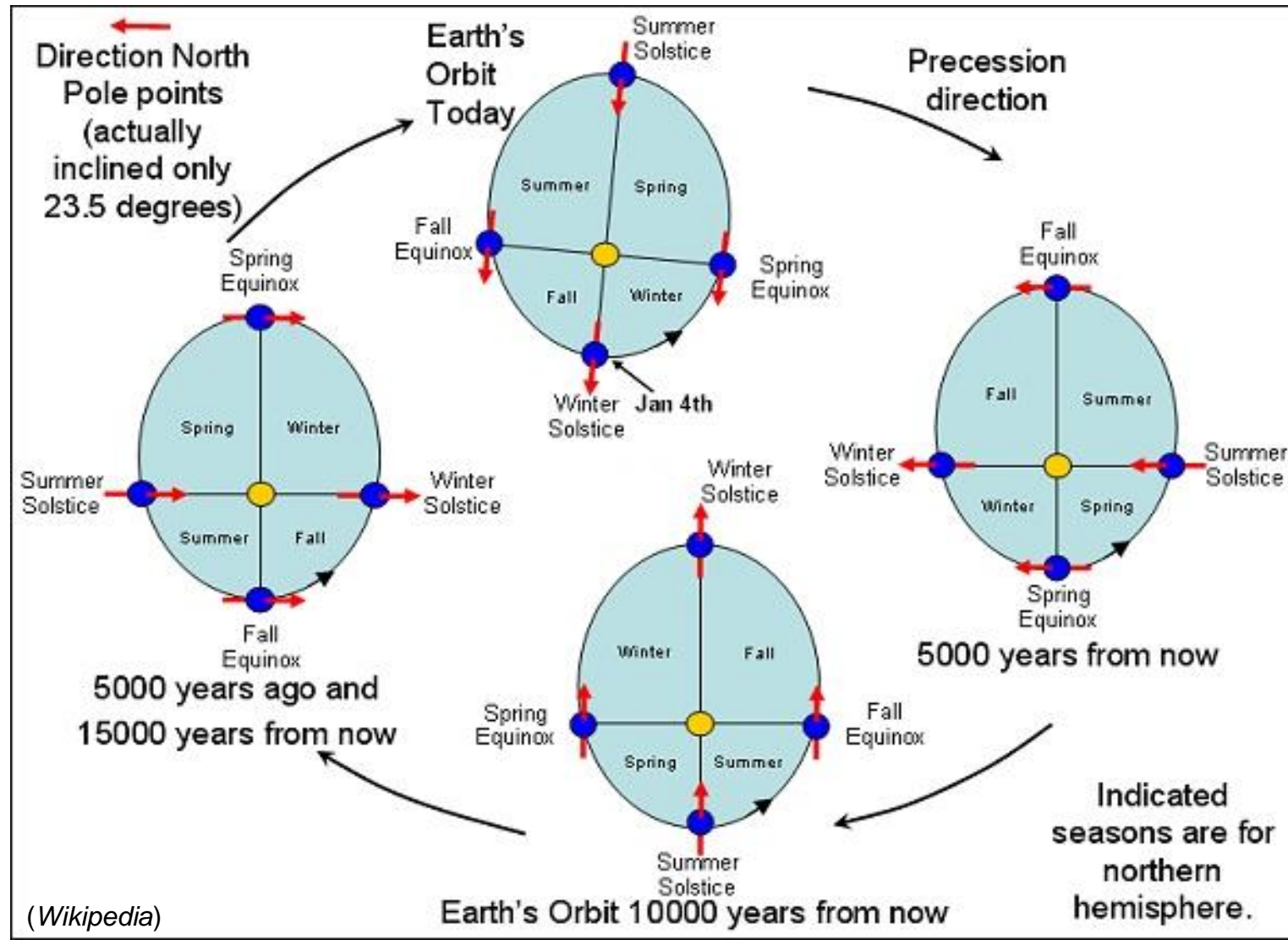
precese eliptické
oběžné dráhy



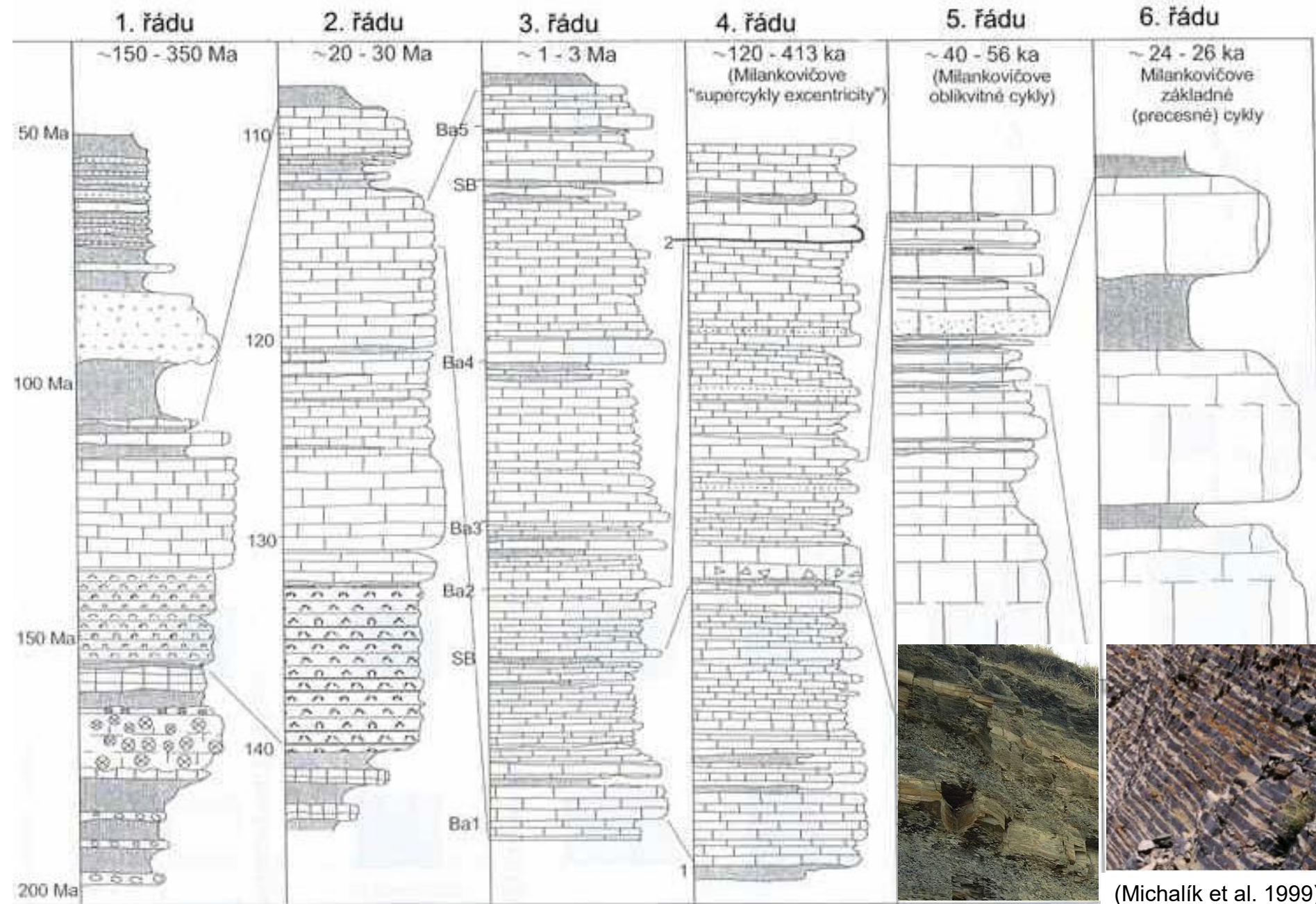
(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Processing_Kepler_orbit_280frames_e0.6_smaller.gif)

Vliv precese orbity v návaznosti na roční období

- všimněte si mění se vzdálenosti od Slunce v určitém ročním období, severní pól přivracen ke slunci (červená šipka) – jaro a léto na severní polokouli



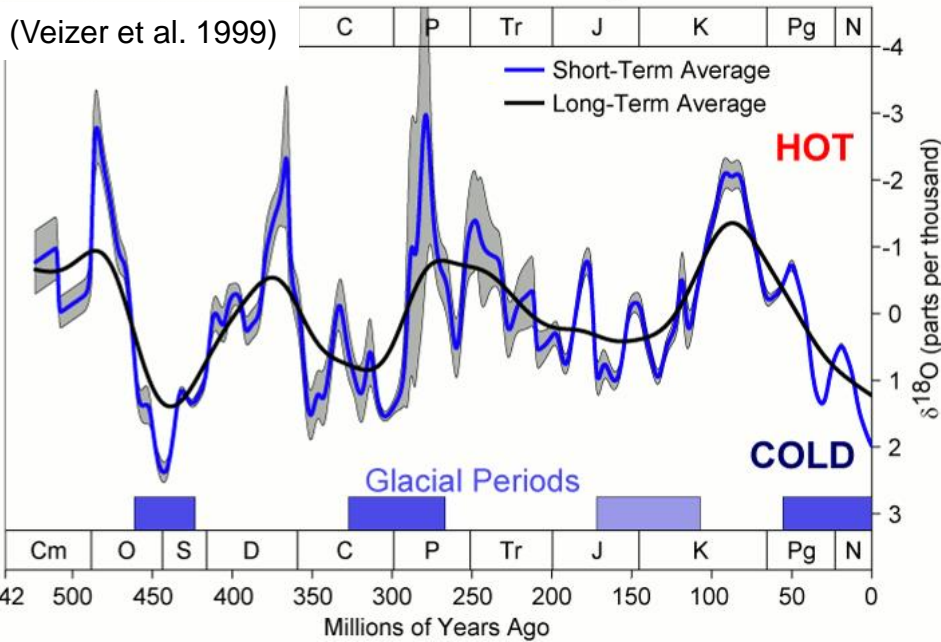
Základní cykly v sedimentačním záznamu



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 CO₂ (tepelné ztráty bez „skleníkových“ plynů v atmosféře)
- několik ledových dob i během fanerozoika

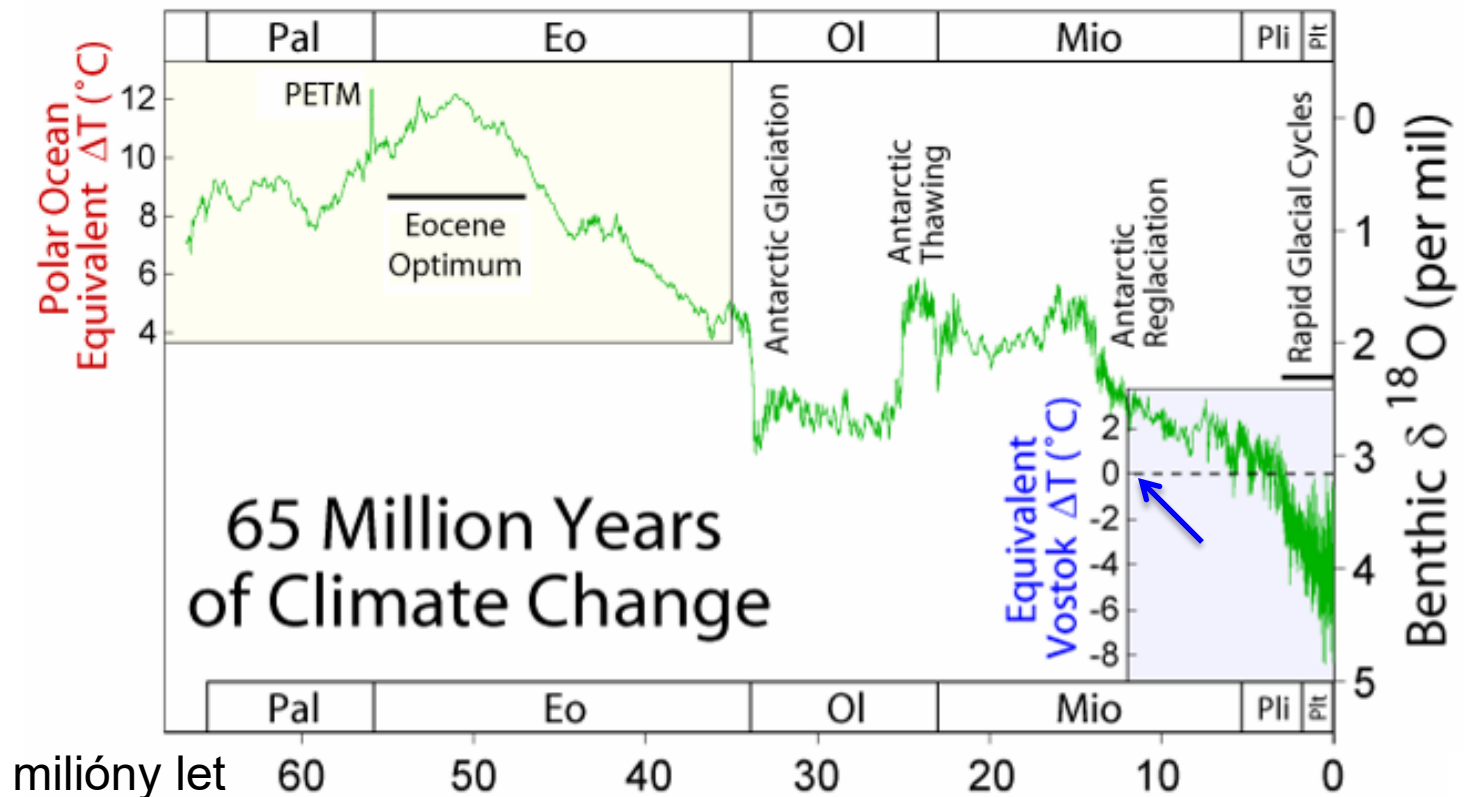
Phanerozoic Climate Change



EON	ERA	PERIOD	EPOCH	Ma	
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	0.01	
			Pleistocene	Late	0.8
		Early		1.8	
		Tertiary	Neogene	Pliocene	3.6
				Late	5.3
				Early	11.2
			Paleogene	Miocene	16.4
				Late	23.7
				Early	28.5
		Oligocene	33.7		
		Eocene	41.3		
		Paleocene	Late	49.0	
			Early	54.8	
		Mesozoic	Cretaceous	Late	65.0
	Early			99.0	
	Jurassic		Late	144	
			Middle	159	
			Early	180	
	Triassic		Late	206	
			Middle	227	
			Early	242	
	Paleozoic		Permian	Late	248
				Early	256
			Pennsylvanian		290
				Mississippian	323
			Devonian	Late	354
		Middle		370	
Early		391			
Silurian		Late	417		
		Early	423		
Ordovician		Late	443		
	Middle	458			
	Early	470			
Cambrian	D	490			
	C	500			
	B	512			
	A	520			
Precambrian	Proterozoic	Late	543		
		Middle	900		
		Early	1600		
	Archean	Late	2500		
		Middle	3000		
		Early	3400-3800		

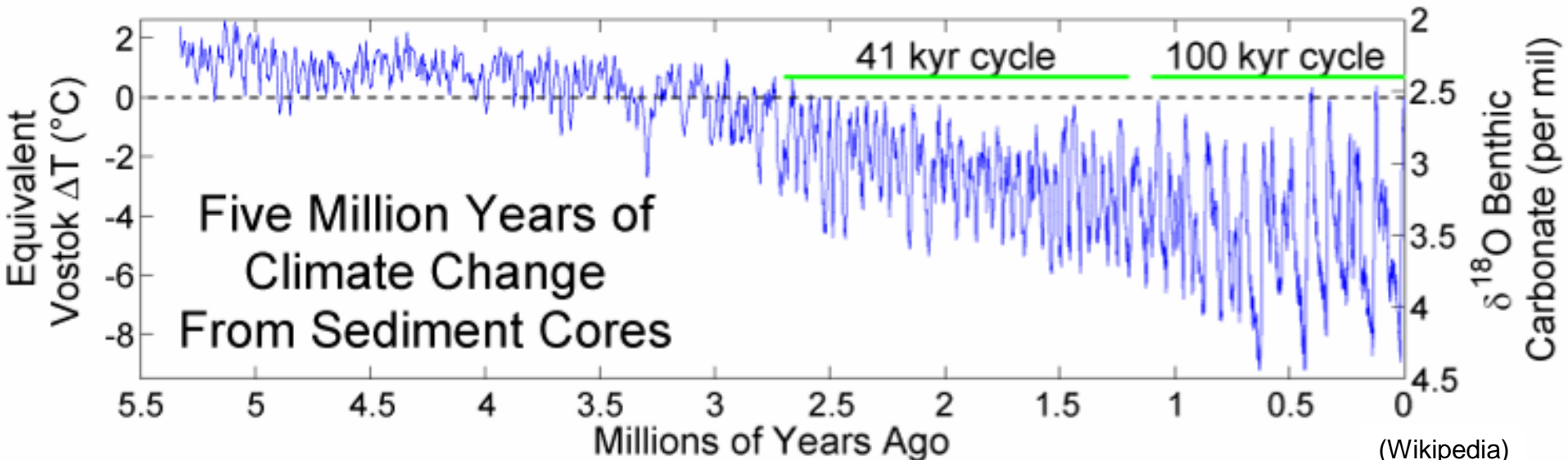
Klimatické výkyvy od třetihor

- 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



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



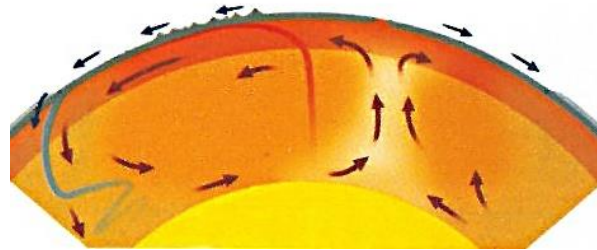
Teorie litosférické tektoniky



- 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)

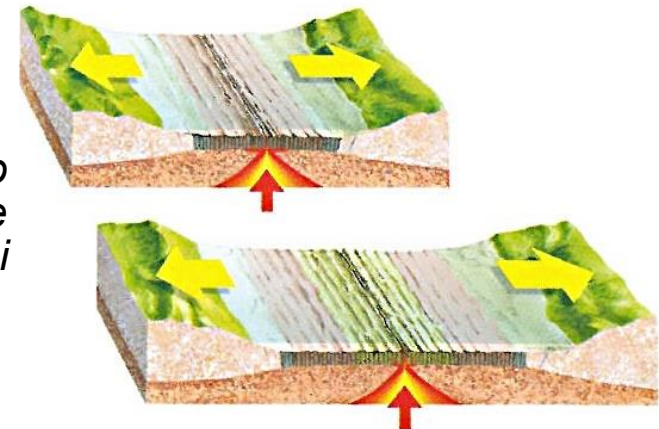


dobová karikatura inspirovaná Wegenerovou teorií (Dawkins 2009)



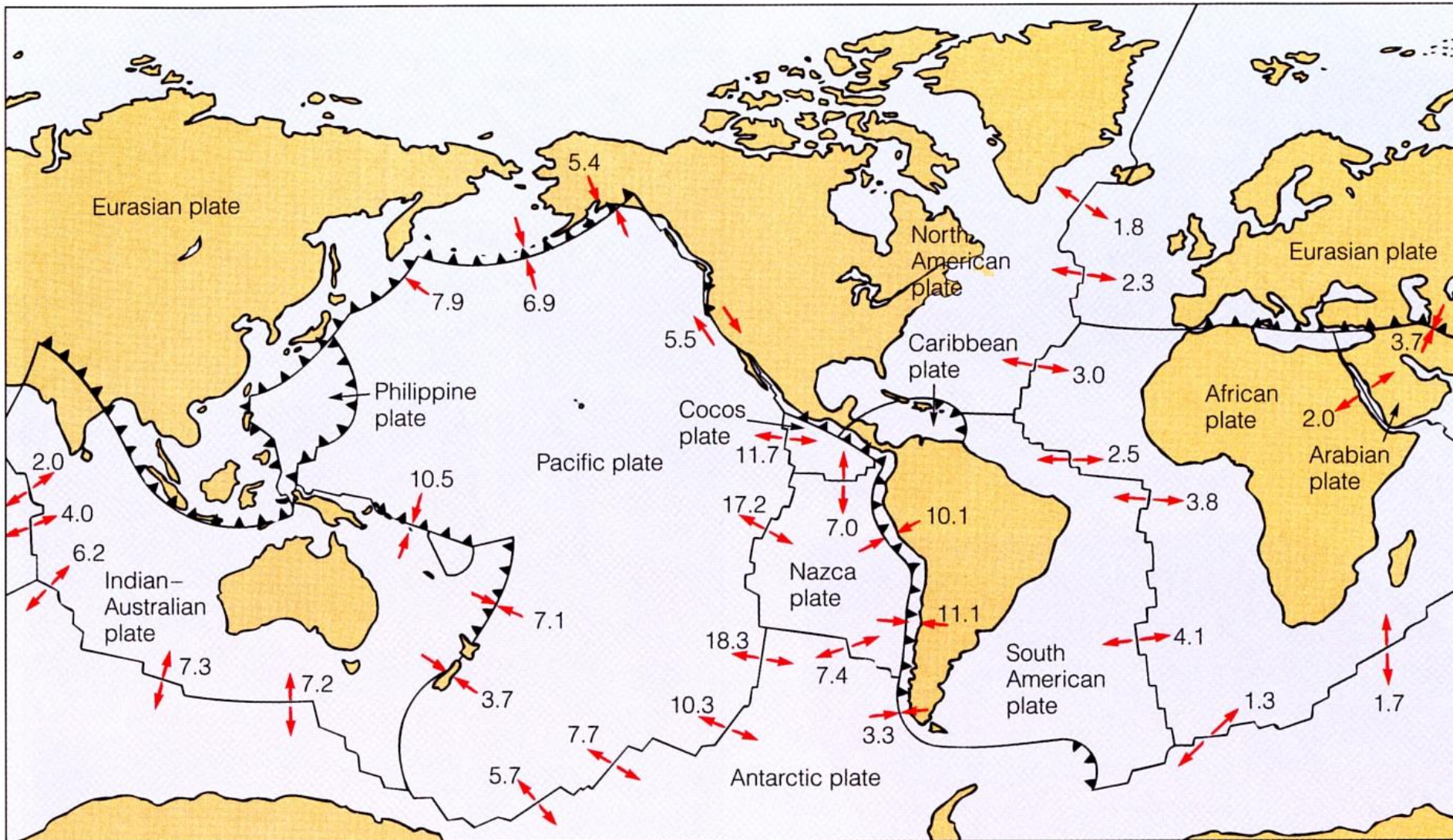
hluboké a pomalé konvenční proudy, které pohybují deskami

proces rozšiřování mořského dna mezi vzdalujícími se deskami



Rozložení a pohyb litosférických desek

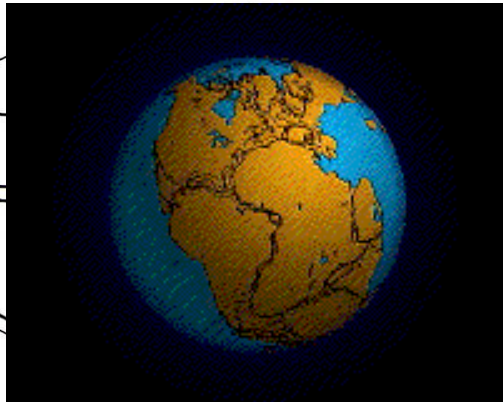
- současná rychlost pohybu litosférických desek (cm/rok), (přirovnává se k rychlosti růstu nehtů)



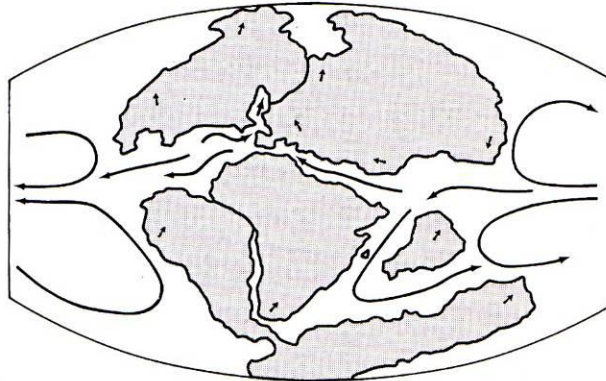
Rozložení kontinentů – změny mořských proudů

- 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

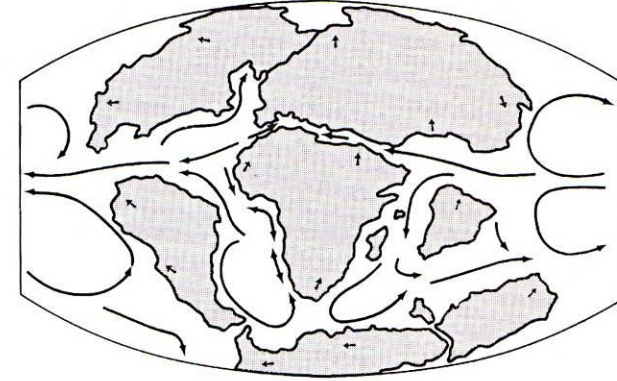
Jurassic
175 Ma



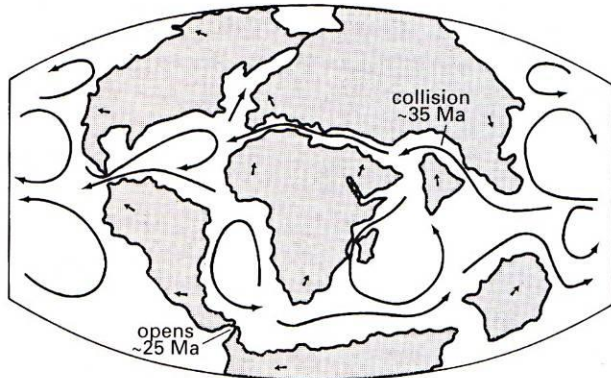
Early Cretaceous
125 Ma



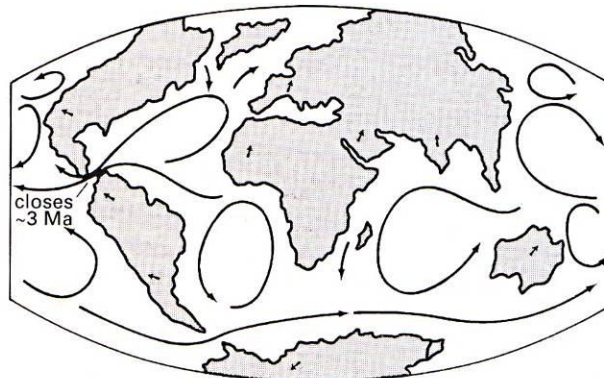
Late Cretaceous
65 Ma



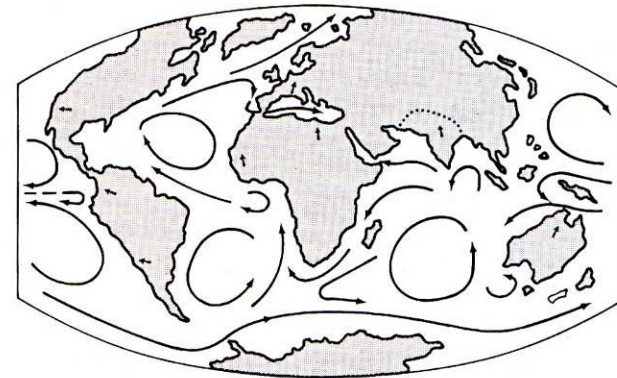
Late Eocene
40 Ma



Early Miocene
20 Ma

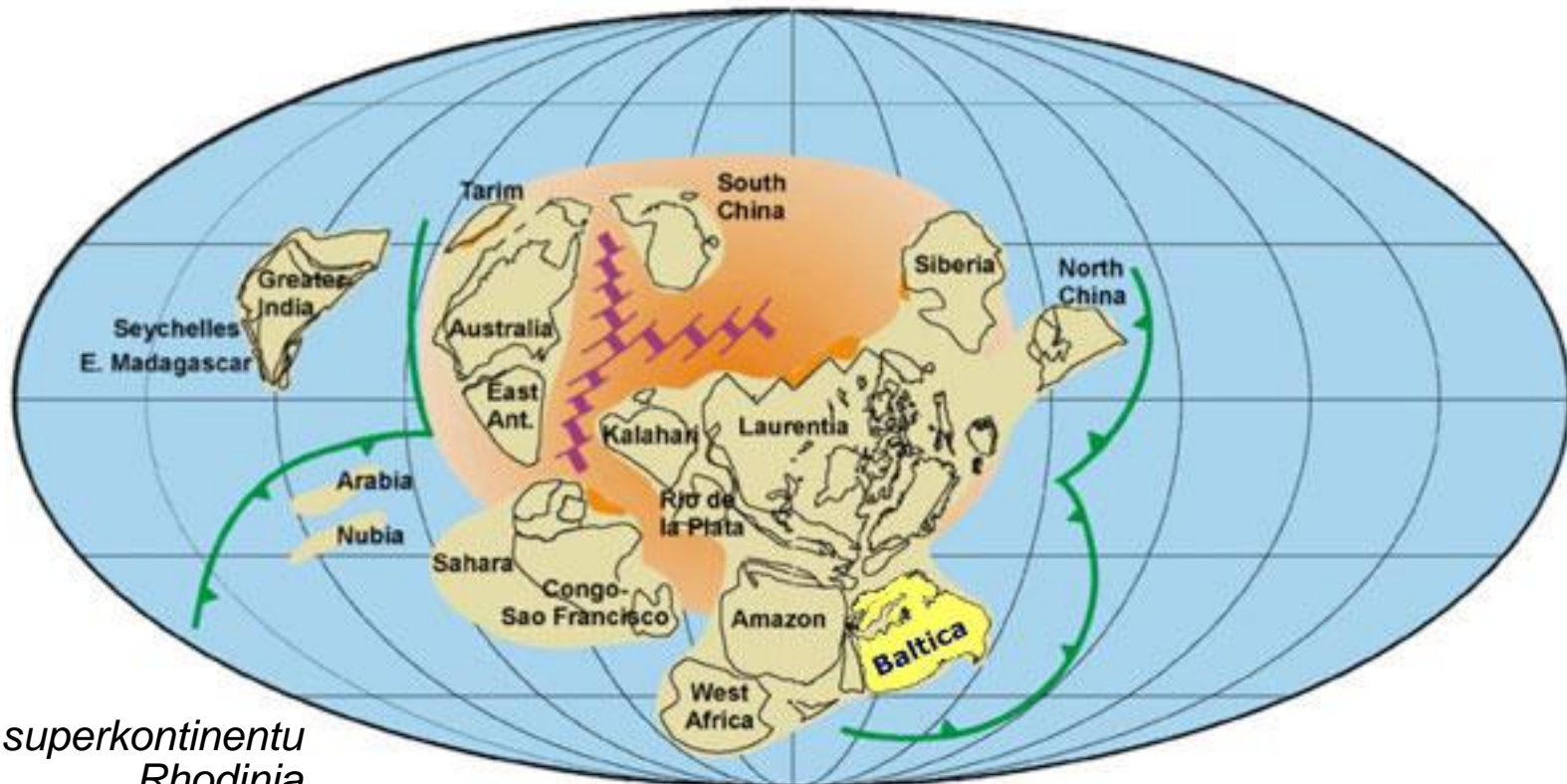


Today



Pozice kontinentů a glaciální periody

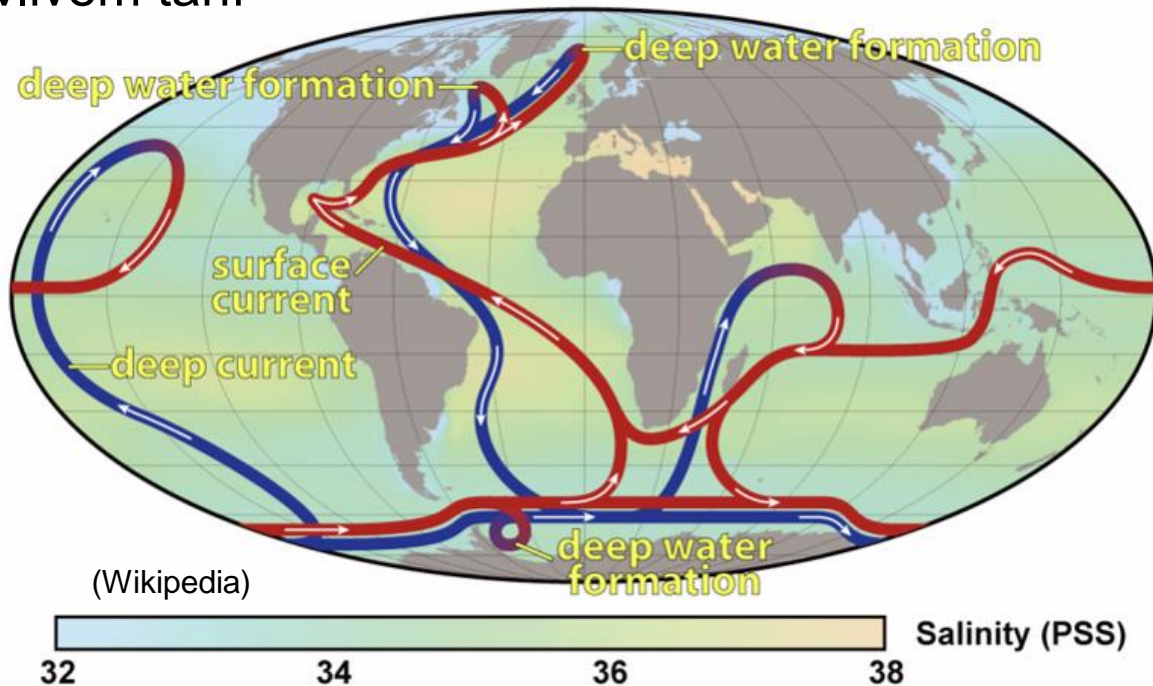
- tři možné pozice kontinentů, které blokují či redukují proudění teplé vody od rovníku k pólům
 - kontinent sedí přesně na pólu (jako Antarktida dnes)
 - polární moře má povahu pevniny (jako Arktický oceán dnes)
 - superkontinent pokrývá většinu rovníku (jako Rhodinia v cryogenu, před 650 mil. lety – první superkontinent)



*Rekonstrukce superkontinentu
Rhodinia*

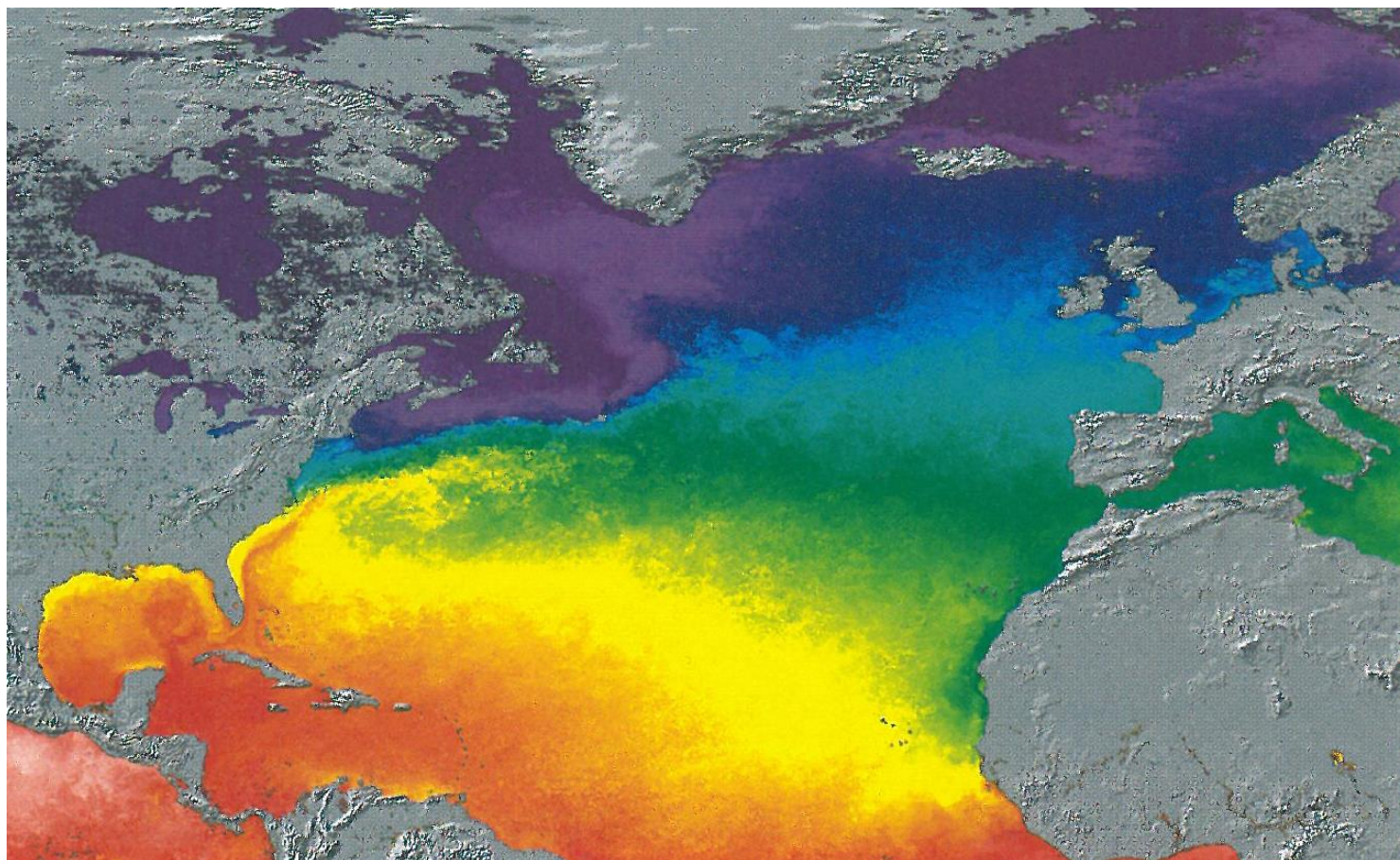
Pozitivní zpětná vazba a termohalinní oceánský výměník

- pro příchod glaciálu na konci třetihor byla pravděpodobně zásadní pozice kontinentů – dostatek pevniny v blízkosti pólu, kde se v zimě hromadí sněh
- 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



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)

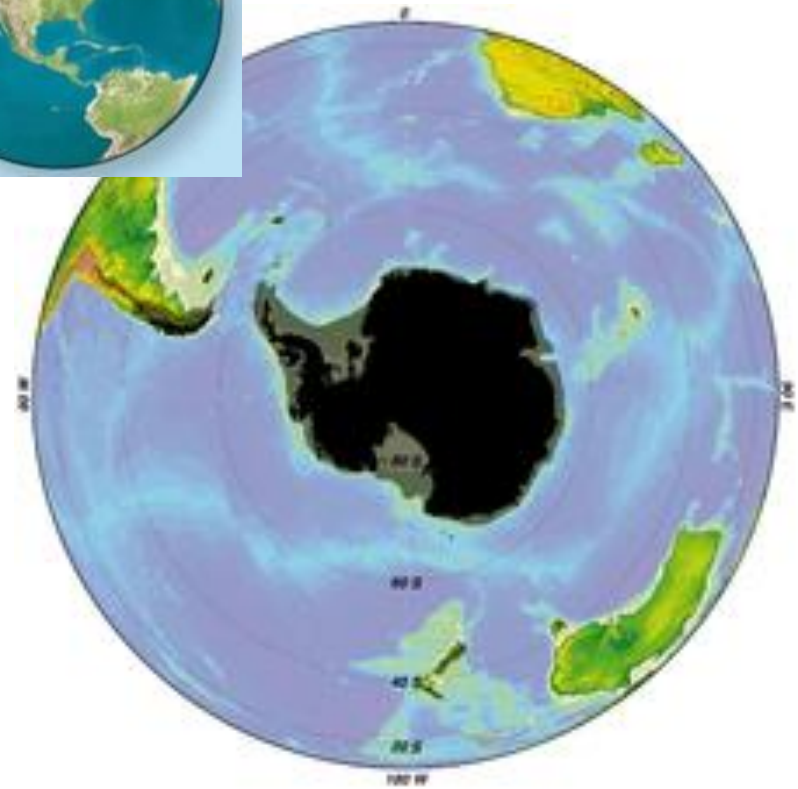
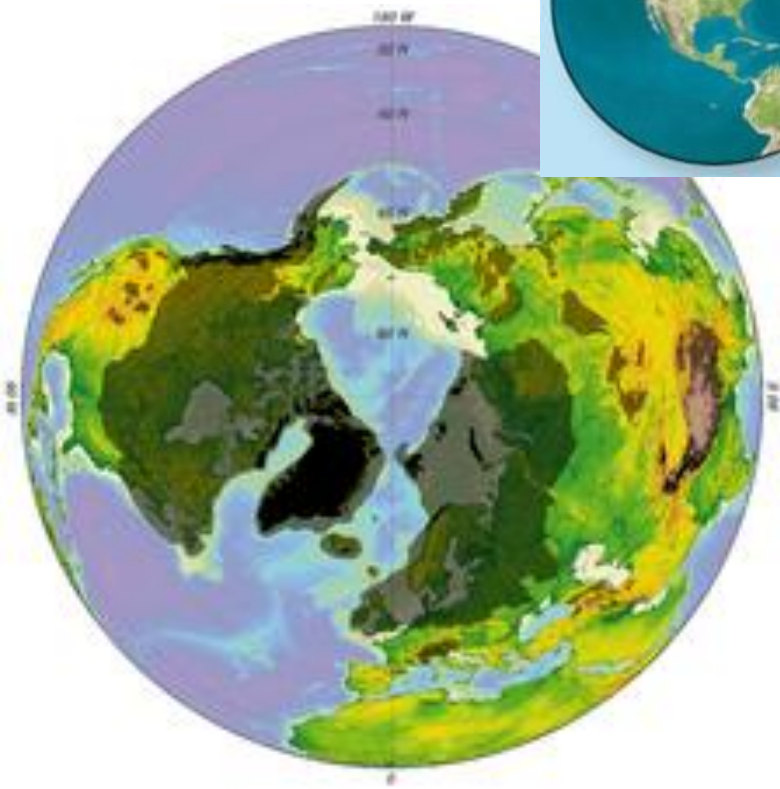


*Současné povrchové teploty severního Atlantiku,
do 0 °C (tmavě fialová) až po 35 °C (červená)*

(Pokorný 2011)

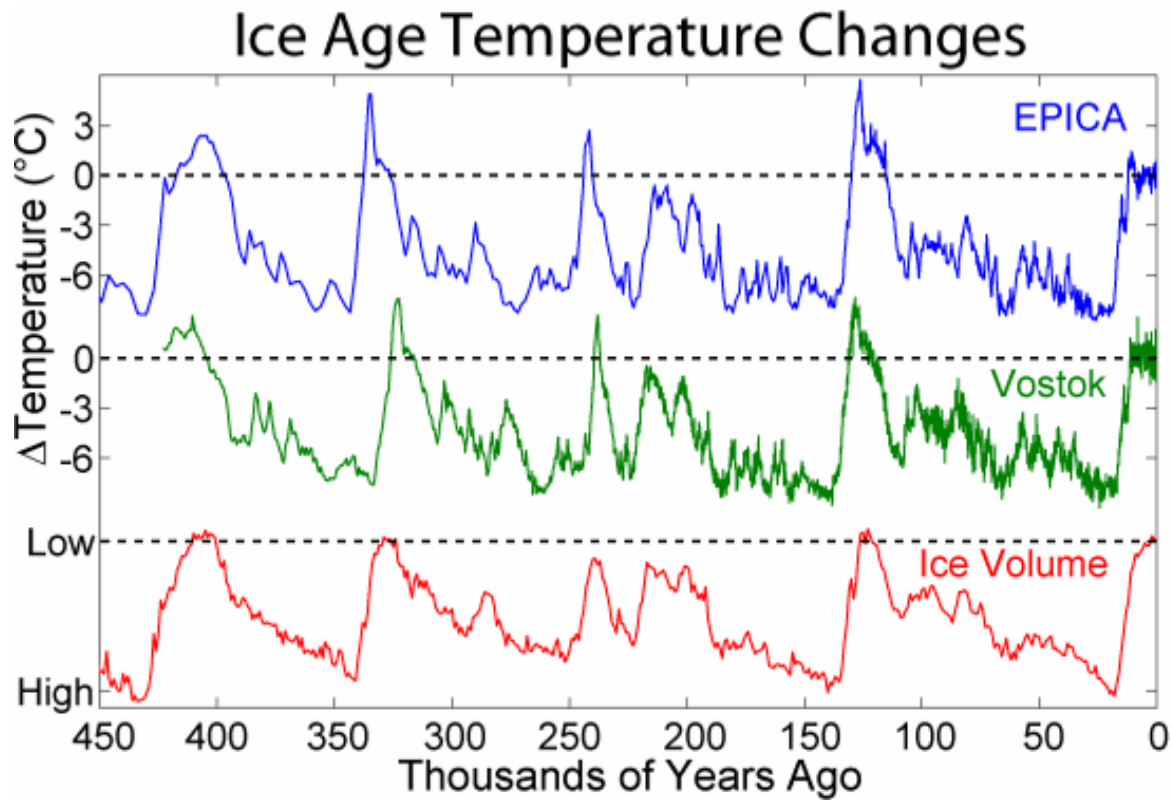
Kolísání arktického a antarktického zalednění

- 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



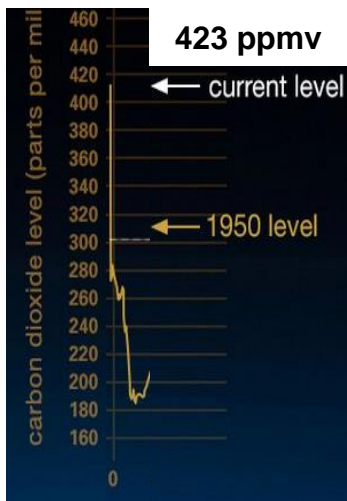
Vrty ledovcem – klíč k poznání klimatických změn

- 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)

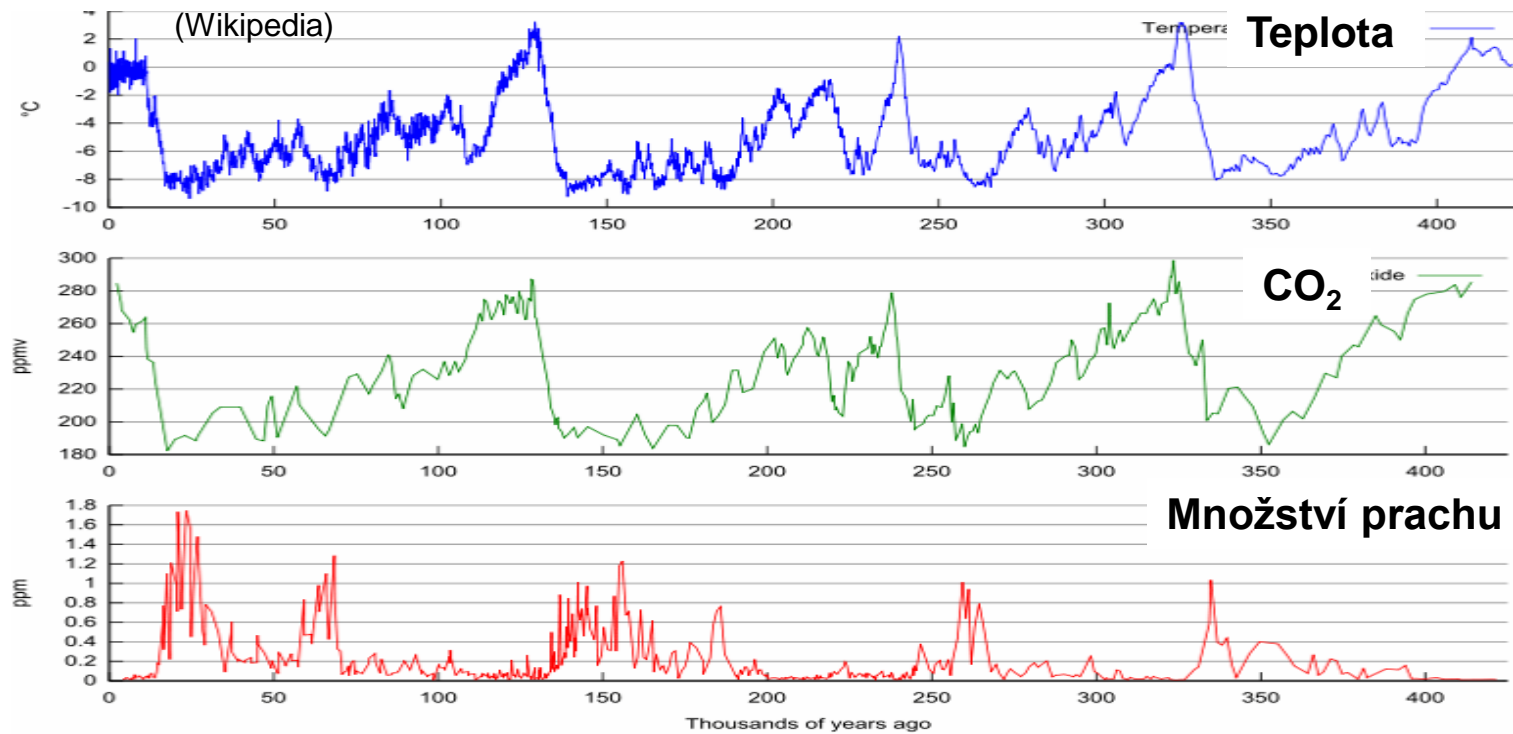


Vrty ledovcem – měřitelné veličiny

- 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 ($\delta^{18}\text{O}$) – 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)

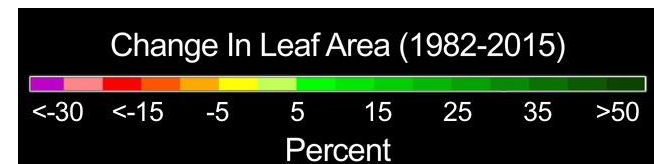
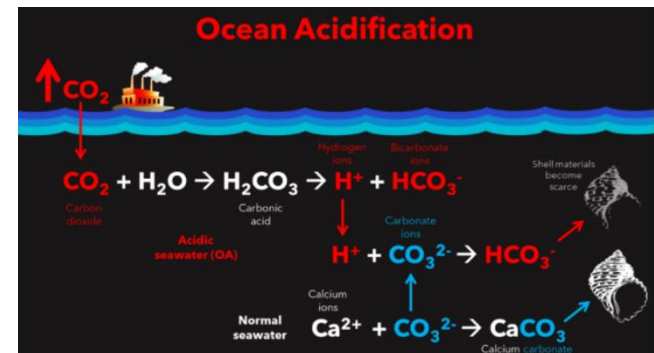
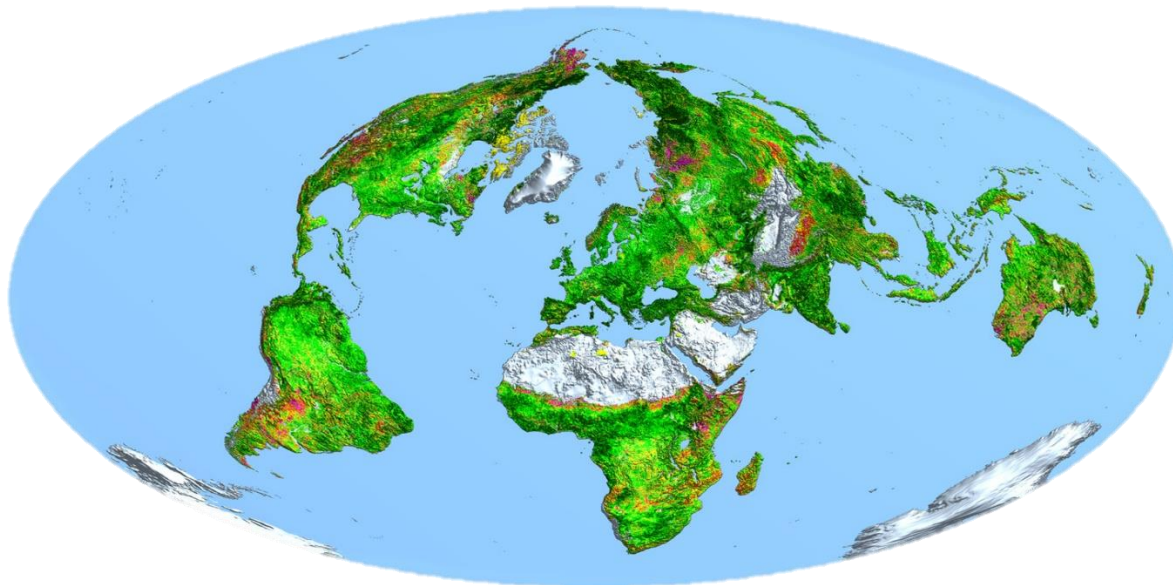


2024: 423 ppmv
(<https://www.co2.earth/>)



Zelená, nikoliv modrá planeta

- za posledních **40 let výrazné „ozelenění“** vegetací porostlých částí země
- = nárůst plochy listů odpovídající dvojnásobku plochy USA
- důsledek **vzrůstající koncentrace CO₂**, vede ke zrychlení fotosyntézy
- také nárůst dusíku, klimatická změna, změna využití krajiny
- vzrůstající koncentrace CO₂ vysvětluje až 70 % ozelenění, dusík 9 %
- 40 miliard tun C ročně do atmosféry vlivem člověka: oteplování a acidifikace
- vyšší produktivita tlumí nárůst CO₂ v atmosféře, ale při rostoucí teplotě a změně srážek tento zpětnovazebný efekt nejspíš poklesne
- je rychlejší růst výhodný v zemědělství – spíše ne, nižší nutriční hodnota



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 organismů 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** – 29 (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				Flandrian		present	
11 550 let					interglacial	- 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)

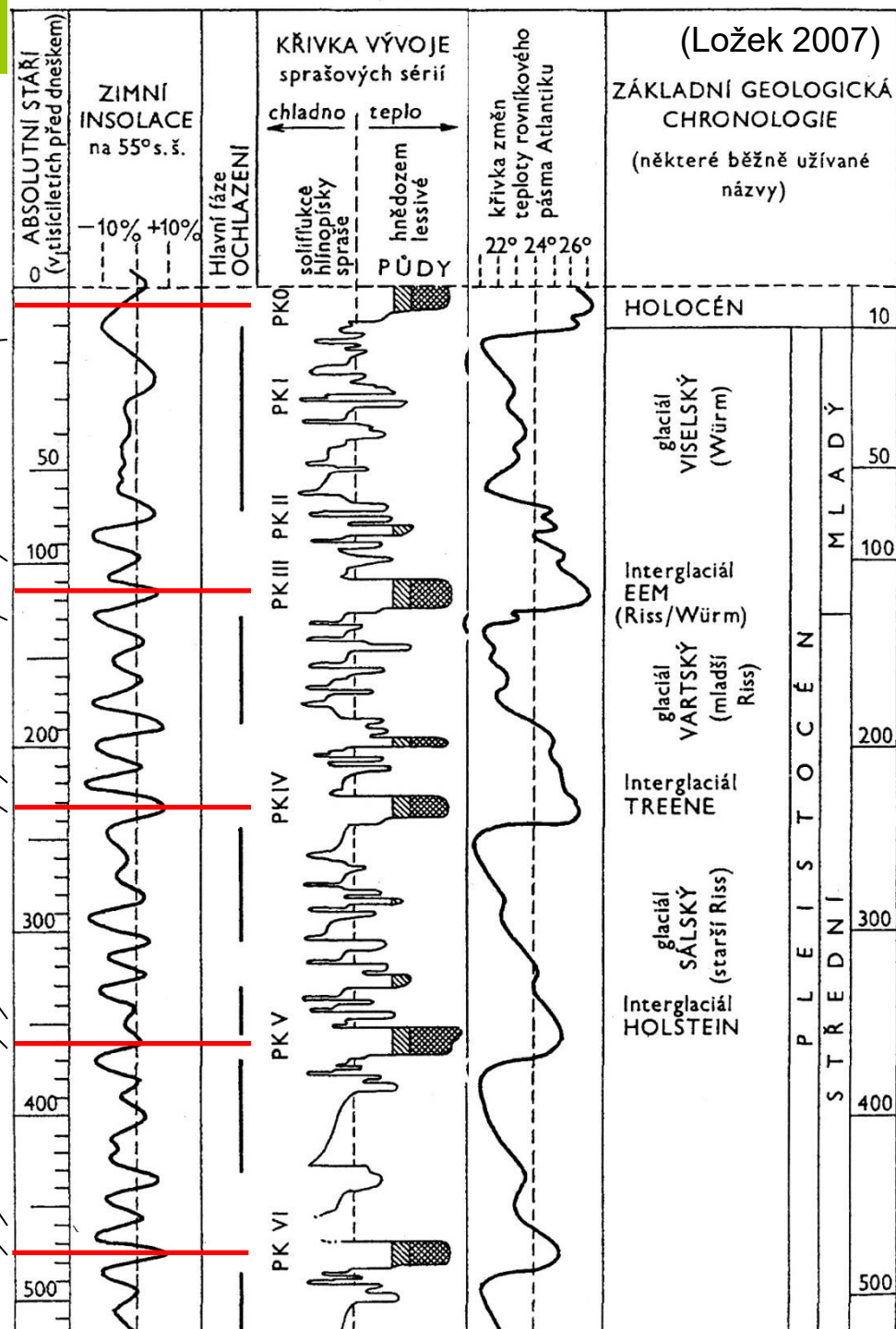
Členění kvartéru dle evropského dělení

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

holocén	4200 let	mladší		subrecent subatlantik subboreál	(Chlupáč et al. 2002)
	8200 let	střední		epiatlantik atlantik	
		starší		boreál preboreál	
pleistocén	125 000 let (MIS 5e) počátek eemu	svrchní	würm riss-würm	weichsel eem	
	780 000 let (MIS 19) Brunhes/Matuyama magnetic reversal	střední	riss mindel-riss mindel günz-mindel	saale holstein elster cromer	několik glaciálů a interglaciálů
		spodní	günz	menap waal eburon	

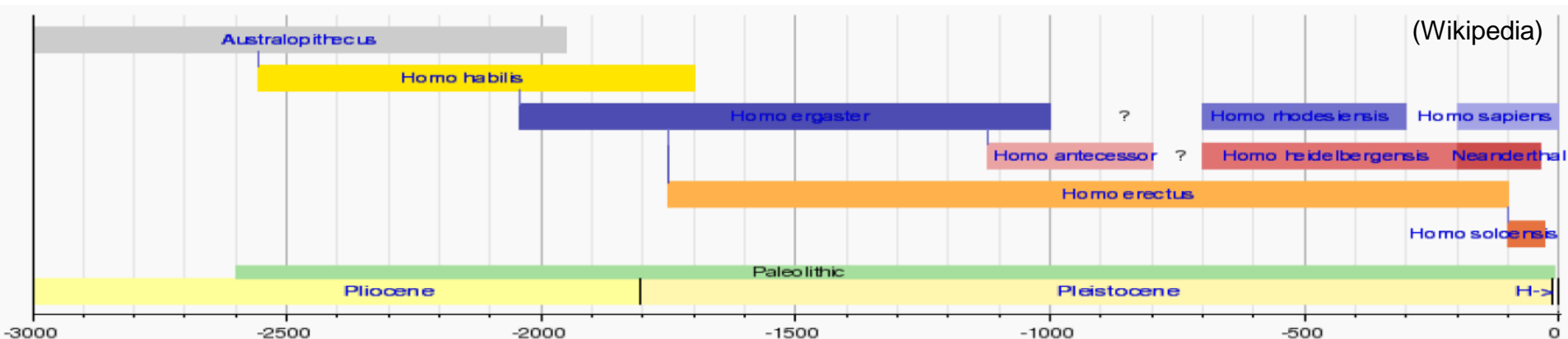
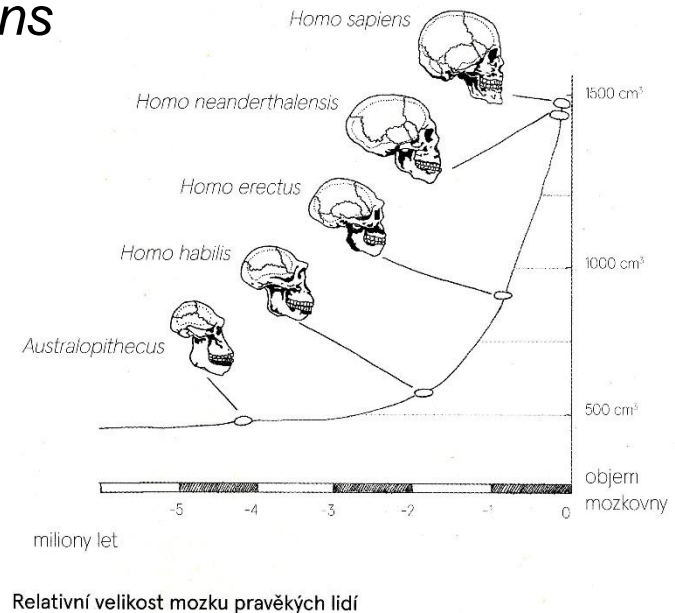
Členění kvartéru u nás

<u>glaciál</u> x <u>interglaciál</u>	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
butleýský (Donau)	ca 1000



Archeologické členění kvartéru

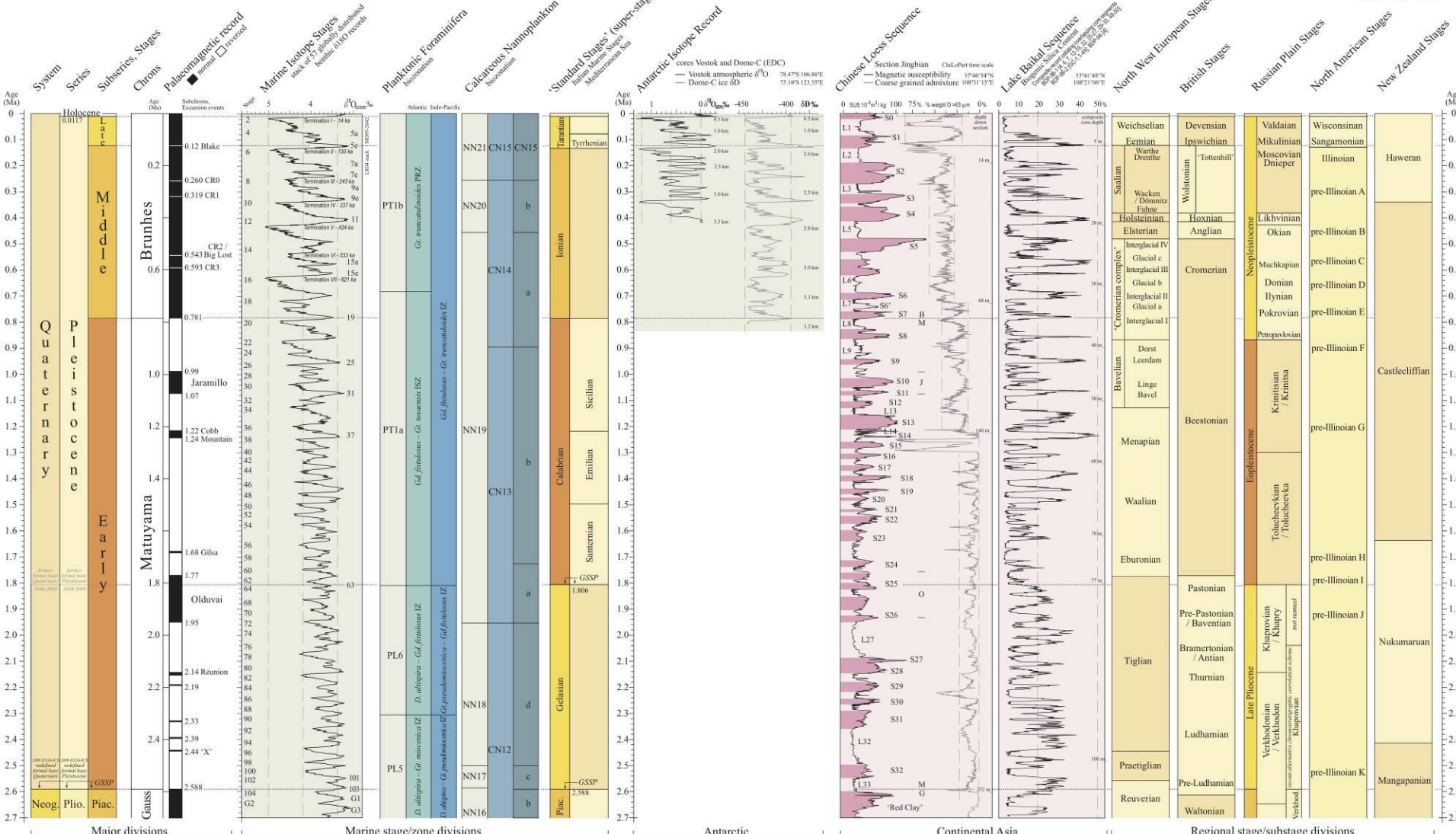
- **paleolit** (starší doba kamenná)
 - starší: 2,6–0,3 mil. let – *Homo habilis*, *H. ergaster*, *H. erectus*
 - střední: 0,3–0,04 mil. let – *Homo sapiens neandertalensis*
 - mladý: 40–13 tis. let – *Homo sapiens sapiens*
 - pozdní: 13–12 tis. let BP (cal.)
- **mezolit** (střední doba kamenná):
~11500–7500 tis. let BP (cal.)
- **neolit**: 7500–6500 let BP
- **eneolit**: 6500–4200 let BP
- **doba bronzová**: 4200–2700 let BP
- **doba železná**: 2700–2000 let BP
- **doba římská**: 2000–1600 let BP



Srovnání stratigrafického členění na základě různých metod

viz: <http://www.quaternary.stratigraphy.org.uk/charts/>

Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years v. 2011



BC AD	* Walker et al. 1999 cal. BP	Mangerud et al. 1974	Jankovská 1997	Ložek 1973	Neustupný 1985 **	Břizová 1996	archeologická periodizace
2000	170	holocén	mladší holocén subatlantik	mladší	subrecent	X. (Sa 2)	novověk
350	vrcholný středověk						
875	střední		subatlantik	starší	IX. (Sa 1)	starší	raný středověk
1000							stěhování národů
950	starší		subboreál	subboreál	VIII. (Sb)	subboreál	doba římská
1050							mladší
1295	střední		subboreál	subboreál	VII. (At2)	mladší atlantik	doba železná
2000							starší
2300	mladší		atlantik	starší atlantik	atlantik	starší atlantik	doba bronzová
2400							starší
2600	střední	atlantik	boreál	VI. (At1)	boreál	eneolit	
2900						mladší	mladší
3200	starší	preboreál	preboreál	V. (Bo)	preboreál	neolit	
3600						starší	starší
4000	mladší	preboreál	preboreál	IV. (Bp)	preboreál	mesolit	
4400							střední
4700	starší	preboreál	preboreál	III. (Dr3)	preboreál		pozdní paleolit
5100							
5200	mladší	atlantik	starší atlantik	atlantik	starší atlantik		mladší
5700							
6100	střední	atlantik	boreál	V. (Bo)	boreál		mladší
6600							
7200	starší	preboreál	preboreál	IV. (Bp)	preboreál		starší
7700							
8000	boreál	preboreál	preboreál	III. (Dr3)	preboreál	mesolit	
8240							mladší dryas
8500	boreál	preboreál	preboreál	II. (All)	preboreál	mesolit	
8930							starší dryas
9460	preboreál	preboreál	preboreál	I.	preboreál	mesolit	
9740							mladší dryas
10050	11500	mladší dryas	allorød	allorød	II. (All)	preboreál	
13000							starší dryas
13600	13600	allorød	allorød	I.	preboreál	preboreál	
15400							mladší dryas
	15400	pozdní glaciál	bølling	* podle Stuiver - Becker 1993 (nekalibrovaná data)	mladší paleolit	mladý paleolit	
							nejstarší dryas
				** římské číslice označují Firbasovy biostratigrafické zóny			

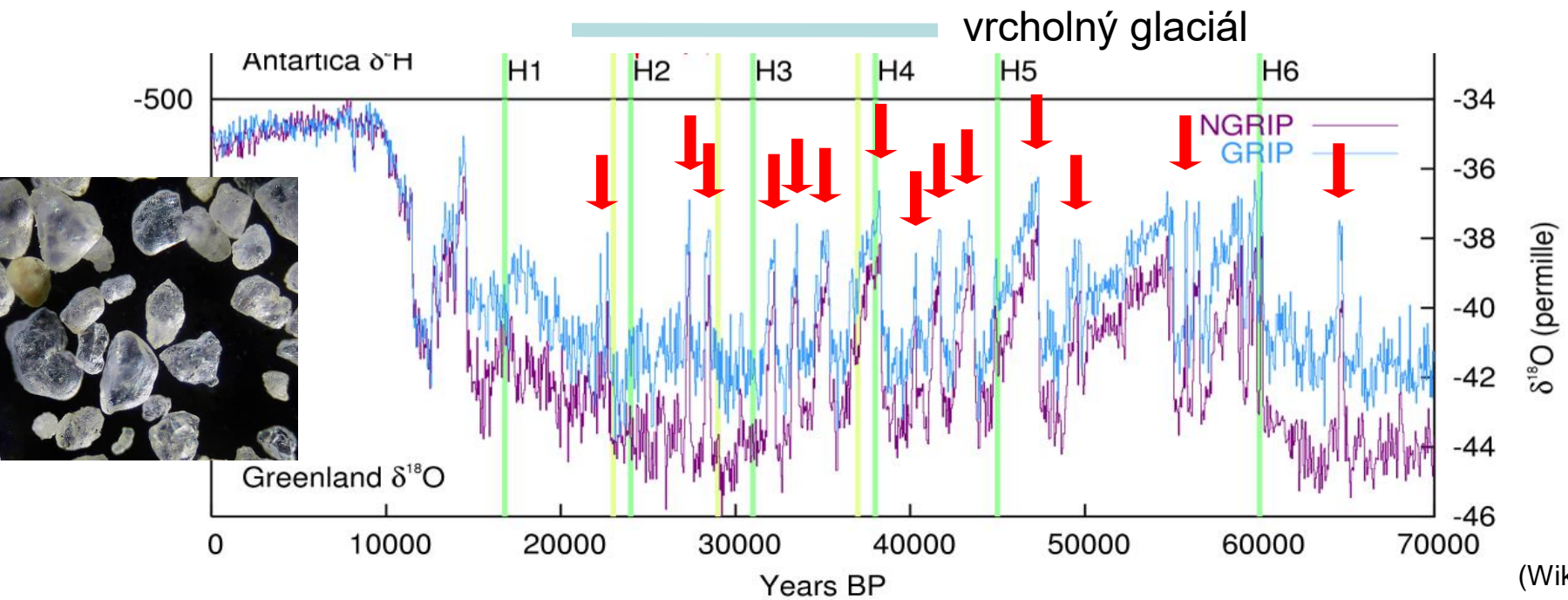
Možná členění holocénu

- chronologické a biostratigrafické členění pozdního glaciálu a holocénu

(Pokorný 2011, sestavila D. Dreslerová)

Dansgaard–Oeschgerovy a Heinrichovy události

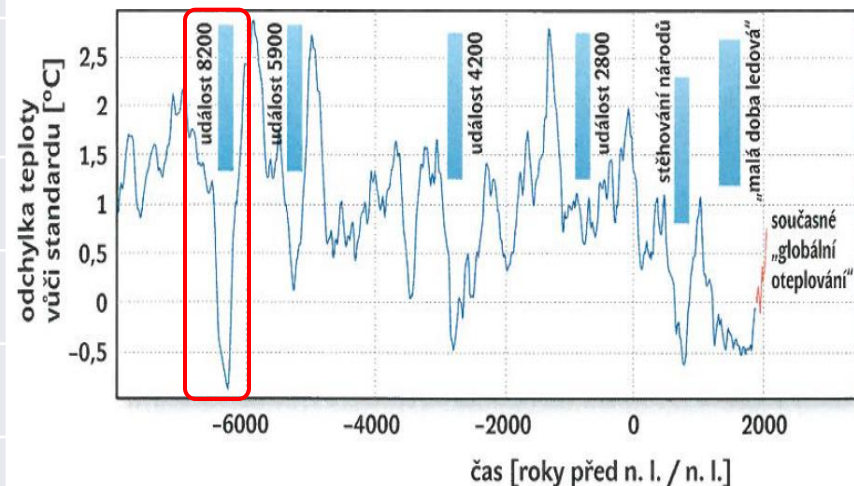
- „Dansgaard–Oeschger (D–O) events“: během posledního glaciálu došlo k velmi **rychlým a krátkodobým oteplením následovaným postupným ochlazením během delšího období** (asi 25 krát, viz červené šipky)
 - doloženo z vrtů Grónským ledovcem (doba od konce eemského intergalciálu)
 - vrty antarktickým ledovcem 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), dnes potvrzeno vrty ledovcem)



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 s aridizací některých oblastí

Číslo	Datace (BP)	Možné důsledky
0	≈0.5 ka	Malá doba ledová
1	≈1.4 ka	Velké stěhování 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



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.
- Pokorný P. (2014): Čert vždy na velkou hromadu nosí. Ledovcové hodiny, tsunami a proměna světa před 8200 lety. *Vesmír*, 93: 556-558.