

Klimatické změny a jejich odraz ve vývoji života na Zemi

Část 1.

Co je klima, proč se mění a jak můžeme sledovat jeho změny v minulosti?

Tomáš Kumpan

kumpan@sci.muni.cz

Ústav geologických věd PŘF MUNI

2024

Co je to klima?

Dlouhodobý stav počasí (jeho několikaletý průměr), který je daný energetickou bilancí (hlavně „solární teplo“), atmosférickou a oceánskou cirkulací, a biologickou aktivitou v daném místě.

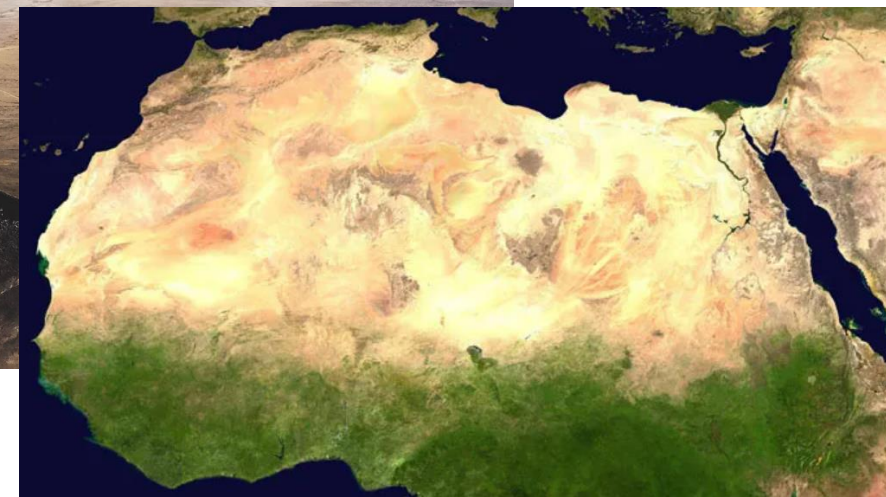
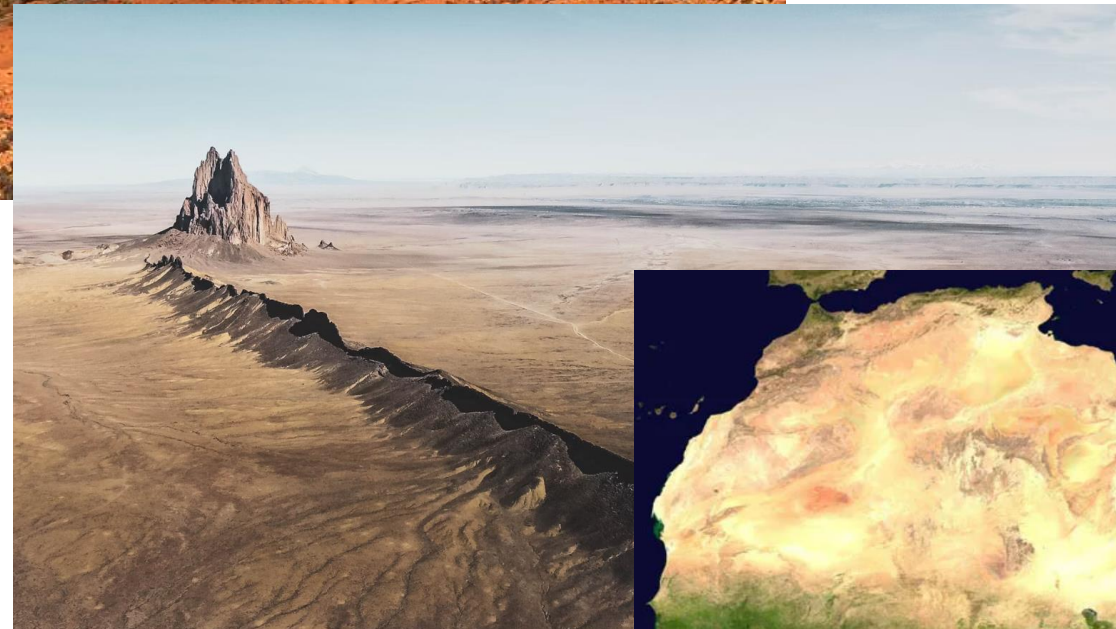
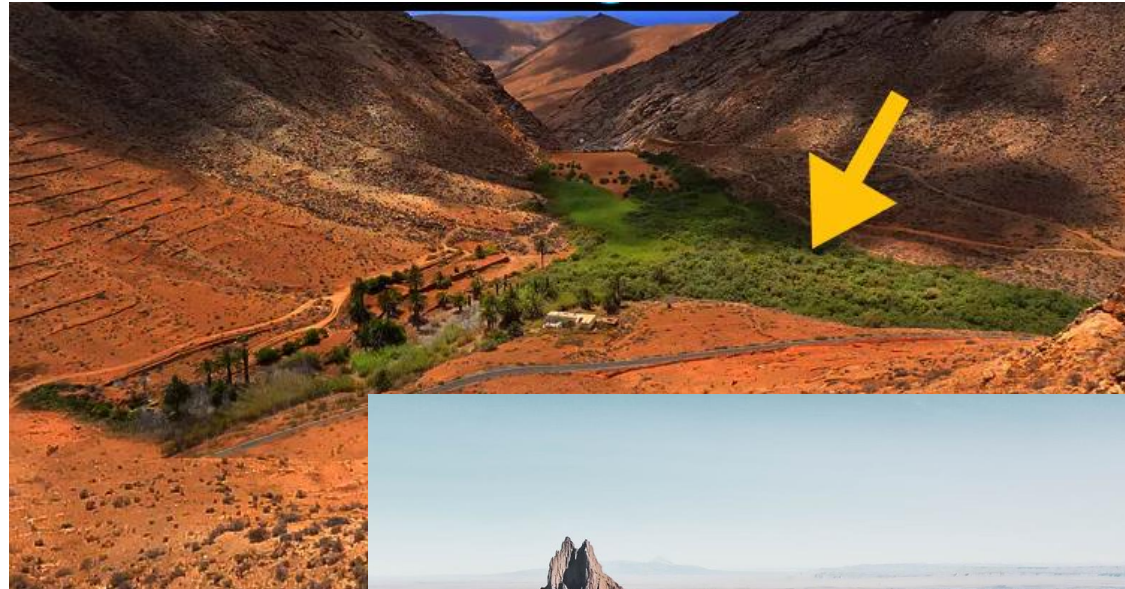
Podle rozsahu toho místa:

Mikroklima (X m – X km)

Mezoklima (X km – X0 km)

Makroklima (X0 – X000 km)

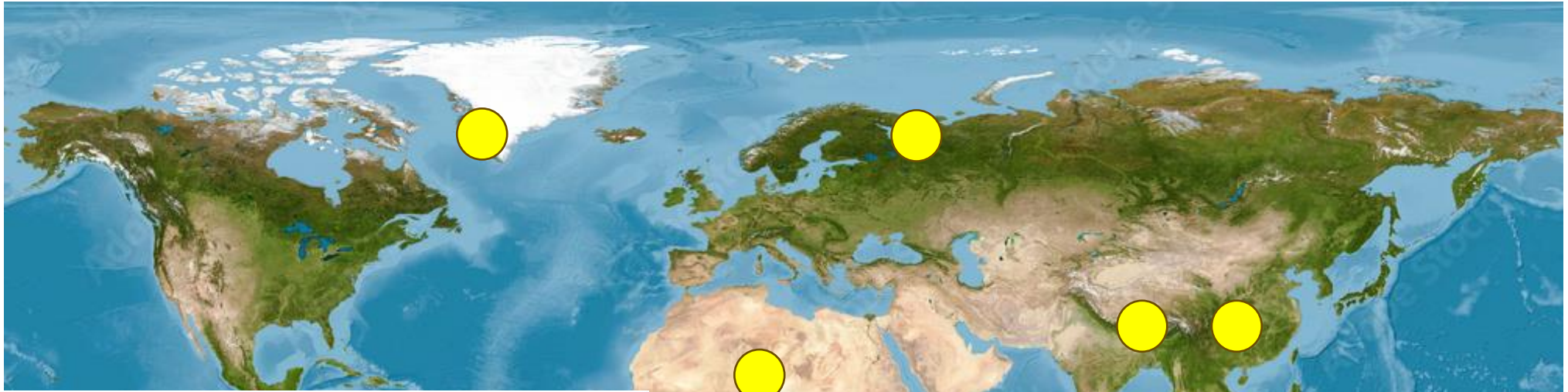
Globální klima



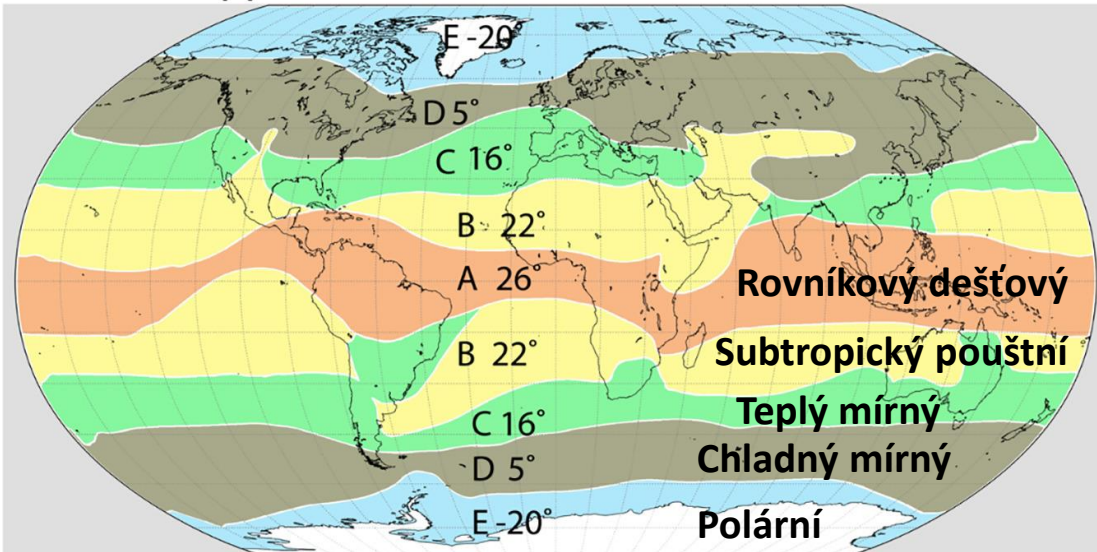
— Proč je klima na vyznačených místech tak rozdílné?

— Klimatické pásy, nadmořská výška

— teplota + humidita, vzdálenost oceánu, velikost pevniny



Modern Köppen Climatic Belts



A - Equatorial Rainy, B - Subtropical Arid, C - Warm Temperate, D - Cool Temperate, E - Polar

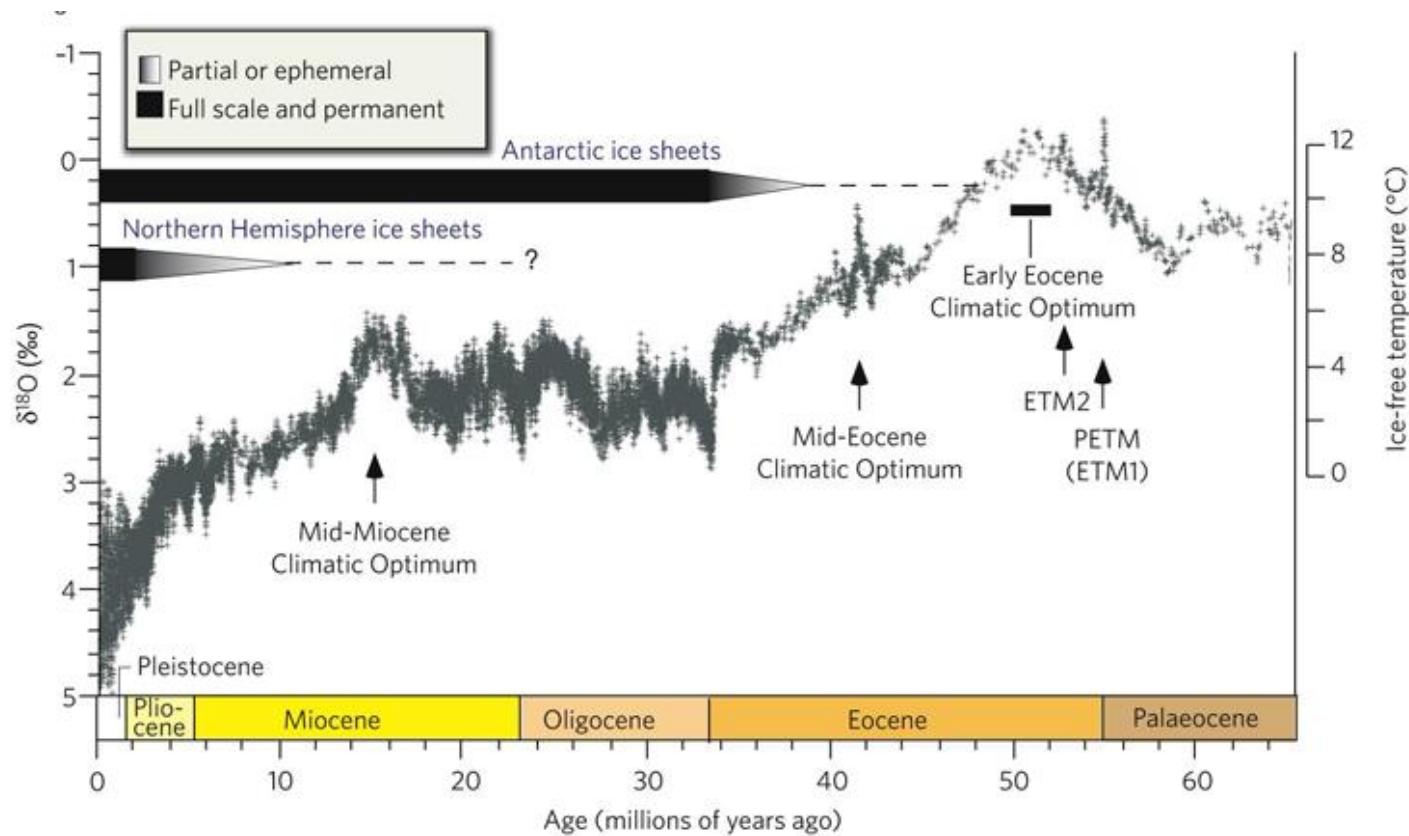
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825221000027>

Klimatické změny

- Klima je dáno a řízeno značným množstvím faktorů (budou nyní probrány, „od vlivů zemského jádra, přes vliv slunce nebo lidí, po vliv Jupiteru a Merkuru“)
- Proto nemůže být stabilní a mění se v:

- 1) cyklech různých frekvencí (tisíčovky et až stovky milionů let) a amplitud,
- 2) krátkodobých událostech mimo cykly (nenadálé události, katastrofy, „přepnutí“)

Dlouhodobé **cykly**
vs krátkodobé **výkyvy (anomálie)**



Rekonstruovaná křivka změn průměrných teplot za posledních 66 milionů let (od vyhynutí dinosaurů). Teploty byly rekonstruovány na základě studia izotopického složení kyslíku ve zkažených kostřičkách mořského planktonu, sedimentu a ledu. *Tato metoda bude vysvětlena dále.*

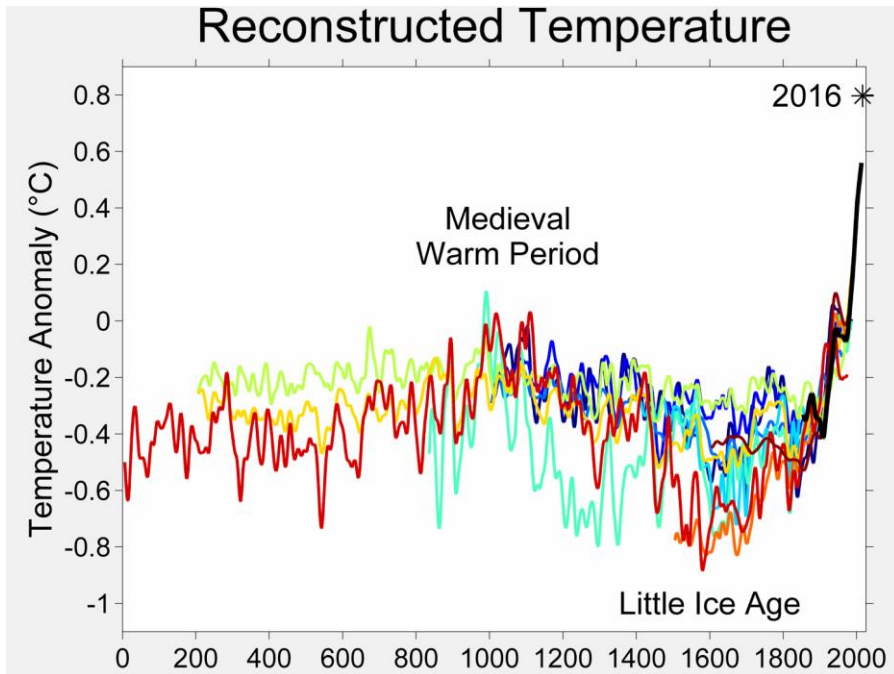
https://www.climate.be/textbook/chapter5_node10.xml

Příklady historických klimatických změn

Dnešní klimatický globální stav
- „ice-house“ klimatický režim
- umožňuje existenci ledovců

Aktuálně zažíváme globálně oteplovací trend, probíhající posledních několik dekád (cca 150 let)

Nejbližším klimaticky rozdílným obdobím/globální klimatickou změnou byla středověká až novověká „malá doba ledová“, kdy došlo k nadregionálnímu poklesu teplot (hlavně v Evropě)

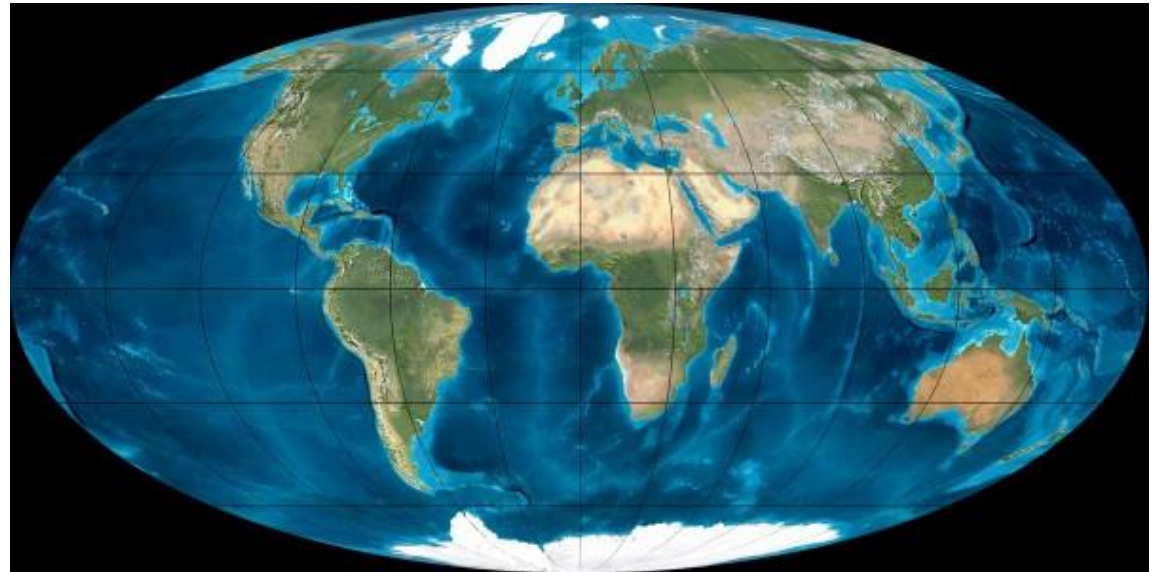


Průměrné teploty v různých místech na Zemi
(rekonstruováno hlavně dendroklimatologicky – „z letokruhů stromů“)



Trhy na zamrzlé Temži v Londýně, které probíhaly během malé doby ledové (16. – 19. stol.). V současnosti k takovému zamrznutí Temže nedochází ani za nejtěžších zim.

<https://www.historic-uk.com/HistoryUK/HistoryofEngland/The-Thames-Frost-Fairs/>



Rozšíření zalednění v holocénu, v posledních 10 tisících letech

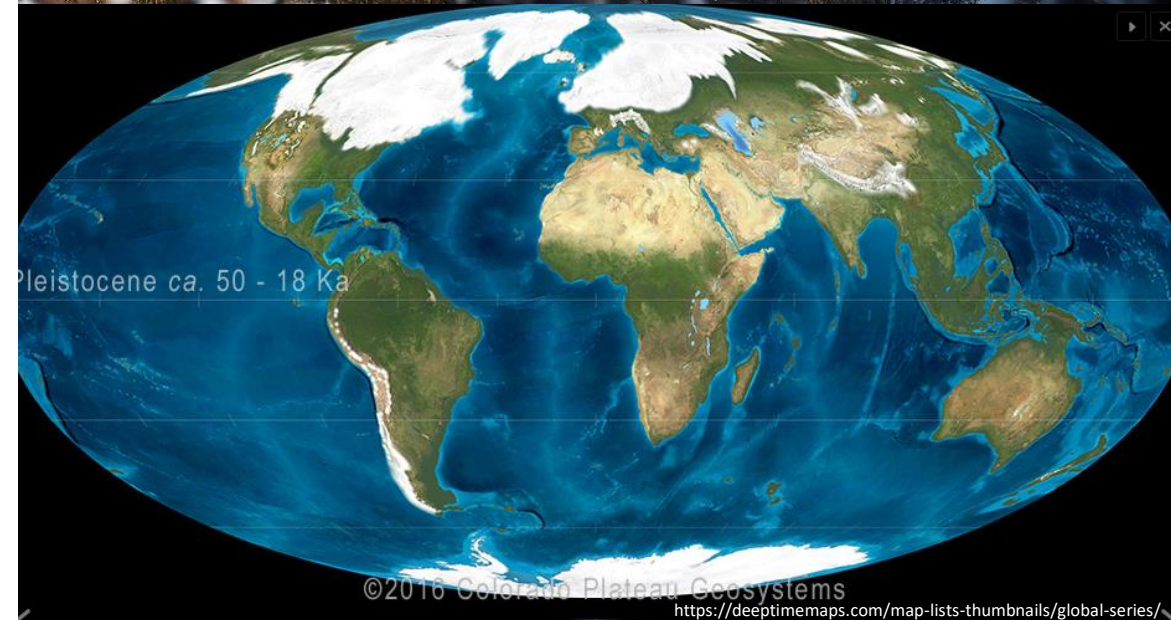
Posledních 40 milionů let historie Země je globální klima v „ice house“ globálním režimu = existuje polární zalednění

Posledních 2,6 milionů let (období **kvartér**) je celkově charakteristické velmi nízkými teplotami a dochází k poměrně rychlému střídání

- **dob ledových** (glaciálů; rozšiřování polárních ledovců do nižších zeměpisných šířek)
- **meziledových** (interglaciálů; razantní oteplení)

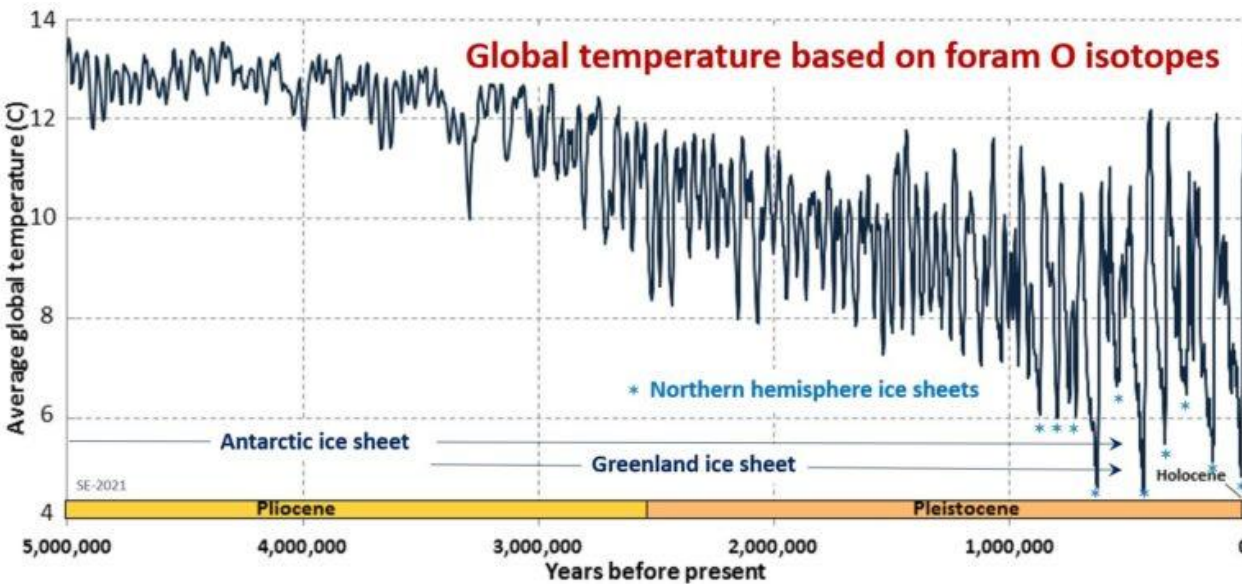


<https://www.wired.com/story/colossal-biosciences-mammoth>



©2016 Colorado Plateau Geosystems
<https://deeptimemaps.com/map-lists-thumbnails/global-series/>

Maximální rozšíření kontinentálních ledovců před 50 – 18 tisíci lety



<https://environmental-geol.pressbooks.tru.ca/chapter/glacial-periods-in-earths-history/>

Průměrné teploty za posledních 5 milionů let
(rekonstruováno z poměrů stabilních izotopů kyslíku v ledu a sedimentech)

V období mesozoika (před 251 až 66 miliony lety) byla Země často bez polárních ledovců

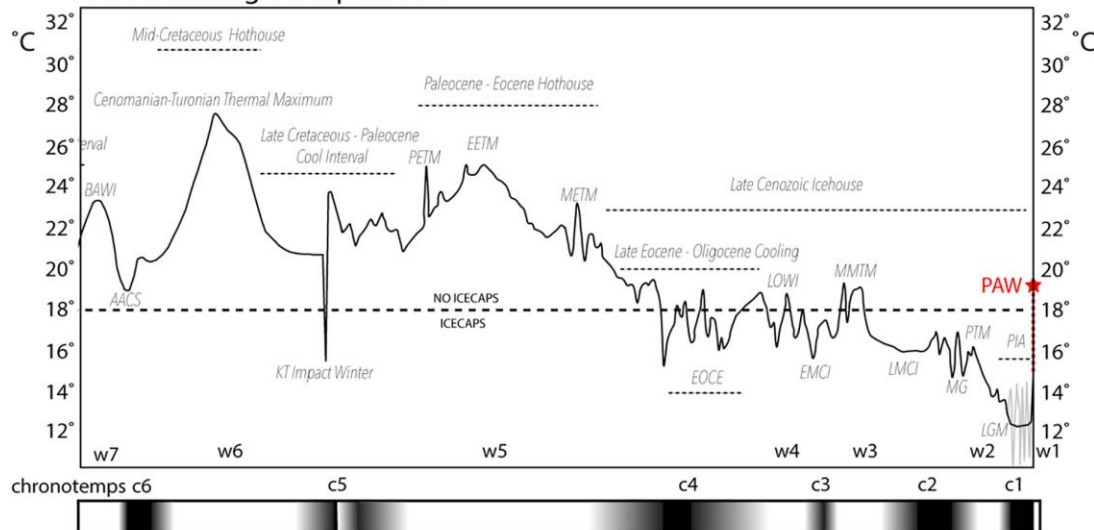
Green house klimatický režim - bez polárního zalednění

Extrémně vysoké teploty (režim hot house) panovaly v období mesozoika křída („doba dinosaurů“), cca před 100 miliony lety



<https://earthlyuniverse.com/cretaceous-earth-reign-tyrants/>

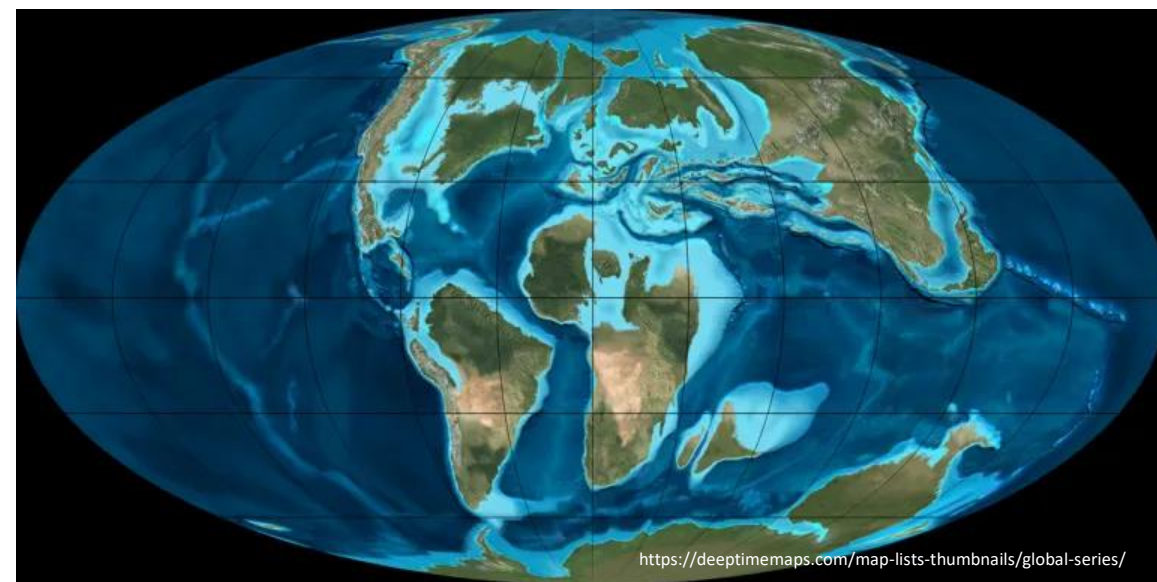
Global Average Temperature



PERIOD	EPHOC	AGE		
RETACEOUS	LATE CRETACEOUS	APTIAN		
		ALBIAN		
		CENOMANIAN		
		TURONIAN		
		CONIACIAN		
		SANTONIAN		
		CAMPANIAN		
		MAASTRICHTIAN		
		PALEOGENE	PALEOCENE	DANIAN
				SELIANDIAN
THANETIAN				
YPRISIAN				
LUTETIAN				
EOCENE	BARTONIAN			
	PRABONIAN			
	RUPELIAN			
	CHATTIAN			
	ACQUITANIAN			
NEOGENE	OLIGOCENE	BURDIGALIAN		
		LANGHIAN		
		SERRAVALLIAN		
		TORTONIAN		
		MESSINIAN		
	MIOCENE	ZANCLIAN		
		PIACENTIAN		
		PLIOCENE		
		ISTOBIAN		
		CHAMPAIGNIAN		

CR Scotese, 2020

Průměrné teploty za posledních 130 milionů let (rekonstruováno z poměrů stabilních izotopů kyslíku v ledu a sedimentech)



<https://deeptimemaps.com/map-lists-thumbnails/global-series/>

Paleogeografická rekonstrukce Země v mladší křídě, kdy neexistovalo polární zalednění a hladiny oceánů byly vysoko a zalévaly vnitřní části kontinentů

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825221000027>

Klima a život na Zemi

Existence života na Zemi je možná (nejen, ale zcela zásadně) díky plynnému obalu Země – **atmosféře**

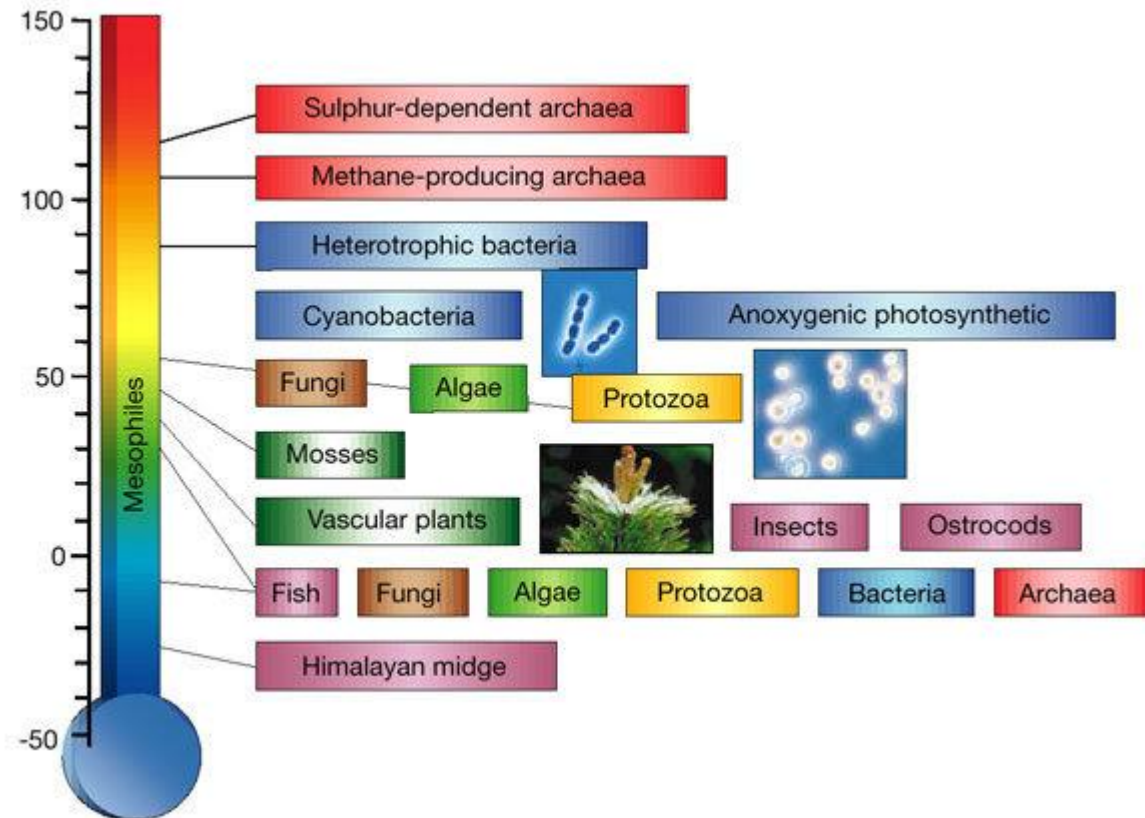
- poskytuje ochranu před UV zářením

- probíhá v ní **skleníkový efekt**, který udržuje povrchové teploty vhodné pro život

- **teplotní okno pro životní cyklus organismů:**

- archeobakterie -5 až 122 °C
- bakterie -5 až 100 °C
- eukaryota -5 až 60/40 °C)

Po celou dobu existence Země byly tyto teplotní podmínky dodrženy alespoň na části planety (!!!)



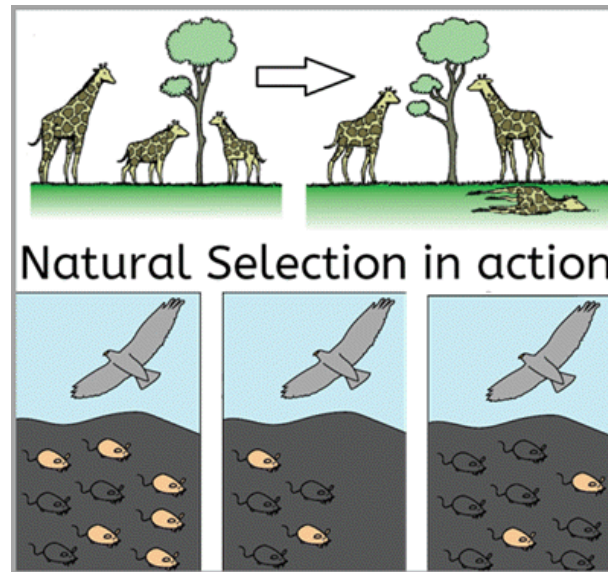
Evoluce a klimatické změny

- evoluce – vývoj druhů - proces, který vede ke vzniku nových forem života
- Hlavními faktory evoluce jsou:



Johann Gregor Mendel
(1822-1884)

1) vnější vliv, **přírodní výběr** (změna prostředí/ tlak prostředí)

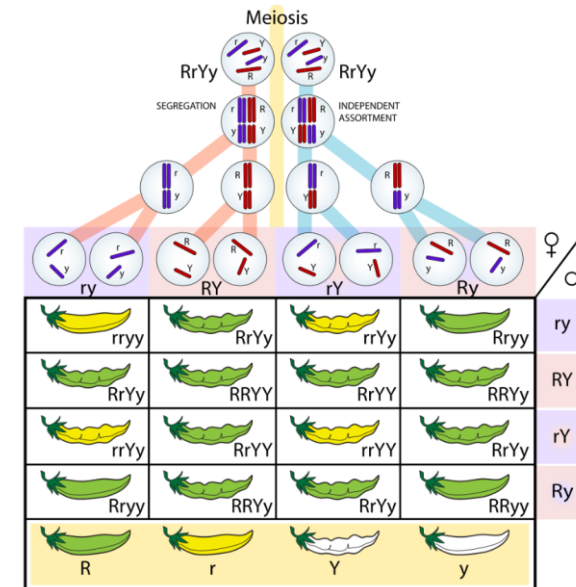


<https://www.solpass.org/science6-8-new/s7/images-life/Natural-Selection-Giraffes.png>

- **prostředí je zásadně charakterizováno klimatem**
- klimatické změny vedly k významným evolučním událostem a byly mnohdy spojené s hromadným vymíráním

2) **genetická mutace** („neustálý vznik nových forem, které jsou testovány proti vnějším vlivům“)

<https://www.solpass.org/science6-8-new/s7/images-life/Natural-Selection-Giraffes.png>



https://en.wikipedia.org/wiki/Mendelian_inheritance#/media/File:Independent_assortment_&_segregation.svg

Charles Darwin
(1809-1882)

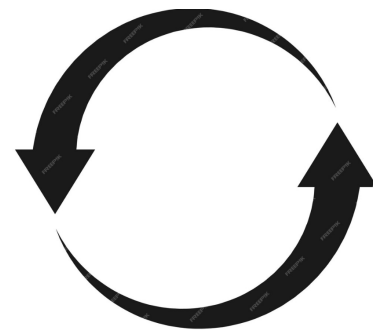
V následující části kurzu probereme řadu případů, které dokládají, že:

Klimatické, biologické a geologické procesy (a cykly) jsou navzájem propojeny

Klimatické změny a geologické procesy významným způsobem ovlivňují život (biotu/biosféru)

Biota ovlivňuje vlastnosti atmosféry (a tím klima) i samotné geosféry Země

Nejprve probereme hlavní faktory, které změny klimatu řídí. Povšimněte si, že se jedná ve velké míře o cyklické procesy.



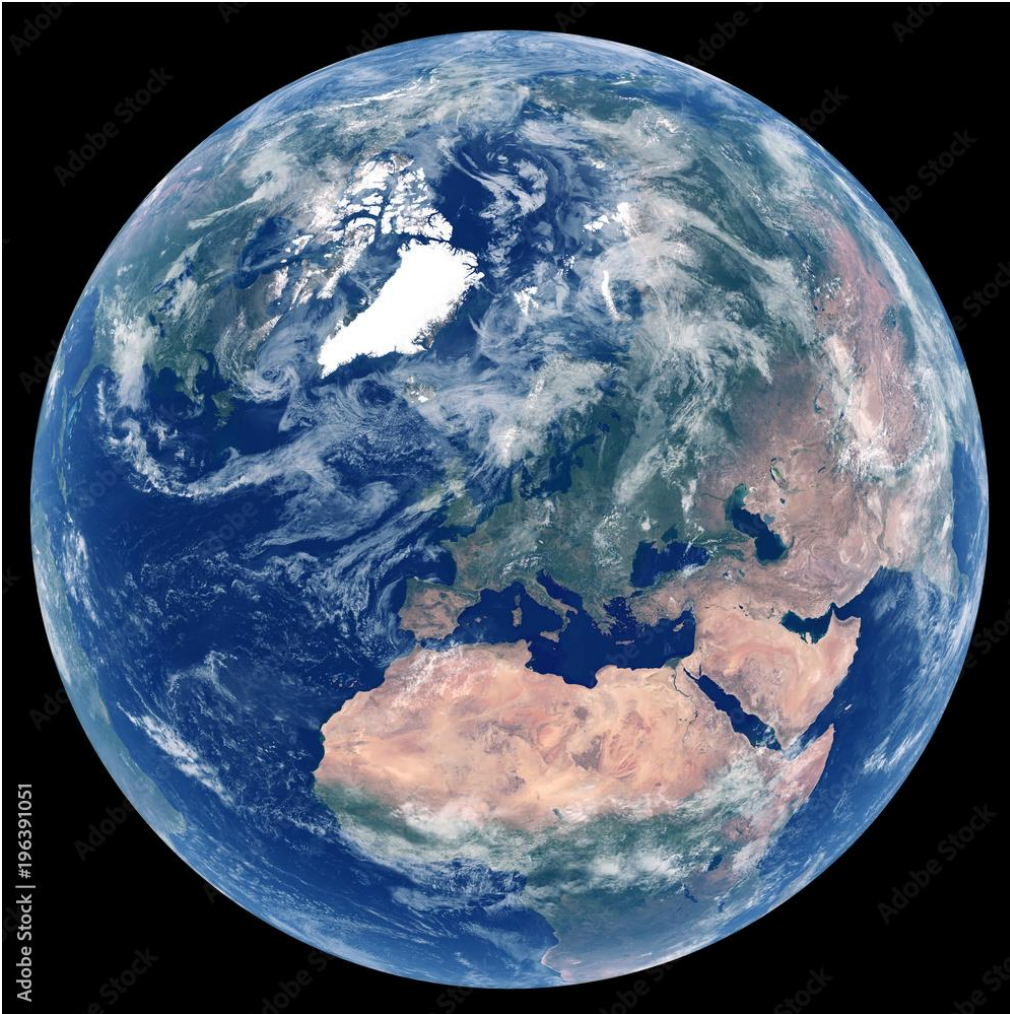
Příčiny změn klimatu



Co řídí klimatické změny?

Klimatické podmínky a jejich změny jsou dány mnoha faktory, z nichž nejdůležitější jsou:

Vnitřní faktory Země

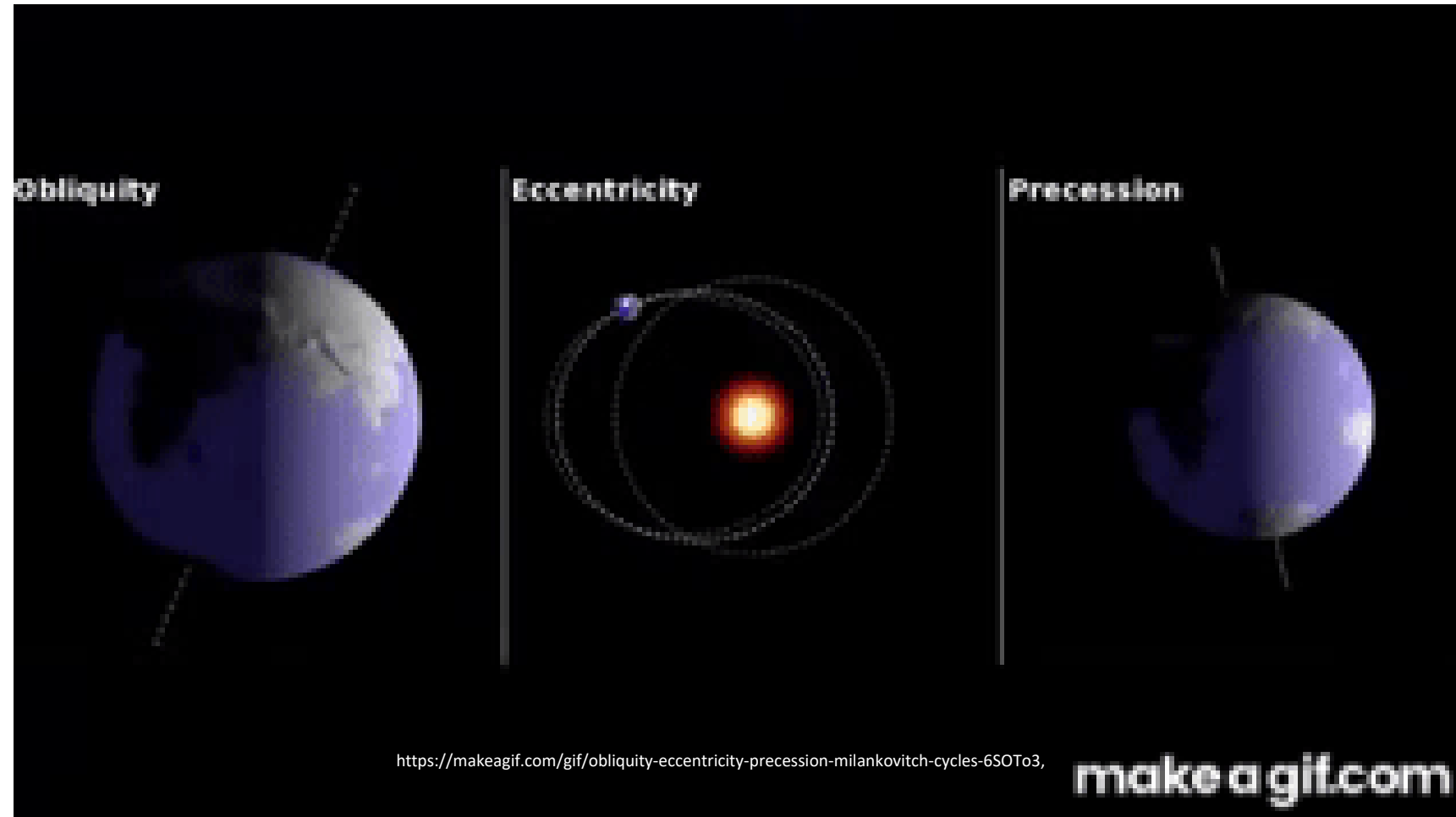


- **složení atmosféry** – skleníkový efekt, řízeno **látkovými cykly**, spojené s horninovým cyklem – **vulkanismus**, zvětrávání, biologické cykly)
- **pohyby kontinentů a oceánů** (desková tektonika)
- **atmosférické a oceánské proudění**
 - oceánské proudění silně ovlivněno rozmístěním kontinentů a oceánů – přesun tepla na povrchu Země
- **barva povrchu Země**
 - albedo (odraznost povrchu)

Co řídí klimatické změny?

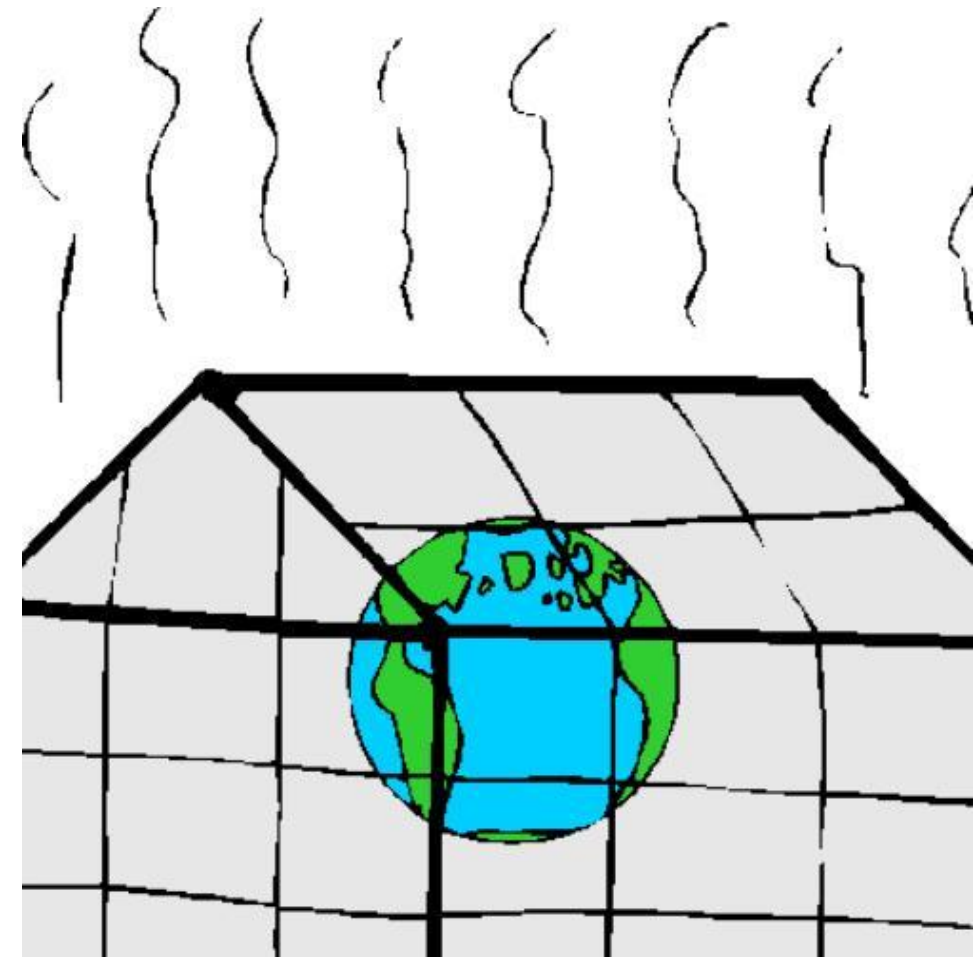
Mimozemské faktory

- **změny orbitálních drah** - gravitační vlivy mezi planetami sluneční soustavy (**Milankovičovy cykly**)
 - vyvolávají změny polohy Země ve vztahu ke Slunci
 - to vede ke změnám množství dopadající sluneční energie
- **cykly „slunečního výkonu“**
- **dopady mimozemských těles**



Skleníkový efekt

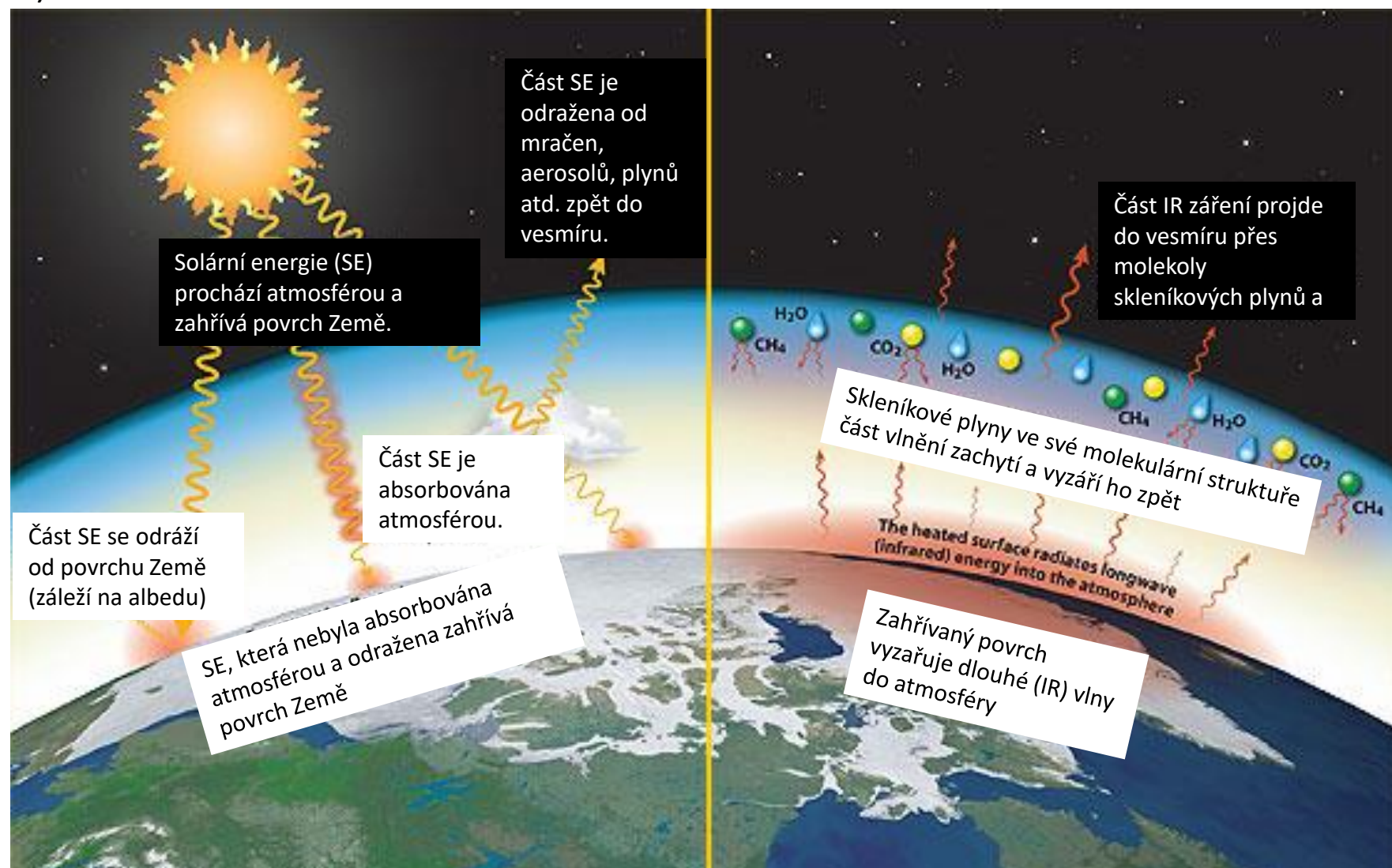
Ochranná ruka nad životem



Skleníkový efekt

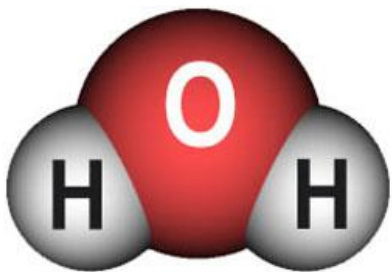
- udržuje část infračerveného (tepelného) záření **Slunce** i Země v atmosféře a nepouští ho do vesmíru
- udržuje teplotní podmínky na Zemi vhodné pro život
 - **bez skleníkového efektu by byla průměrná teplota zemského povrchu $-18^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{F}$** (viz teplotní okno pro život)

- *archeobakterie* -5 až 122°C
- *bakterie* -5 až 100°C
- *eukaryota* -5 až $60/40^{\circ}\text{C}$



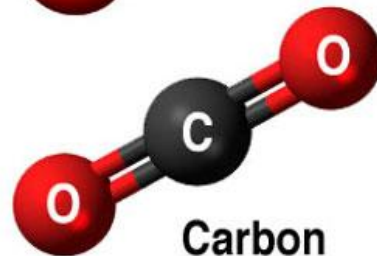
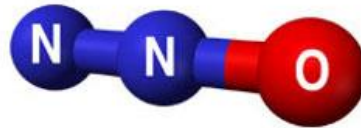
Skleníkové plyny

- Skleníkový efekt vyvolán přítomností **skleníkových plynů** v atmosféře
- Skleníkové plyny = většina plynů tvořených více než jedním prvkem
= pohlcují a zpětně vyzařují infračervené záření („teplo“)
 - nejvíce od povrchu odražené sluneční záření + vnitřní zdroje IR záření samotné Země

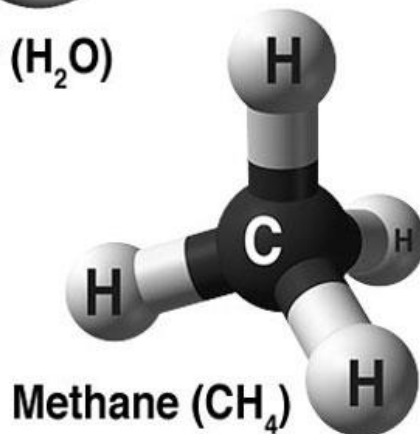


Water vapor (H₂O)

Nitrous oxide (N₂O)

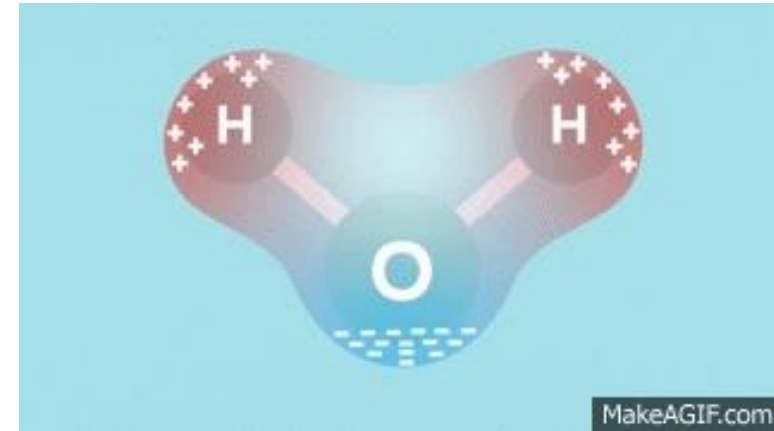


Carbon dioxide (CO₂)



Methane (CH₄)

<https://ugc.berkeley.edu/background-content/greenhouse-gases/>



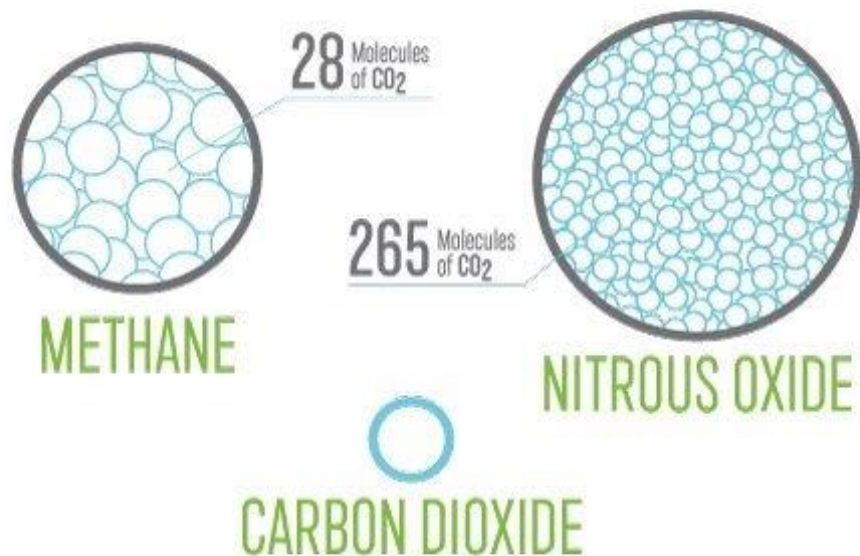
<https://i.makeagif.com/media/6-01-2015/nD6ihO.gif>

The major components of air, such as nitrogen and oxygen, are transparent to IR radiation, meaning that they do not interact with those rays. However, carbon dioxide or CO₂ gas is [IR active](#), meaning that it undergoes some chemical interaction with the IR radiation that stops it from leaving the planet (not all of it though). So what happens when these molecules interfere with the path of IR rays? For that, we need to zoom into the individual gas molecules. Gas molecules are in a constant state of vibration, even under normal temperature and pressure conditions. These movements become more intense when hit by an external energy source. Now, imagine a CO₂ molecule where carbon and oxygen atoms are ping-pong balls and the bonds connecting them are springs. Under normal circumstances, these bonds are bending and stretching at a particular frequency and hanging out in the atmosphere. Then.... BAM! A photon of IR radiation hits the gas molecule, which soaks up the photon, gets excited, and starts vibrating at a faster speed. However, the gas molecule cannot keep up this faster motion for long and must relax back to its original state. It relaxes by emitting the energy back into the air or by transferring it to a nearby CO₂ molecule. The same phenomenon takes place over and over for trillions of CO₂ molecules. The continuous absorption, excitation, and re-emission of energy is what traps the heat inside.

<https://www.scienceabc.com/nature/why-is-carbon-dioxide-a-greenhouse-gas.html> 16

- Molekuly různých skleníkových plynů mají různé absorpční kapacity
- Nejsilnější je u **oxidu dusného** a **metanu**

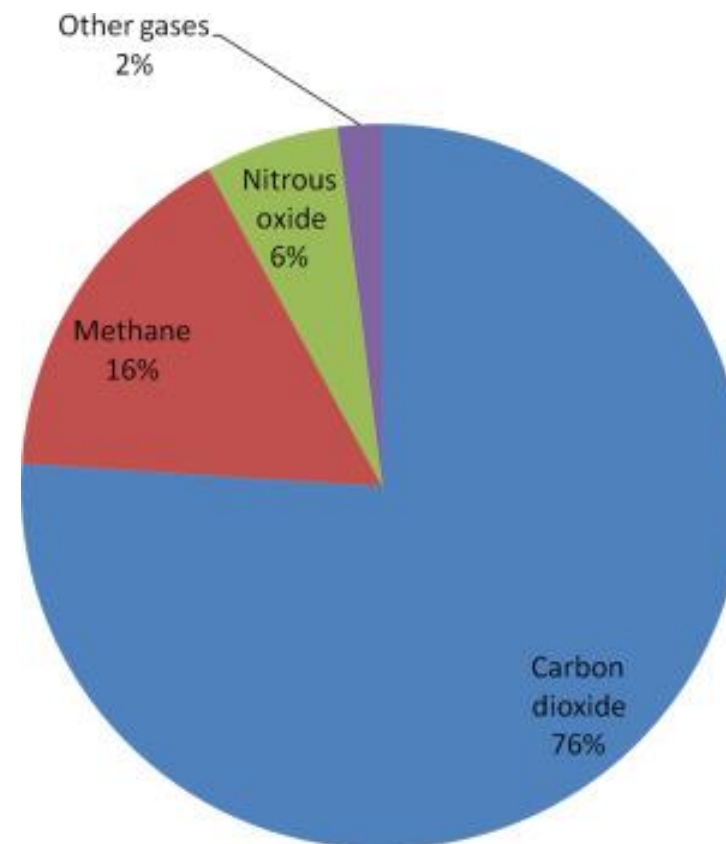
STRENGTH OF GREENHOUSE GASES



Global warming potential based on 100-year horizon
Source: IPCC AR5

<https://routtclimateaction.com/resources/>

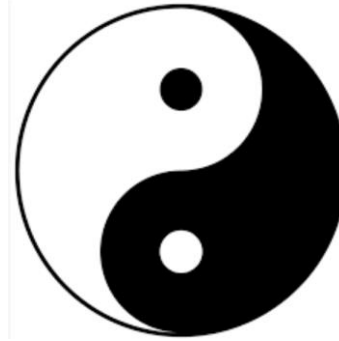
- Nejhojnějším skleníkovým plynem je **vodní pára**
- Druhým nejhojnějším je **oxid uhličitý**
- Metan, oxid dusný a ozon jsou zastoupeny významně méně
- **Intenzita skleníkového efektu spojená s cyklem vody a uhlíku**



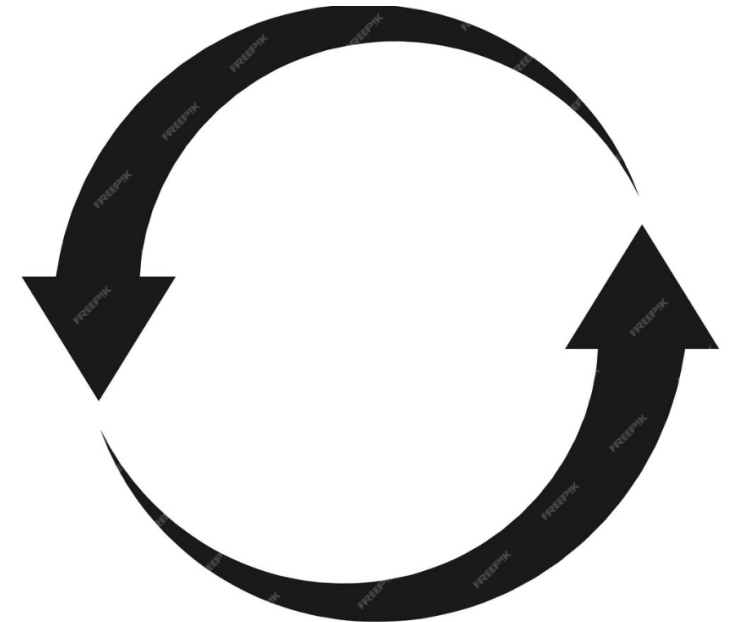
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/greenhouse-gas>

Látkové cykly

Většina cyklů je termodynamickým pokusem přírody o dosažení rovnováhy.
Ta není dosažena v základních fyzikálně-chemicko-biologických systémech
(větší míře) nikdy.



Následující 3 slidy: tři cykly, které zásadně ovlivňují intenzitu
skleníkového efektu

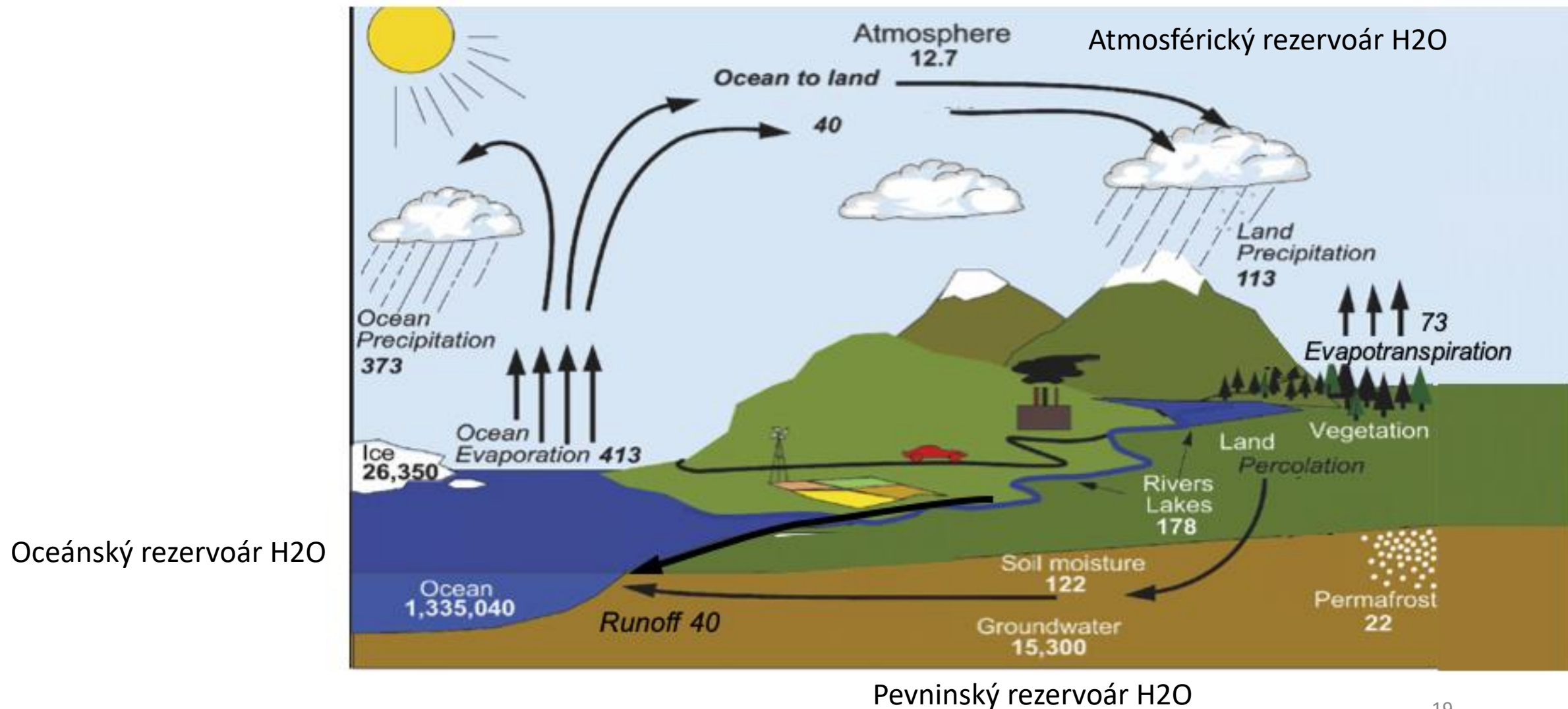


Cyklus vody

– Výměna H₂O mezi biosférou, atmosférou, hydrosférou, pedosférou a litosférou

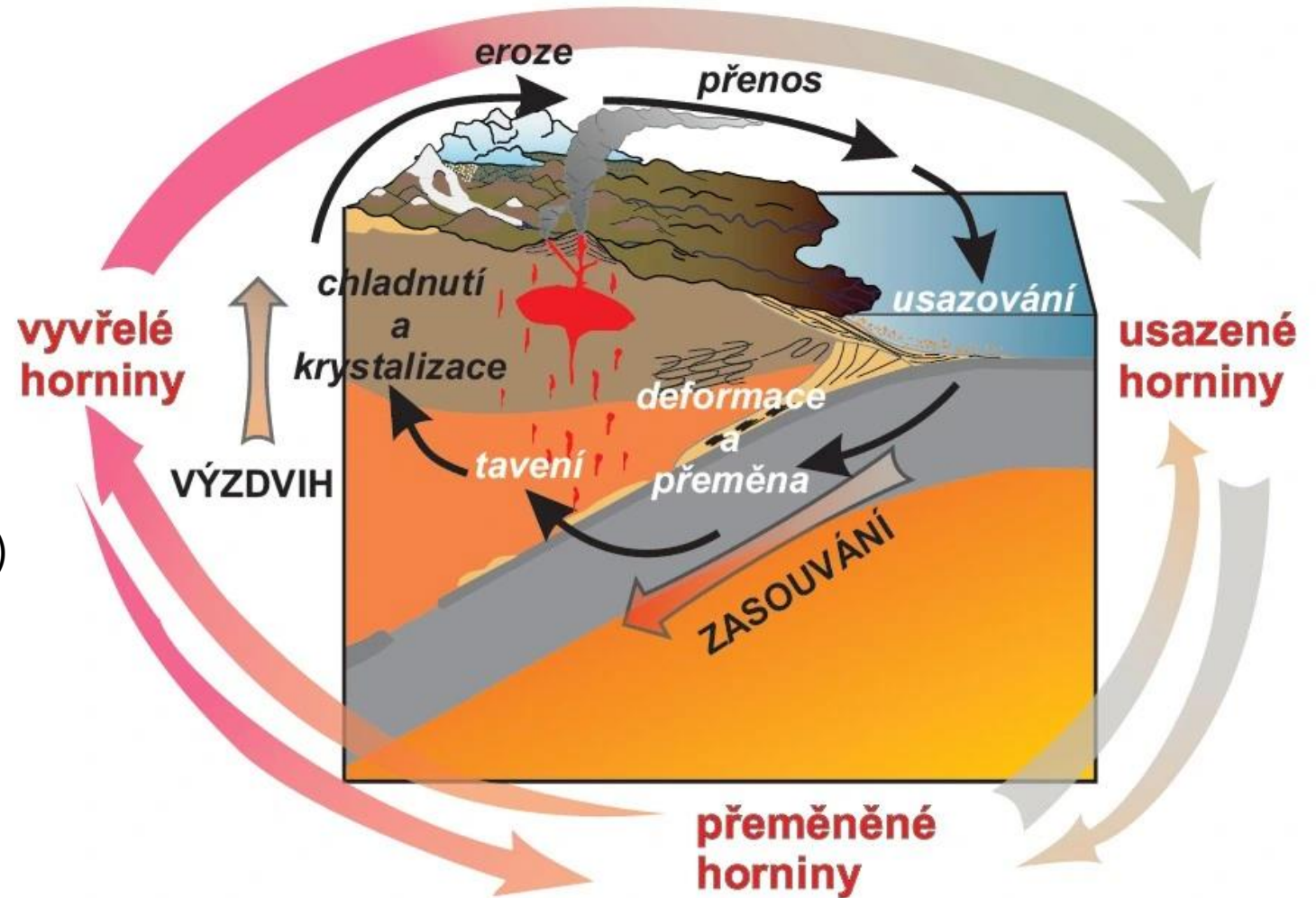
– Vypařování (evaporace) a srážení (precipitace) vody, splach, odtok mezi jednotlivými **rezervoáry**

- Hydrosféra – vodní obal Země
- Pedosféra – vrstva půd
- Litosféra – kamenný obal Země



Horninový cyklus

- Cyklus vzniku hornin
(zásadně řízen **deskovou tektonikou** – bude probrána záhy)
- Tři hlavní typy hornin podle vzniku:
 - 1) utuhnutí z magmatu nebo lávy
– **magmatické (vyvřelé)**
 - 2) usazení zrněk (vzniklých erozí starší horniny)
– **sedimentární (usazené)**
 - 3) přeměnou starších hornin vysokým tlakem a/nebo teplotou
– **metamorfované (přeměněné)**



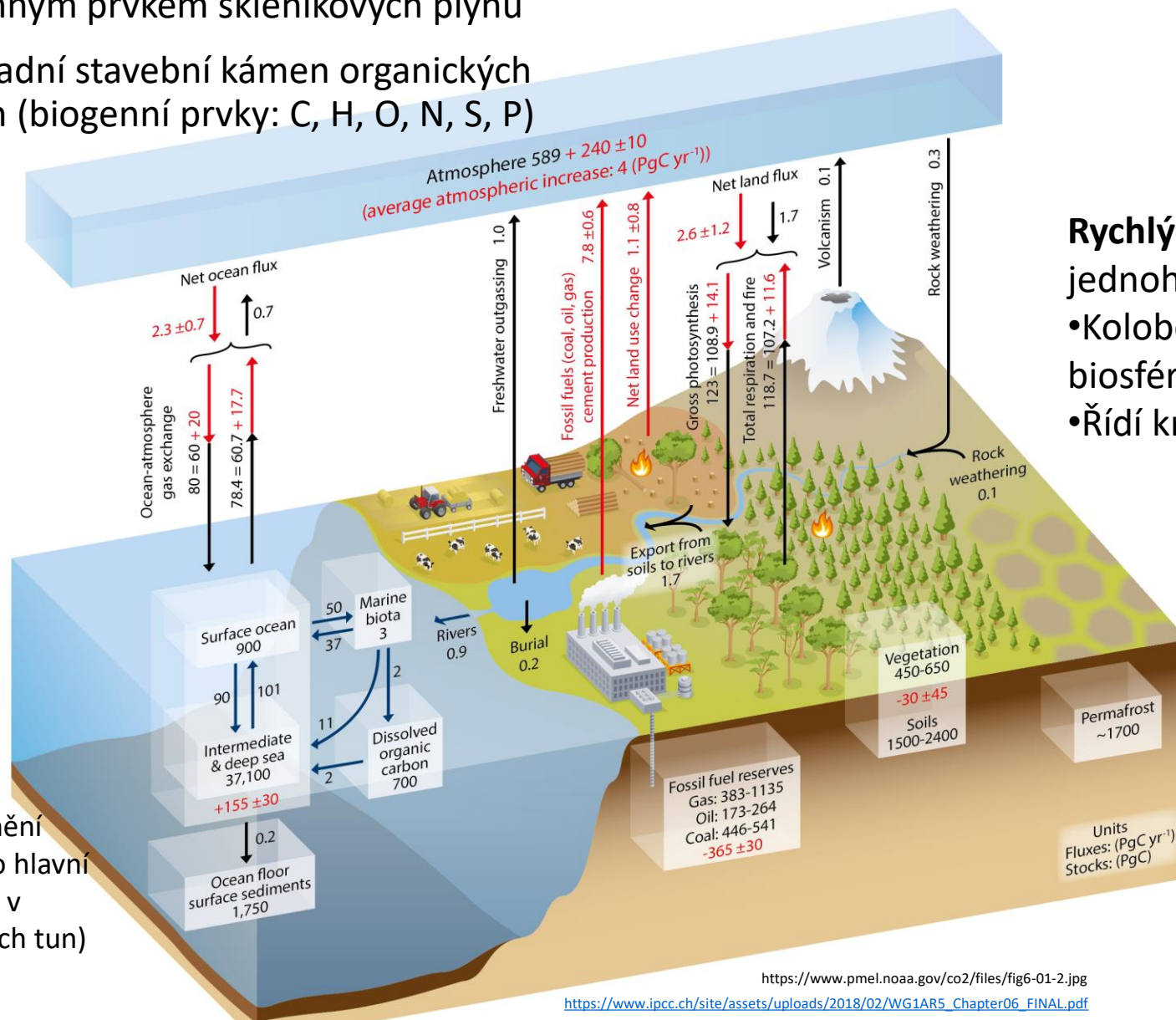
Geologie

Geologické vědy patří mezi takzvané vědy o Zemi, společně s jejich „sestrami“ hydrologií, klimatologií, nebo geografií - kombinují fyziku, chemii, matematiku, biologii a dochází ke průniku s dalšími vědami o Zemi aj.

- dynamická geologie (všeobecná geologie) – zabývá se pochody, které vytvářely a vytvářejí Zemi (ale také jiné planety)*
- mineralogie – studuje minerály*
- petrologie – věda o horninách a jejich vzniku*
- paleontologie – studuje vymřelé organizmy (které nacházíme jako zkameněliny), jejich vývoj a životní prostředí*
- stratigrafie – věda studující stáří (posloupnost) vrstev hornin a dějů v nich zaznamenaných*
- geochemie a geofyzika – studují chemické a fyzikální vlastnosti minerálů a hornin*
- hydrogeologie – zabývá se vodou v horninách (podzemní vodou) a jejím využíváním*
- ložisková geologie – využívá znalostí geologie k získávání nerostných surovin*
- environmentální geologie – zabývá se vlivem člověka na jeho životní prostředí a řeší odstraňování ekologických zátěží v horninovém prostředí*
- inženýrská geologie – průzkum pro zakládání staveb, zajišťování stability svahů*

Látkové cykly - uhlík

- Výměna uhlíku mezi biosférou, atmosférou, hydrosférou, pedosférou a geosférou Země
- C významným prvkem skleníkových plynů
- Také základní stavební kámen organických sloučenin (biogenní prvky: C, H, O, N, S, P)



Rychlý (biologický) cyklus – často v délce jednoho roku/let

- Koloběh C mezi atmosférou/hydrosférou a biosférou
- Řídí krátkodobé klimatické výkyvy

Pomalý (geologický) cyklus – trvá řádově miliony let (řízen deskovou tektonikou)

- Koloběh C mezi bio/atmo/hydrosférou, pedosférou a geosférou
- Řídí dlouhodobé klimatické cykly, ale i nenadálé události (např. enormní vulkanizmus)

Schematické znázornění toku uhlíku přes jeho hlavní rezervoáry. Hodnoty v gigatunách (miliardách tun) uhlíku.

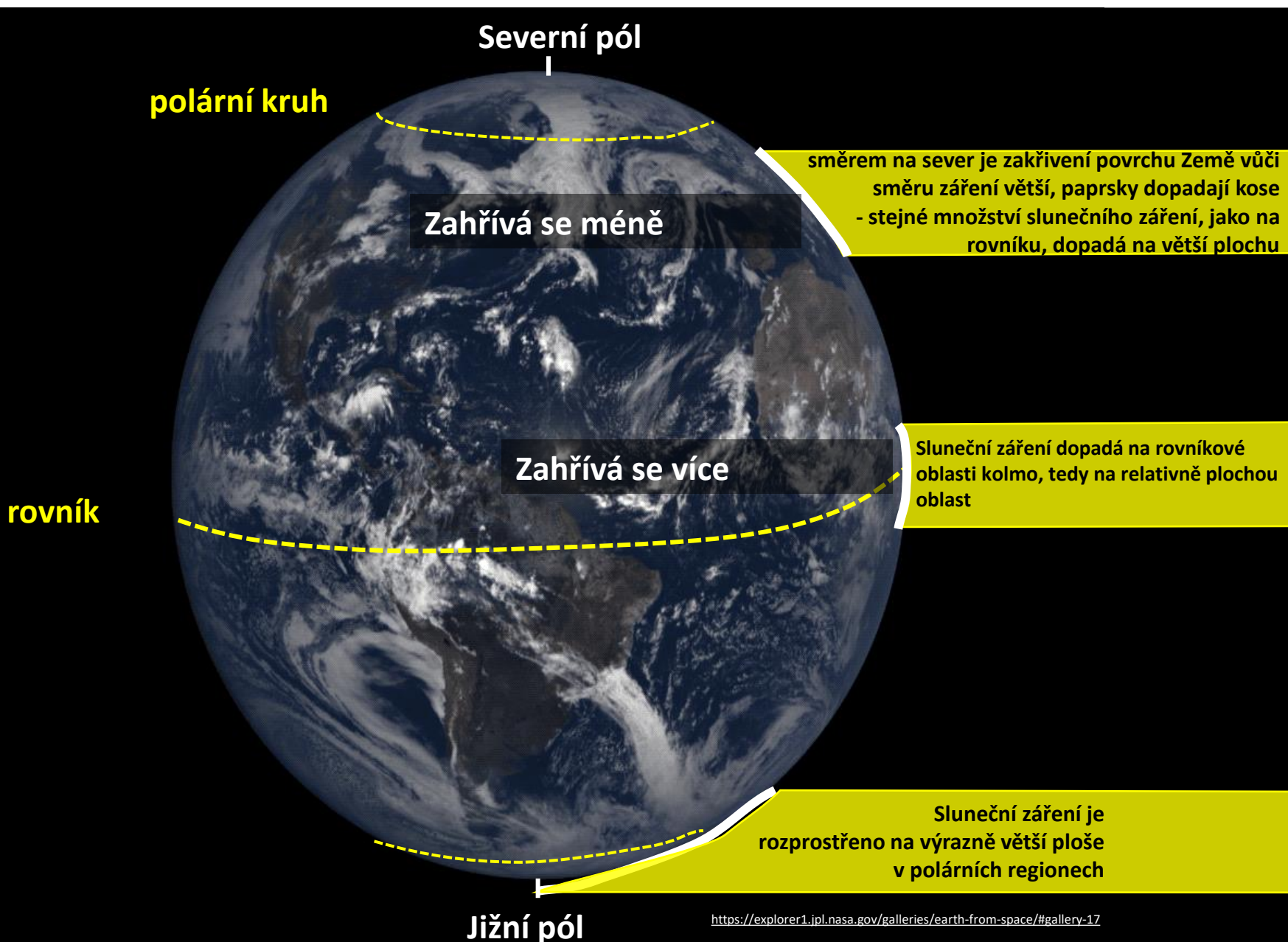
Globální rozvody tepla: atmosférické a oceánské proudění



<https://www.vecteezy.com/photo/36338742-ai-generated-aerial-satellite-view-of-a-powerful-tropical-cyclone>

Ohřívání Země - zdroj energie ze slunečního záření

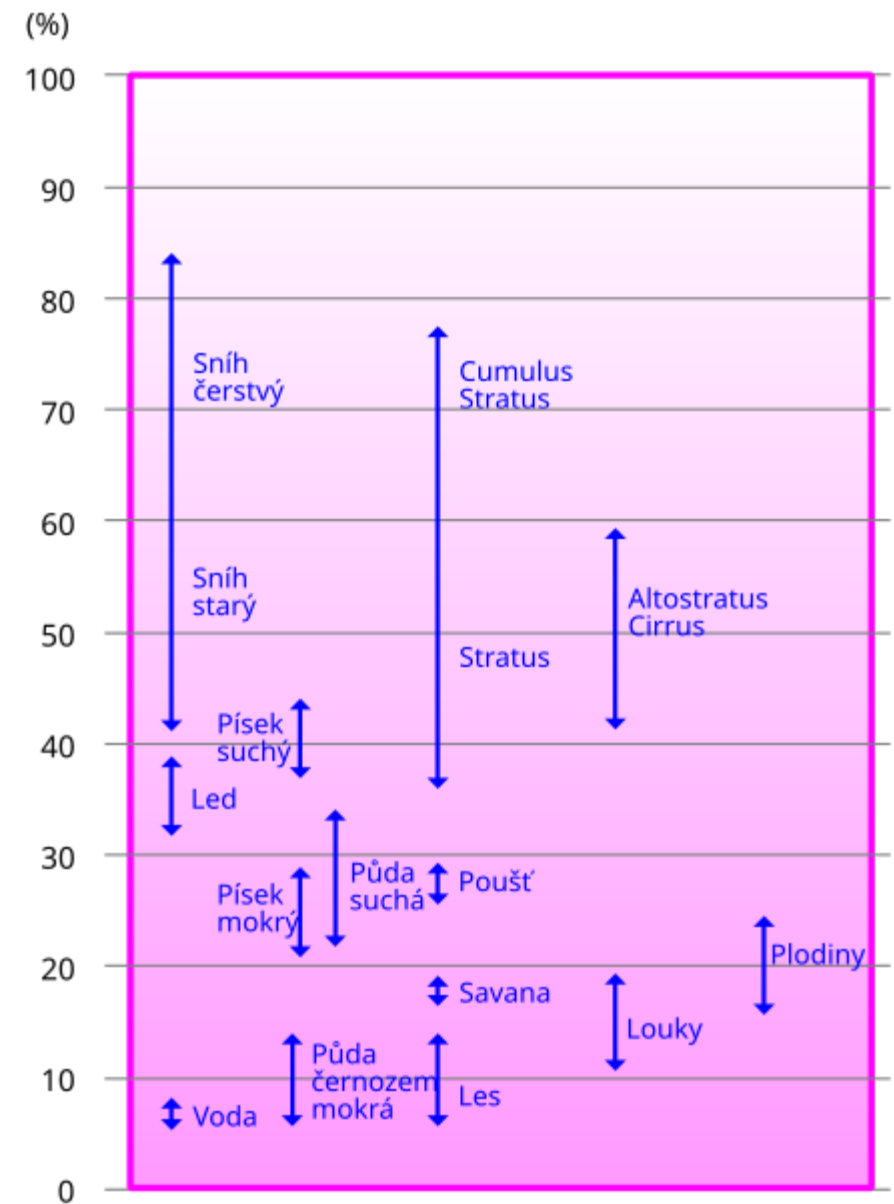
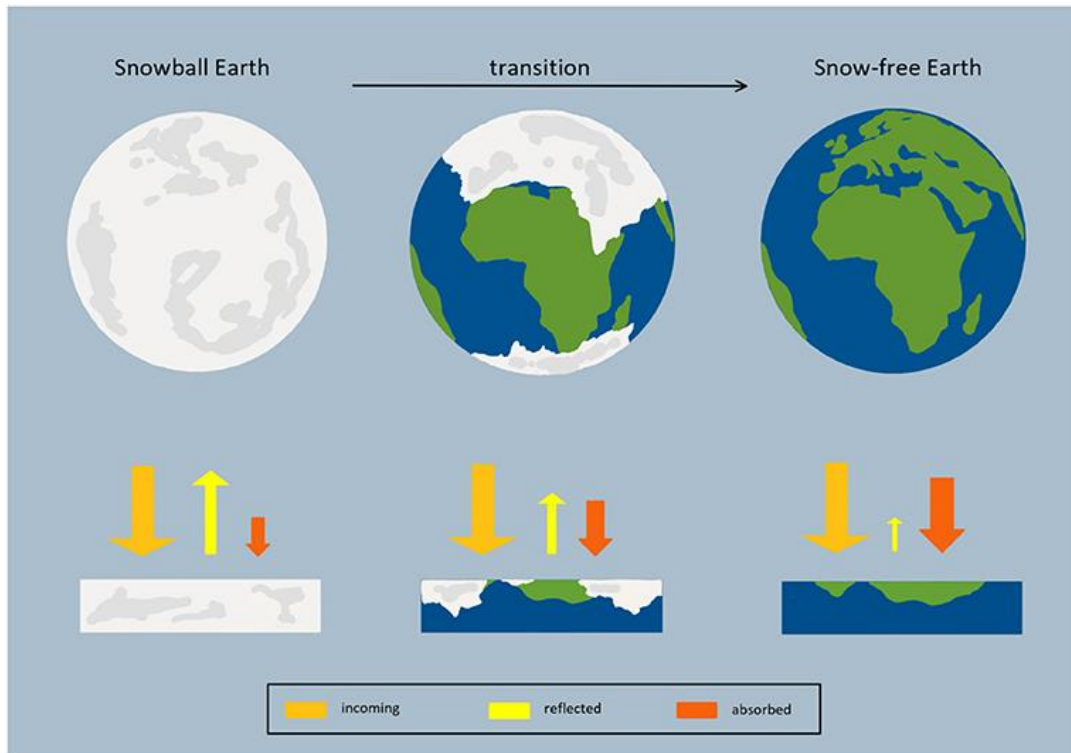
Solární (sluneční) energie je hlavním zdrojem v energetické bilanci povrchu Země a atmosféry



Úhel dopadu slunečního záření na zemský povrch je dán zeměpisnou šířkou, což vede k nerovnoměrnému zahřívání tohoto povrchu

Albedo

- Nerovnoměrné zahřívání je dále závislé na odraznosti povrchu (albedu), který je dán barvou.
- Ohřev povrchu Země významně závisí na množství slunečního záření, které se odráží nebo je absorbováno povrchem Země.
- Světlejší povrchy (led, sníh, oblaka) odrážejí více slunečního světla a absorbují méně tepla .
- Tmavé povrchy, jako jsou oceány nebo lesy mají nižší odrazivost a více se zahřívají



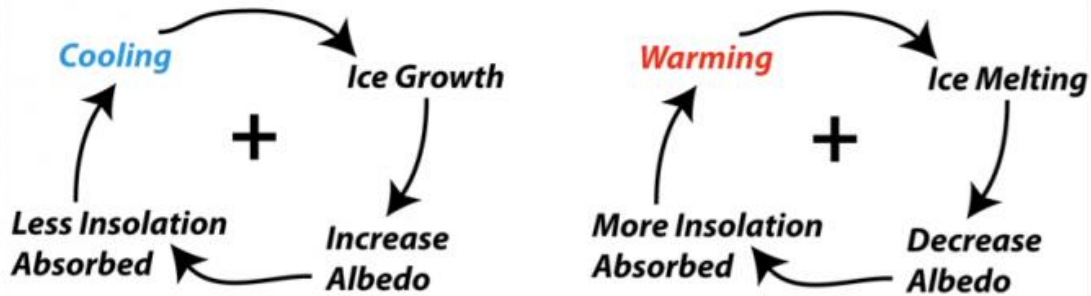
Odrazivost různých typů povrchů a typů oblaků, údaj v procentech odražené radiace.

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Albedo>

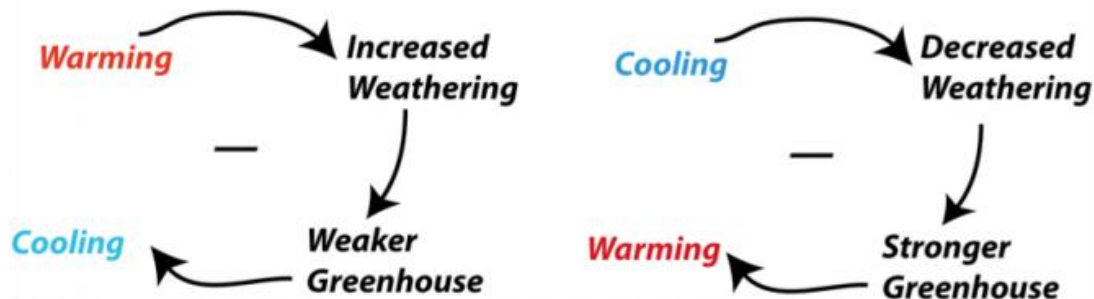
Smyčky zpětných vazeb

- proces, při kterém vnější faktor způsobí změnu v jedné části systému, která se zpětně vrací a sama sebe zesiluje (pozitivní zpětná vazba) nebo zpomaluje (negativní zpětná vazba)

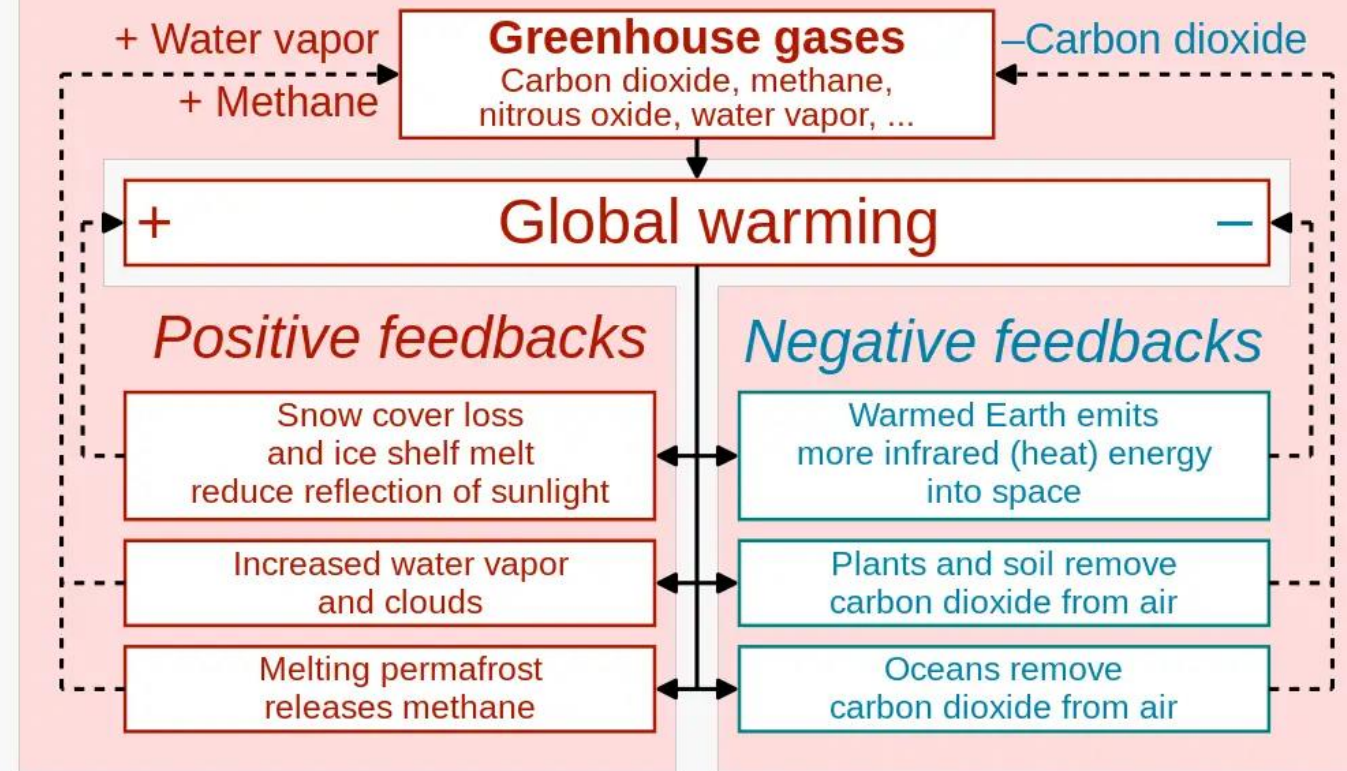
Positive Feedback Mechanism



Negative Feedback Mechanism



Feedbacks affecting climate change

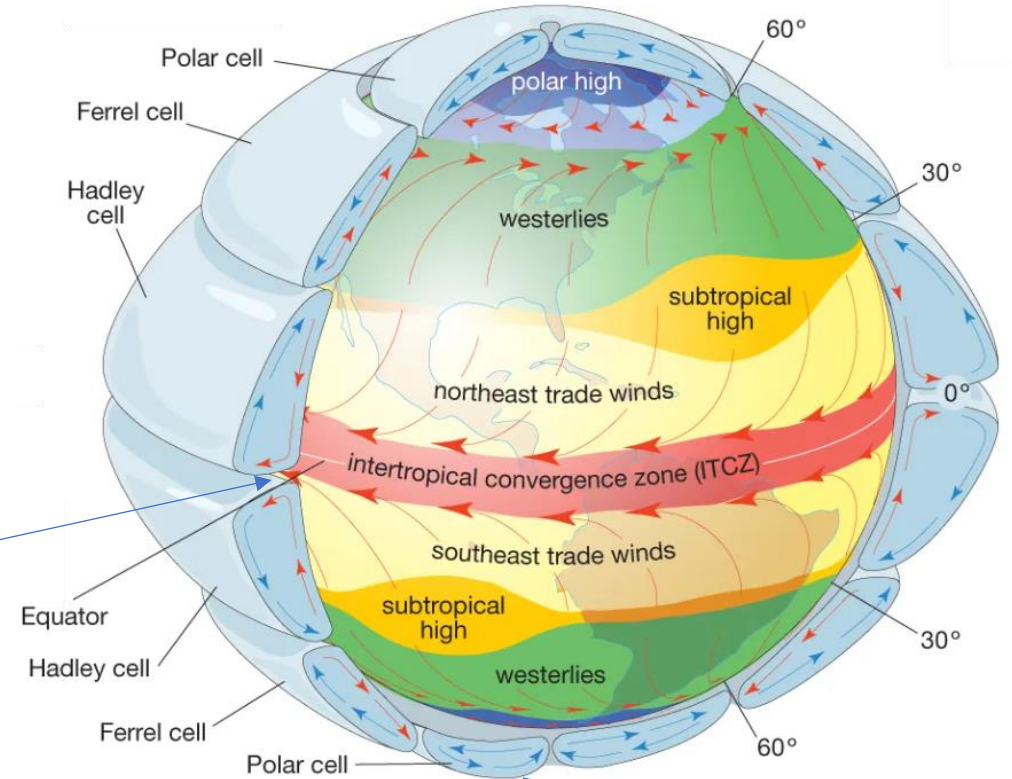
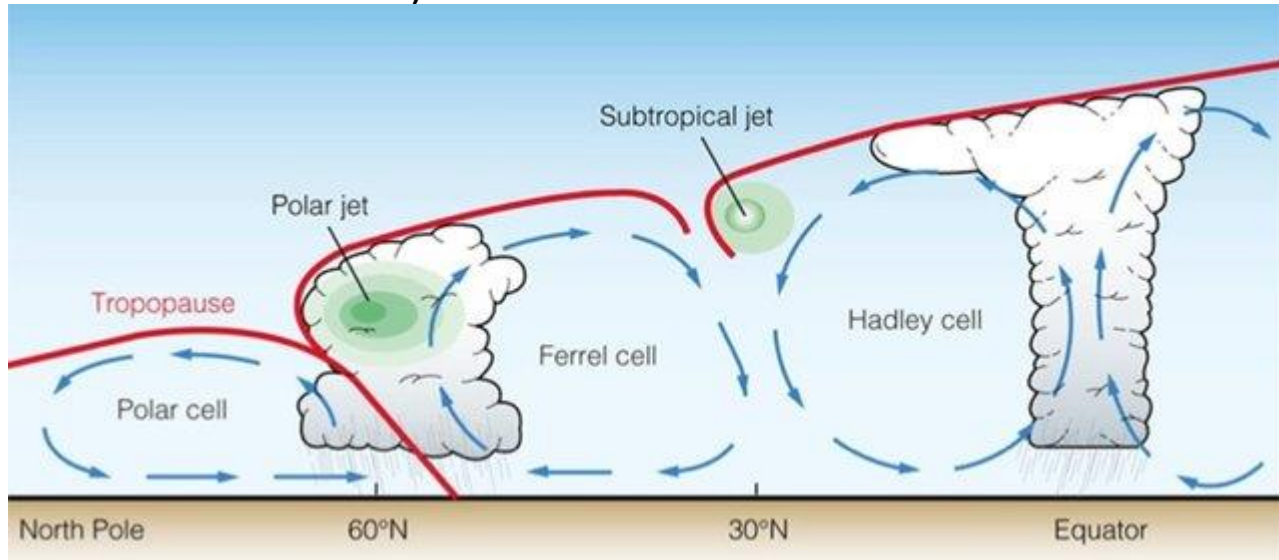


<https://microbeonline.com/feedback-loop/>

<https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2023.1113553>

Atmosférické proudění – „rozvody tepla na Zemi I“

- Atmosférické proudění má strukturu několika **konvekčních cel** (buněk), které v pásích obepínají Zemi
- Dochází k redistribuci tepelné energie – proudění má zásadní roli v rozložení humidity a množství srážek (pouštní pásy, monzunové oblasti)



Nejvíce slunečního záření dopadá na rovník

- nad ním teplý lehčí vzduch stoupá do atmosféry
- ve vyšších částech atmosféry v oddělených celách putuje na sever a na jih, kde se ochlazuje a klesá

*Konvekční proudění – teplá kapalina stoupá,
chladná klesá – rozdíly hustot
Klima vlhké – humidní; suché – aridní
Humidita – vlhkost vzduchu*

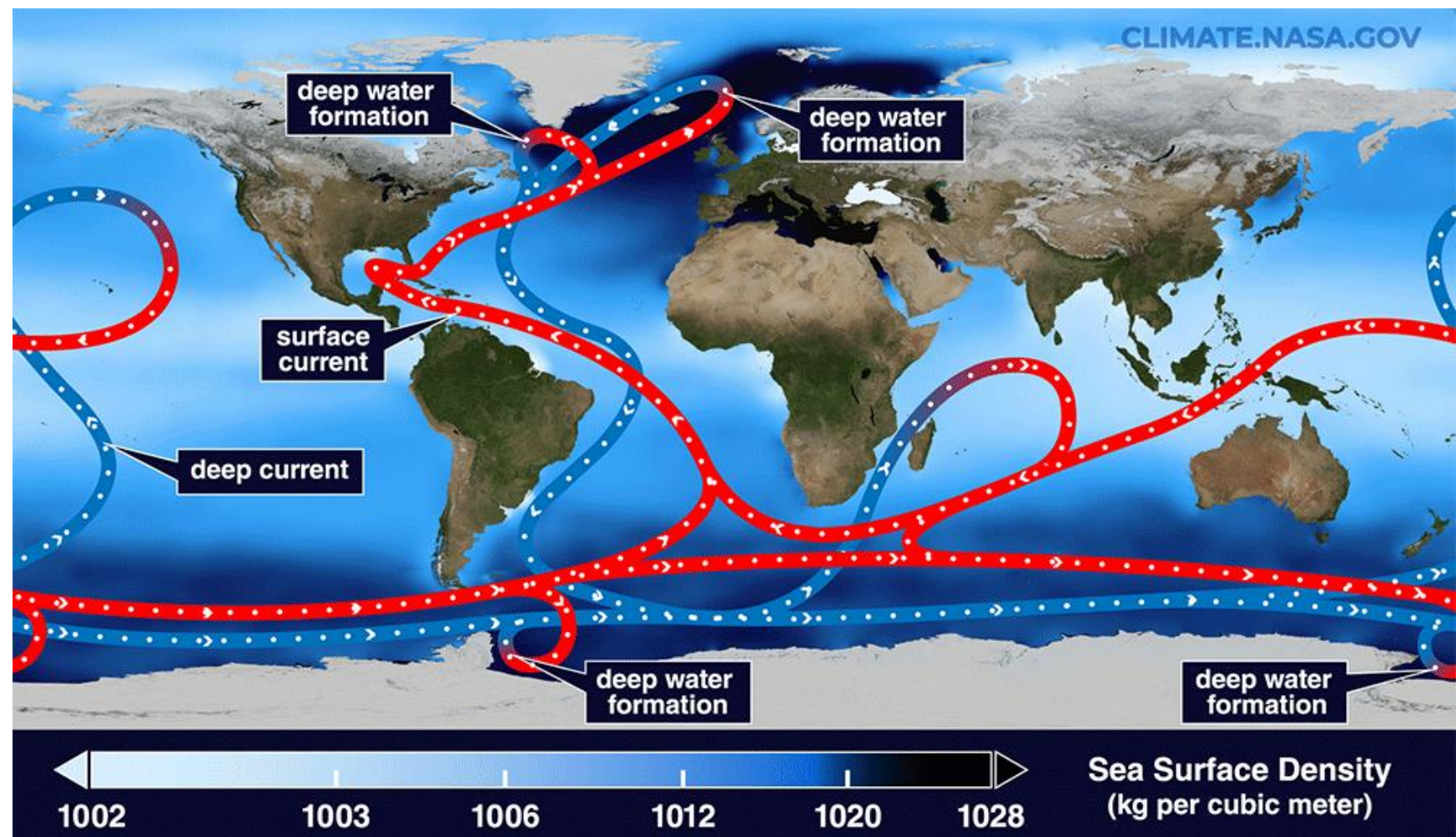
Nejméně slunečního záření dopadá na póly

- Nad nimi dochází ke klesání chladného vzduchu
- Při cestě od pólů jsou zahřívány a stoupají před polárním kruhem

<https://www.britannica.com/science/Ferrel-cell>

Oceánské proudění – „rozvody tepla na Zemi II“

- Zásadní vliv a přímý dopad na klima Země má také proudění oceánských vod
- **Oceány absorbují nejvíce slunečního záření (plošně nejrozsáhlejší typ povrchu Země, který je tmavě modrý – nízké albedo, výrazně se tak zahřívá)**
- Oceánské proudy distribuují energii absorbovanou ze Slunce (především na rovníku) dále po Zemi a mají obrovský vliv na klima po celém světě



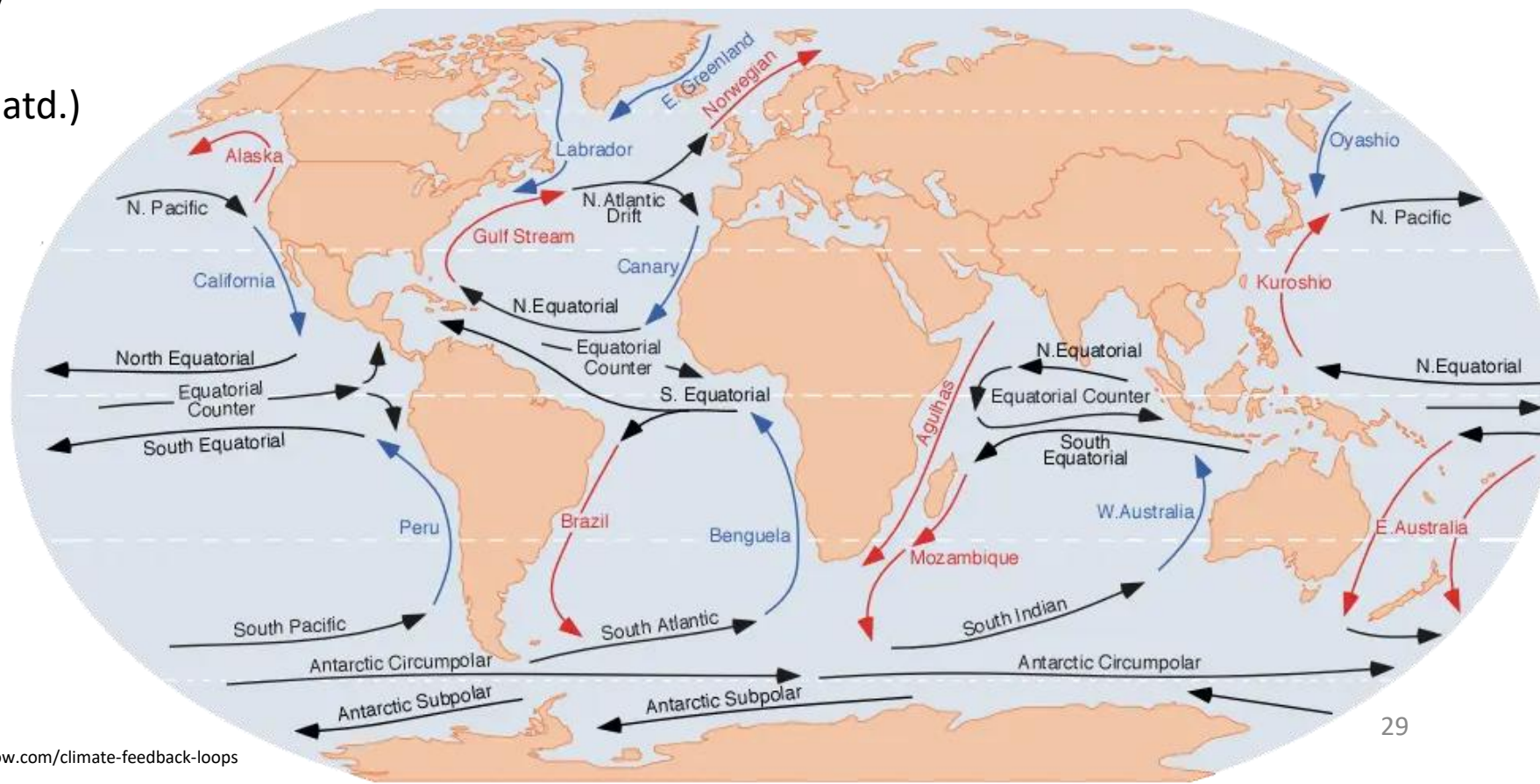
Faktory řídící oceánské proudění a jeho charakter

1) Prostor

- **tvár oceánských pánví** (oceanic basins) daný rozložením kontinentů a oceánů (*opět hraje zásadní roli desková tektonika ... už se k ní blížíme*)
- oceánské proudy by na planetě bez kontinentů také vytvořily pásy, podobné atmosférickým celám

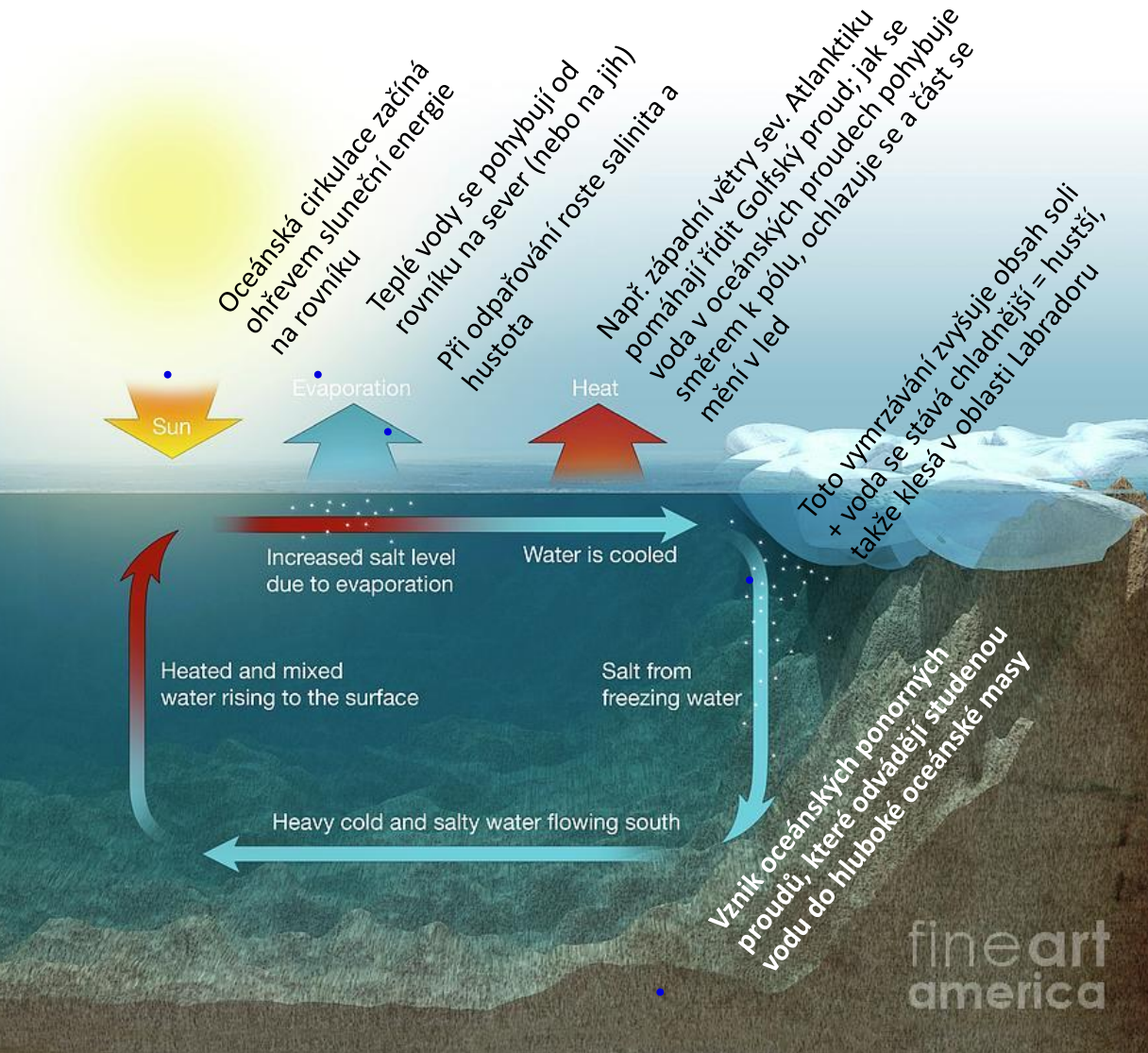
2) tření povrchu oceánů s atmosférou („pohyb vyvolaný větrem“)

- směr je řízen fyzikálními principy proudící kapaliny na rotující kouli (Coriolisova síla, Ekmanův posun, atd.)

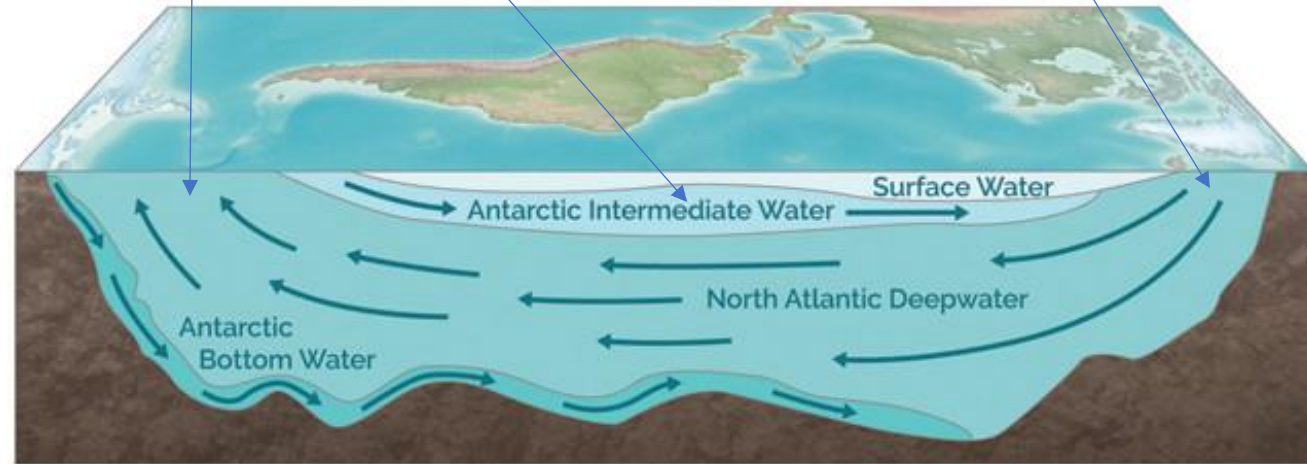


3) Termohalinní cirkulace

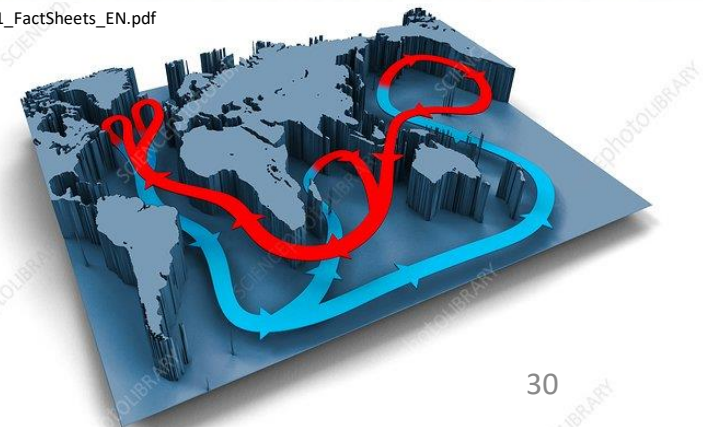
- proudění oceánské masy je dáno změnami hustoty vody, které řídí teplota (opět konvekční proudění)



Povrchové a hluboké oceánské vody jsou na většině oceánské plochy oddělené hraniční vrstvou vody (chemoklinou) a nemísí se (pouze v místech ponoru a výstupu oceánských vod)



https://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2016/10/161011_FactSheets_EN.pdf

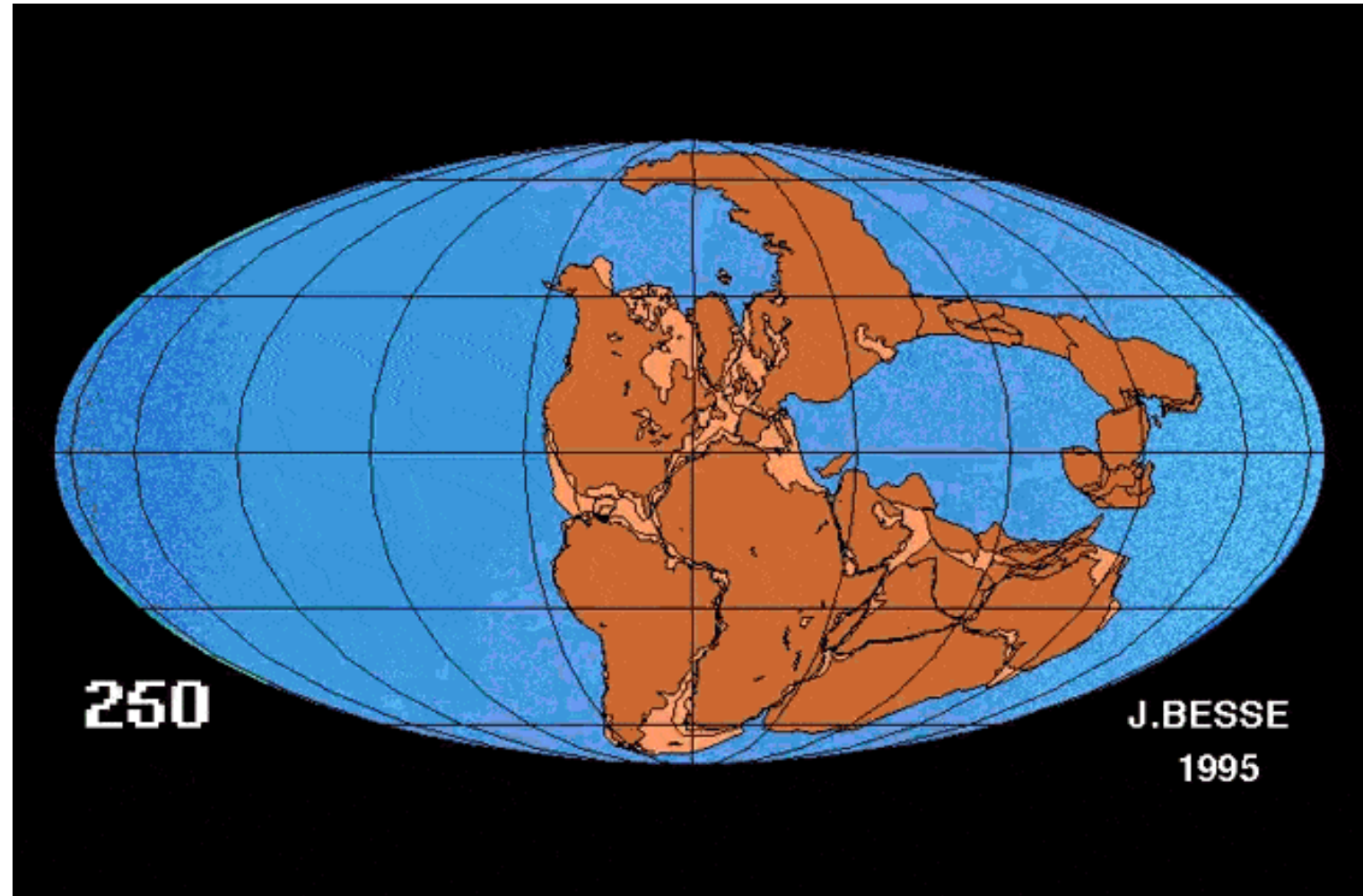


Zjednodušené schéma povrchových a hlubokých oceánských proudů

Desková tektonika, vulkanizmus a klima

Rozmístění kontinentů a oceánů

- Kontinenty výrazně určují prostor proudění oceánských vod, vznik polárních ledovců („běžně potřeba kontinentu na pólu“)
- Poloha kontinentů se v čase mění (rychlost pohybu 1-10 cm/rok)



Rekonstrukce pohybu kontinentů za poslední 250 milionů let, tedy od vzniku posledního superkontinentu, který se označuje jako Pangea. Před Pangeou existovala celá řada dalších superkontinentů, které se cyklicky rozpadaly a zase srážely. Tyto cykly řídí nejdéletrvající a nejvýraznější klimatické cykly, trvající první stovky milionů let.

<https://www.pangea.ca/>

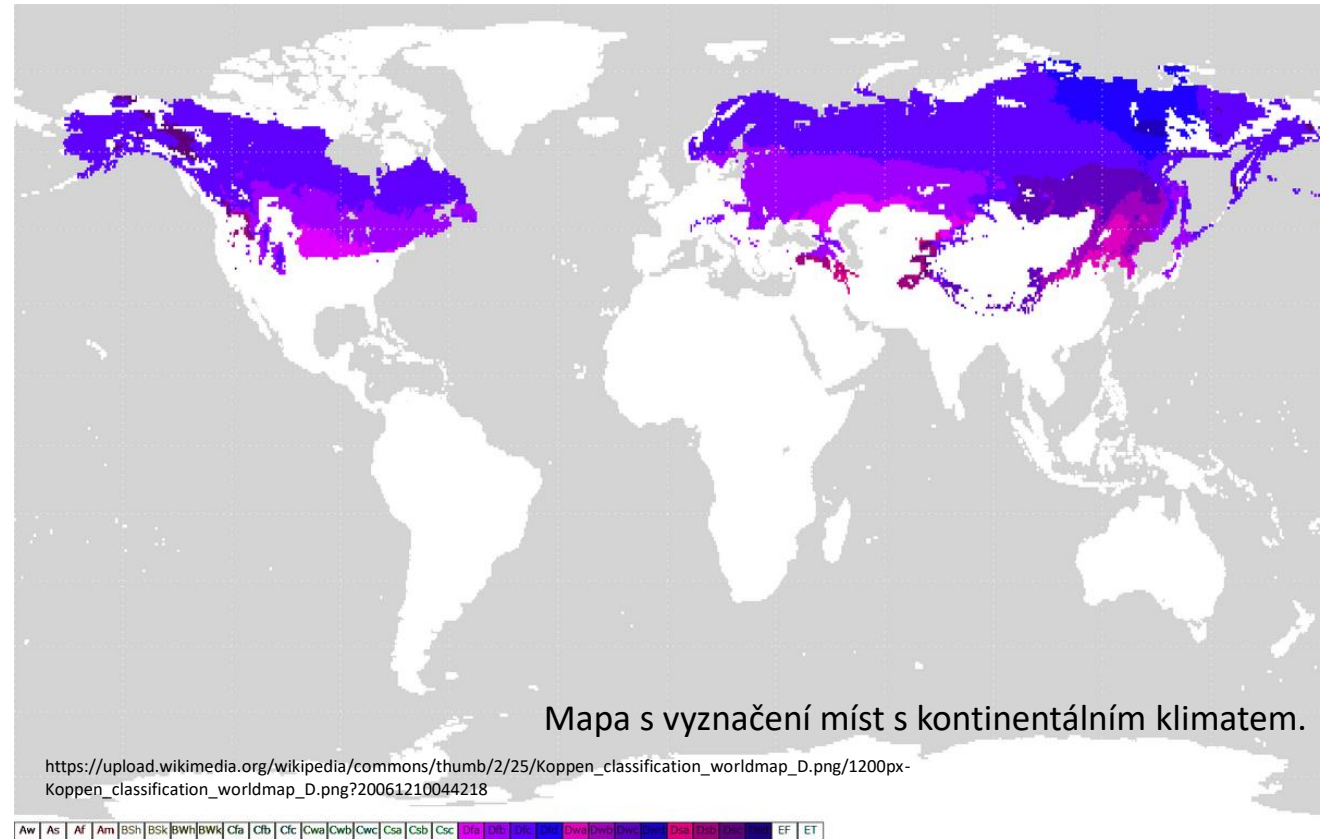
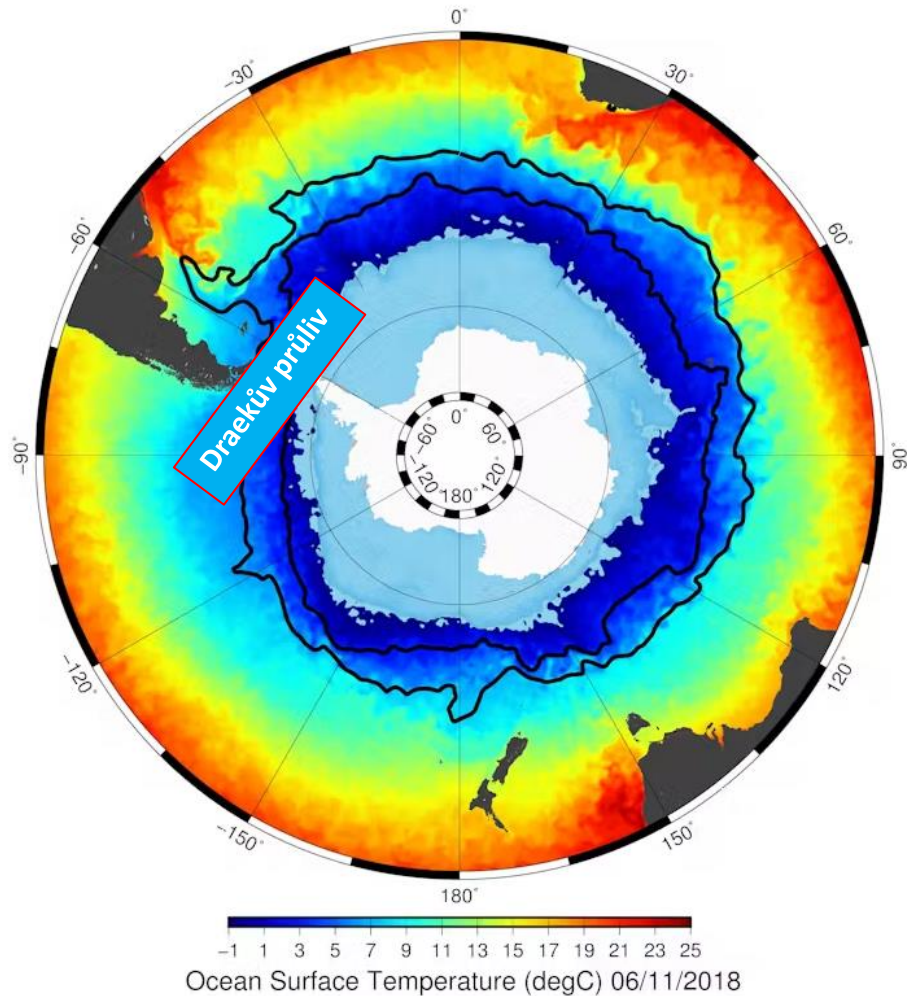
— ač jsou změny poloh kontinentů pomalé, mohou vyvolávat poměrně náhlé a zásadní klimatické změny

- např. otevření Draekova průlivu mezi Antarktidou a Jižní Amerikou vedlo ke vzniku antarktického proudu a zalednění Antarktidy

- **kontinentální klima** může být v dnešním světě pouze na severní polokouli

Kontinentální klima - značné denní i roční rozdíly teploty vzduchu, malá oblačnost a nízké úhrny srážek

- na jižní polokouli totiž není dostatečně rozlehlá kontinentální plocha pro vznik takového klimatického režimu
- v minulosti ovšem byla a jednou zase bude.



Mapa s vyznačení míst s kontinentálním klimatem.

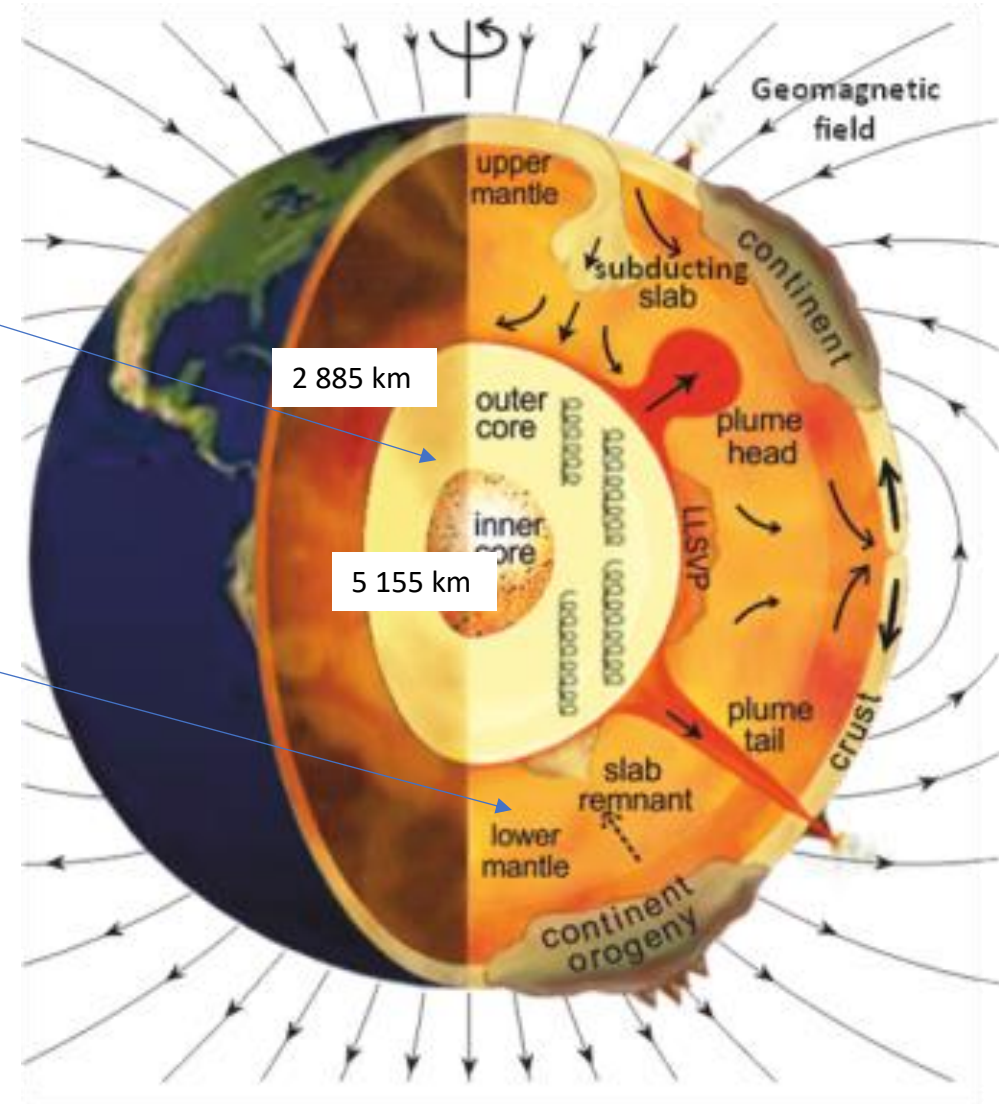
Stavba Země

Těleso planety Země je rozděleno podle chemického složení na několik částí:

- **Jádro** – největší hustota (především Fe a Ni)
 - **vnitřní jádro** je pevné, **vnější jádro** tekuté
 - dynamo, které **vytváří geomagnetické pole** Země
 - **další nezbytná podmínka pro existenci života, ochraňující Zemi před vesmírnou radiací**

Plášť – dochází v něm k pomalému pohybu materiálu, z části pevného, části plastického (plasticky se chová v dlouhodobé perspektivě)

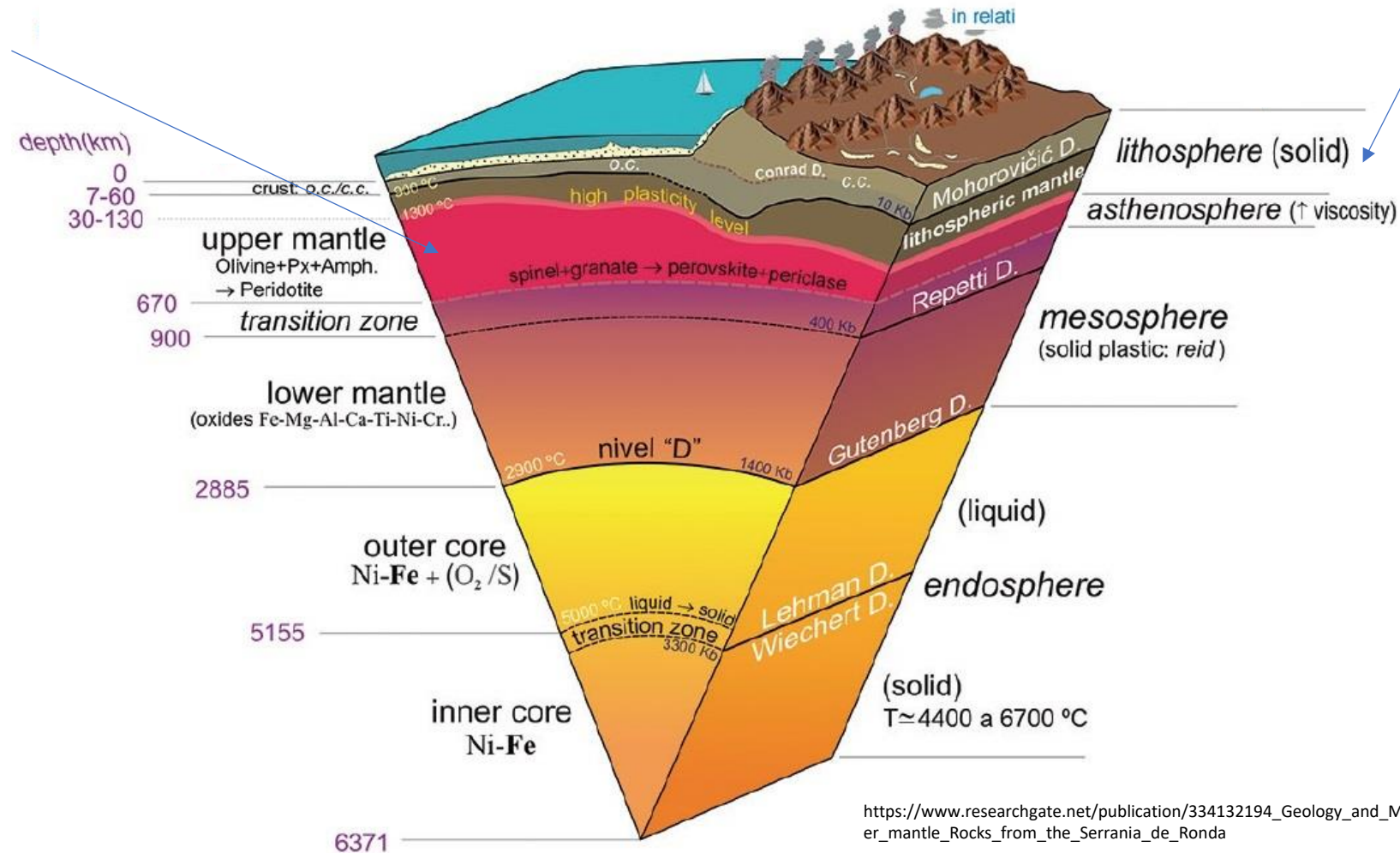
Vnitřním zdrojem energie Země je radioaktivní rozpad přírodních nestabilních izotopů



Stavba Země

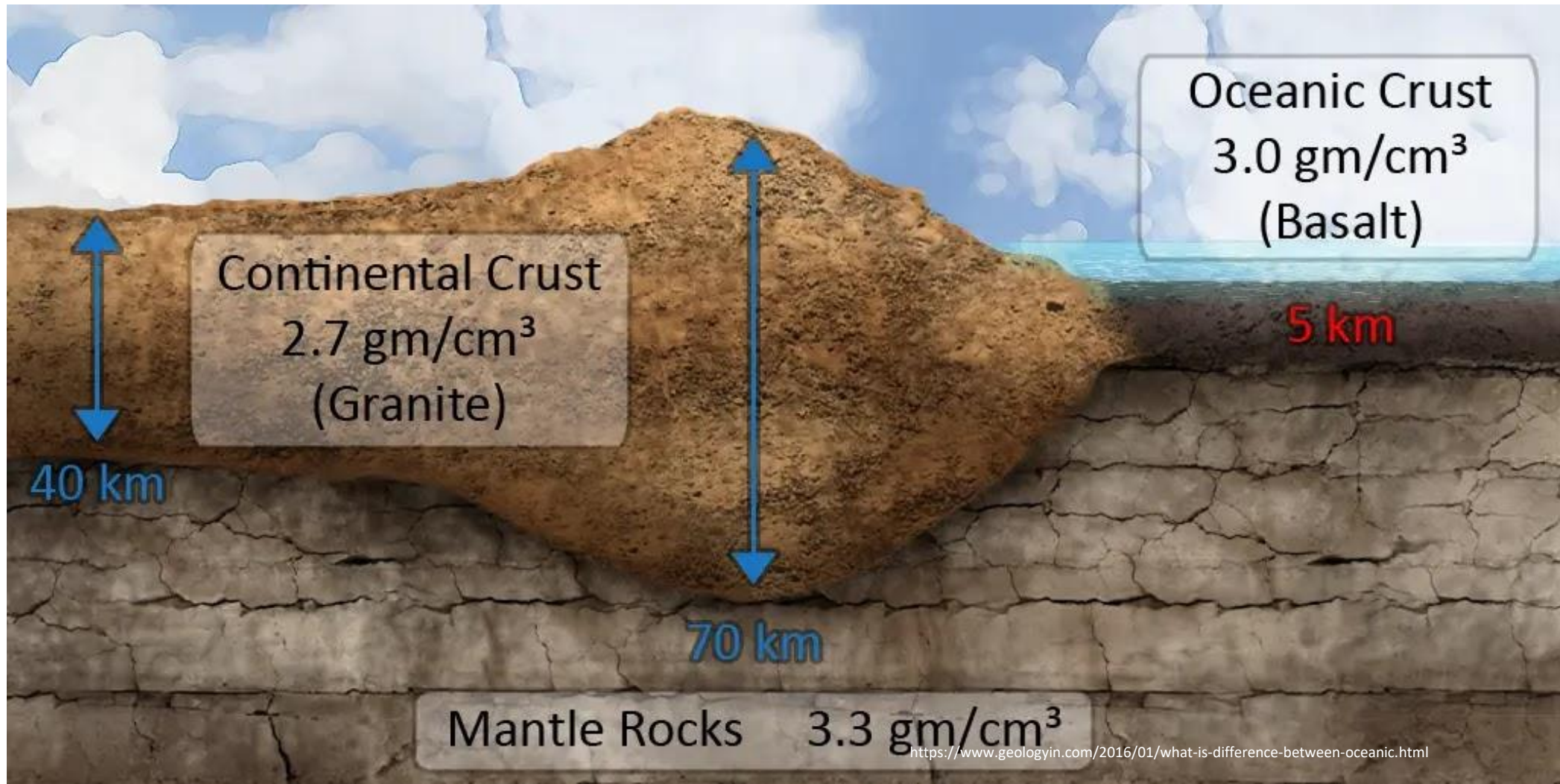
- Svrchní část pláště je plastická astenosféra

- Po plastické astenosféře „plave“ (spíš klouže) pevná **litosféra**
- Litosféra je tvořena nejsvrchnější pevnou částí pláště a **zemské kůry**



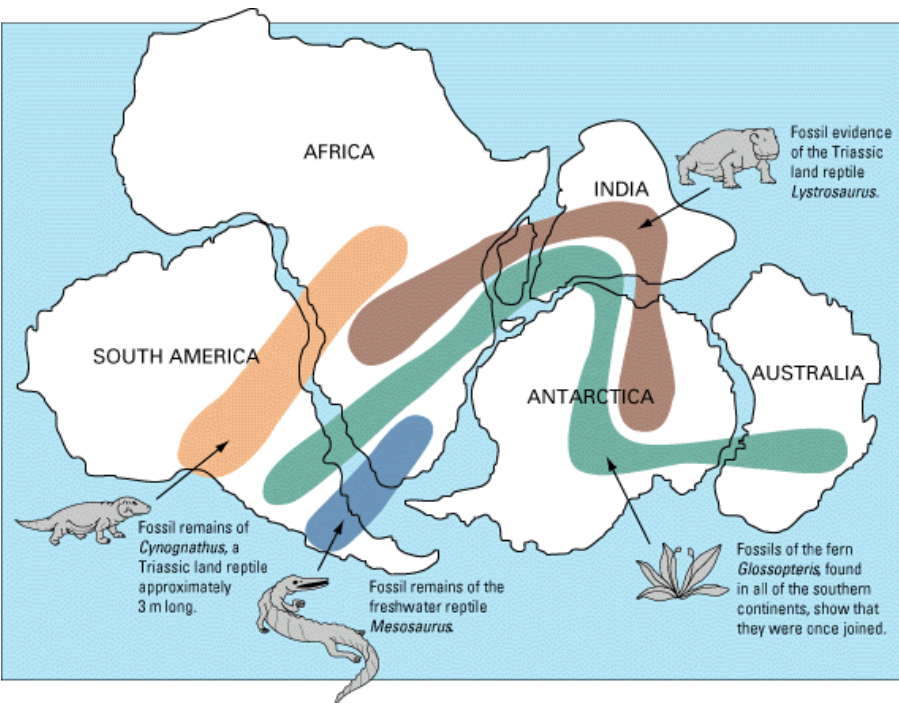
Stavba Země

- **Oceánská kůra** – mocnost 0 – 10 km, vyšší hustota než kontinentální kůra
 - tvoří tak sníženiny (oproti kontinentální kůře), které jsou vyplněné oceány - neustále vzniká uprostřed oceánů
- **Kontinentální kůra** – mocnost 25 – 90 km
 - vzniká jako „struska“ přetavováním oceánské kůry a usazenin na ní



Desková tektonika – pohyb kontinentů a oceánů

- Aktuální paradigma, vysvětlující fungování nejsvrchnější zemské slupky – litosféry
- S první ucelenou teorií přišel německý meteorolog a geograf Alfred Wegener (1880 - 1930), který pozoroval (nikoli jako první), že okraje některých kontinentů do sebe zapadají, dále si povšiml, že mezi kontinenty navazují pruhy stejných hornin s výskyty zkamenělin suchozemských živočichů, ledovcových sedimentů a jiných hornin



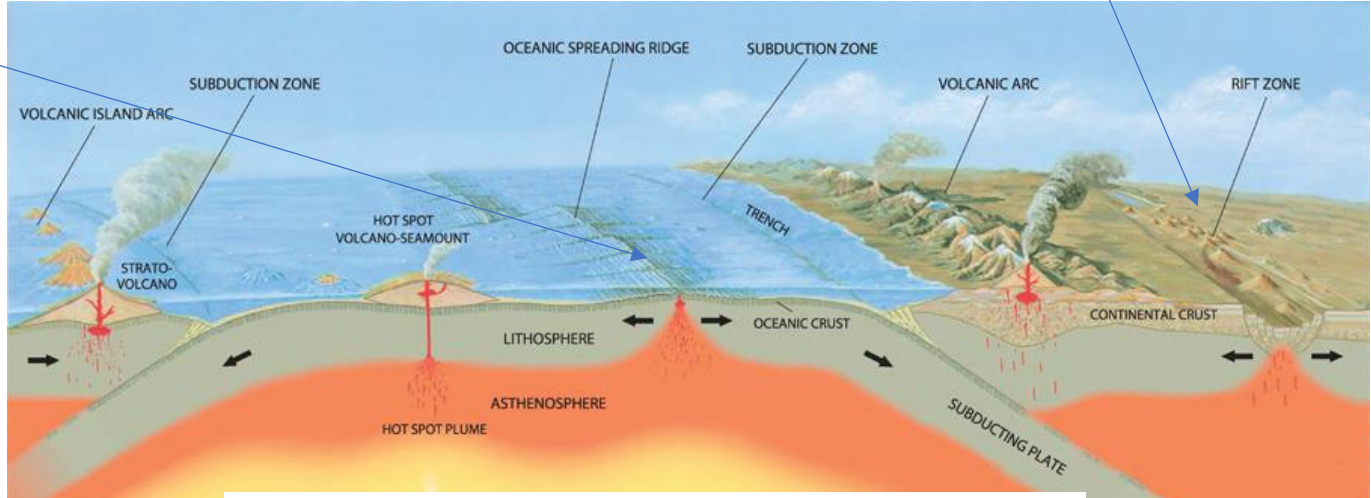
Desková tektonika – středooceánské hřbety, rifty a roztahování oceánů

– Počátek cyklu deskové tektoniky – rozpad kontinentu – vznik praskliny v kontinentální kůře - **riftové zóny**

– **později vznikne ze sutury středooceánský hřbet**

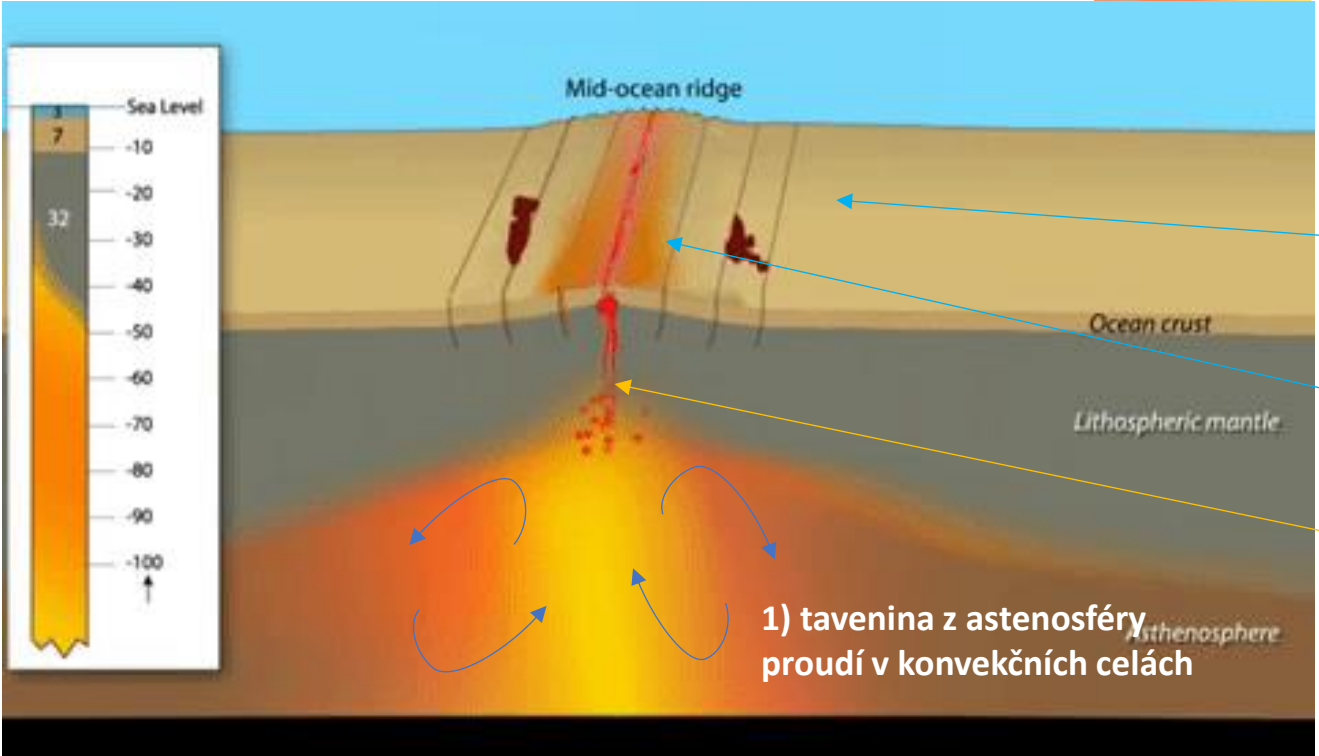
– Od hřbetu dochází do stran k roztahování oceánské kůry, a odtlačuje kontinenty, které se pomalu hýbou (driftují, kontinentální drift)

Roztahování oceánské litosférické desky na středooceánském hřbetě



Schematický řez přes zemskou kůru a svrchní plášť, s litosférickými deskami, které jsou od sebe oddělené různými typy deskových rozhraní

<https://pubs.oregon.gov/dogami/ims/ims-028/tectonics.htm>



1) tavenina z astenosféry proudí v konvekčních celách

4) Oceánské dno se od jizvy kvůli tahu a stále nově vyhřezávající tavenině posunuje v obou směrech od středu a dochází tak k růstu a roztahování oceánského dna

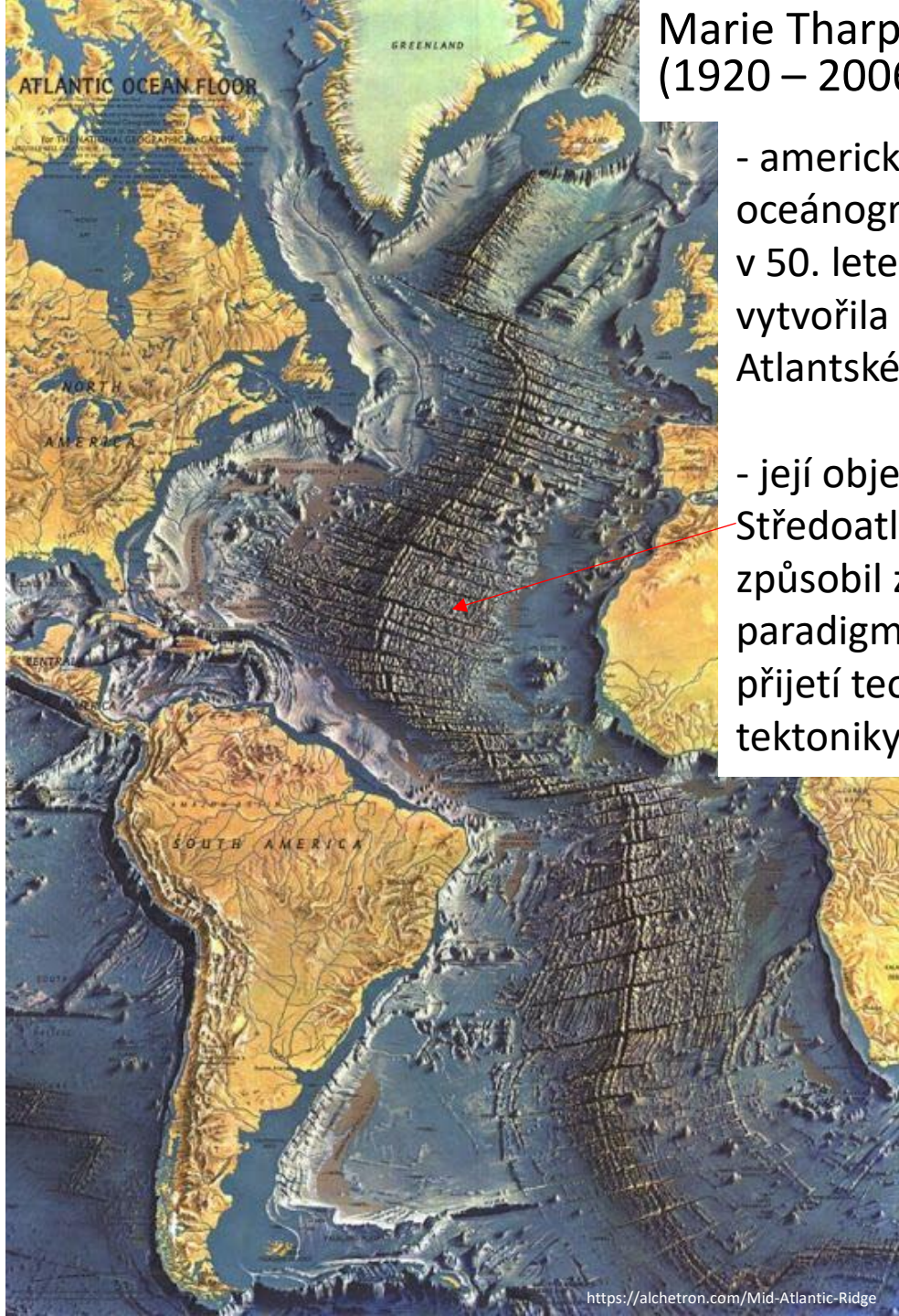
3) Vylévající se tavenina tuhne nad „jizvou“ do formy vulkanické horniny (čediče), která tvoří nové oceánské dno

2) V místech výstupných proudů magmatu se ztenčuje kůra a tavenina vyhřezává na povrch v dlouhých „jizvách“ - středooceánských hřbetech (podmořská sopečná pohoří, vysoká několik km)

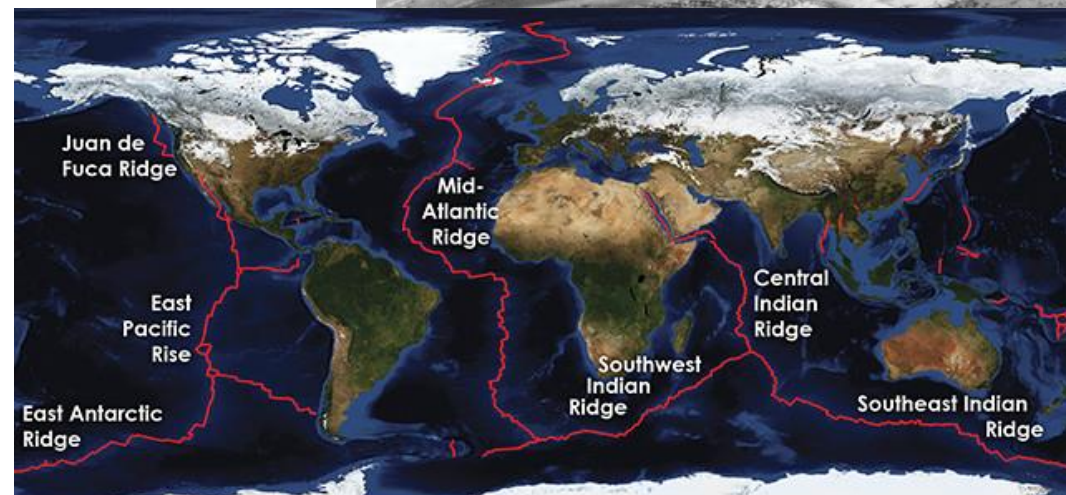
Marie Tharp (1920 – 2006)

- americká geoložka a
oceánografická kartografka -
v 50. letech 20. století
vytvořila první mapu dna
Atlantského oceánu

- její objev
Středoatlantského hřbetu
způsobil změnu
paradigmatu, která vedla k
přijetí teorií deskové
tektoniky



<https://marietharp.ideo.columbia.edu/about-marie-tharp>



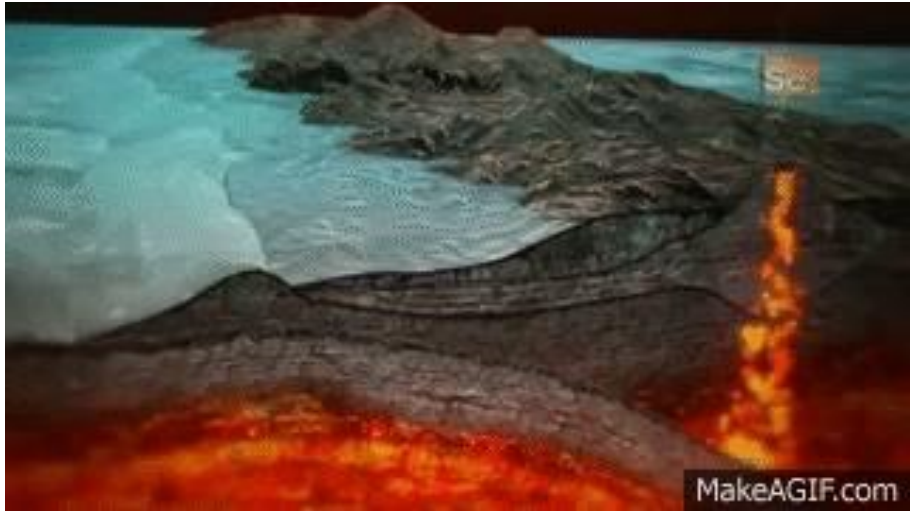
Současné středooceánské hřbety

<https://www.earthmagazine.org/article/reading-ridges-are-climate-and-seafloor-connected/>

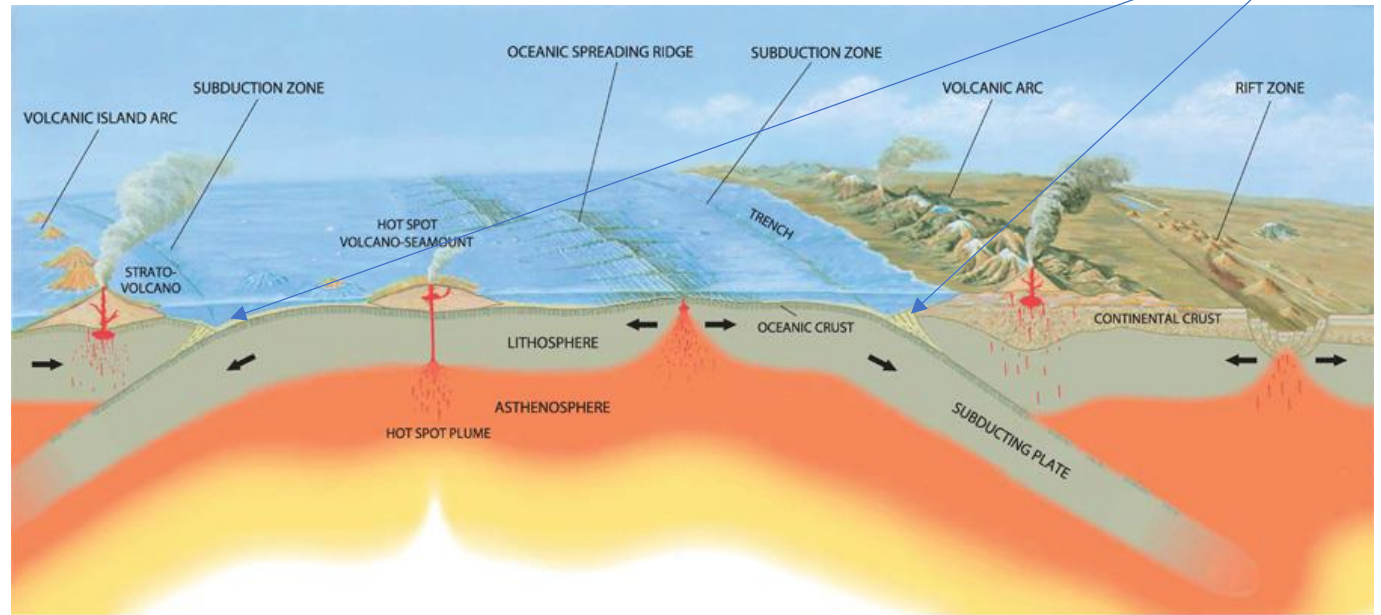


Desková tektonika -

- Při zatížení oceánské desky (sedimenty, sopečnými produkty) může začít docházet k jejímu propadání na **subdukční zóně**, a to jak na hranici s jinou oceánskou litosférickou deskou nebo s kontinentální deskou



<https://science8sc.weebly.com/divergent-plate-boundaries.html>



<https://pubs.oregon.gov/dogami/ims/ims-028/tectonics.htm>

- Oceánská litosférická deska se propadá astenosférou do pláště a ve vysokých teplotách a tlacích se postupně natavuje a taví
- Lehčí tavenina (především roztavené mořské usazeniny, které jsou zvodnělé + vulkanity) stoupá ve formě magmatu zpět k povrchu Země - vznik vulkánů
 - příklady: z. okraj Jižní Ameriky - Andy; subdukční zóna oceánská x kontinentální deska*
 - Ohnivý kruh (Indonésie, Japonsko, Kamčatka atd.); subdukce oceánské desky pod jinou oceánskou desku i kontinent*

Wilsonův cyklus

- Jedná se o cyklus rozpadu a vzniku superkontinentů (délka 150-300 milionů let)

1) Počátek cyklu – existence superkontinentu (posledním byla Pangea před 250 miliony lety, před ní byla Rodinia, cca 600 milionů let)

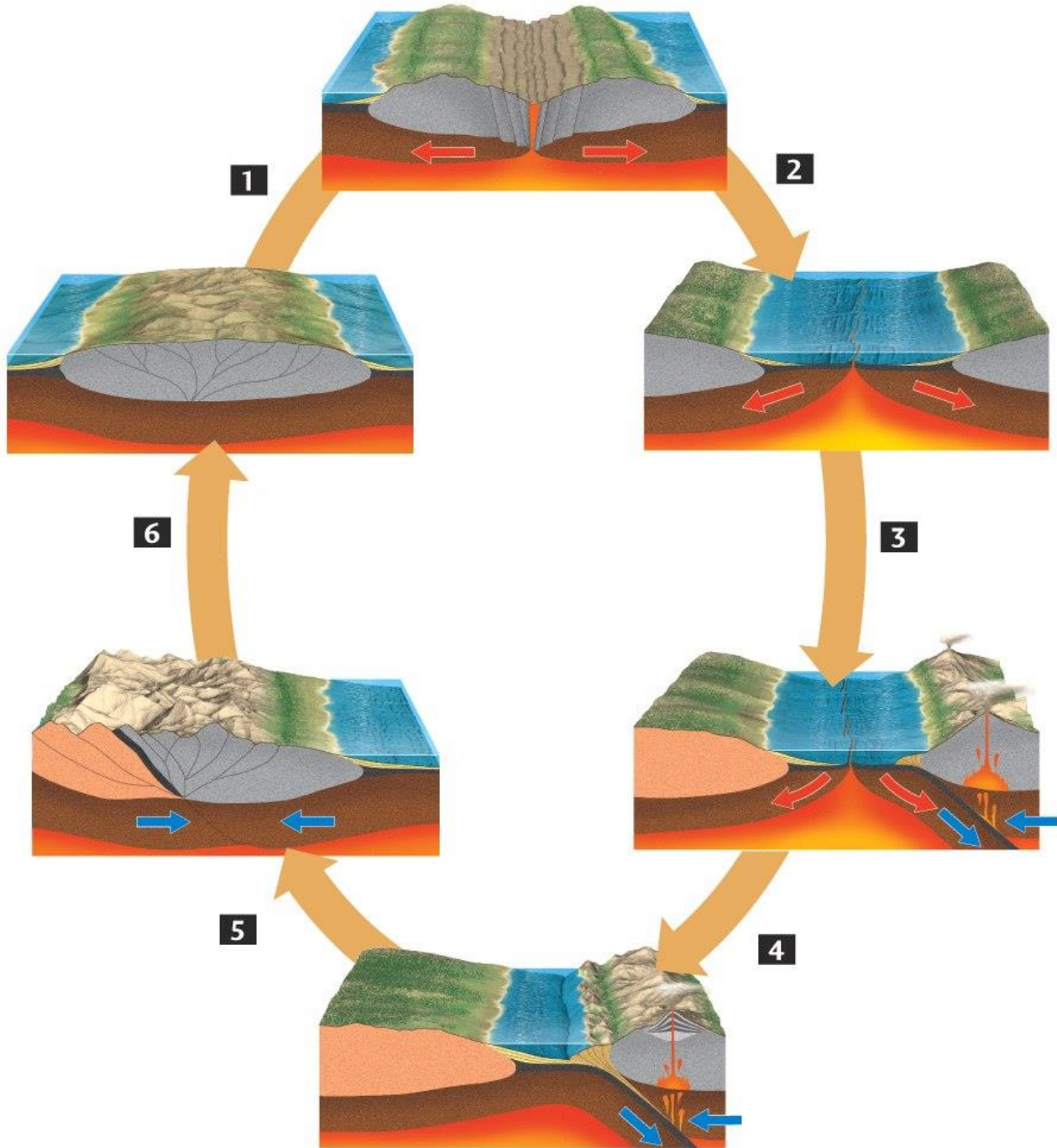
2) superkontinent se trhá (riftové zóny) a do příkopu vniká oceán a na středoocéánských hřbetech vzniká oceánská kůra, oceán se roztahuje

3) propadání chladných a zatížených okrajů oceánů zpět do nitra Země na subdukční zóně je rychlejší než roztahování oceánské desky

4) díky tomu dochází k přiblížení okrajů kontinentů

5) následuje jejich srážka, vrásnění a výzdvih usazenin, sopečných hornin atd. z uzavřeného oceánu

6) vznik dalšího superkontinentu (po srážce mnoha kontinentů v různých částech světa)



Desková tektonika

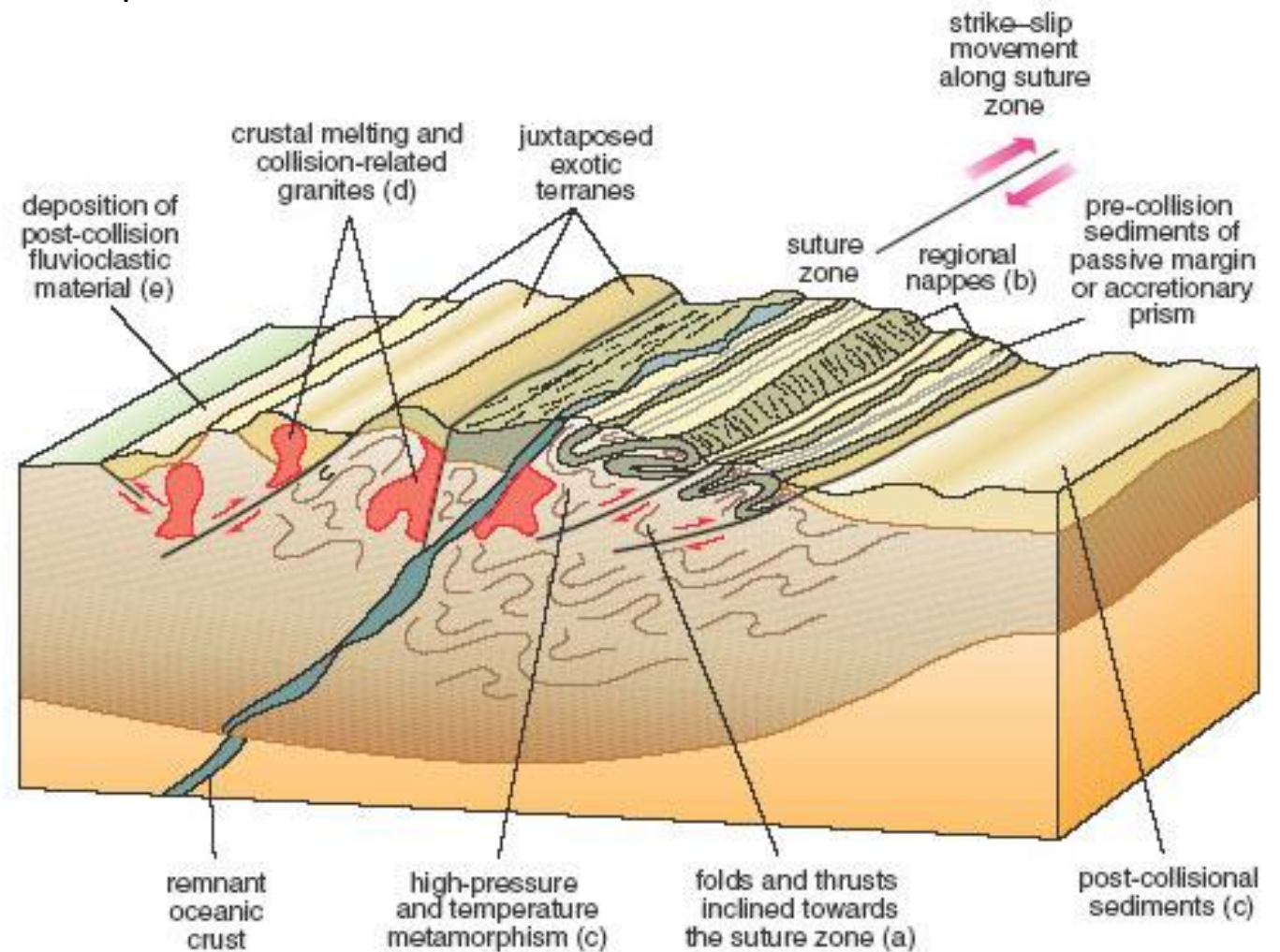
- Srážka kontinentů a vznik (vyvrásnění) pásebného pohoří
= orogeneze (horotvorba)

Při kolizích kontinentů dochází k exhumaci velké množství hornin a jeho zvětrávání ve vysokých horách .

Zvětrávání hornin - odstraňování CO₂ z atmosféry

To vede k ochlazení.

Tendence klesání hladiny oceánských pánví.



**Když je aktivita středoocéánských hřetů vysoká
(trhají se kontinenty a rostou rychle nové oceány)**

Uvolňování velkého množství skleníkových plynů

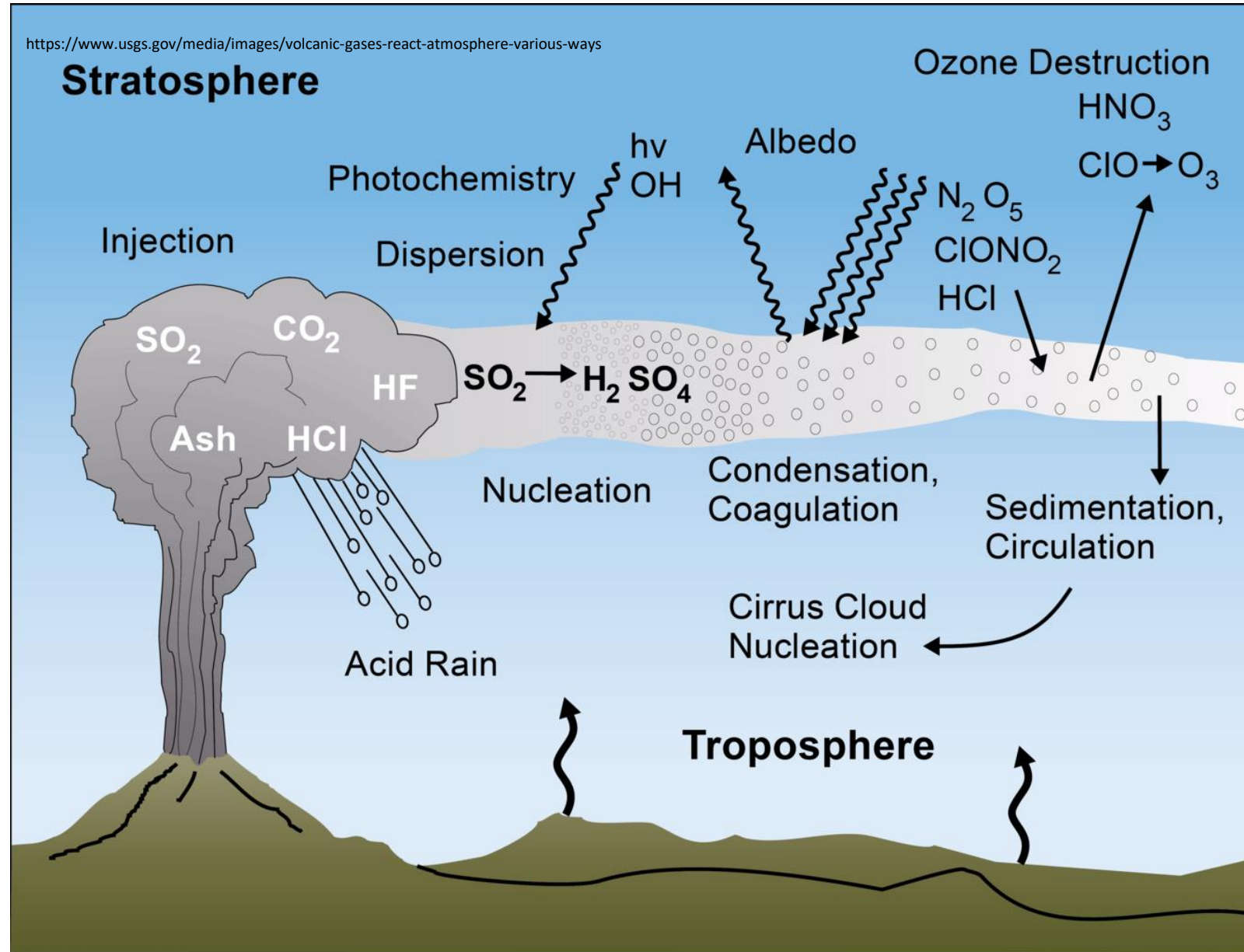
Klima má tendenci dosahovat green house režimu a hladina oceánů je vysoko

Vulkány a velké magmatické provincie

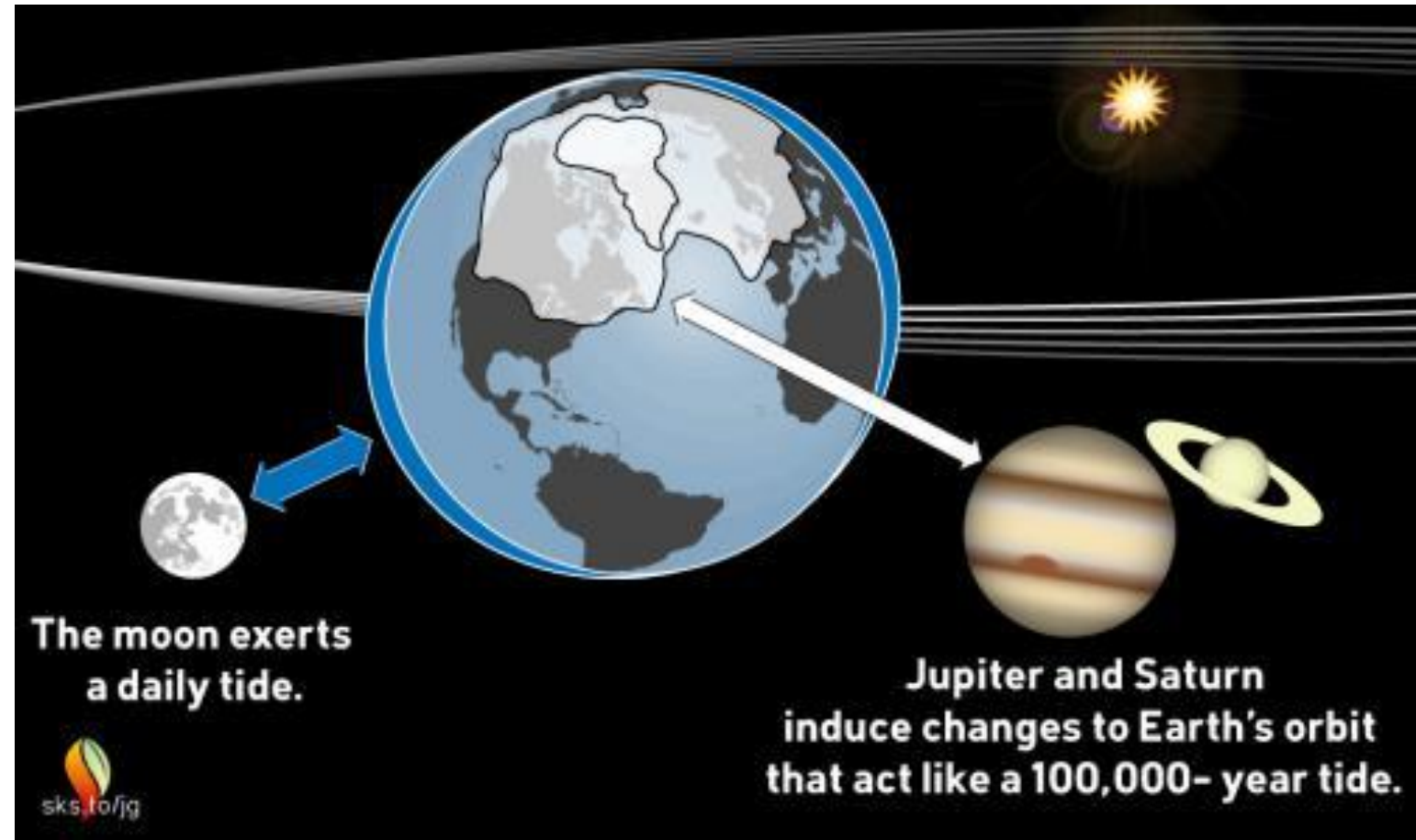
Vliv intenzivního vulkanizmu na klima:

- Zaprášení atmosféry pevnými částicemi a aerosoly vede k velmi rychlému ochlazení („nukleární zima“)
- Po usazení pevných částic a aerosolů zůstává v atmosféře velké množství CO₂ a metanu
- **superskleníkový efekt**
- **Přímá toxikace prostředí** (těžké kovy)
- Destrukce ozonové vrstvy
- Kyselá dešť

Pravděpodobně největší „zabiják“ historie (po sinicích)

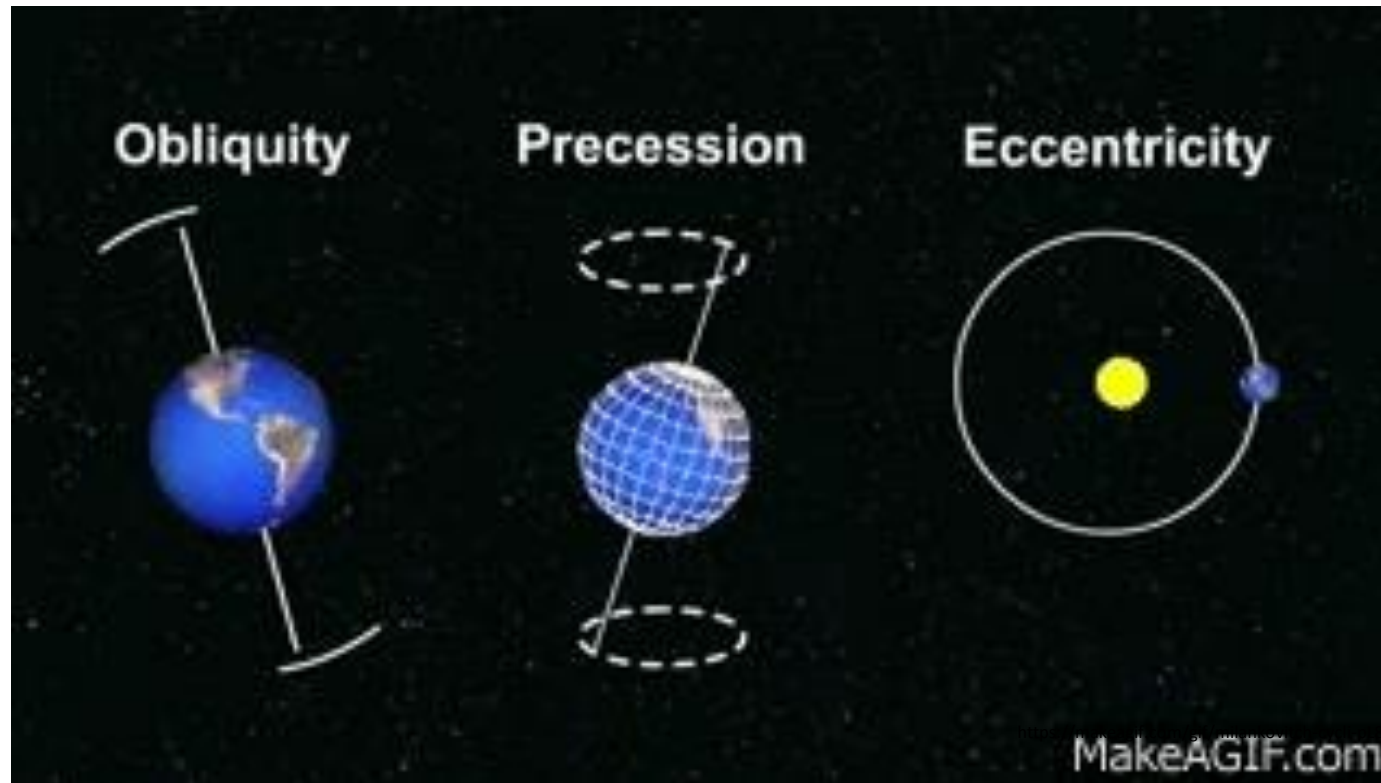


Mimozemské faktory



Milankovičovy cykly

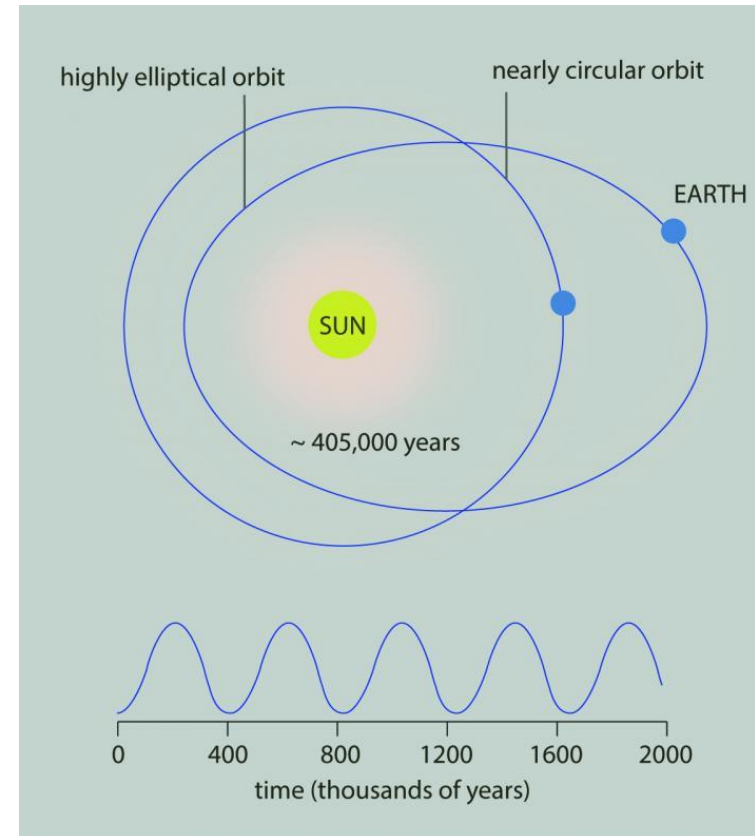
- dlouhodobé změny v rozložení slunečního osvitu Země díky změnám pozice Země ke Slunci
- změna tvaru dráhy oběhu Země kolem Slunce
- naklánění a kymácení zemské rotační osy
- Způsobeno gravitačními silami mezi planetami Sluneční soustavy (hlavně vliv Jupiteru a Saturnu)
- **Mnohdy nepatrné změny v příjmu energie, spojené s dalšími vlivy mohou vytvořit smyčku pozitivních zpětných vazeb, vedoucí k poměrně rychlým klimatickým výkyvům**



Milankovičovy cykly: cykly excentricity (výstřednosti)

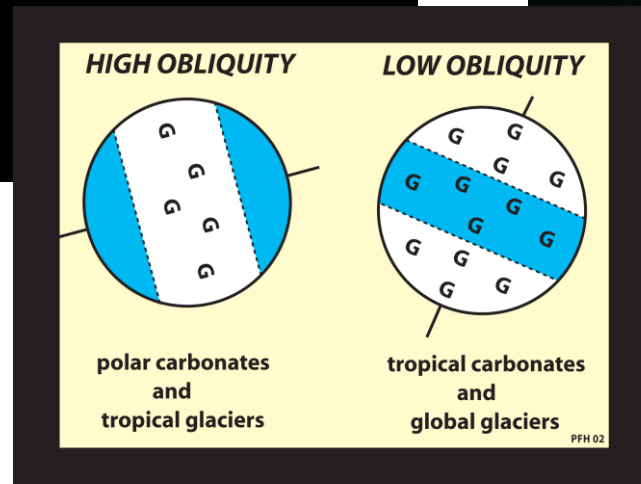
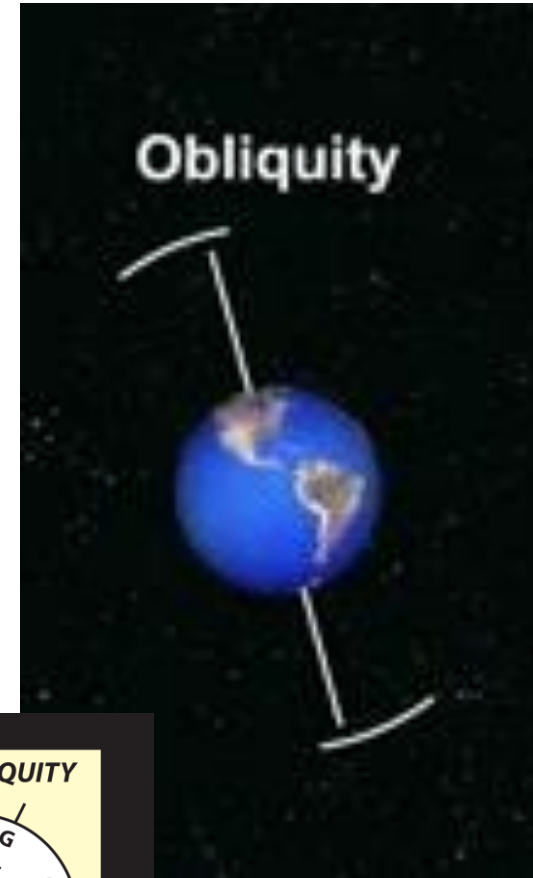
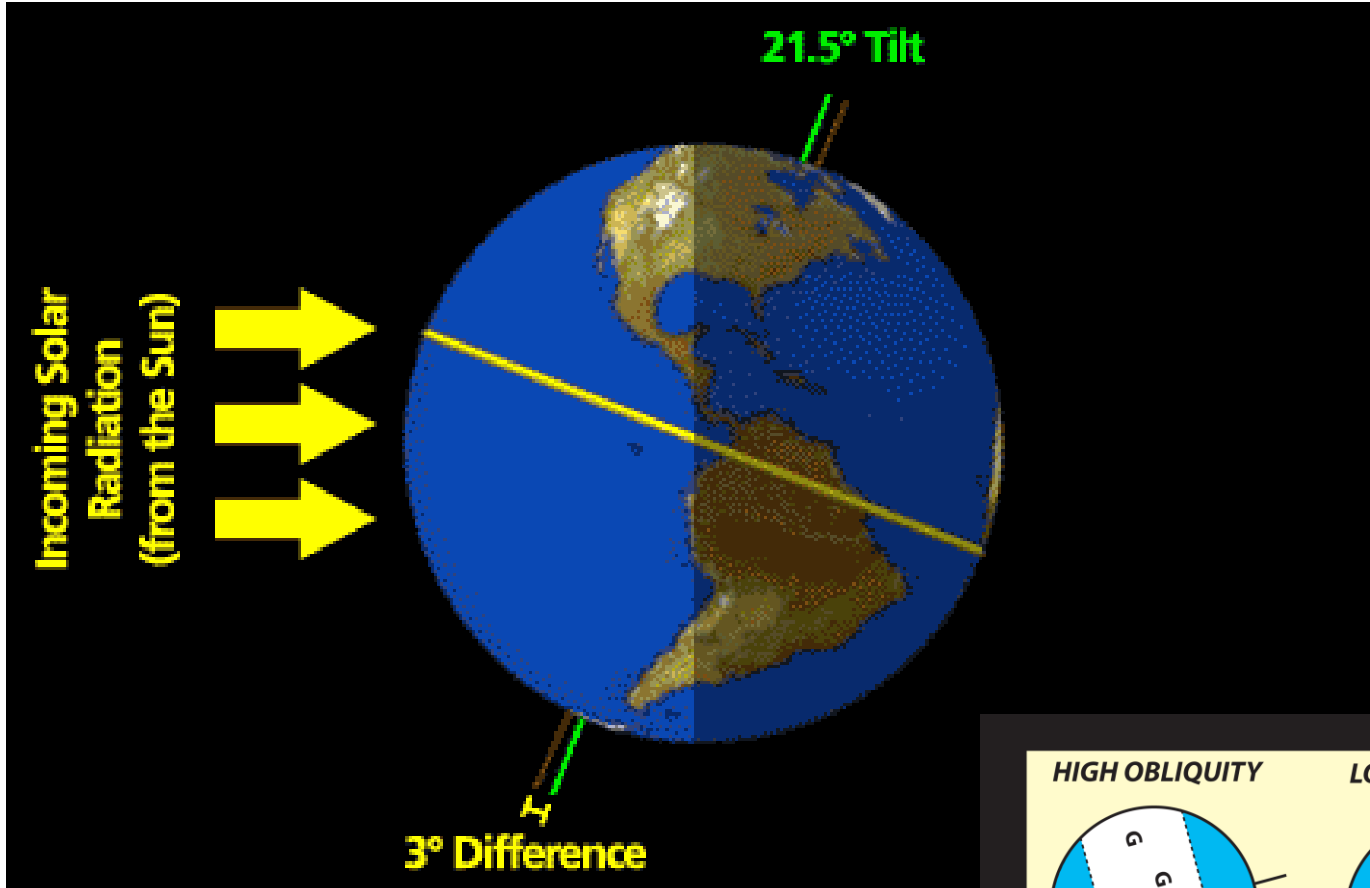
- změna mezi elipsovitéjší a kruhovitéjší dráhou orbity Země kolem Slunce
- kruhovitéjší oběh = menší sezónní rozdíly a naopak

Eccentricity



Milankovičovy cykly: cykly obilkvity

- **Oblikvita** – změna náklonu rotační zemské osy
- Řídí délku osvitu polárních oblastí



<https://makeagif.com/gif/milankovitch-cycli-pL8oIR>

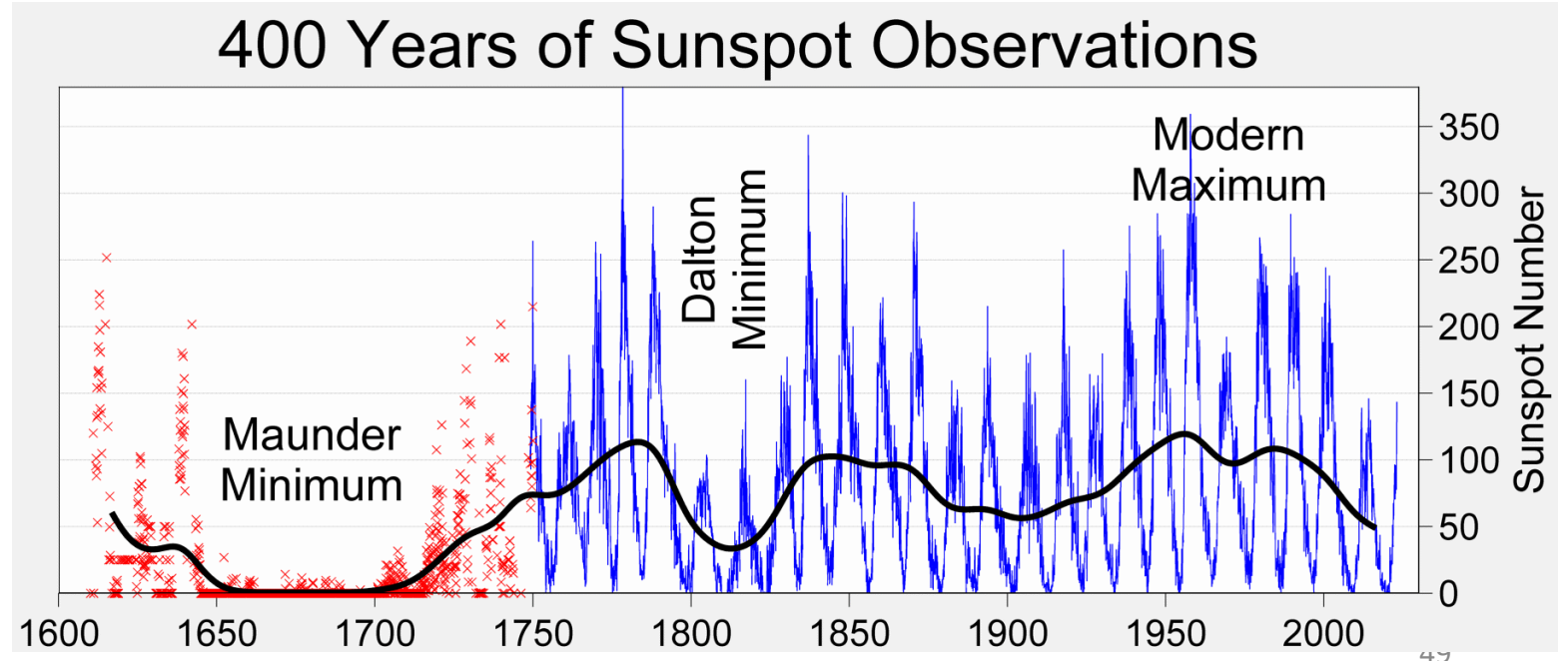
<https://www.e-education.psu.edu/meteo300/node/681>

Sluneční aktivita

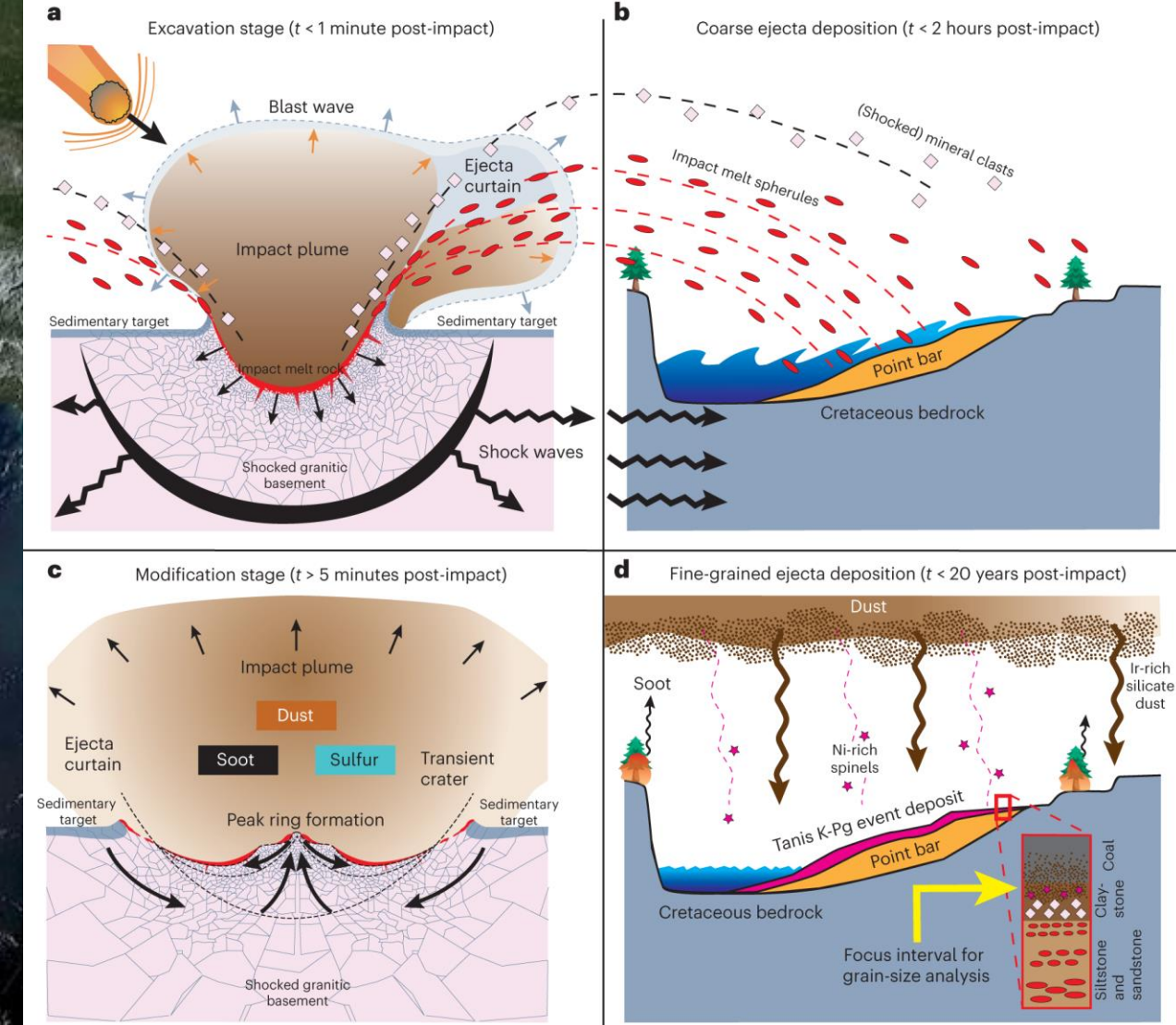
- sluneční cyklus má trvání přibližně 11 let
- během slunečního cyklu nejprve roste intenzita solárních bouří, doroste na maximum a dojde k přepólování magnetického pole
- poté dochází ke snížení slunečních bouří až na úplné minimum, po kterém začne další cyklus

- během každého cyklu Slunce prochází různými změnami aktivity, úrovně slunečního záření stoupají nebo klesají, stejně jako množství materiálu, který Slunce vyvrhuje do vesmíru, a velikost a počet slunečních skvrn a slunečních erupcí.

- Tyto změny ovlivňují v různé míře okolní vesmír, zemskou atmosféru i povrchu.



Dopad mimozemského tělesa



www.nature.com/articles/s41561-023-01290-4

- Země má kolizní dráhu s velkým množstvím materiálu, který krouží soustavou od jejího vzniku
- Drobné dopady (impakty) nemají na klima vliv
- Srážka s většími tělesy způsobí vznik vyvržení materiálu z kráteru – nejprve tepelná a tlaková vlna v bezprostředním okolí, seismické vlny přes celou planetu, tsunami, divoké požáry
- Následuje rychlý nástup „nukleární“ zimy (zaprášení atmosféry popílkou a aerosoly na mnoho let)

Co jsme se dnes naučili?

- Klima je dlouhodobý charakter počasí v daném regionu (mikro-, meso-, makroklima) nebo v globálním průměru
- Klimatický systém je vysoce komplexní, chaotický, s vysokým stupněm volnosti – mnoho jeho složek se vzájemně ovlivňuje, důležité jsou smyčky zpětných vazeb
- Klima se mění v pravidelných cyklech různých řádů (od denních po desítky milionů let), zároveň přicházejí anomální změny
- **Klima je především řízeno:**
 - skleníkovým efektem (závislost na látkových cyklech, které do atmosféry uvolňují nebo z atmosféry stahují skleníkové plyny; cyklus vody, uhlíku, horninový cyklus – desková tektonika)
 - albedem
 - atmosférickým a oceánským prouděním
 - Milankovičovými cykly
- Epizodické události, které mohou zásadně a rychle změnit klima
 - dopad velkého mimozemského tělesa
 - mohutná vulkanická aktivita
 - „přemnožení organismů“ na takové úrovni, že jejich životní projevy přeruší zaběhnuté látkové cykly