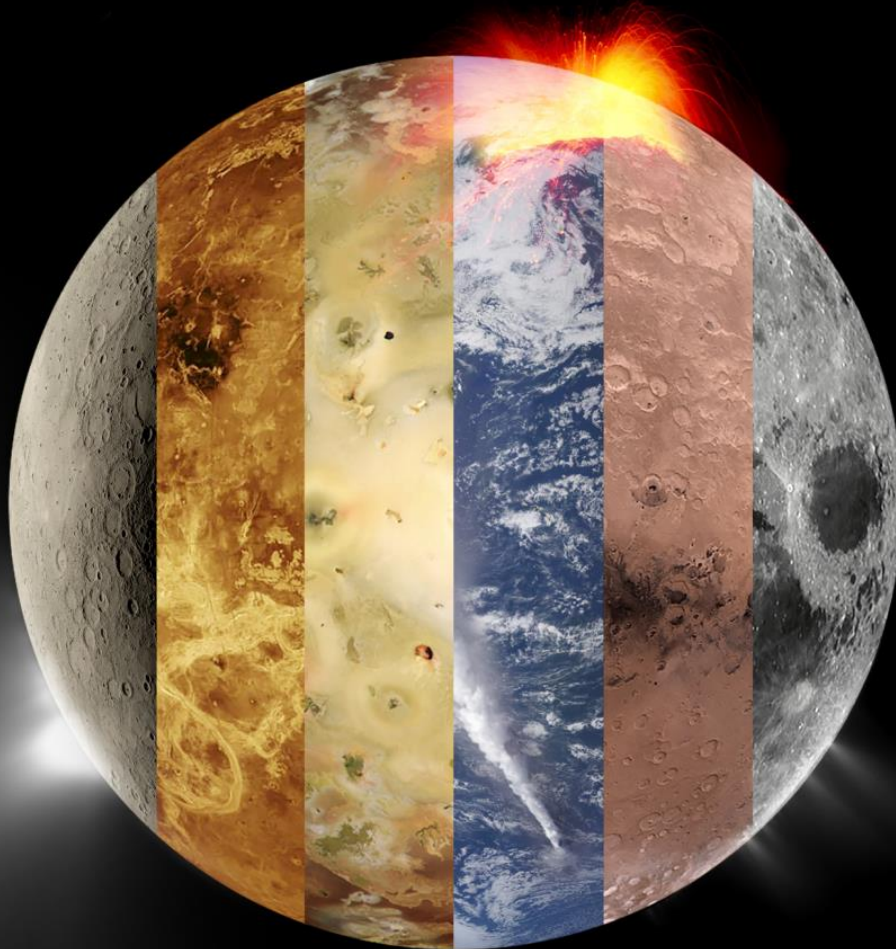


# Vulkanismus ve sluneční soustavě



**Petr Brož**

[Petr.broz@ig.cas.cz](mailto:Petr.broz@ig.cas.cz)



**GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV**  
AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY, v. v. i.

# Definice vulkanismu?





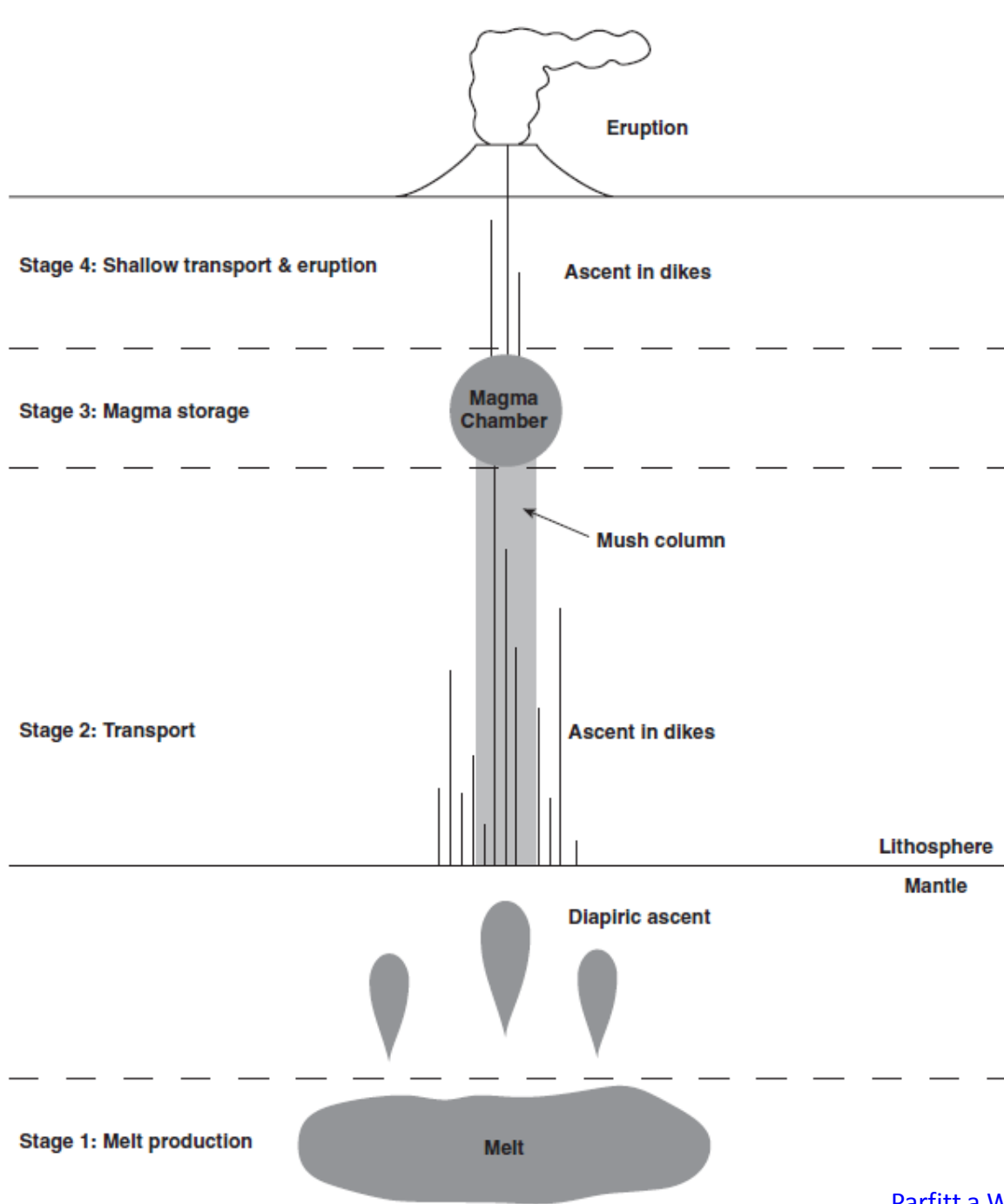
Fotos593, všechna práva vyhrazena

**Sopečná erupce**

**Hromadění magmatu**

**Výstup magmatu**

**Vznik magmatu**





# Co se nachází pod našima nohama?

Olivín (wadsleyite, ringwoodite), pyroxen, spinel, granát  
(tvořící dunit, peridotit, či eklogit)



Pikarl, CC-BY-SA 3.0

**Dunit**



Woudloper

**Eklogit**

# Vnitřní stavba Země

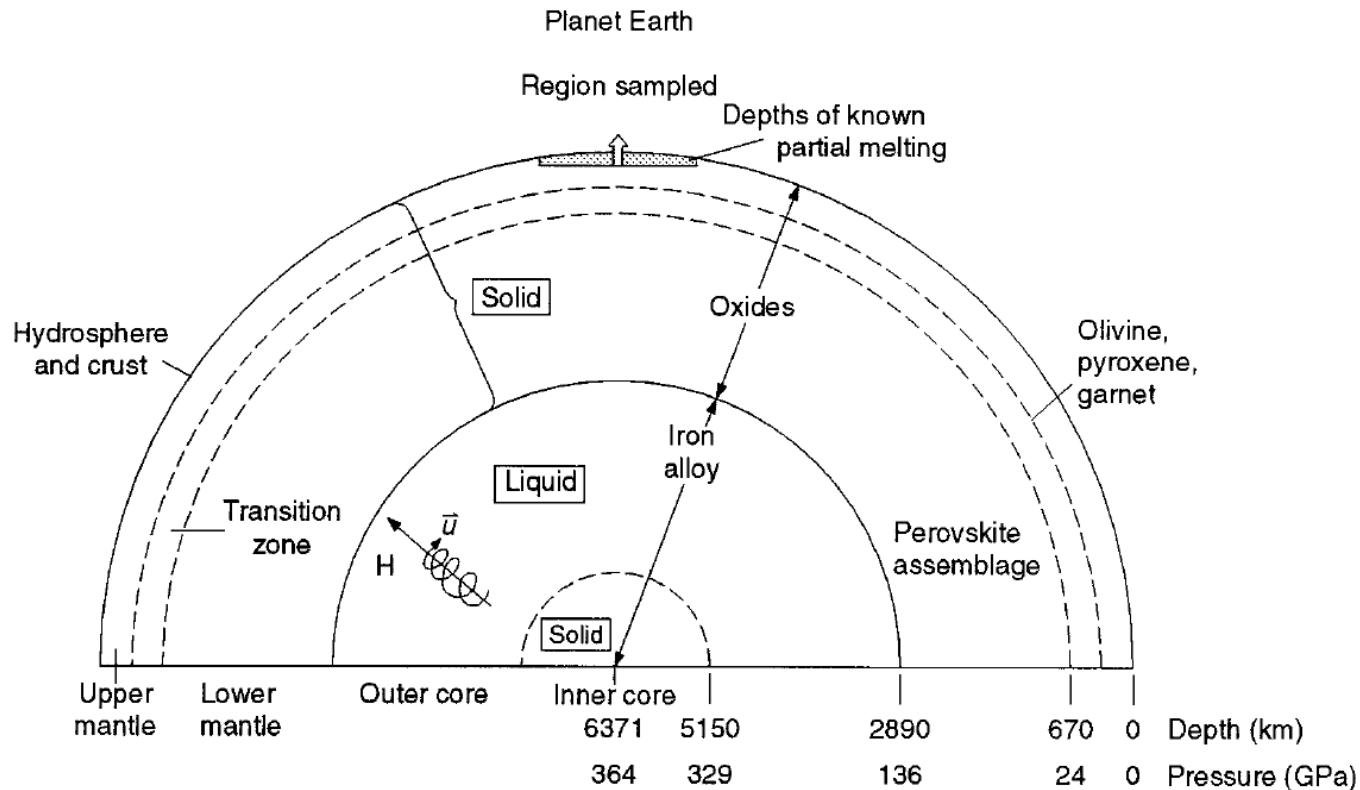


FIGURE 1 Schematic cross section through the Earth, summarizing the seismologically determined structure as a function of depth and corresponding pressure (100 GPa = 1 Mbar). The mantle and overlying crust consist almost entirely of oxides that are not melted (“solid”). Volcanic processes bring rock fragments up to the surface from as deep as  $\sim 200$  km into the mantle (and possibly deeper), thereby showing that the uppermost mantle consists of peridotite, a rock made up of olivine, pyroxene, and garnet minerals. Laboratory experiments demonstrate that peridotite transforms at conditions of the lower mantle to a rock consisting predominantly of the high-pressure perovskite phase. Cyclonic motions ( $u$ ) in the molten iron alloy of the outer core create the geomagnetic field ( $H$ ) via a dynamo process. [From Jeanloz, R. (1990). *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **18**, 357–386.]

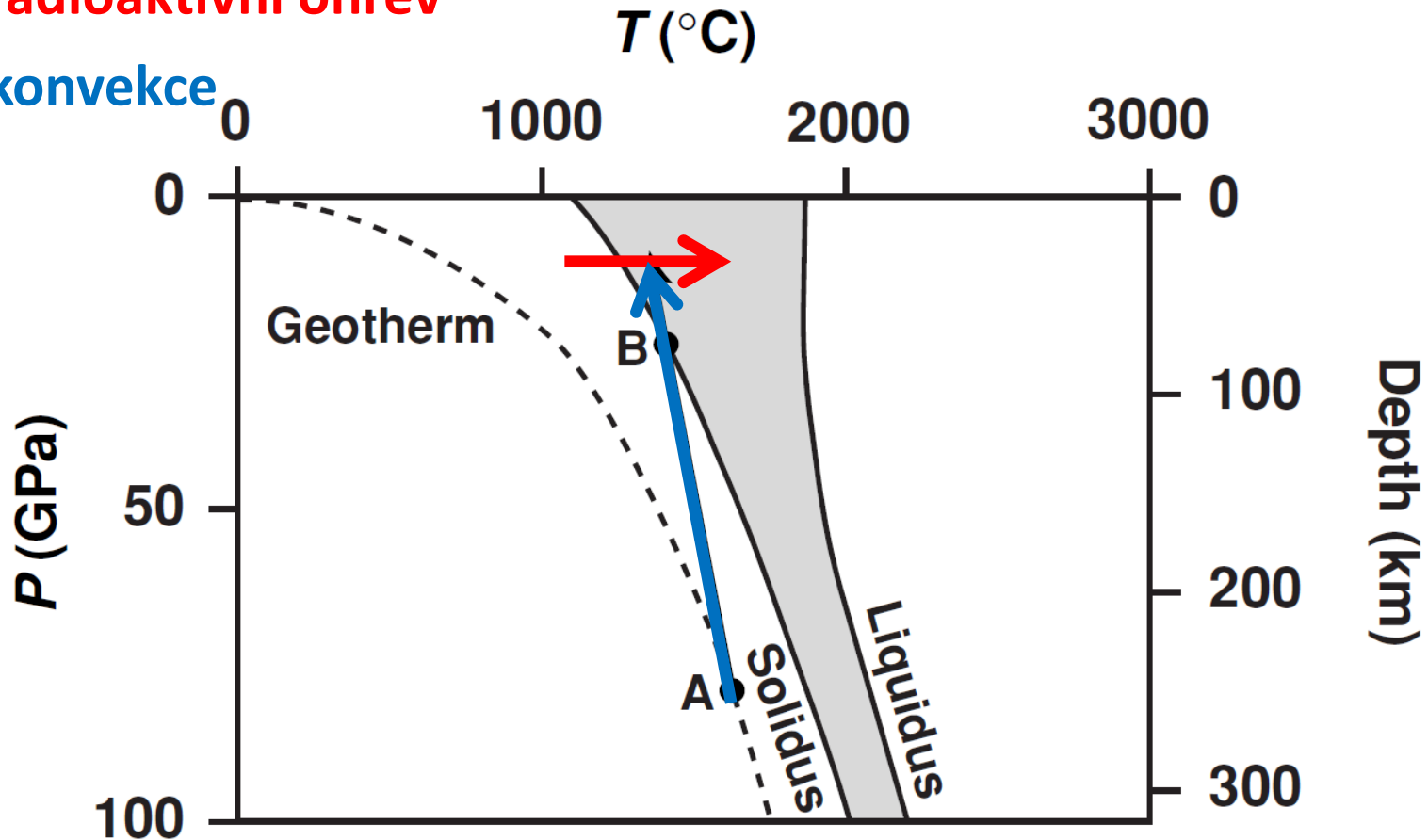
# Vznik magmatu

- Vznik magmatu je nutnou podmínkou pro vznik vulkanismu!
- Různé horniny se taví za různých teplot (tzv. **teplota tavení**)
- Povrchové horniny se většinou taví za teplot 800 až 1200 °C
  
- Teploty v plášti se pohybují od ~500 °C (svrchní plášť) do ~4000 °C (na rozhraní jádro-plášť)
  
- Jak docílit tavení hornin?
  - Zvýšením teploty
  - Poklesem tlaku
  - Změnou chemismu hornin (většinou přidáním vody)

# Křivka tavení pro plášťové horniny

Např. radioaktivní ohřev

Např. konvekce



- Solidus – mezní teplota, za které začíná docházet k tavení horniny
- Likvidus – mezní teplota, za které z taveniny zmizí poslední krystalky



# Vliv vody na tavení hornin

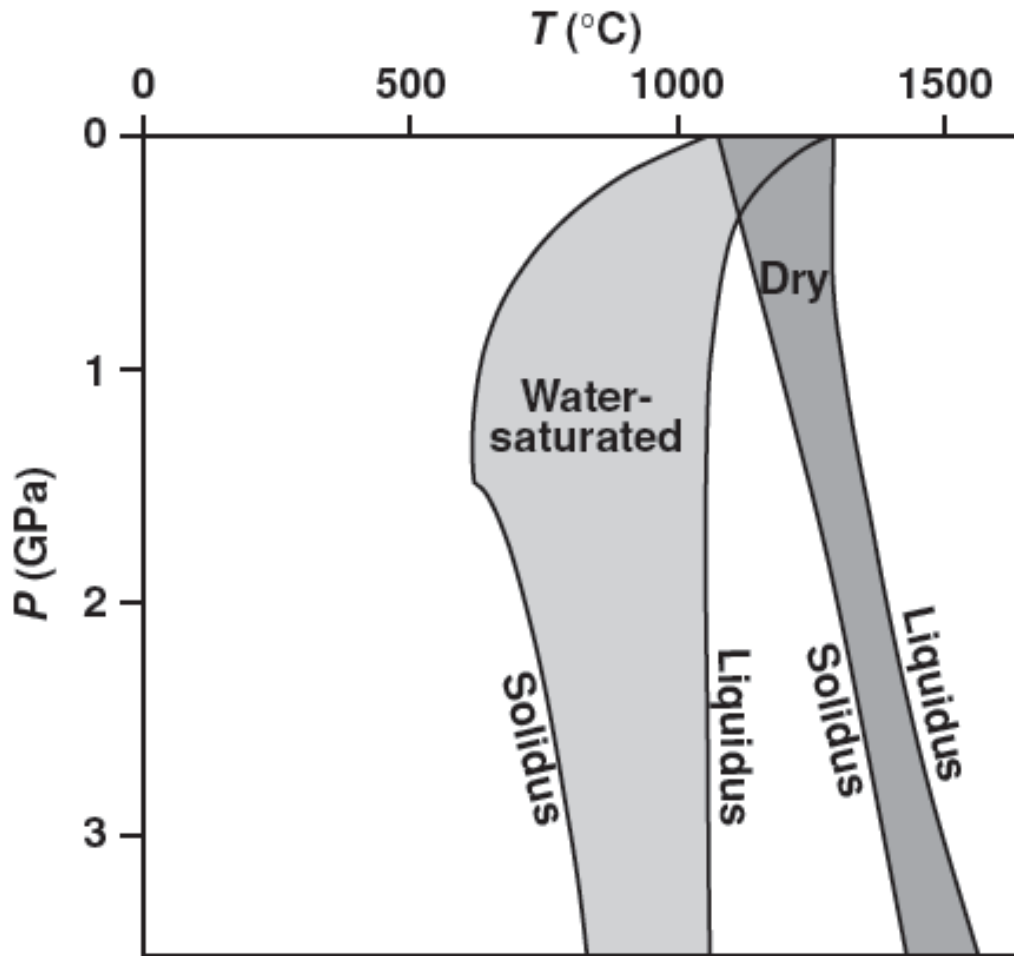
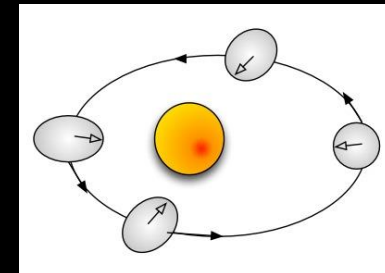
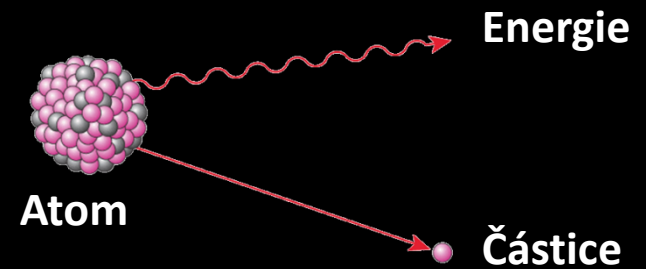
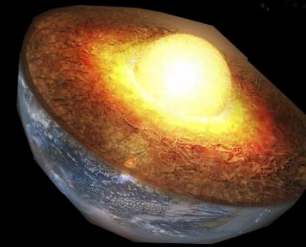


Fig. 2.2 The solidus and liquidus curves, and the zones of partial melting (shaded) are compared for a mantle rock containing no water (dry) and containing abundant water (wet). The addition of water to a rock moves the entire temperature range over which it melts to lower temperatures and also increases the melting temperature range. Thus addition of water can allow a rock to melt even if its actual temperature and pressure do not change. (After fig. 2 in Lambert, I.B. and Wyllie, P.J. (1972) Melting of gabbro (quartz eclogite) with excess water to 35 kilobars, with geological applications. *Journal of Geology*, **80**, 692-708. Copyright University of Chicago Press.)

# Kde se bere teplo?

- Impakty mimozemských těles během formování planet
- Změna skupenství jádra (z kapalného na pevné)
- Rozpad radioaktivních prvků ( $U^{238}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$ )
- Slapové zahřívání



# Jak probíhá tavení?

## Na okraji zrn...

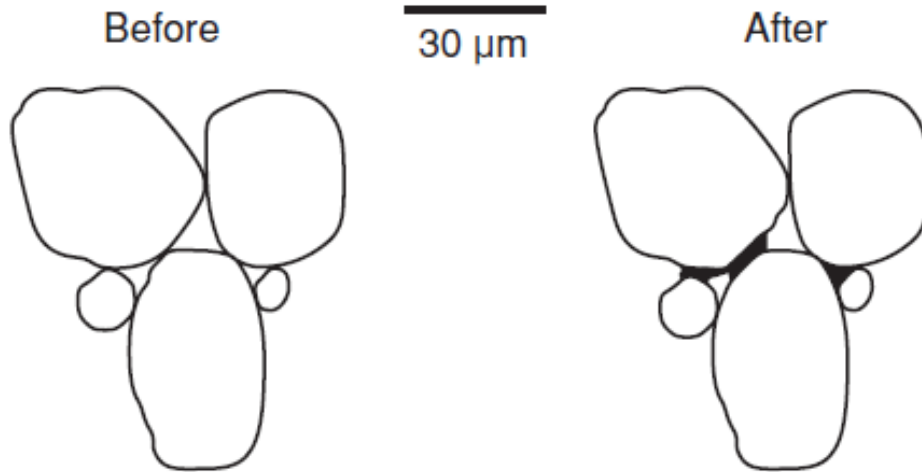
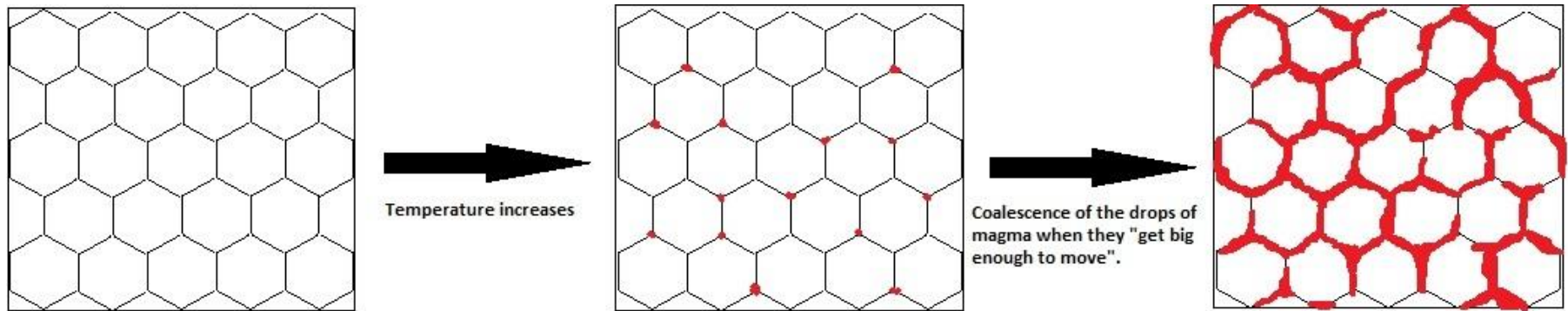




Fig. 2.9 The first stages in the formation of melt as the temperature of a rock exceeds the solidus. The first liquids form along the contacts between pairs of mineral grains of different composition, for which the energy needed for melting is a minimum. The shape of the growing melt body depends on the geometry of the nearby grains and on the surface tension of the liquid-solid contacts.



**Magma formation and drops coalescence.**

-  Crystals of olivine and pyroxene
-  Magma drops forming at crystals intersect

# Výstup magmatu: proč vystupuje?

- Dáno rozdílem materiálů v hustotě
- Méně hustý materiál má tendenci stoupat vzhůru (k povrchu)
- Po dosažení se na povrch vylévá



Matěj Machek a Zuzana Kratinová, Geofyzikální ústav AVČR v.v.i.



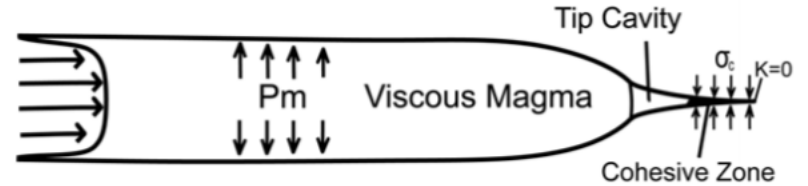
# Proč dochází k otevírání puklin?

(a) LEFM-Splitting Model



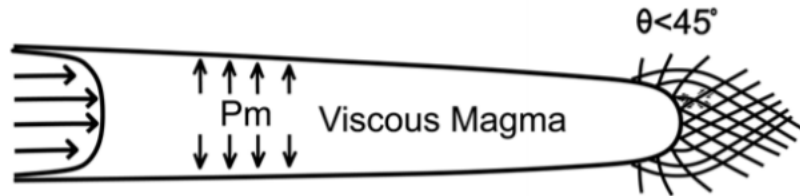
(Pollard, 1973; Lister, 1990b)

(b) LEFM-Barenblatt Cohesive Zone Model



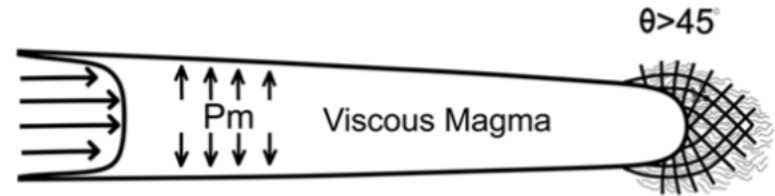
(Rubin, 1993)

(c) Brittle Faulting Model



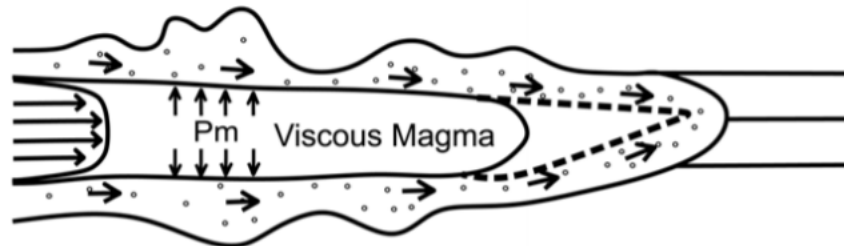
(Pollard, 1973)

(d) Ductile Faulting and Flow Model



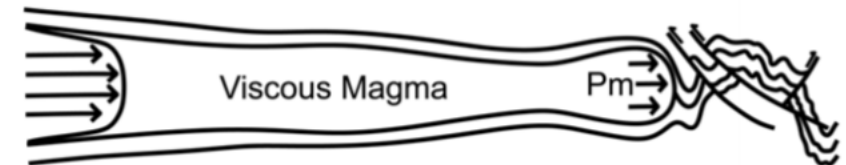
(Pollard, 1973)

(e) Fluidization Model



(Schofield et al., 2012a)

(f) Viscous Indenter Model (brittle, ductile and folding deformation)



(Mathieu et al., 2008; Abdelmalak et al., 2012)



# Pravá žíla (dike)



Robert Holder, všechna práva vyhrazena



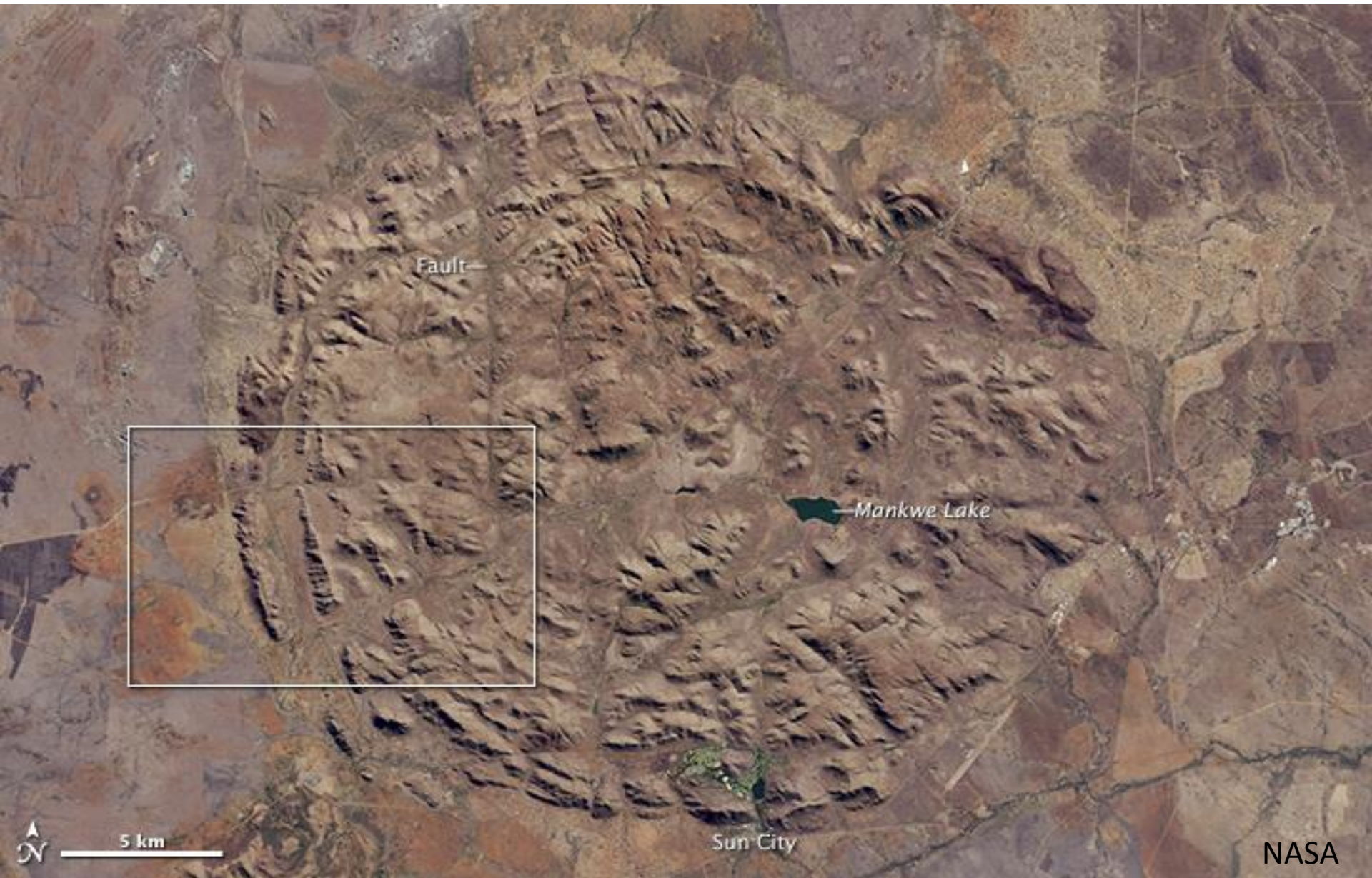
# Ložní žíla

(sill)



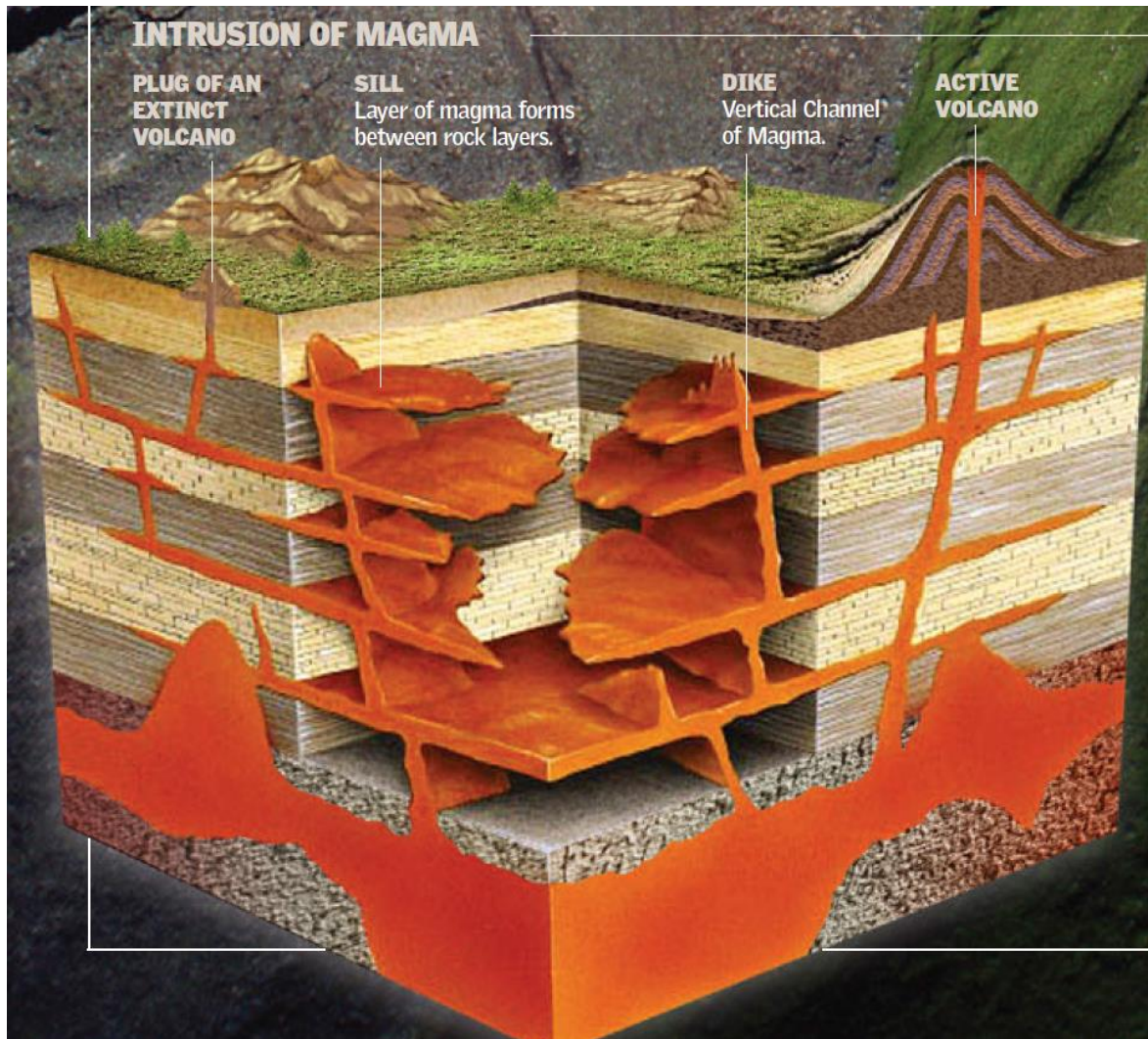


# Žilný komplex





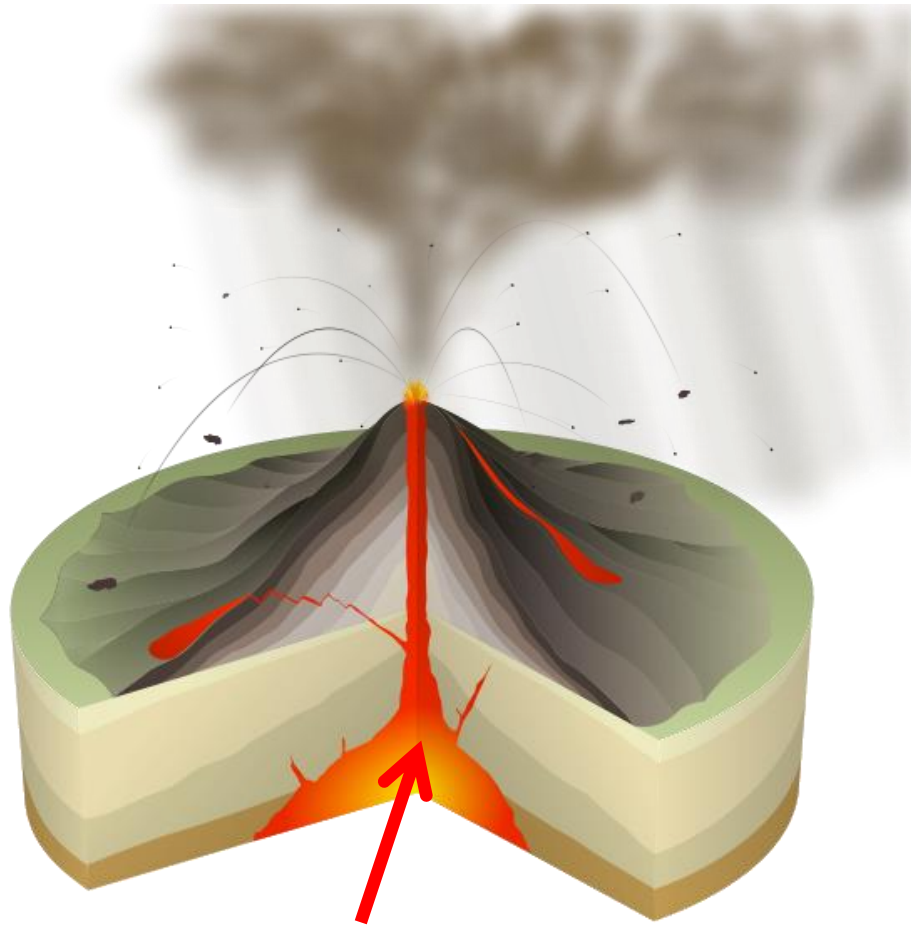
# Intruze vs. extruze



Volcanoes and Earthquakes, 2008

- Na povrch tělesa vystupuje jen část magmatu (extruze), větší část zůstává v podzemí (intruze).
- Poměr extruze vs. intruze je na Zemi od 1:5 až 1:40 v závislosti na místních podmínkách; čím je kůra starší, tím je tlustší a tím méně materiálu vystoupá až na povrch (Měsíc či Io mocná kůra!)

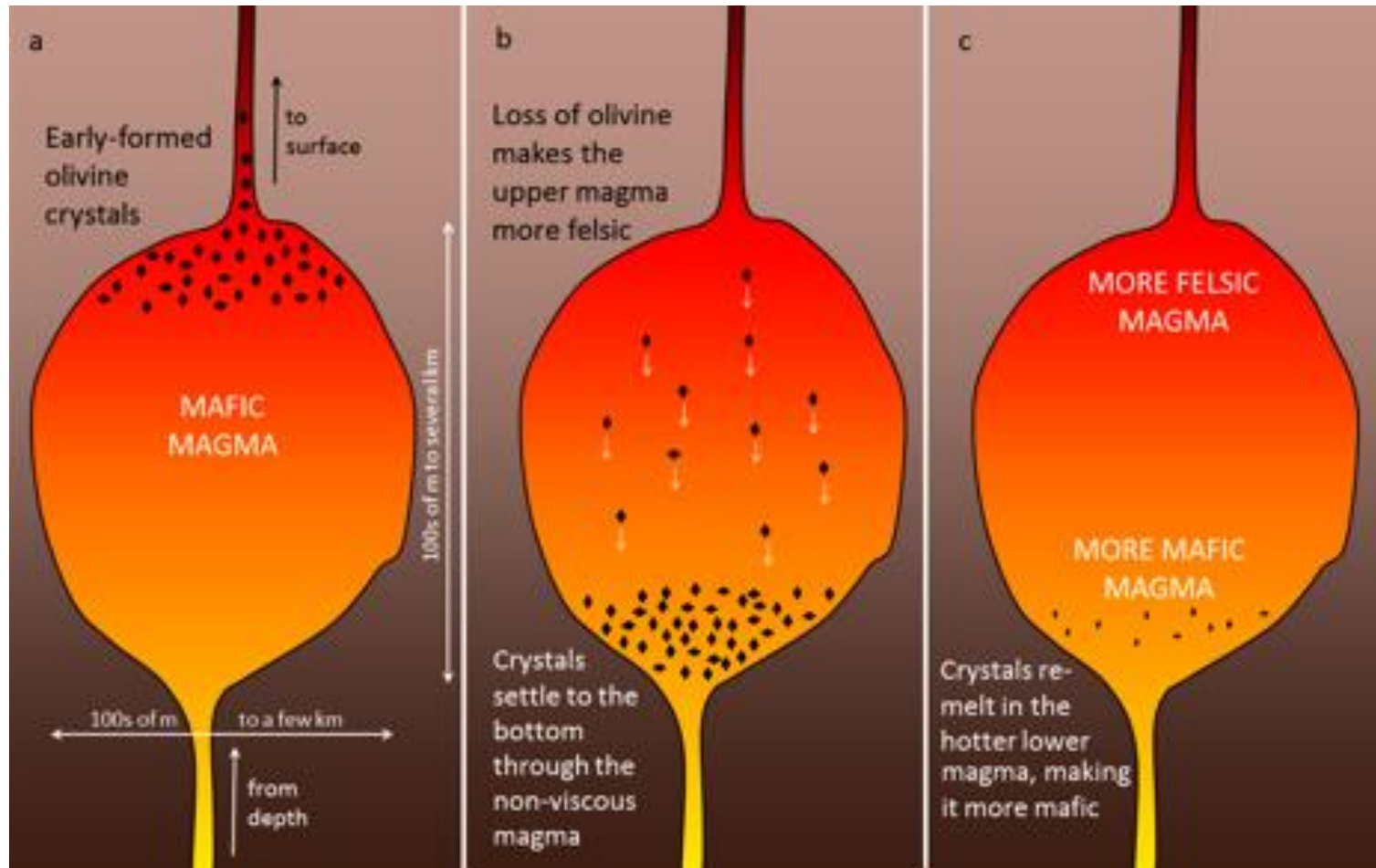
# Hromadění magmatu



## Magmatický krb

umožňuje chemické změny magmatu

# Vývoj magmatu – frakční krystalizace



Steven Earle, CC-BY 4.0

oddělení časně vykrystalizovaných minerálů od zbývající taveniny; vzniklé minerály pro svou velkou hmotnost klesají ke spodu magmatu, kde vytvářejí vrstvy;  
**mění se chemismus taveniny!**





**Thrihnukagigur Magma Chamber**







# Sopečná erupce



# Faktory ovlivňující průběh sopečné erupce

- Množství magmatu stoupajícího k povrchu
- Množství sopečných plynů rozpuštěných v magmatu či množství vody v okolí erupce
- Chemismus magmatu, tedy jeho pohyblivost (viskozita)
- Vliv okolního prostředí



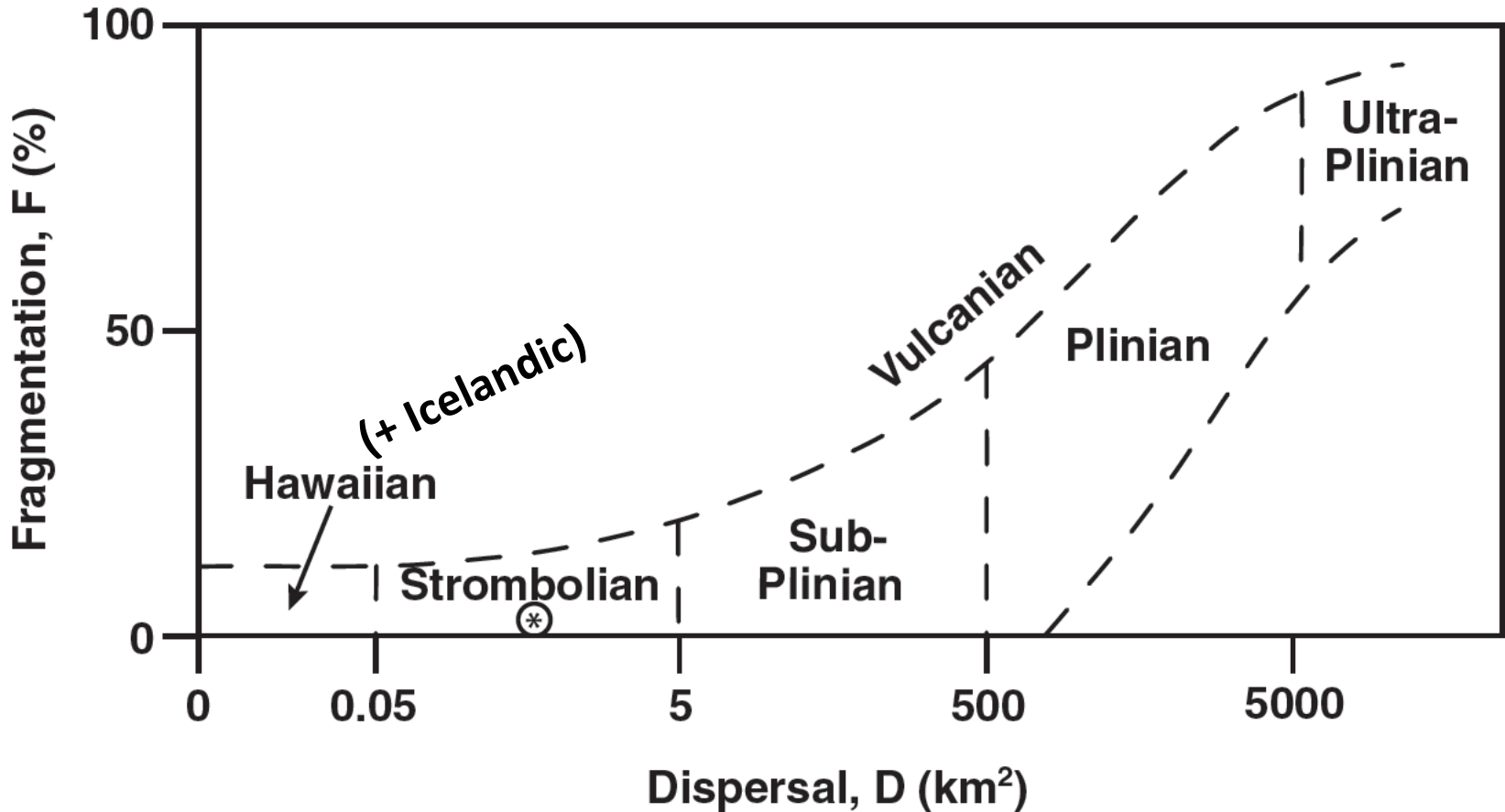


# Explozivní vulkanismus

NASA

# Druhy sopečných erupcí

(v závislosti na množství sopečných plynů)





# Islandský typ erupce

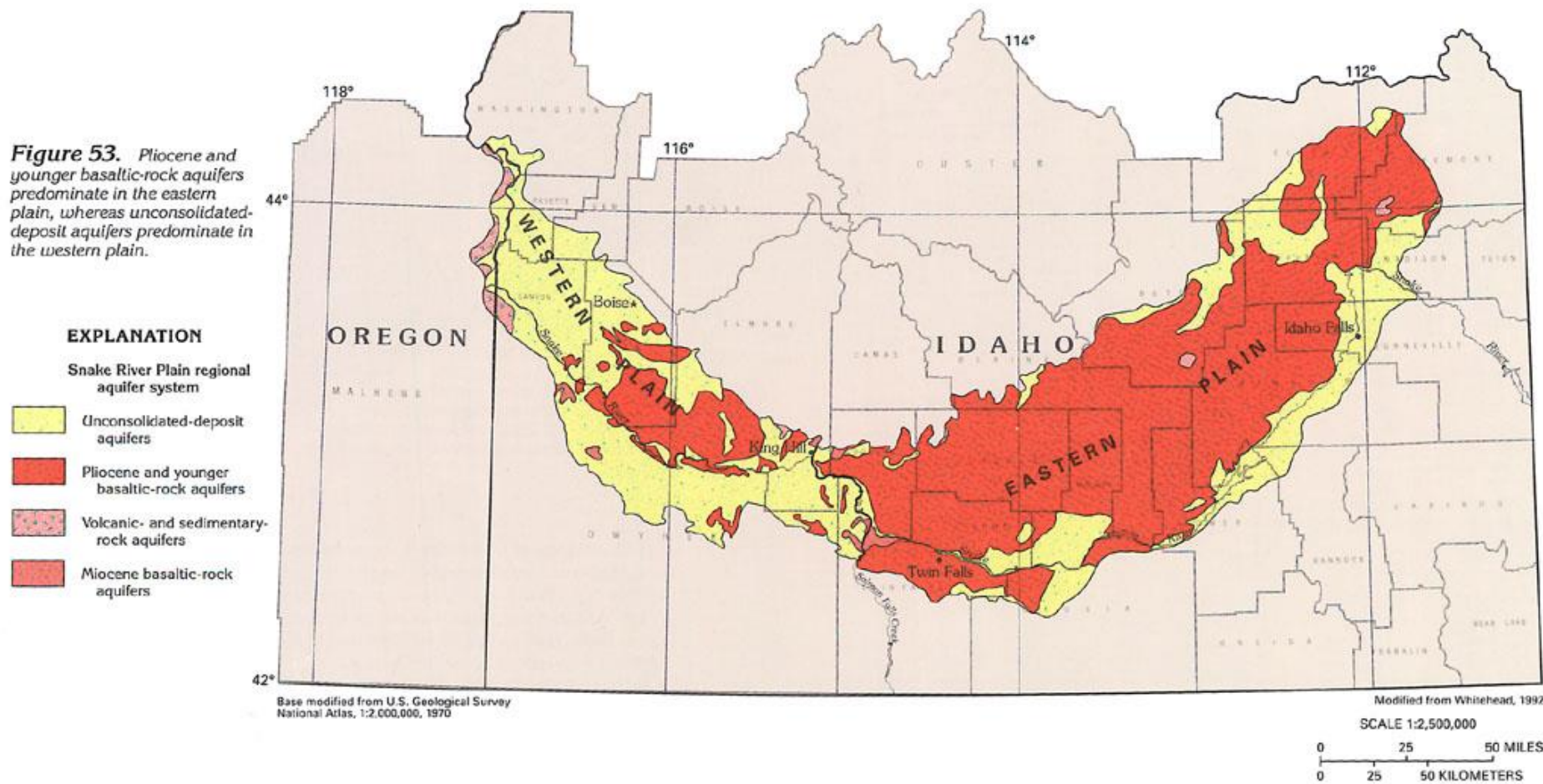


Feodor Pitcairn/PowerHouse Books



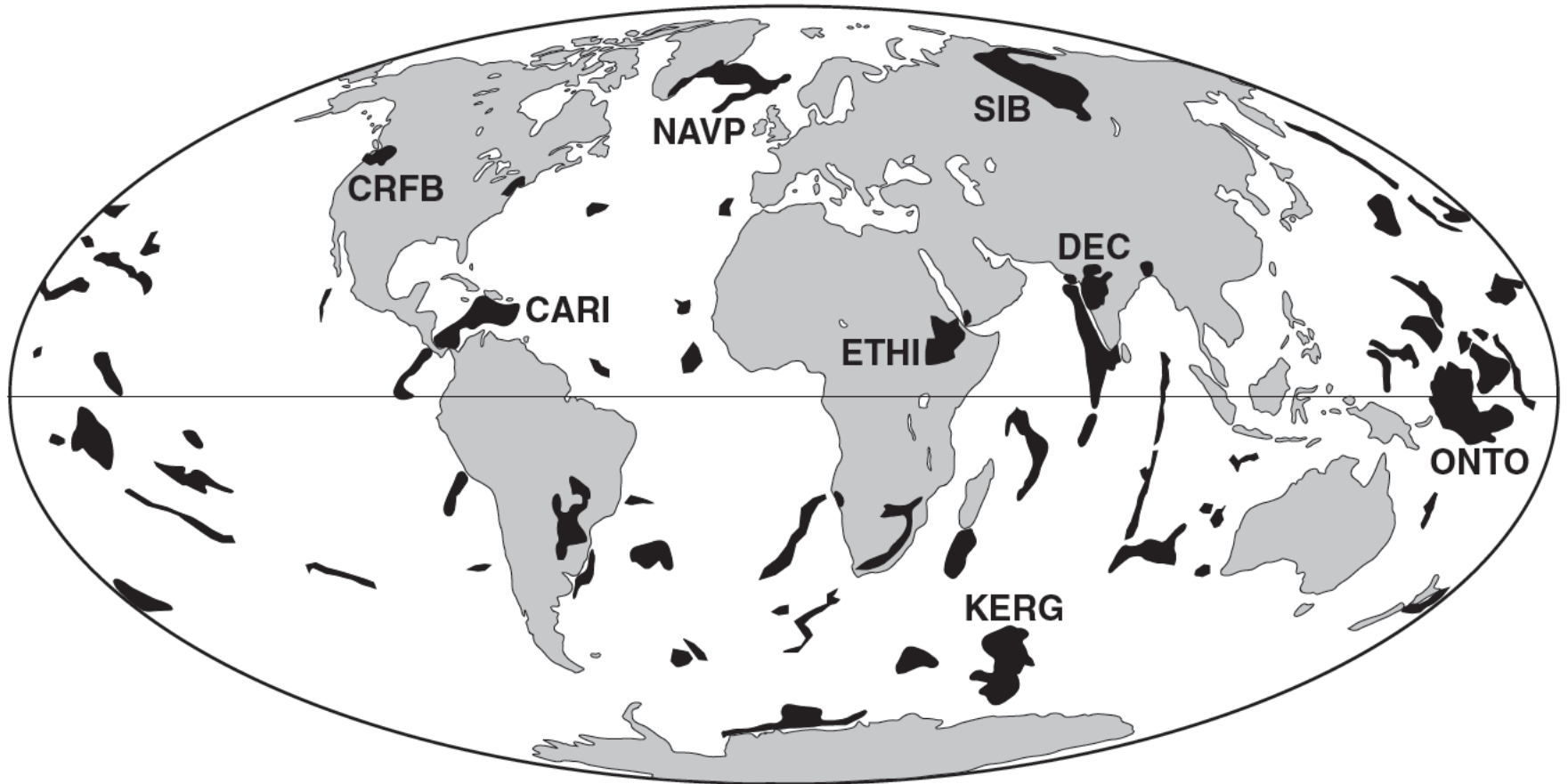
 USGS

**Figure 53.** Pliocene and younger basaltic-rock aquifers predominate in the eastern plain, whereas unconsolidated-deposit aquifers predominate in the western plain.





# V minulosti rozsáhlé výlevy lávy

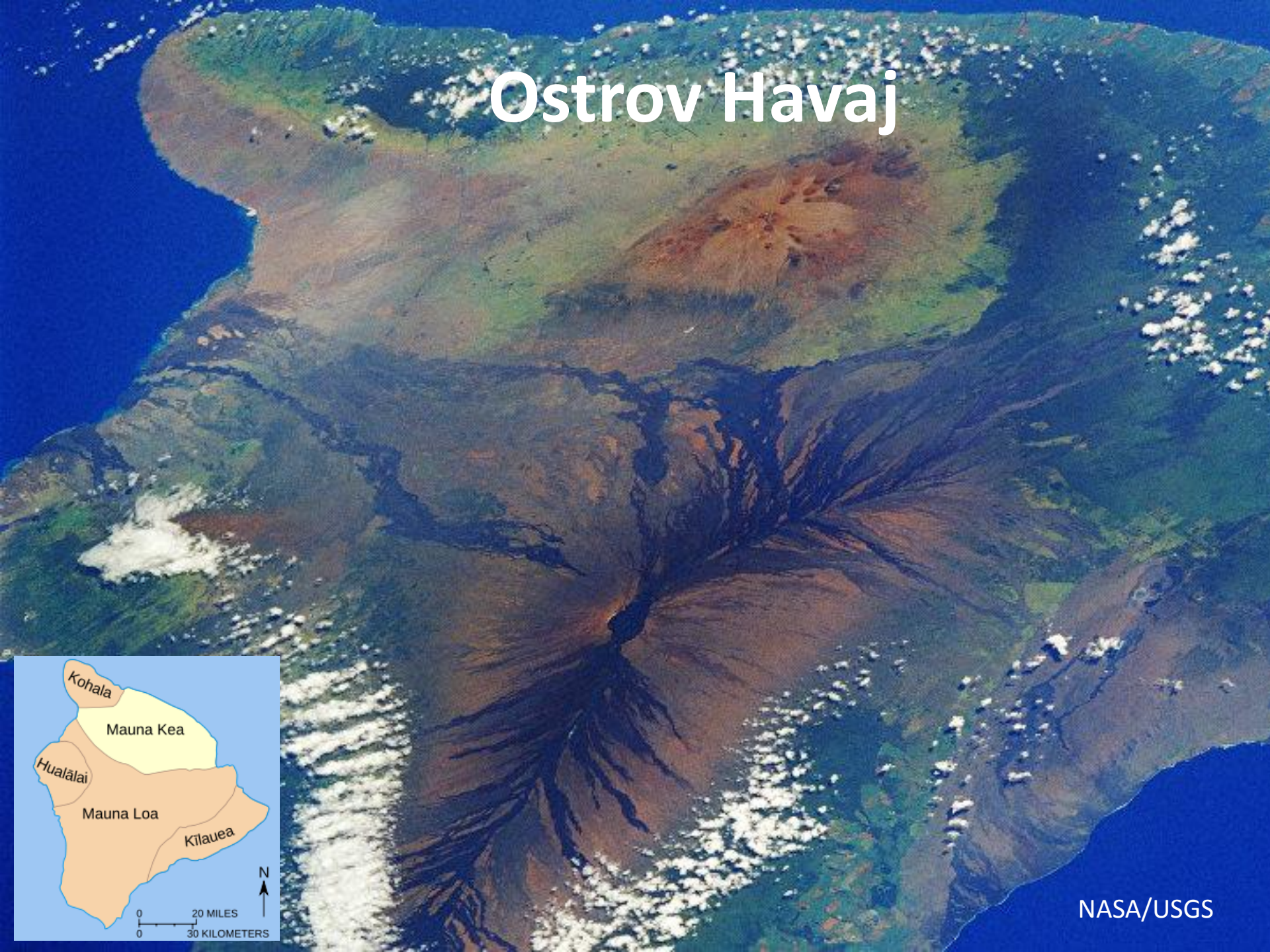


# Havajský typ erupce





# Ostrov Havaj





# Štítová sopka

rozsáhlá tělesa vzniklá dobře tekoucí lávou





# Lávové proudy a typy lávy





# Strombolský typ erupce



Feodor Pitcairn/PowerHouse Books





# Sypaný kužel

Nejhojnější suchozemský druh sopky (ca 90 % všech sopek)





**Svahy tvořené struskou vzniklou  
odplyněním magmatu**





# Pliniovský typ erupce





# Kompozitní sopka











# Exploze sopky St. Helens

sesuv úbočí hory obnažil magmatický krb, rapidní uvolnění tlaku  
a vznik mohutné exploze





# Pyroklastický proud

žhavá směs hornin a plynů o větší hustotě než má vzduch, „teče po krajině“



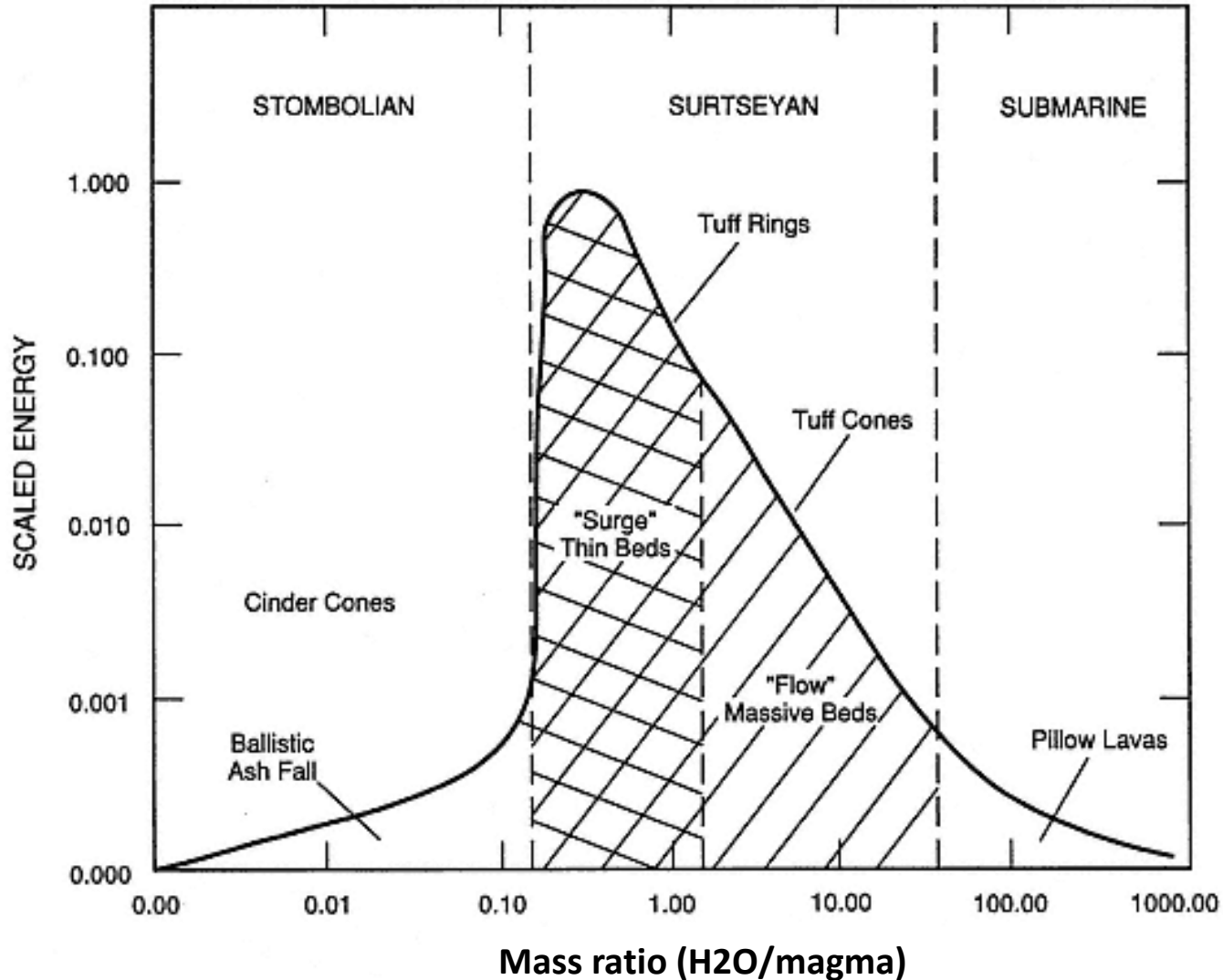
ALBERT GARCIA





# Druhy sopečných erupcí

(v závislosti na množství externí vody)



# Strombolský typ erupce







# Surtseyský typ erupce

Dana Stephenson/Getty Images



# Tufový prstenec



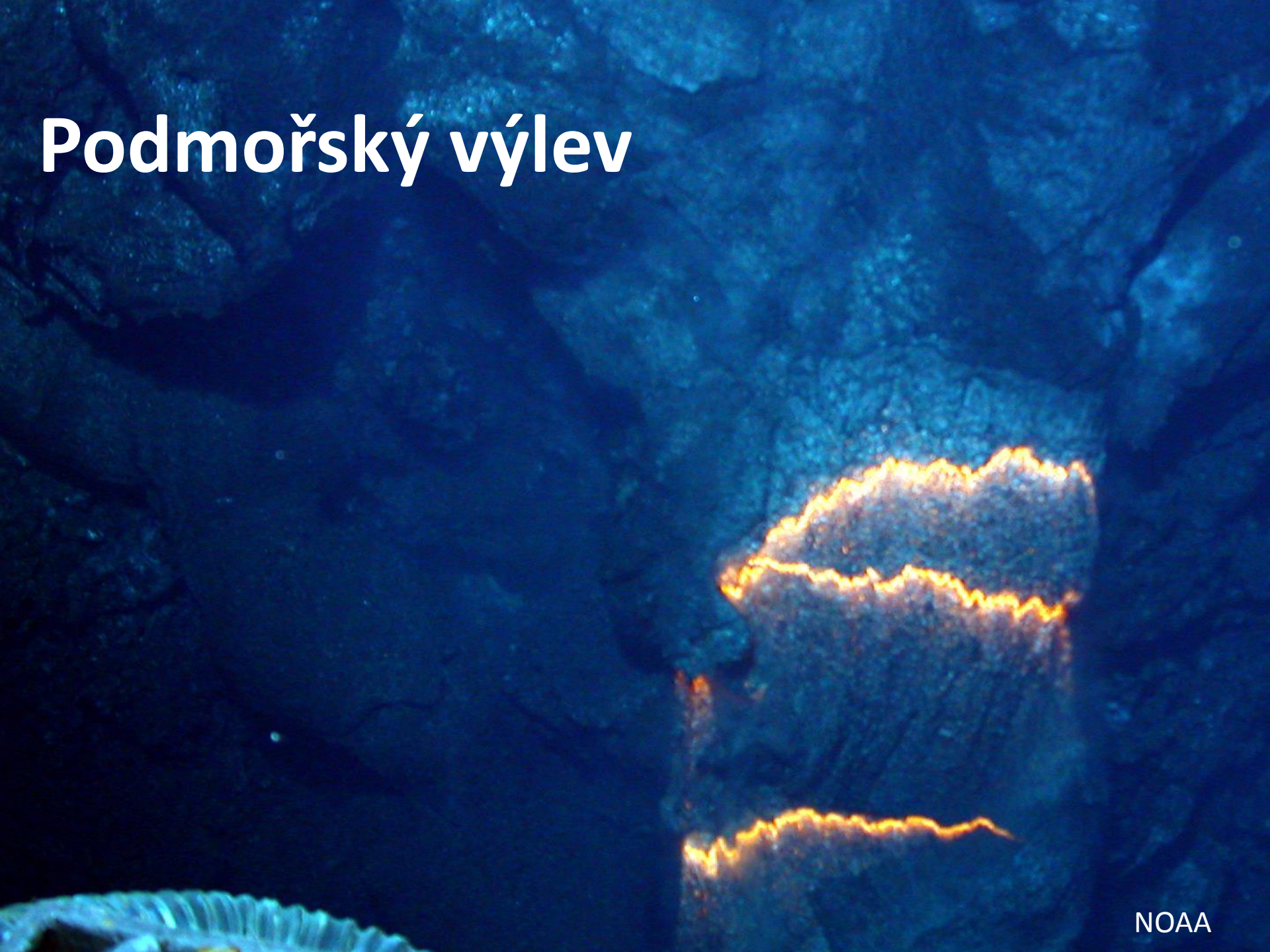


# Maar






# Podmořský výlev





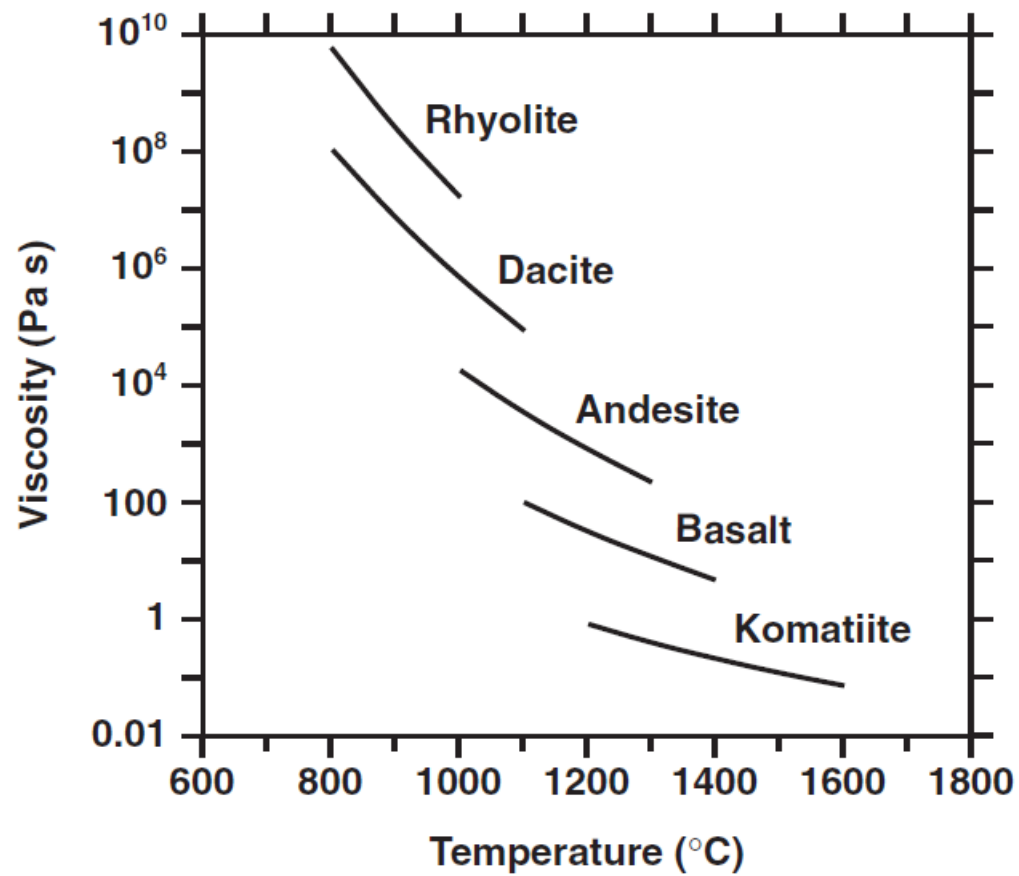
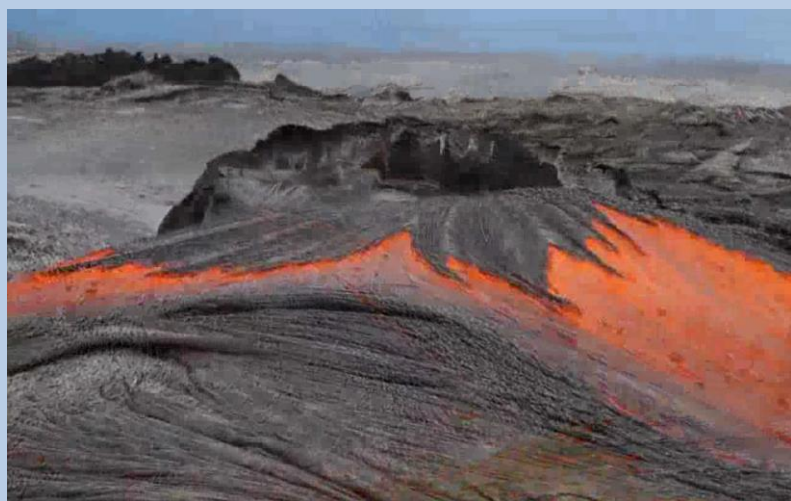
A dark, grainy underwater photograph showing a lava flow. The lava is dark and textured, with several bright red and white spots scattered across its surface. The background is dark and indistinct.

**LAVAOCEAN08**

# Polštářová láva

The image shows a close-up view of pillow lava formations underwater. The lava rocks are dark, rounded, and have a distinctively textured surface with visible horizontal ridges and vertical grooves, characteristic of pillow lava. The background is a dark, murky blue, suggesting an underwater environment.





**Fig. 10.2** Viscosity as a function of temperature for a range of common magma compositions. (Based on fig. 4 in Spera, F.J. (2000) Physical properties of magmas. *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, pp. 171-190, copyright Elsevier (2002).)



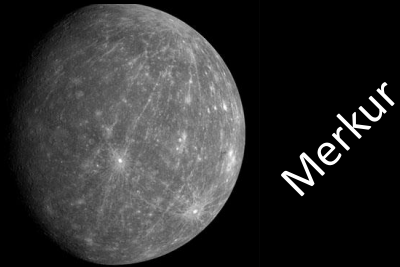
# Vliv prostředí



# Vliv prostředí



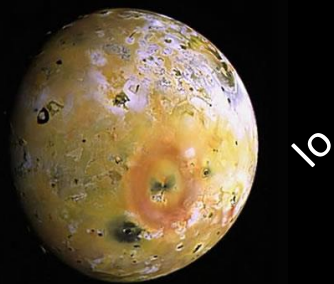
Enceladus



Merkur



Měsíc



Io



Mars



Země



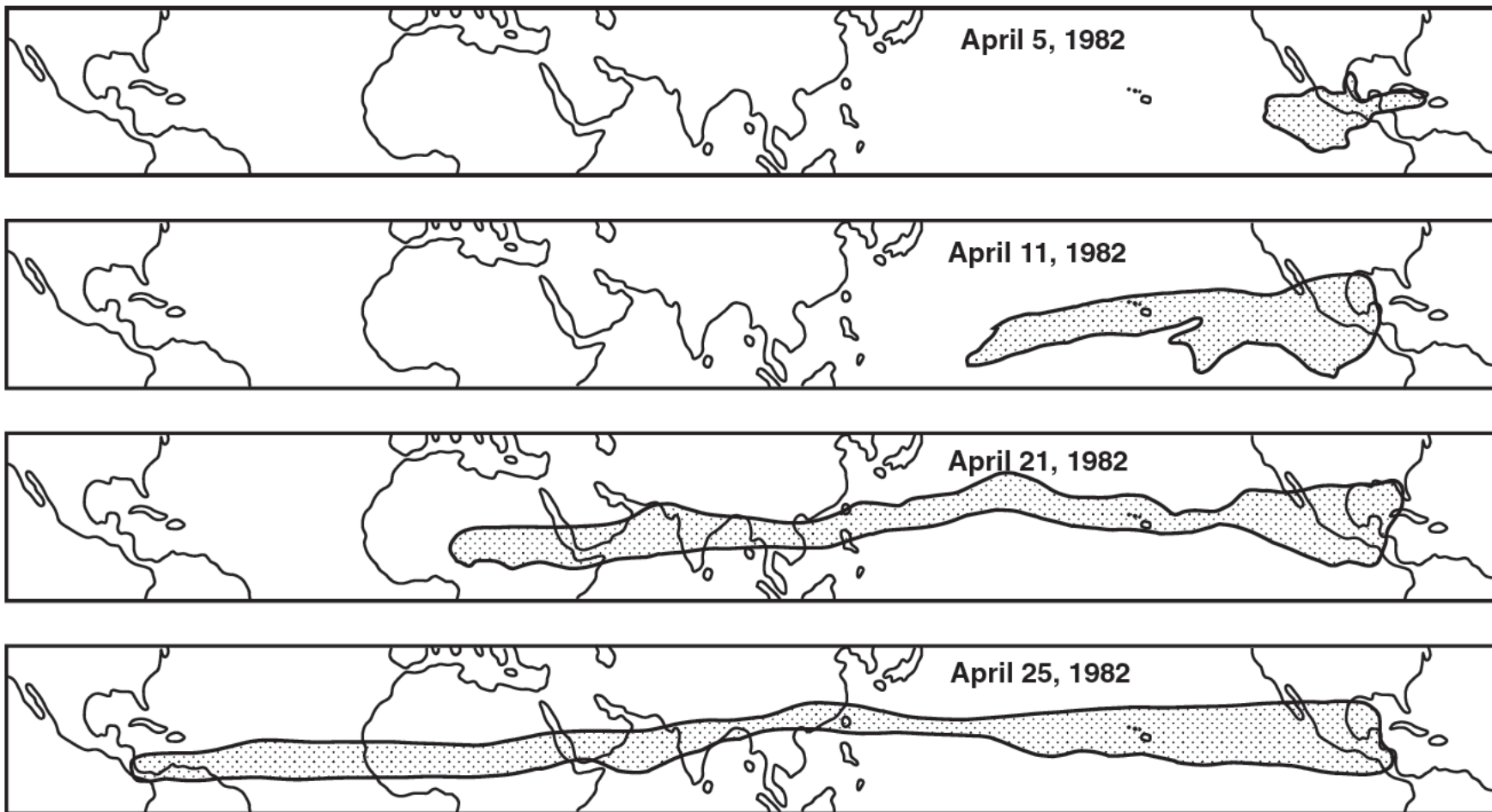
Venuše



Tlak panující na povrchu

# Dopad na atmosféru





**Fig. 8.3** The progressive westward drift of the eruption cloud produced by the eruption of El Chichón volcano in Mexico in 1982 was tracked by satellites. Note that dispersal of the cloud north and southward is limited. (Redrawn from fig. 1 in Robock, A. and Matson, M. (1983) Circumglobal transport of the El Chichón volcanic dust cloud. *Science*, **221**, 195-197. Reprinted with permission from the American Association for the Advancement of Science.)

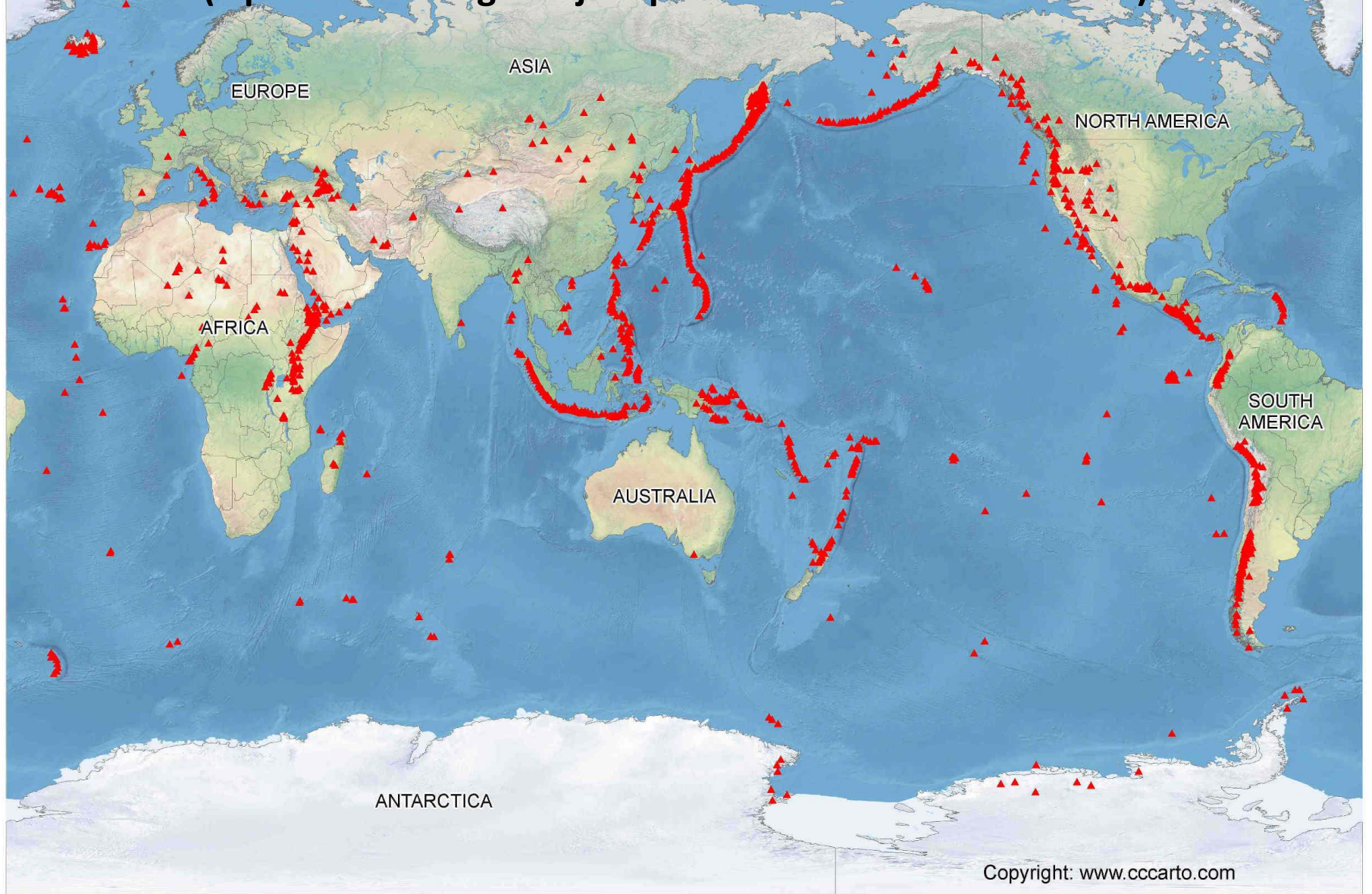
**Výstup do vyšších částí atmosféry , kde je následně unášeno atmosférickým prouděním**





# Mapa výskytu aktivních sopek

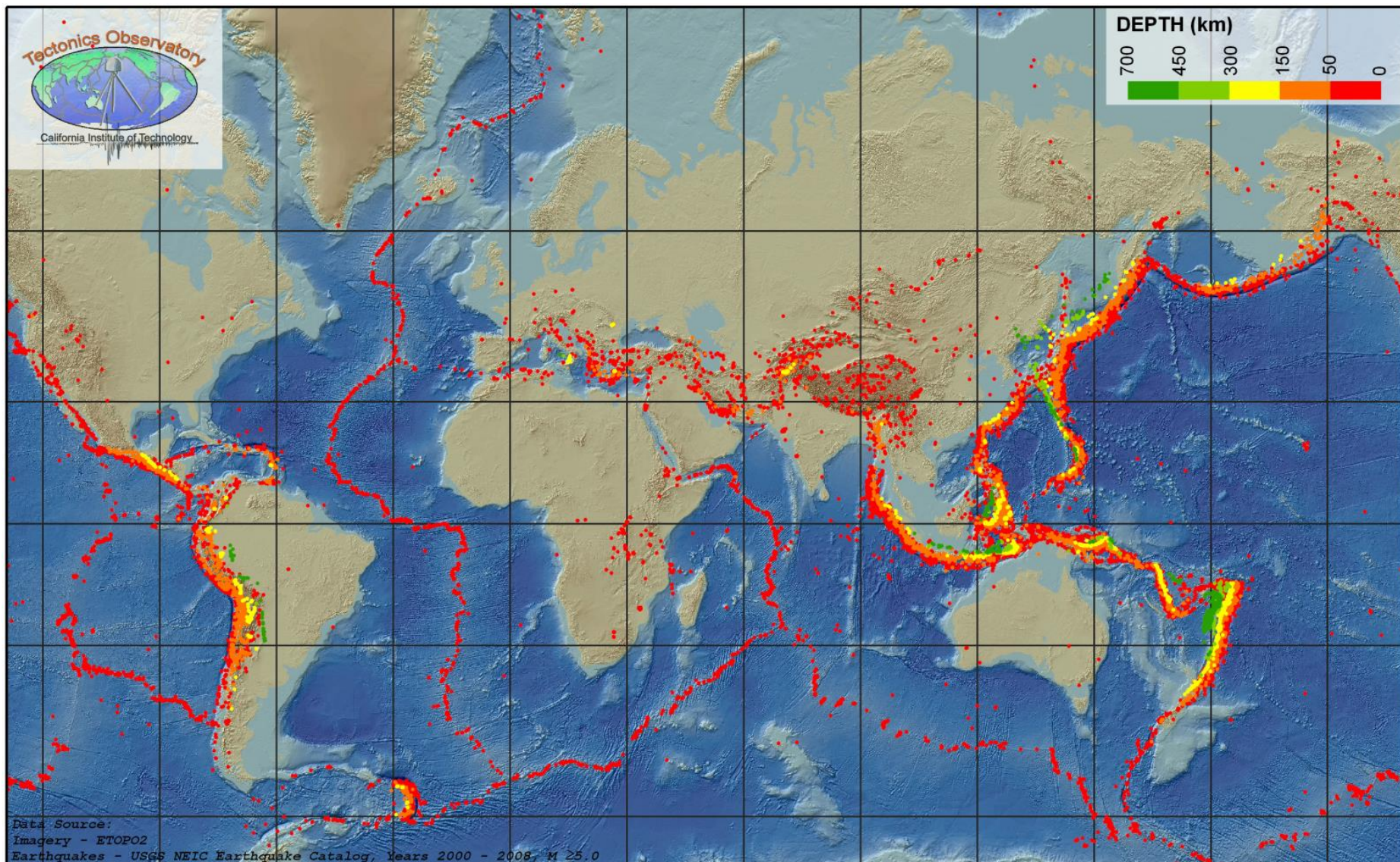
(...protentokrát ignorujme potíž s definicí slova aktivní...)





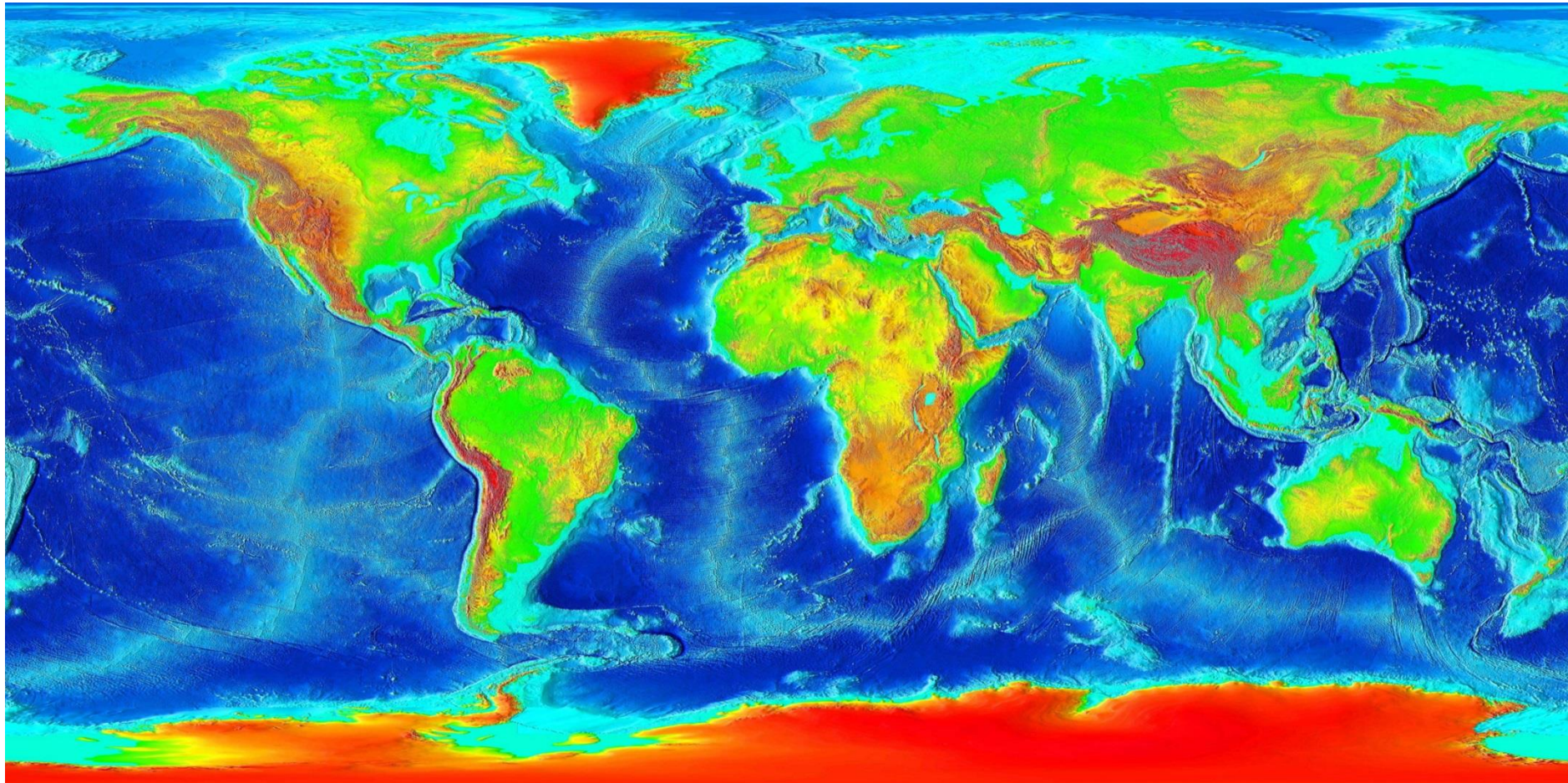
# Mapa zemětřesení

(mezi roky 2000 až 2008, silnější než M>5)





# Středoocéánské hřbety



Modrá značí nejhlubší oblasti, červená nejvyšší

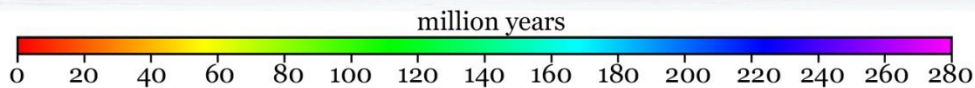
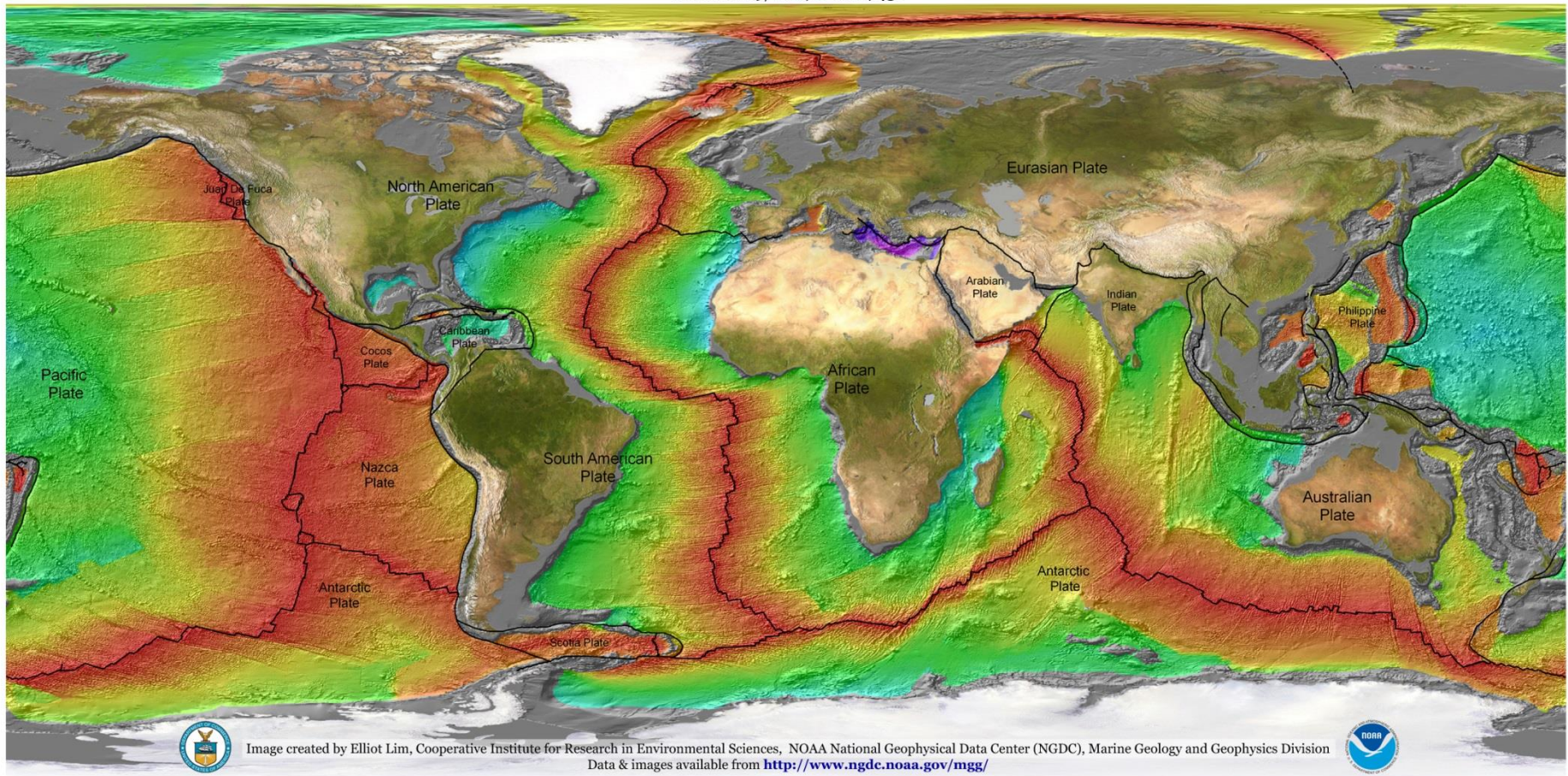
NOAA



# Stáří oceánské litosféry (v mil. let)

## Data source:

Muller, R.D., M. Sdrolias, C. Gaina, and W.R. Roest 2008. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q04006, doi:10.1029/2007GC001743.



Muller et al., 2008

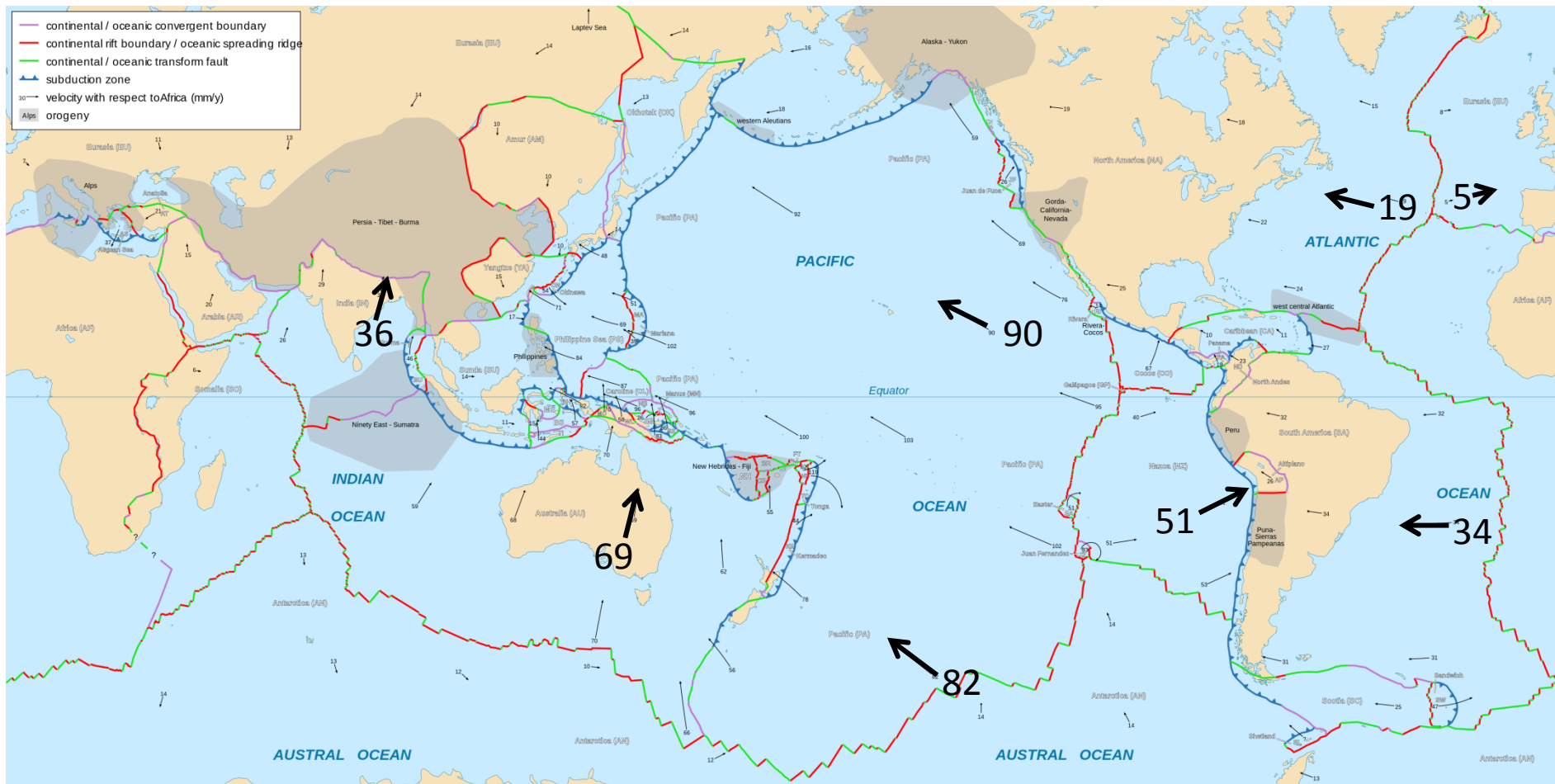


# Hydrotermální aktivita

A photograph of a hydrothermal vent chimney, likely a carbonate structure, rising from a dark, rocky seafloor. The chimney has a complex, branching structure with a central trunk and several smaller branches. The top of the chimney is illuminated, showing a bright orange-red glow, possibly from a hydrothermal fluid. The surrounding seafloor is dark and rocky, with some smaller, similar structures visible in the background.

(c) MARUM\_Forschungszentrum Ozeanränder, Universität Bremen

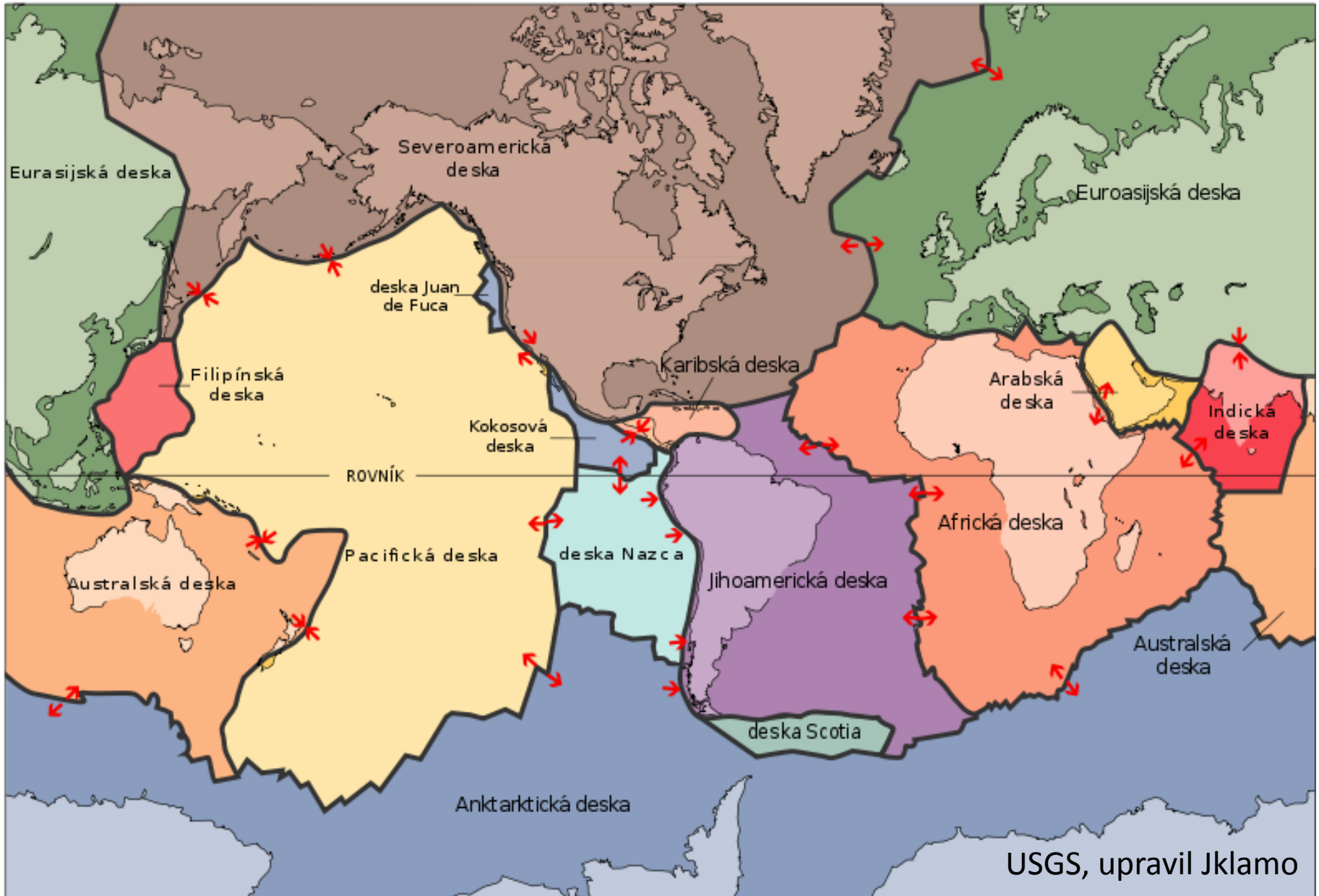
# Pohyb povrchu Země v různých směrech a různými rychlostmi



Měřitelný pohyb v řádů mm/rok

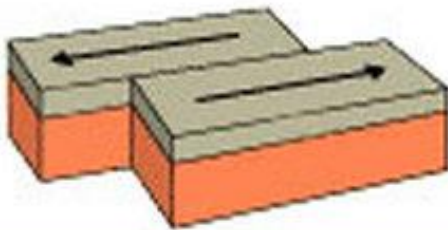


# Desková tektonika



# Možnosti pohybu desek vůči sobě

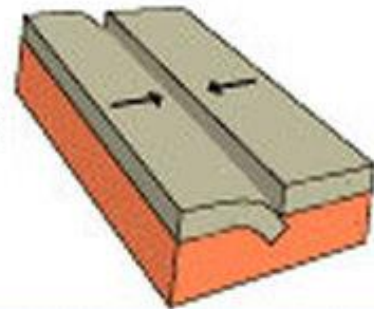
Transform



Divergent

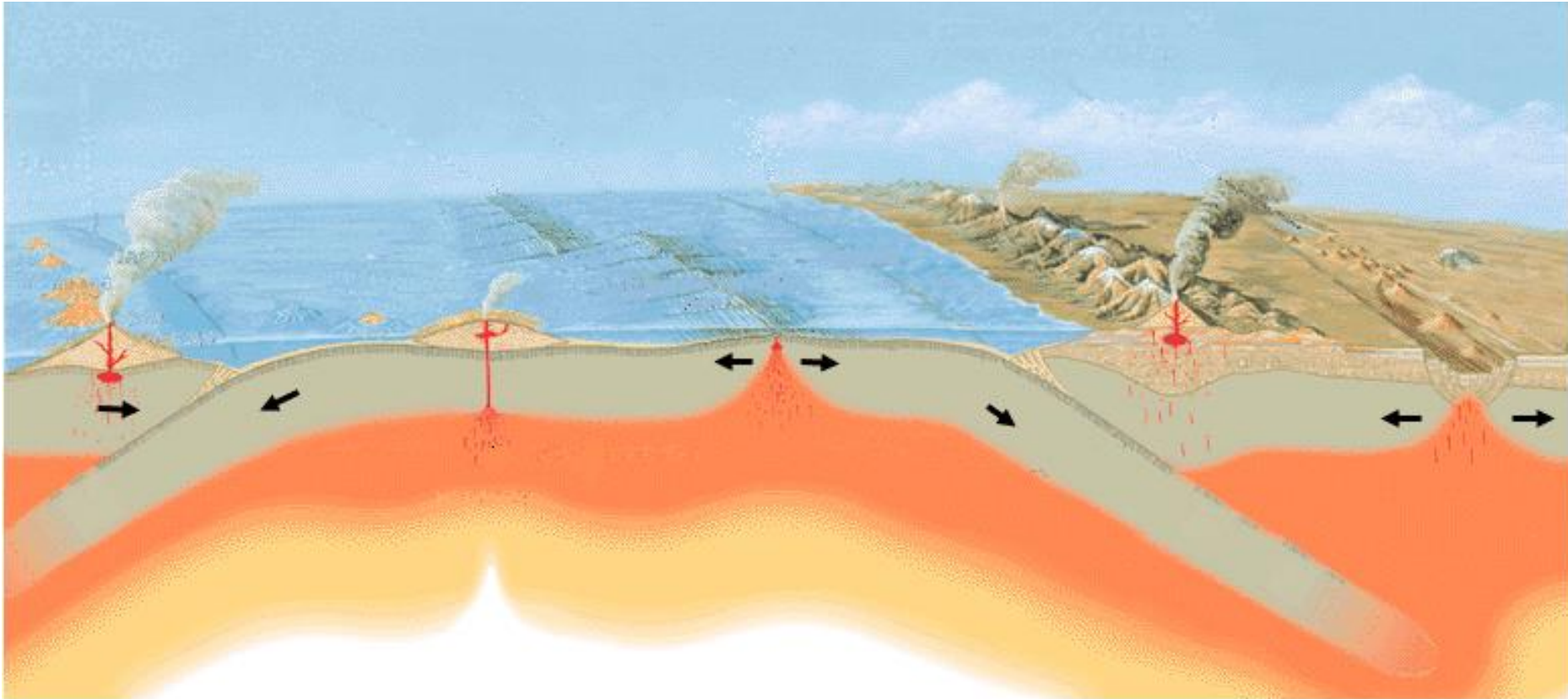


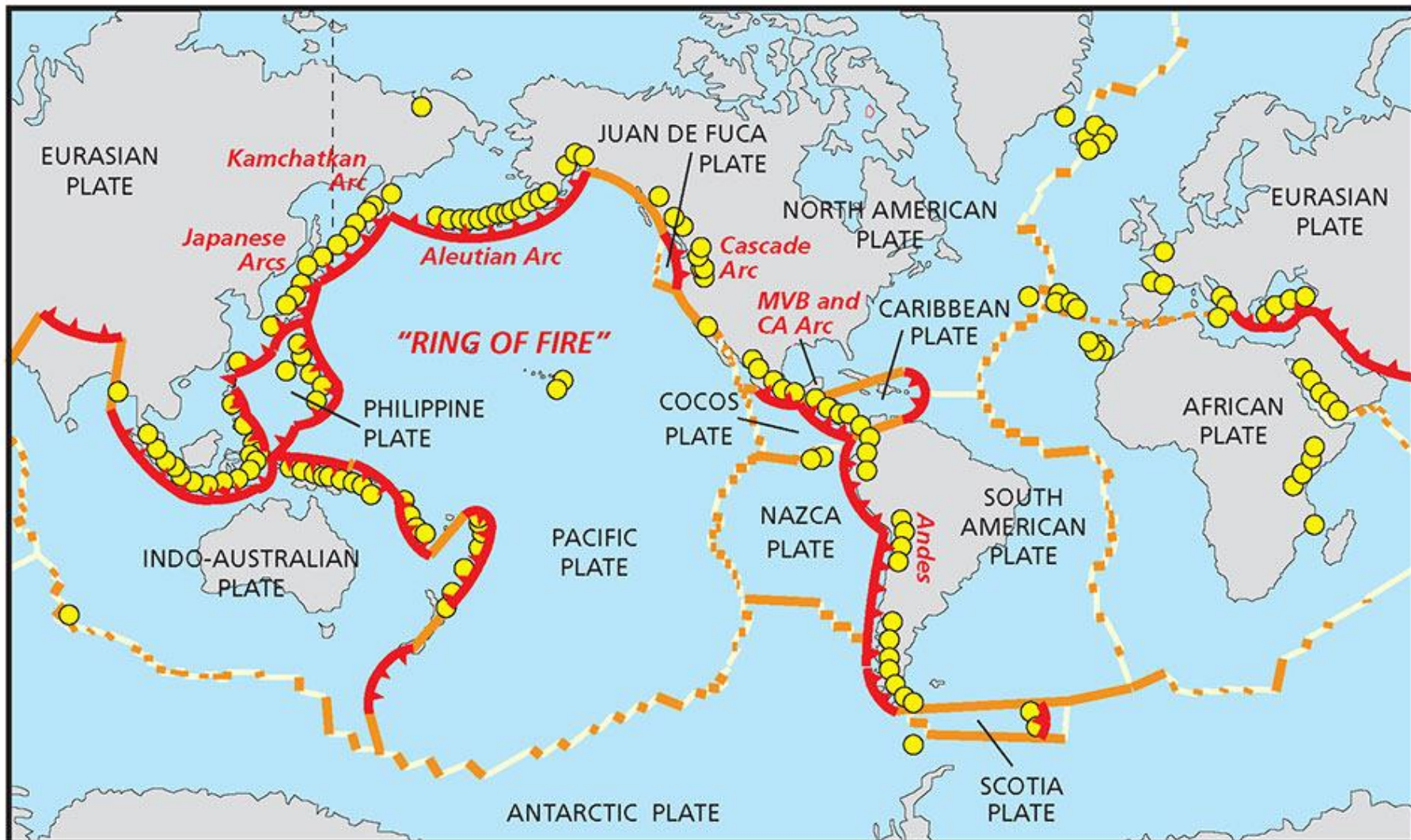
Convergent





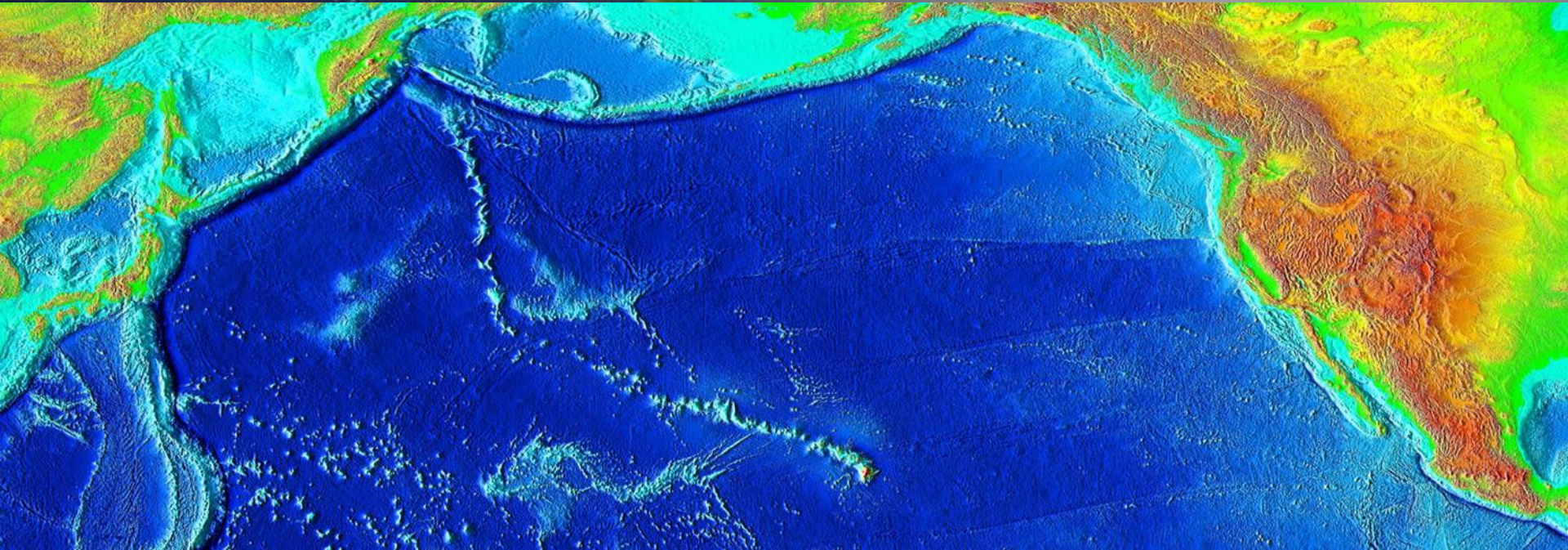
# Desková tektonika





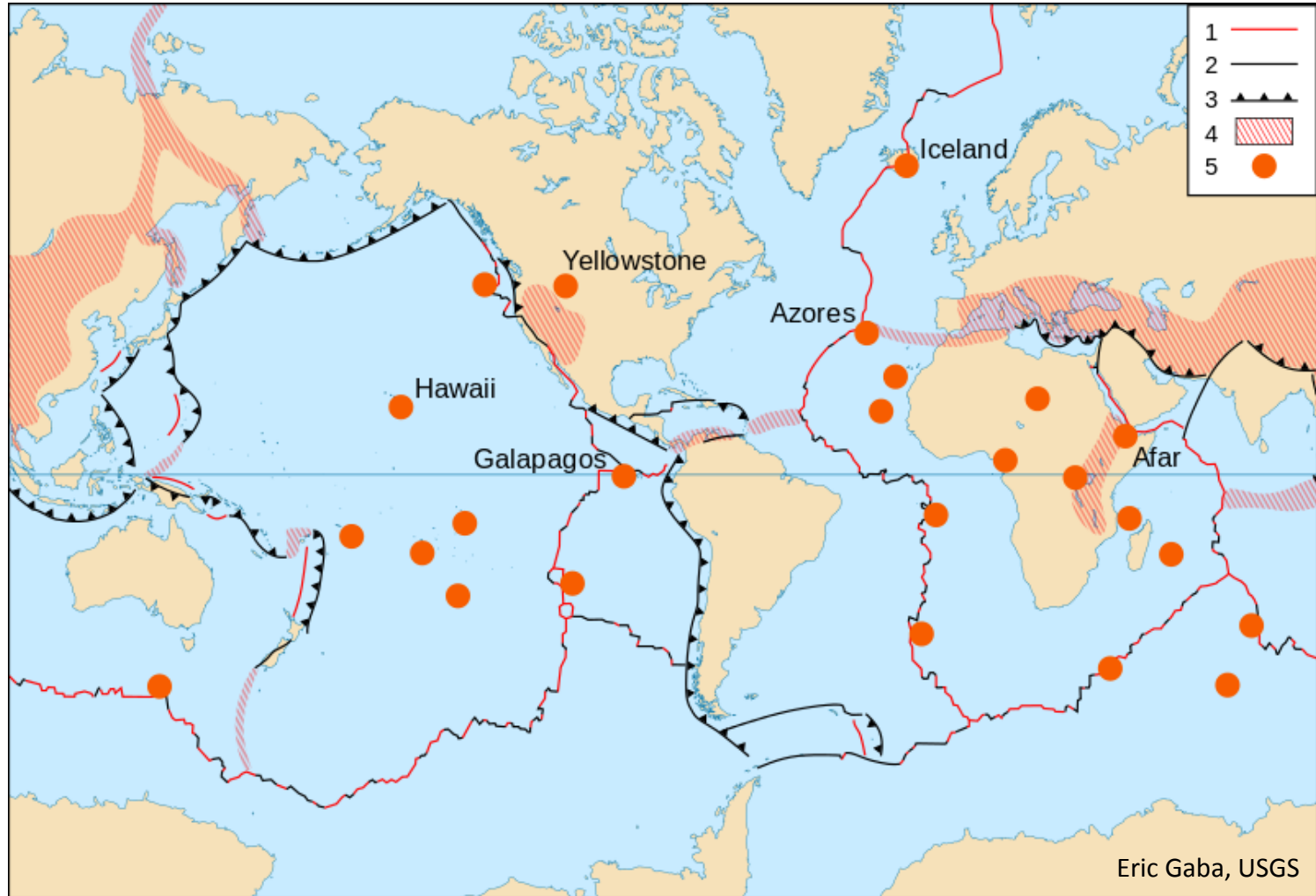


# Souostroví Havaj



# Horké skvrny

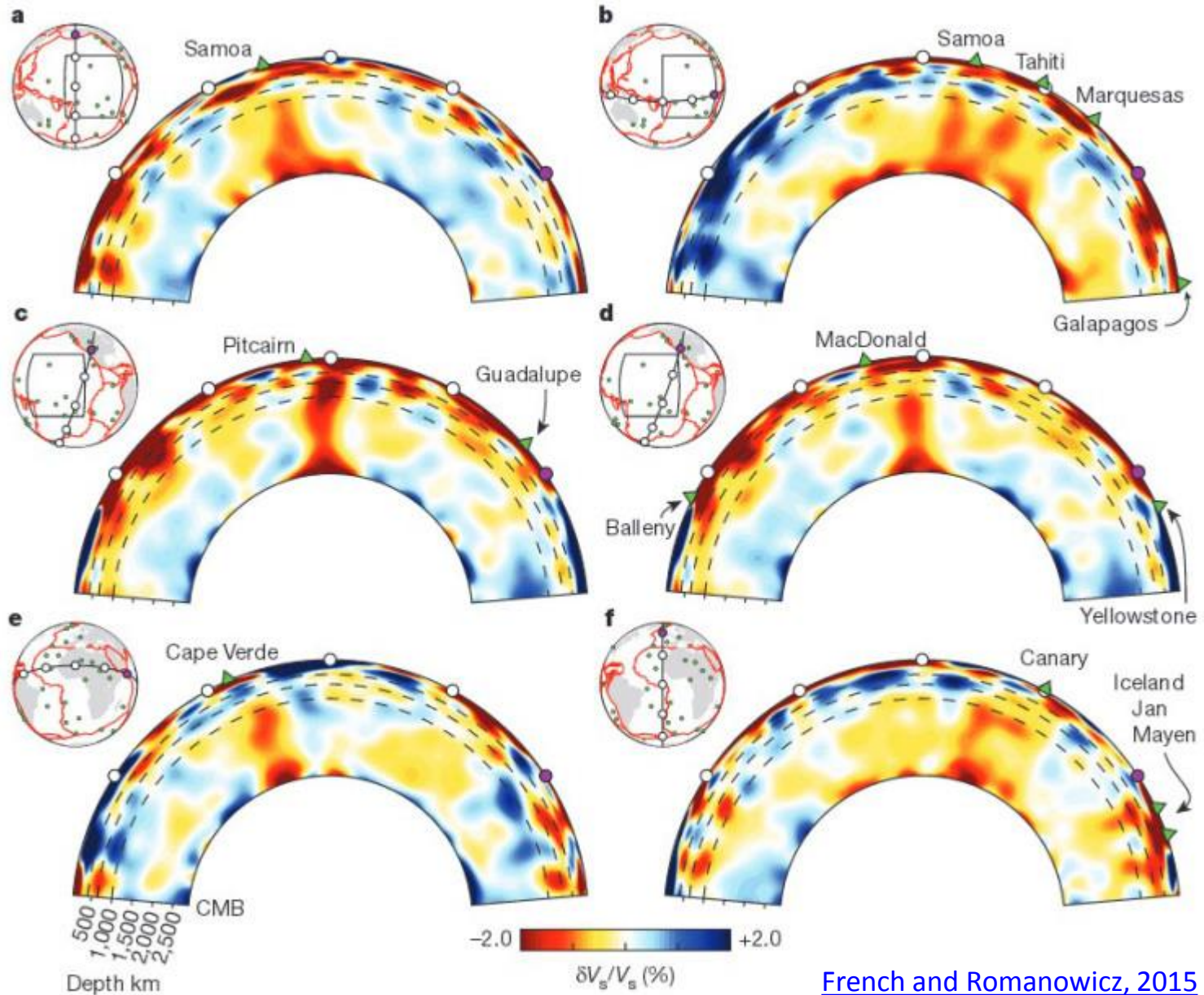
(hot spots)



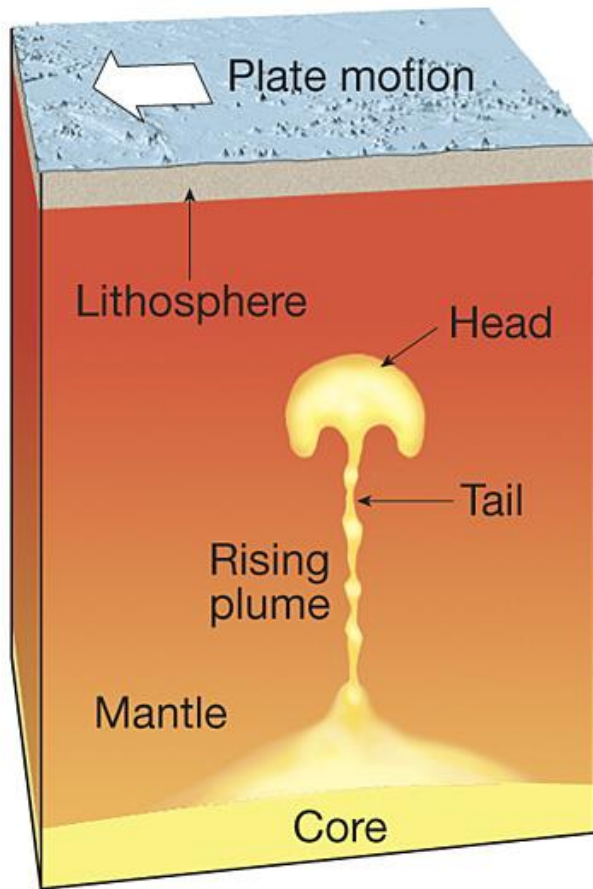
**1:** Divergent plate boundaries ; **2:** Transform plate boundaries ; **3:** Convergent plate boundaries ; **4:** Plate boundary zones ; **5:** Selected prominent hotspots.



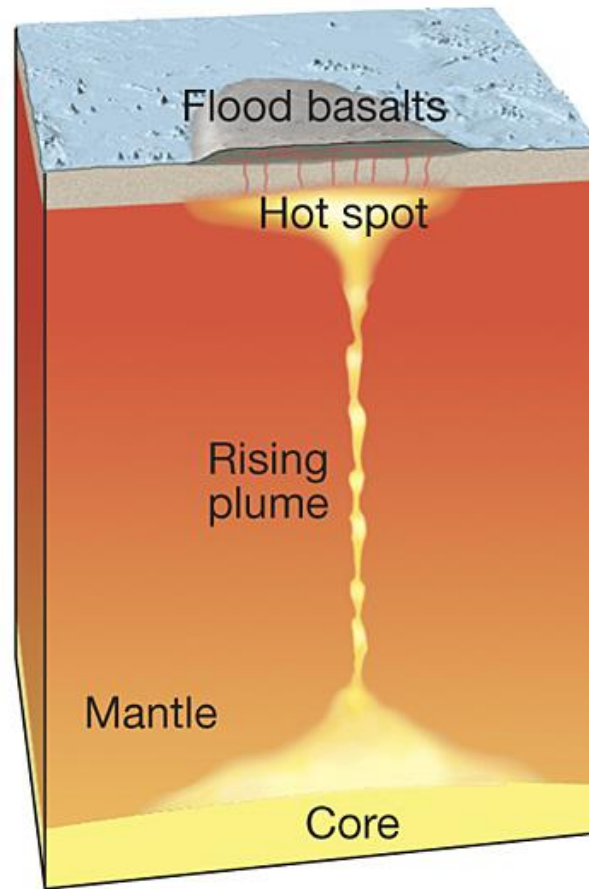
# Plášťové plumy



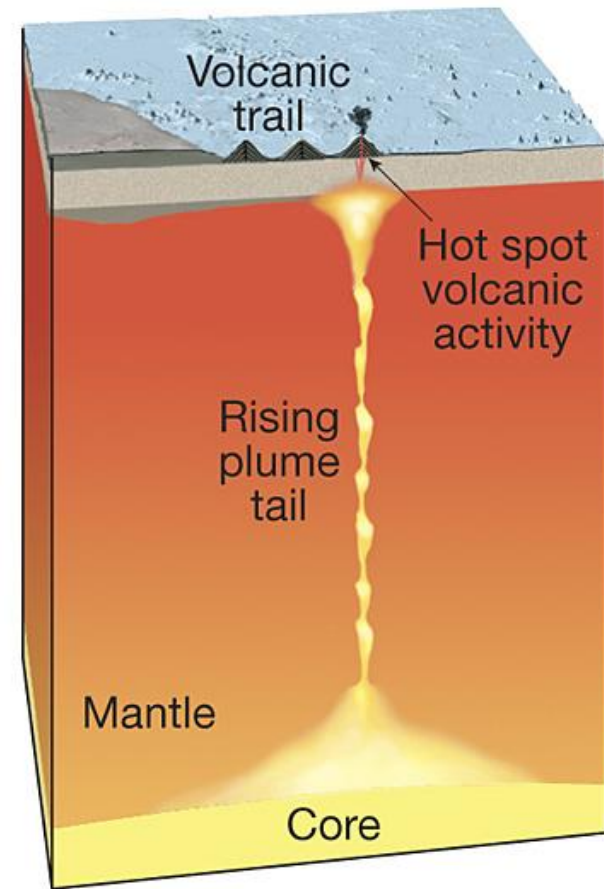
# Plášťové plumy a vývoj sopečné činnosti v čase



A.



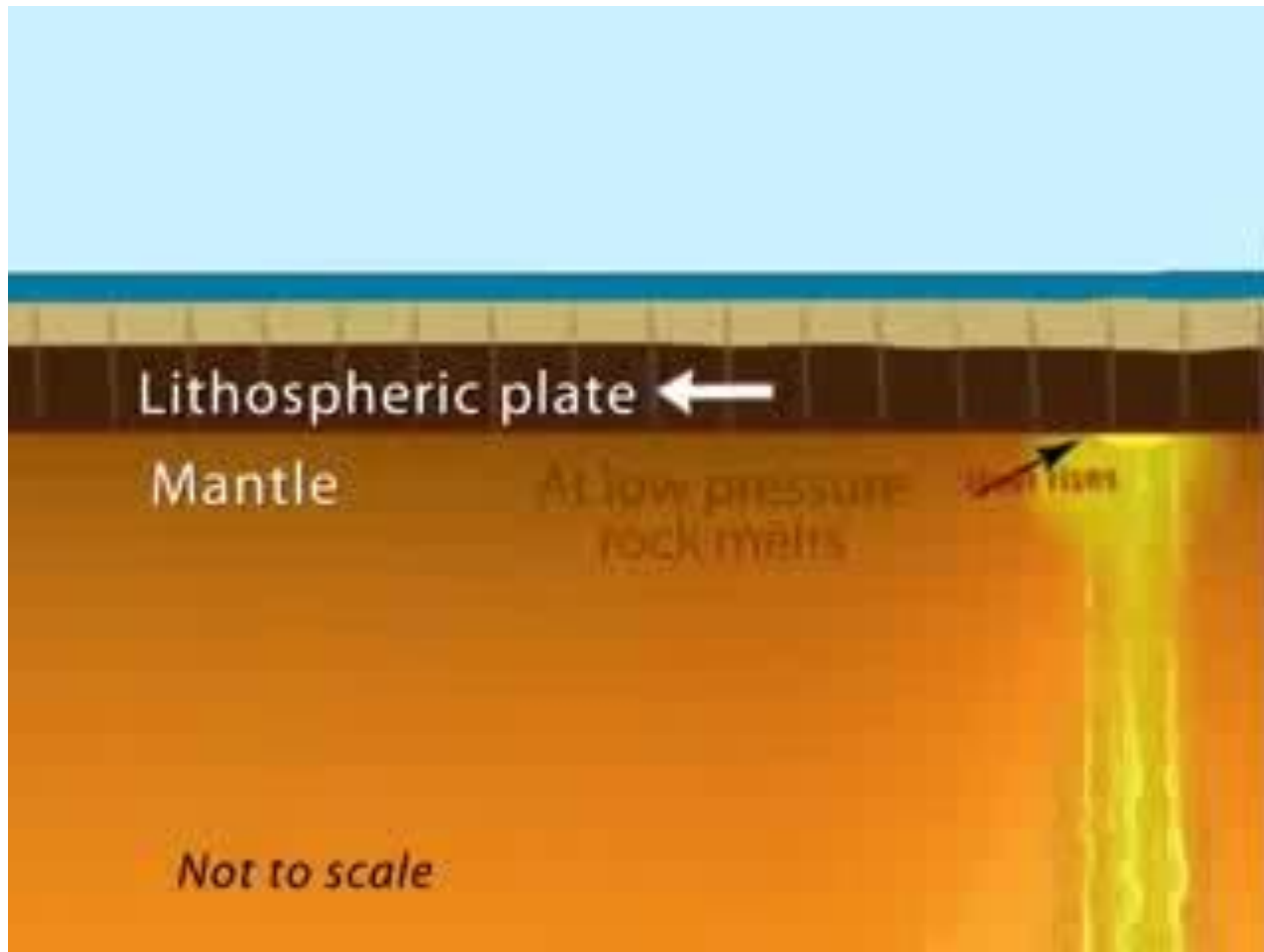
B.



C.

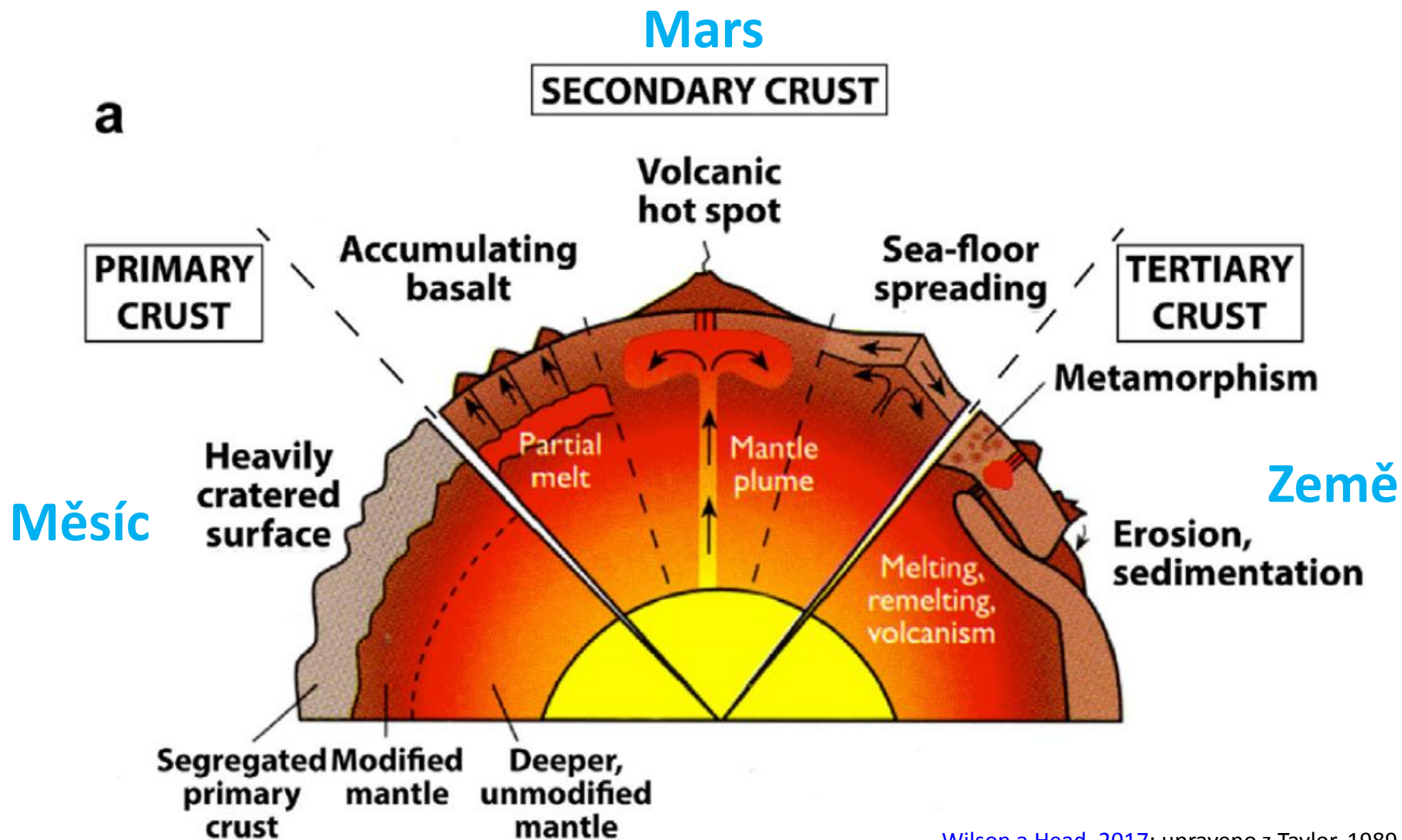


# Jak mohly vzniknout tak velké sopky?



# Význam deskové tektoniky

Ovlivnila vývoj kůry i změnu jejího chemismu





# Shrnutí 1/2

- Vulkanismus označuje **komplexní proces** od vzniku magmatu, přes jeho výstup až k sopečné erupci
- Aby **vzniklo magma**, je potřeba a) **zvýšit teplotu**, b) **snížit tlak** či c) **změnit chemismus horniny**
- Magma má nižší hustotu než okolní horniny, takže stoupá vzhůru
- Na povrch se dostane jen část taveniny
- A tímto vítejte v klubu vulkanologů...

# Shrnutí 2/2

- Sopky na Zemi představují **bohatou skupinu** různorodých těles
- Liší se od sebe jak **velikostí** a **vzhledem**, i **způsobem svého vzniku**
- **Rozmístění** sopek je buď svázáno s **procesy deskové tektoniky** nebo s existencí **plášťových plum**