

Evolúcia Minerálov

*odraz vývoja
vesmíru a Zeme*



Pavel Uher

*Katedra mineralógie
a petrológie*

*Prírodovedecká fakulta
Univerzita Komenského
Bratislava*



Čo je minerál ?

Minerál je prírodná kryštalická tuhá látka, vytvorená na Zemi alebo vo vesmíre bez priamej účasti človeka



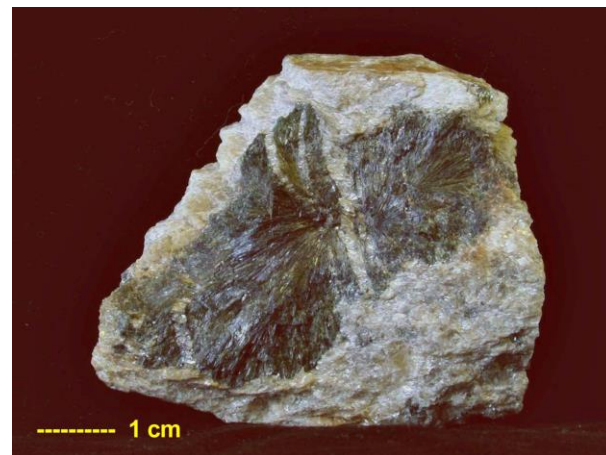
Ako opísať nový minerál (minerálny druh) ?

- Nový minerál musí byť oficiálne uznaný Komisiou pre nové minerály a klasifikáciu minerálov pri Medzinárodnej mineralogickej asociácii (CNMMN IMA)
- Písomný návrh (tlačivo), obsahujúce názov, charakteristiku minerálu, jej štruktúru, chemické zloženie, fyzikálne vlastnosti, lokalitu, miesto archivácie holotypu
- O návrhu hlasuje cca 30 reprezentantov krajín, zastúpených v IMA (osobitne názov a opis minerálu)
- Úspešný návrh: zverejnenie v rubrike nových minerálov CNMNC IMA
- Publikácia článku s novým minerálom

Kol'ko je známych minerálnych druhov ?



Z územia Slovenska bolo
doteraz opísaných 20
nových druhov minerálov
(z toho 4 od roku 2000)



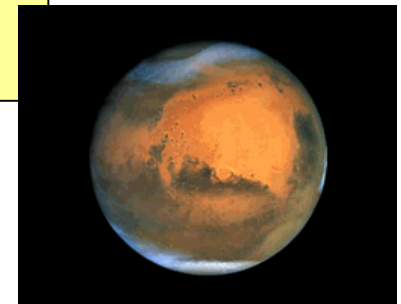
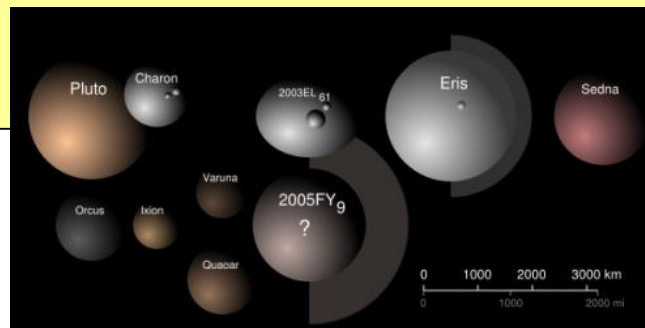
*Celkovo snád' 10 - 15 000
druhov minerálov ??*

Libethenit, Ľubietová (1823)

Oxy-skoryl (turmalín)
Zlatá Idka (2013)

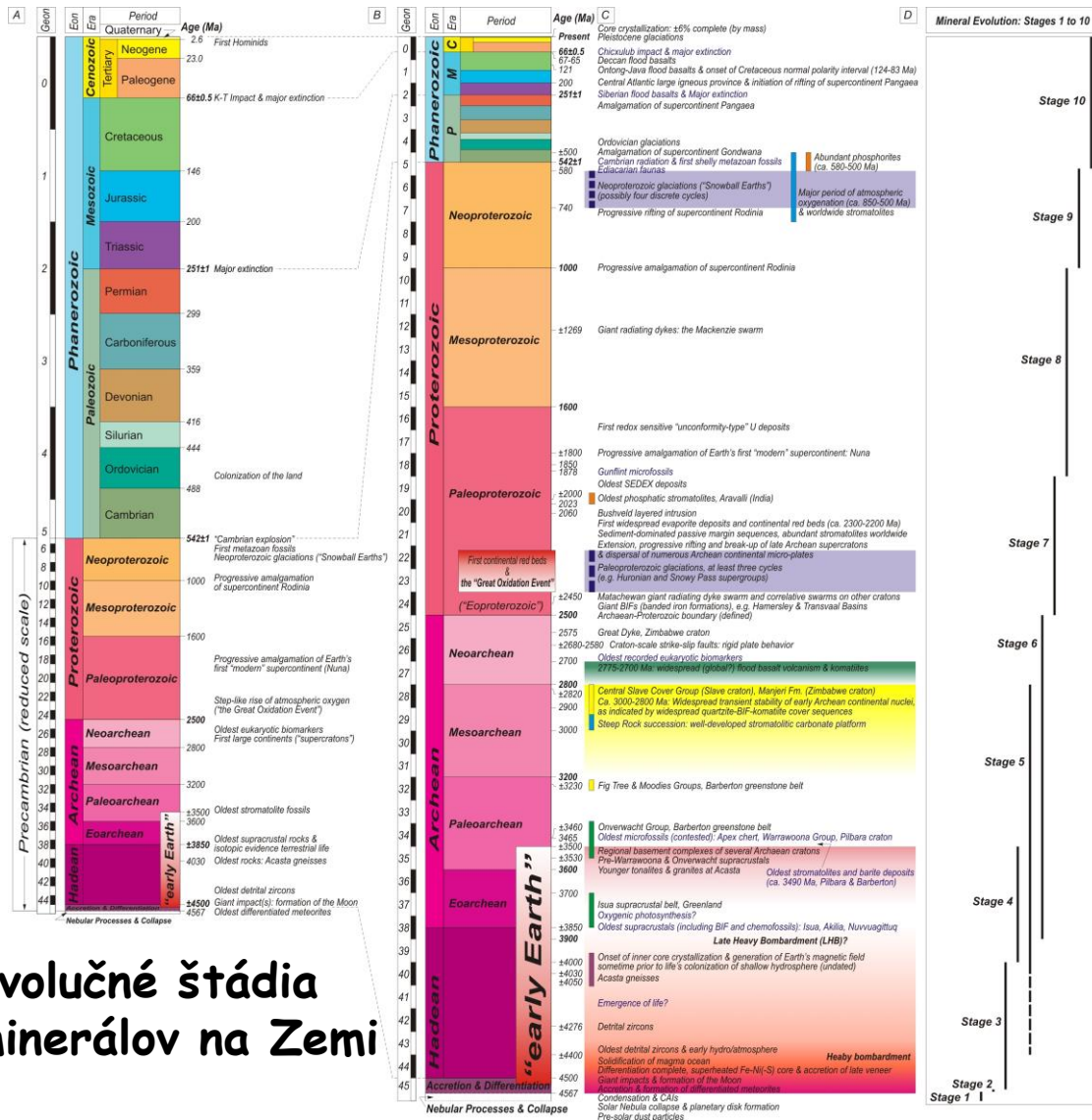
Evolúcia minerálov: Kedy a ako vznikli minerály ?

- **Minerály tu neboli vždy !**
- Vznikali postupne v závislosti od evolúcie Vesmíru a podmienok tvorby vesmírnych telies
- **Evolúcia minerálov: od jednoduchších po komplikovanejšie zlúčeniny s komplexnejšou štruktúrou**
- Pestrosť minerálnych druhov (**minerodiverzita**) závisí od chemického zloženia, veľkosti a z toho vyplývajúceho stupňa chemickej diferenciácie materského telesa (napr. Zem, Mars, Mesiac)



Minerálna evolúcia: nový vedecký smer v mineralógii

Princípy vzniku a vývoja minerálnych druhov v čase



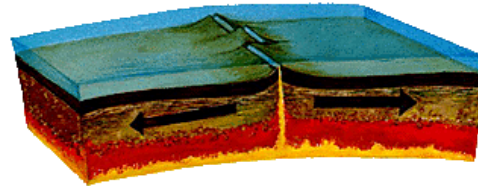
Prof. Robert Hazen, tvorca teórie minerálnej evolúcie (2008)



Evolučné štádiá minerálov na Zemi

4 éry a 10 štádií evolúcie minerálov: rast minerodiverzity počas vývoja Zeme

Éra/Štádium	Vek (mld. rokov)	Počet minerálov
A. Prednebulárna éra: „archeominerály“	> 4.6	> 20
B. Éra vzniku Zeme, planét a menších telies, „paleominerály“	4.6 - 4.55	~ 250
1. Primárne minerály nediferencovaných meteoritov (chondritov)	> 4.56	~ 60
2. Diferenciácia a alterácia zárodkov planét (vznik achondritov)	> 4.56 - 4.55	250
C. Éra prepracovania zemskej kôry a plášťa: „mezominerály“	4.55 - 2.5	1500
3. Diferenciácia magmatických hornín	4.55 - 4.0	~ 500
4. Tvorba granitov a pegmatitov	4.0 - 3.5	↓
5. Vznik platňovej tektoniky	~ 3.0	↓
6. Vznik a vývoj anoxického života	3.9 - 2.5	~ 1500
D. Éra evolúcie minerálov v prostredí bohatom kyslíkom a organizmami: „neominerály“	2.5 - 0	> 4500
7. Veľká oxidačná udalosť	2.5 - 2.1	~ 2000
8. Prechodný oceán	2.1 - 1.0	↓
9. Globálne zaľadnenia Zeme	1.0 - 0.6	↓
10. Fanerozoická tvorba komplexných minerálov ovplyvnená evolúciou organizmov	0.54 - 0	> 4500



Hazen & Ferry 2010, upravené

Evolúcia minerálov: Éra A

Presolárne minerály (>4.6 Ga): > 20 minerálov

Najstaršie - presolárne minerály,

nájdene v meteoritoch -
vek vyše 4.6 mld. rokov

(staršie ako Slnecná sústava):

Diamant C (najstarší minerál ?)

Grafit C

Moissanit SiC

Železo (Fe,Ni)

Ľad H₂O

CO, CO₂, CH₄, NH₃,

Osbornit TiN

Khamrabajevit TiC

ZrC, MoC, FeC

Nierit Si₃N₄

Rutil TiO₂

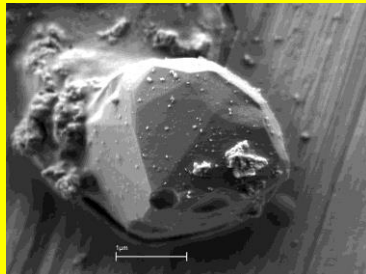
Korund Al₂O₃

Spinel MgAl₂O₄

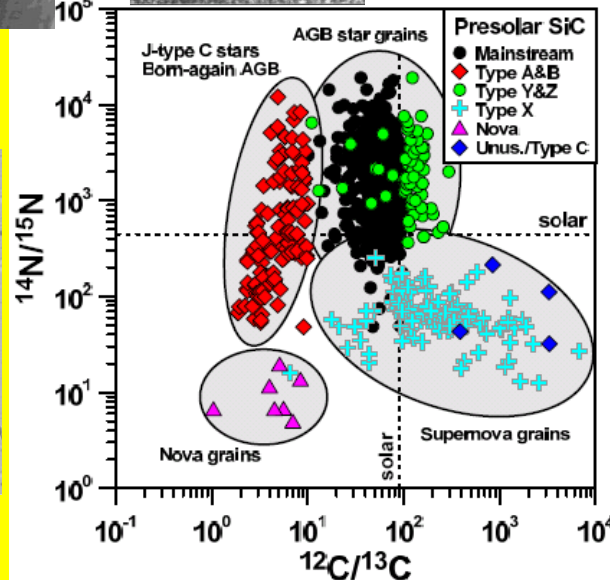
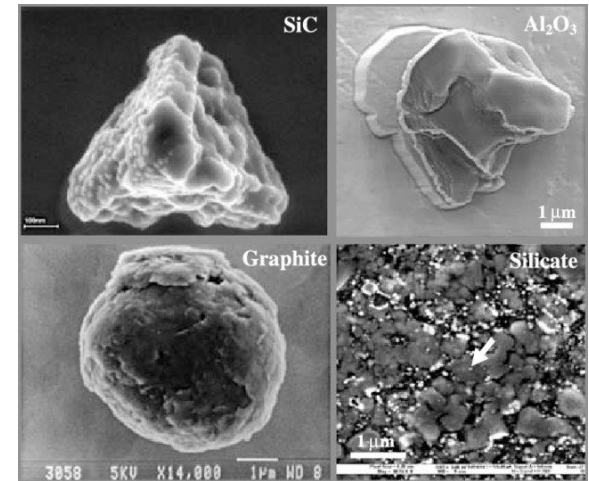
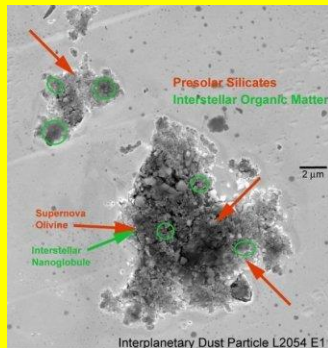
Hibonit CaAl₁₂O₁₉

Bridgmanit MgSiO₃

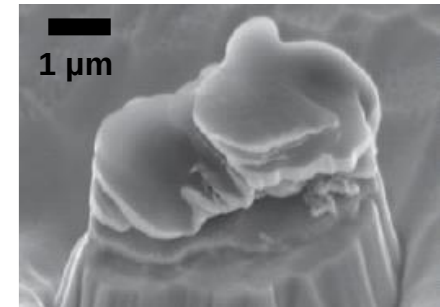
Forsterit Mg₂SiO₄



Nierit

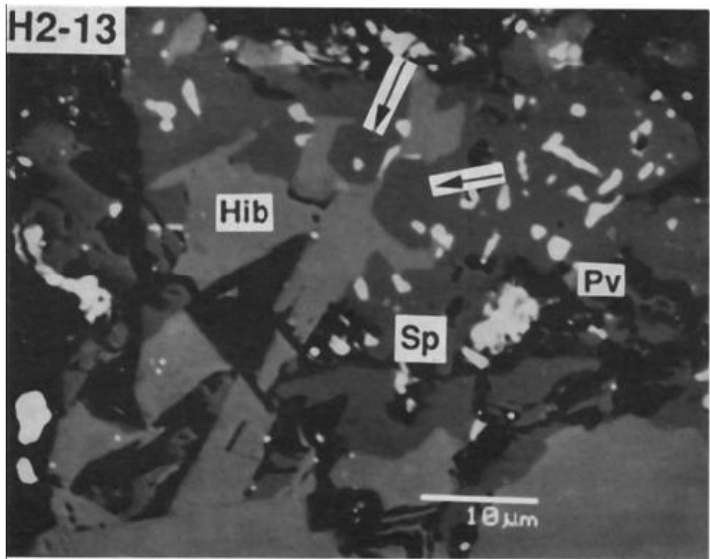


Hibonit



Izotopické
charakteristiky
moissanitu

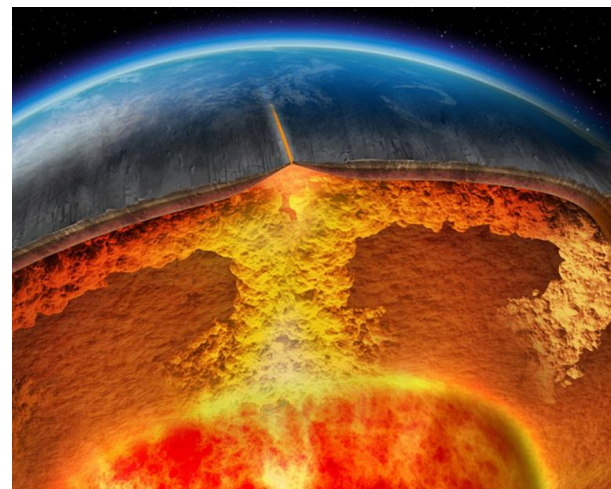
Evolúcia minerálov: **Éra B**
Vznik meteoritov, planetesimál,
Zeme, Mesiaca a planét (4.6 -
4.55 Ga) - **cca 250 minerálov**



Evolúcia minerálov: Éra C

Prvotné prepracovanie zemskej kôry a plášťa (4.55 - 2.5 Ga) -
hadean + archaikum: cca 1500
minerálov

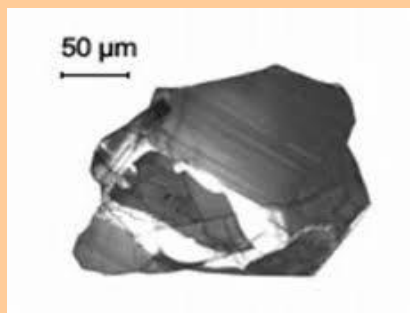
Vznik a vývoj platňovej tektoniky



Vznik a evolúcia organizmov



Najstarší známy minerál,
vzniknutý na Zemi:
zirkón ZrSiO_4
(Jack Hills,
Austrália;
4.4 mld. r.)



Minerály komplexných
vzácnoprvkových pegmatitov:



Objavujú sa pred ~ 3 mld. rokov, napr.:
manganotantalit MnTa_2O_6
beryl $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
elbait $\text{Na}(\text{Al},\text{Li})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH},\text{F})_4$

Evolúcia minerálov: **Éra D**
evolúcie minerálov v prostredí
bohatom kyslíkom a
organizmami: 2.5 - 0 Ga -
cca 4500 známych minerálov



Živočíchy vytvárajú minerály
(kosti, pevné schránky)



libethenit $\text{Cu}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$



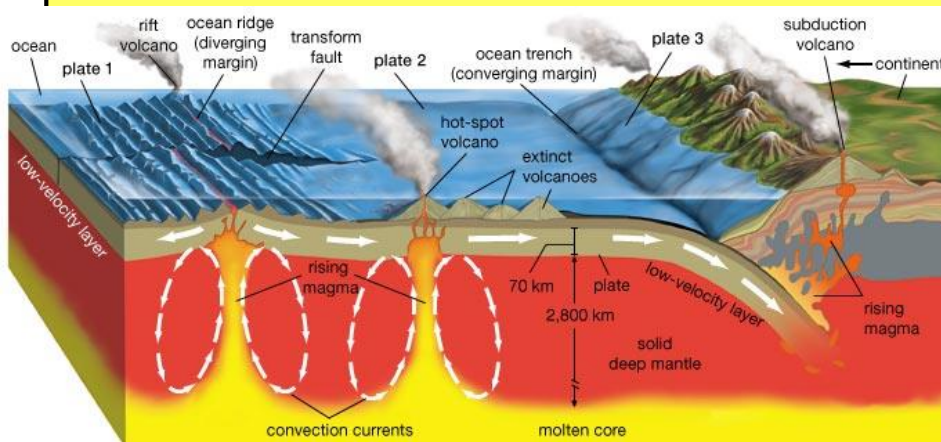


2 zásadné faktory rastu diverzity minerálnych druhov

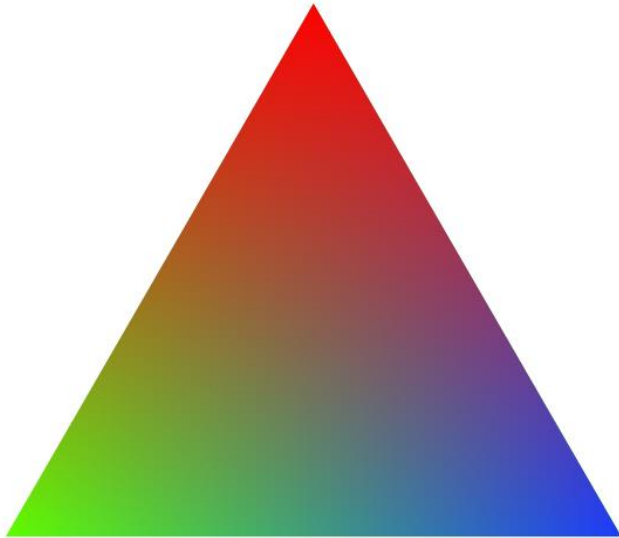


(1) Vznik a rozvoj života: je podmienený evolúciou a diverzitou minerálov a naopak, evolúcia organizmov (najmä cez rast koncentrácie O_2) prudko zvyšuje oxidačné procesy na povrchu zeme a tým aj diverzitu minerálnych druhov

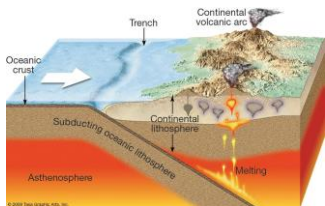
(2) Vznik a rozvoj platňovej tektoniky na Zemi: výrazná diverzifikácia PTX podmienok (rifting, subdukcia, kolízia), spôsobujúca veľkú litologickú pestrosť magmatických a metamorfovaných hornín a tým aj vznik početných nových druhov minerálov



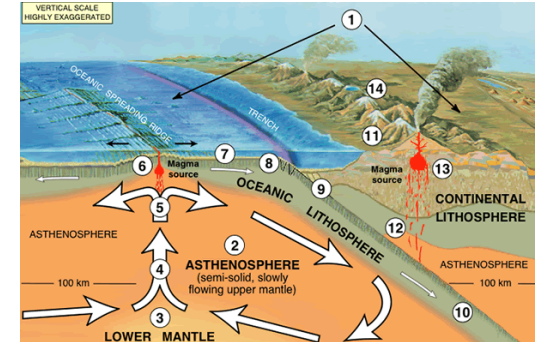
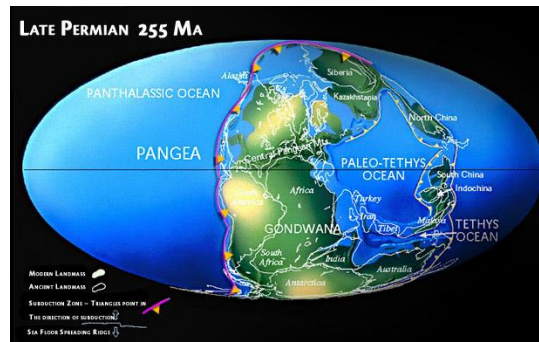
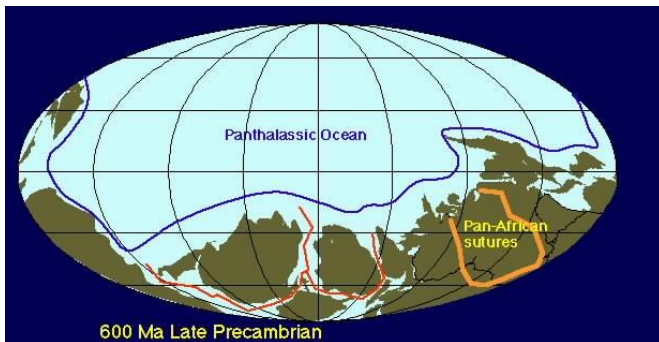
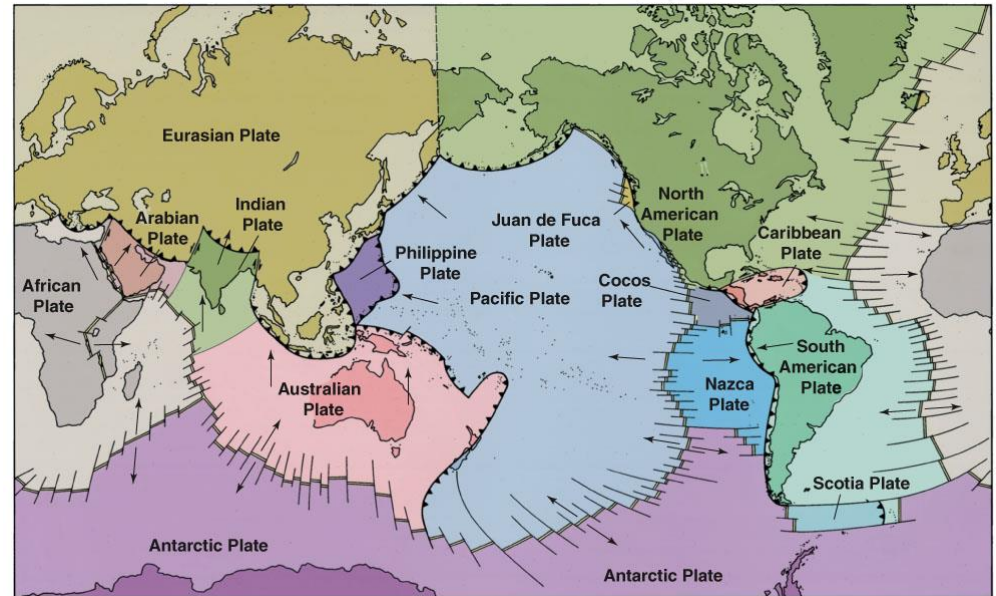
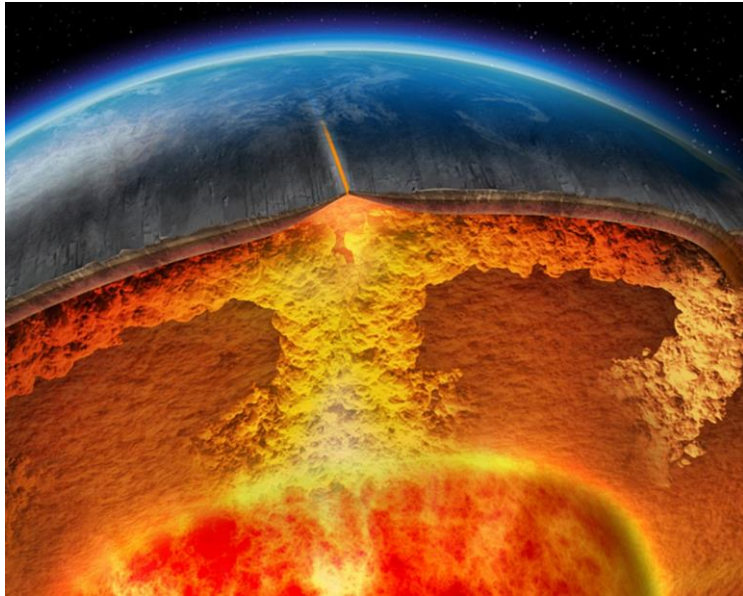
Vzájomná kauzalita medzi evolúciou minerálov, organizmov a platňovou tektonikou (princíp koevolúcie)



- (1) Rast minerodiverzity je podmienený najmä tektonickou evolúciou (platňovou tektonikou) a evolúciou organizmov
- (2) Organizmy sa môžu vyvíjať len v prostredí s dostatočnou minerodiverzitou a diverzitou tektonických štýlov
- (3) Platňová tektonika je výsledkom tektonickej evolúcie, podmienenou diverzitou minerálov a hornín, ako aj existenciou a evolúciou organizmov

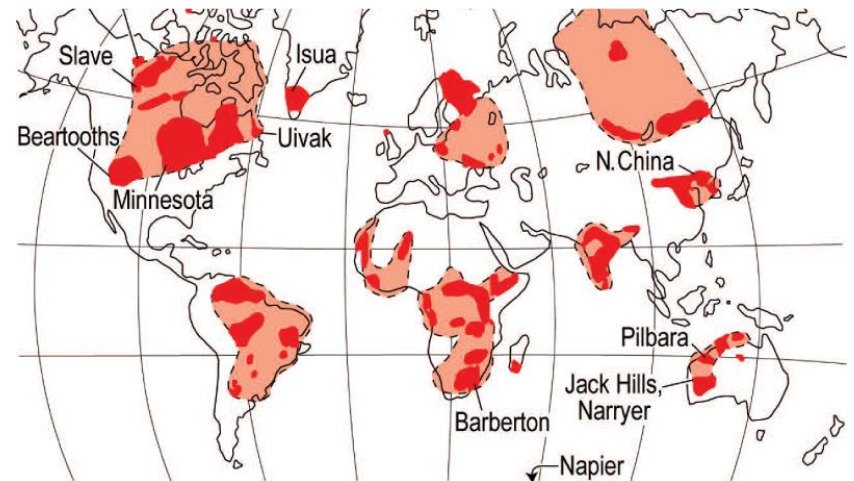
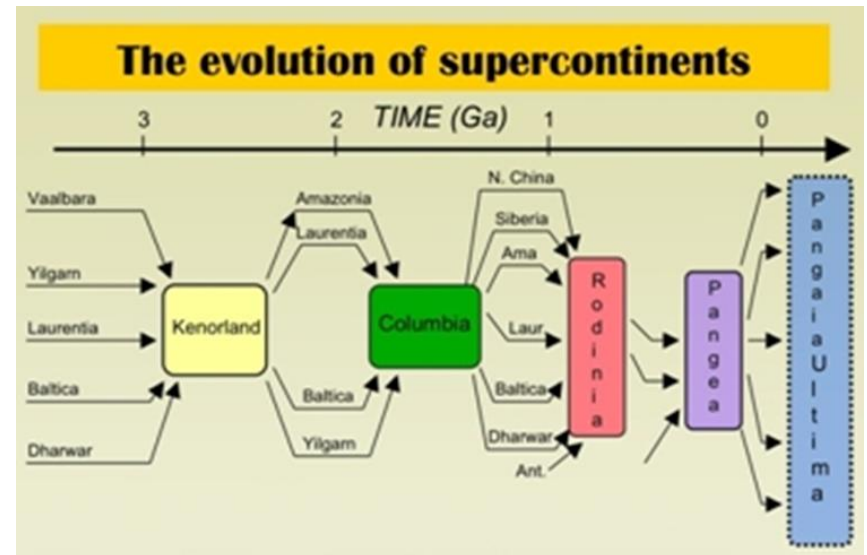


Platňová tektonika: Vznik, pohyb a zánik litosférických platní kontinentov a oceánov ako základný mechanizmus evolúcie litosféry Zeme



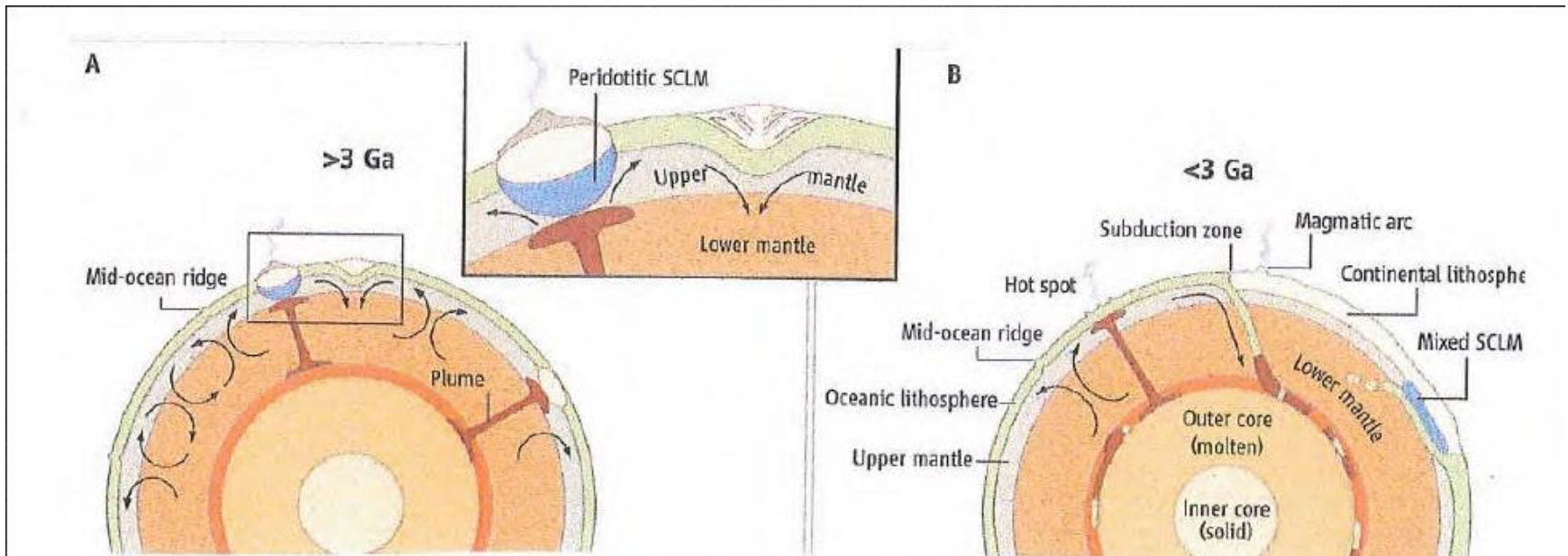
Tvorba kontinentálnych a oceánskych platní: štart platňovej tektoniky

- Zárodky prvých kratónov: $\sim 4 - 3.5$ Ga
- Postupujúca magmatická frakcionácia, metamorfné procesy: prehlbovanie diferenciácie litosféry
- Vznik kontinentálnej a oceánskej kôry: štart platňovej tektoniky ($> 3 - 2.5$ Ga)
- Vznik a rozpady superkontinentov



Evolúcia platňovej tektoniky >

Kedy a ako začala subdukcia ?



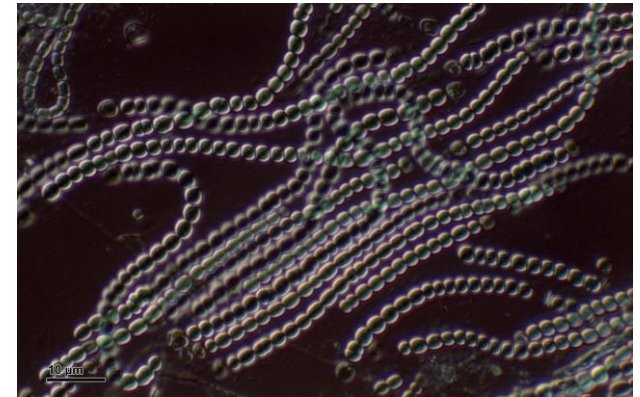
> 3 Ga

< 3 Ga

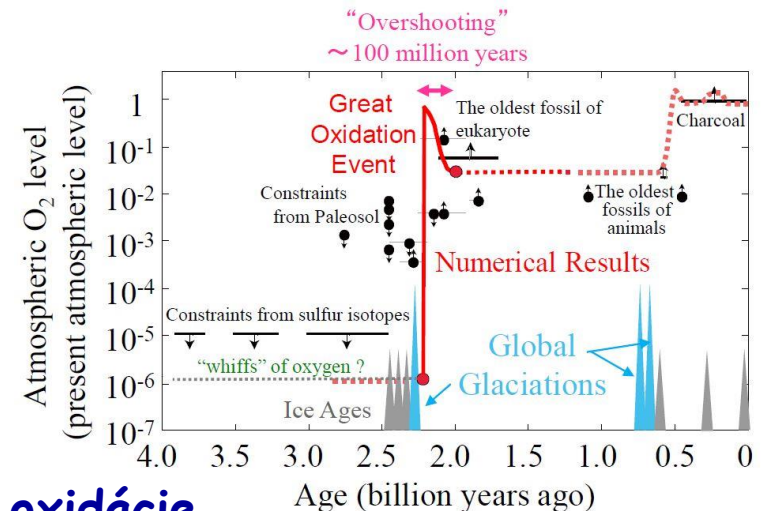
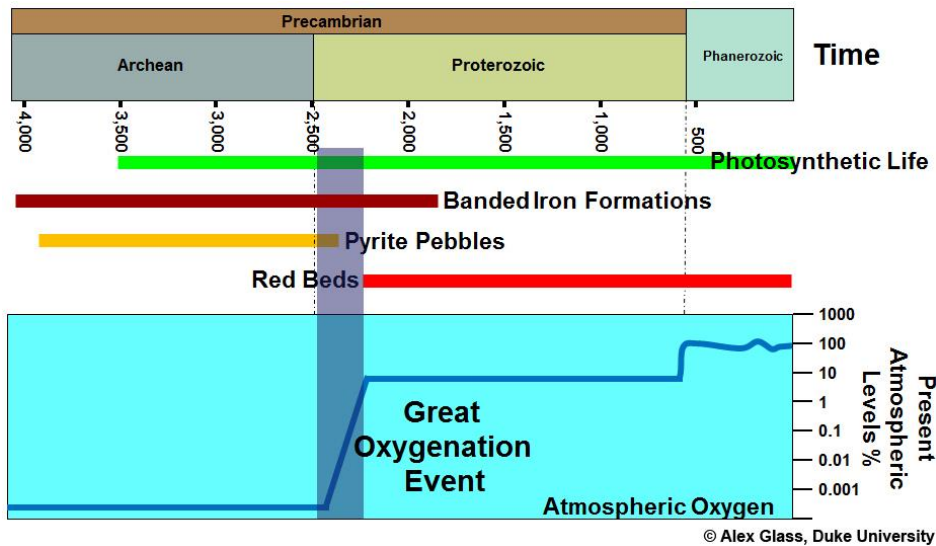
(van Kranendonk 2011)

Veľké oxidačné eventy (GOE) v histórii Zeme

- Činnosť organizmov
- Spôsobujú rast O_2 v atmosfére
- **GOE 1: 2.5 – 2.1 mld. r.**
- **GOE 2: 550 – 540 Ma**

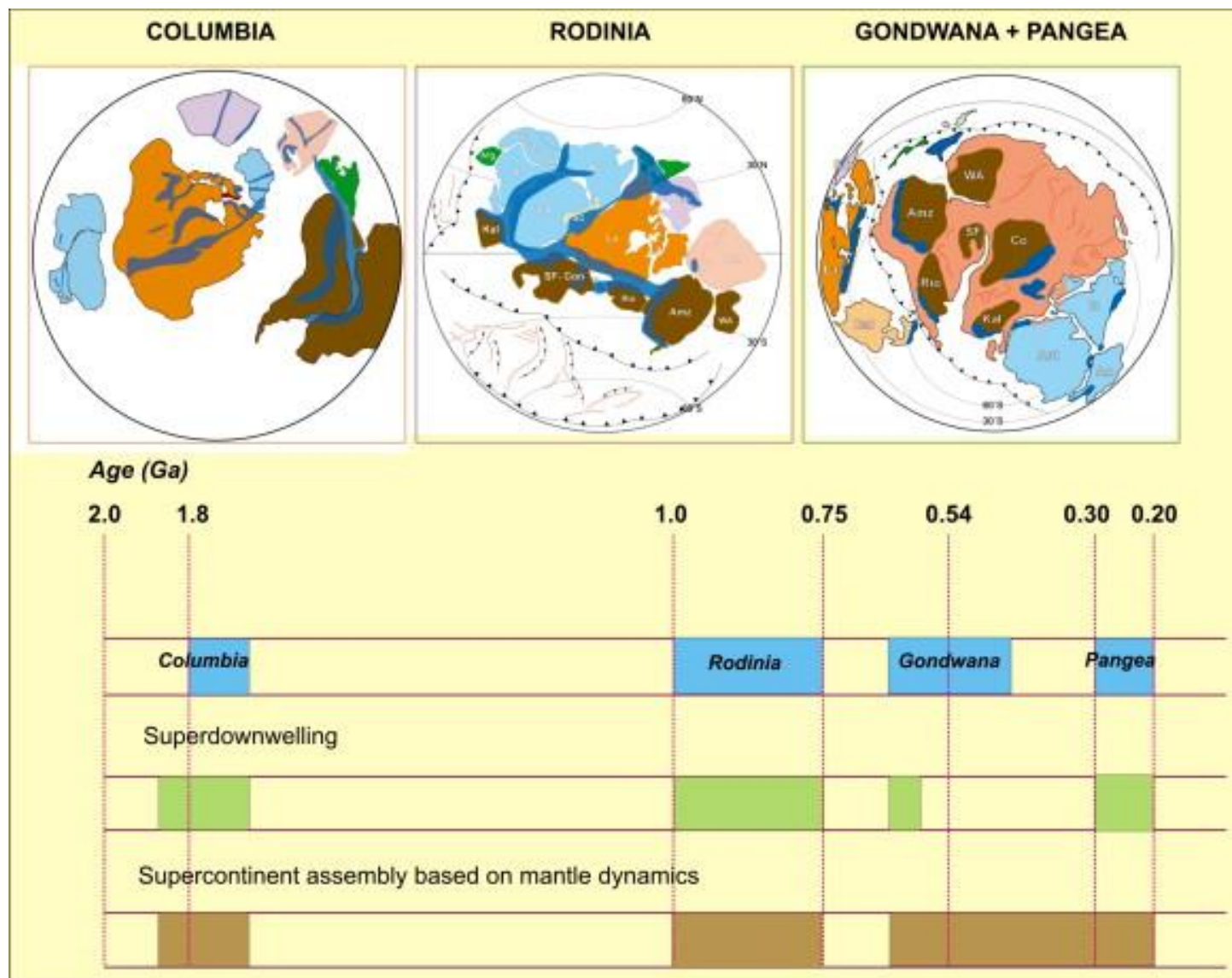


Cyanobaktérie



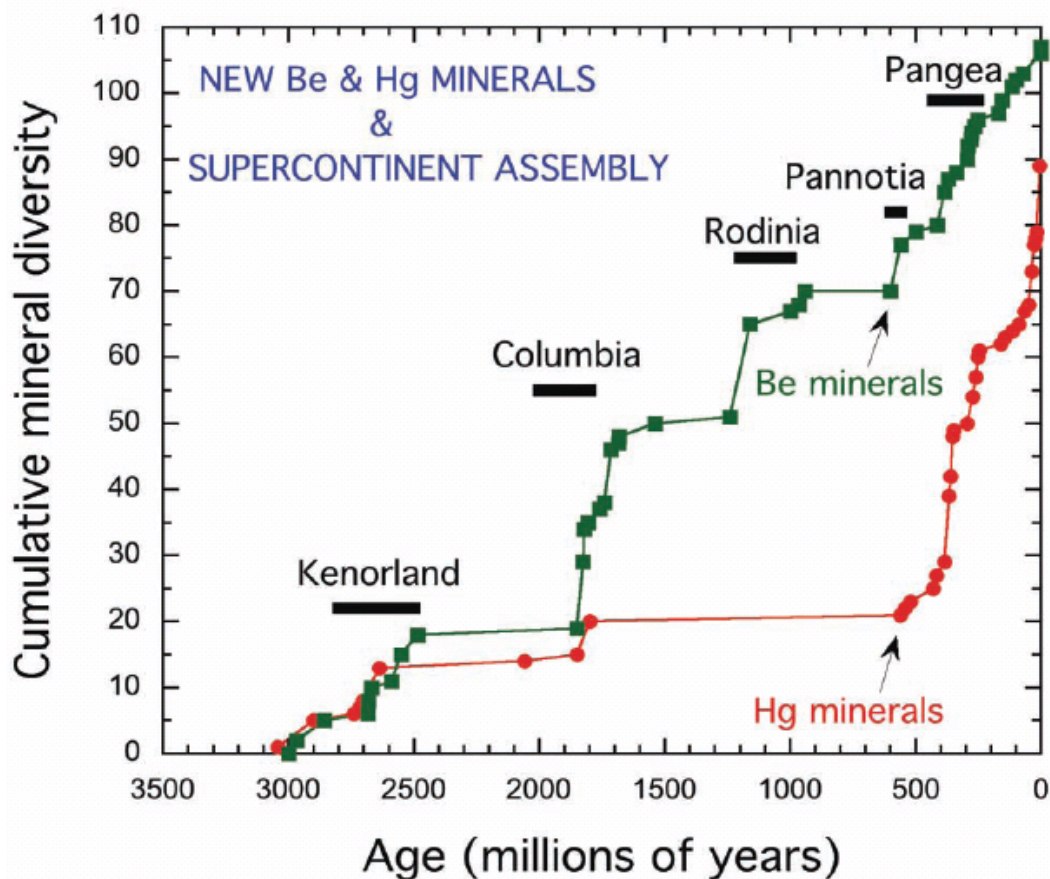
Prudký rast intenzity exogénnych procesov, oxidácie hornín a minerálov = výrazný nárast diverzity minerálov

Evolúcia kontinentálnych a oceánskych platní od proterozoika: rozpady a spájania

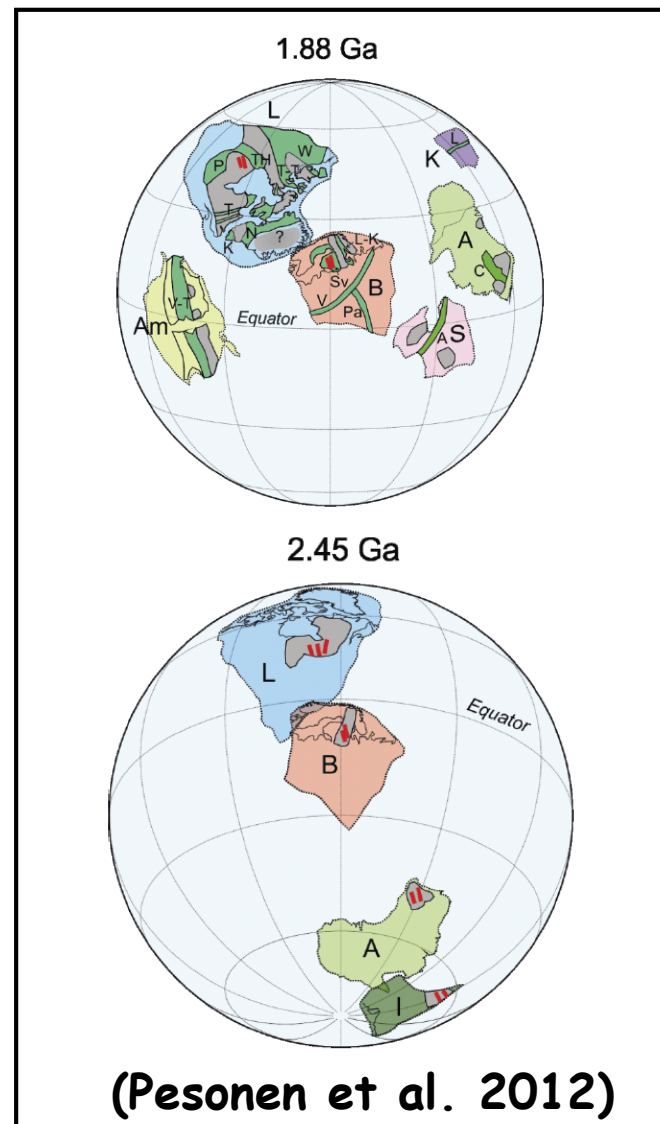




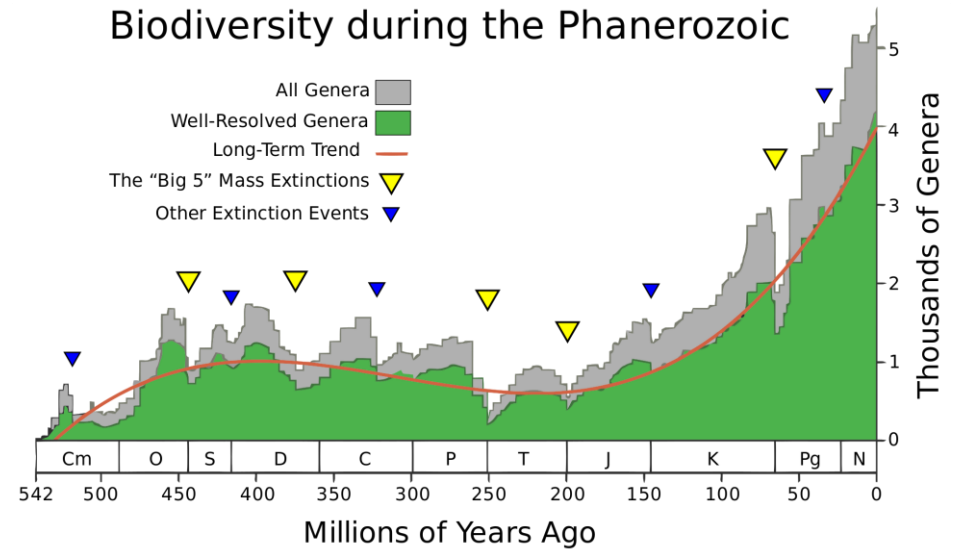
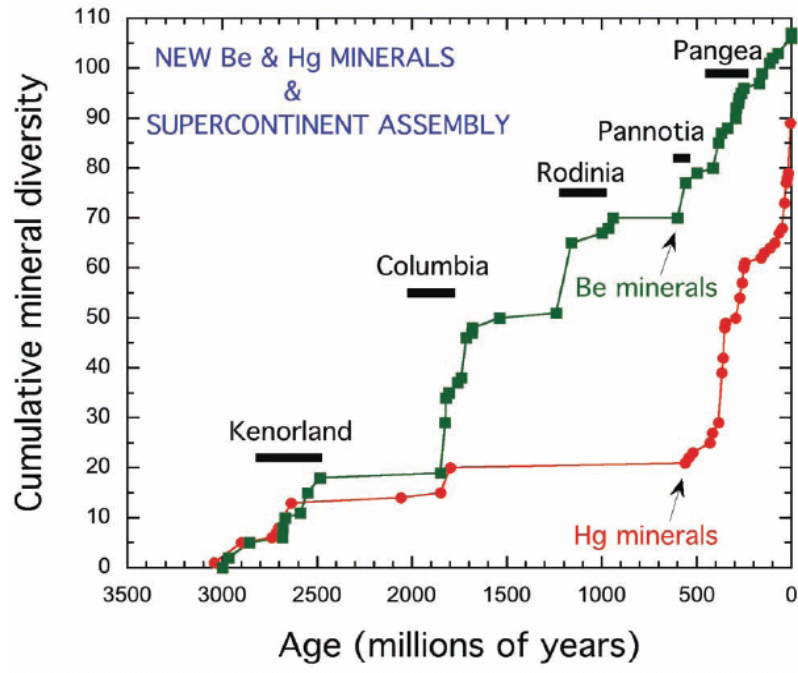
Rast diverzity druhov minerálov počas tektonickej evolúcie Zeme



na príklade minerálov Be a Hg
(Hazen et al. 2012)



Evolúcia diverzity minerálov a organizmov



Minerodiverzita ako výsledok procesov platňovej tektoniky a povrchovej oxidácie

Platňovo-tektonický proces	Genetický typ mineralizácie	Lokalita a vek (Ma)	Počet známych minerálnych druhov
Postorogénny magmatizmus	Nb-Ta pegmatit	Wodgina, AUS (2830 Ma)	50
Kont. rifting	Alk. magmat.	Ilímaussaq (1160 Ma)	230
Kont. rifting	Alk. magmat.	Chibiny (370 Ma)	520
Subdukcia	Vulkanický	Sopka Tolbačik (0 Ma)	230
Postsubdukčná relaxácia	Polymet. hydroterm. žily + oxidácia	Laurion, GR (15 - 0 Ma)	600

Genetické a tektonické procesy urýchlujúce minerodiverzitu

- Kontinentálny rifting, sprevádzajúci rozpad (super)kontinentov: alkalický magmatizmus => vysoká aktivita F fluíd => depolymerizácia magmy a rozpustnosť litofilných prvkov (vrátane REE, Zr, Nb, Ti) = veľká diverzita minerálnych druhov (najmä minerály nefelínových syenitov, alkalických granitov, syenitov a ich pegmatitov)
- Subdukcia: prevažne vápenato-alkalický vulkanizmus => aktívny fluidný režim (H_2O , F, Cl) + vysoká aktivita S = veľká diverzita minerálnych druhov (najmä minerály vulkanických erupcií a emanácií, hydrotermálne a skarnové mineralizácie a ložiská)

Závery

- Kauzalita medzi tektonickou evolúciou (platňovou tektonikou), evolúciou minerálov a organizmov (koevolúcia)
- Rast diverzity minerálnych druhov počas vývoja Zeme: odraz rastu tektonickej a biologickej diverzity
- Diskontinuitný rast minerálnej diverzity, spôsobený najmä globálnymi tektonickými (a biologickými) udalosťami: rifting, subdukcia (oxidácia)