

Geochemie endogenních procesů – 12. část

# Geochemie kůry II

# Kontinentální kůra

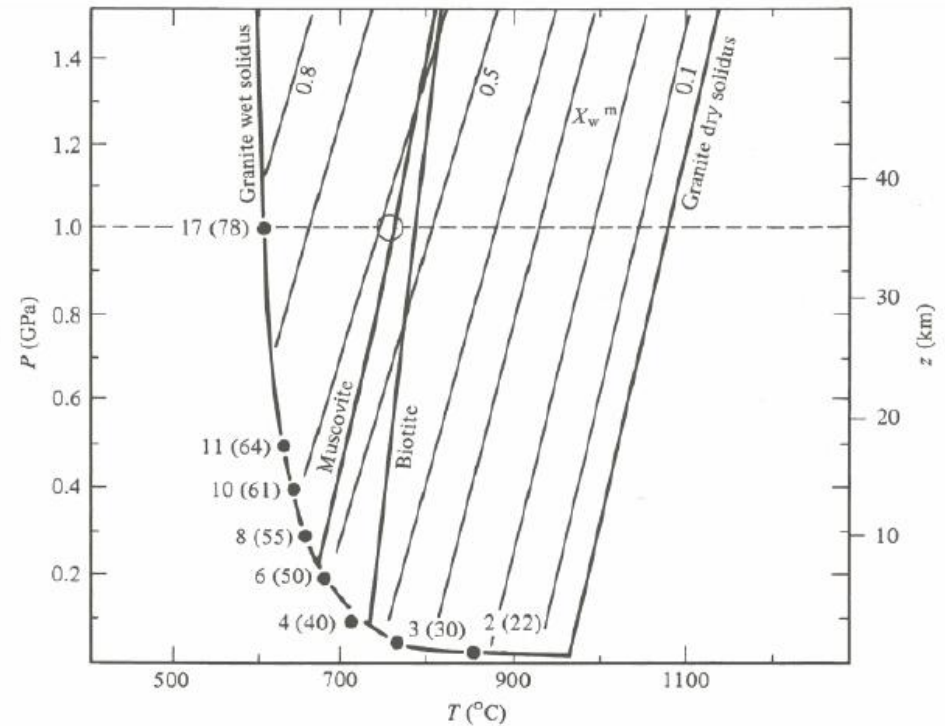
- granitoidy
  - granity
  - diority
  - tonality
  - pegmatity
- bazalty, andezity
- sedimenty
- kimberlity, karbonatity

# Granitoidy

- nejrozšířenější plutonické horniny ve svrchní kůře
- v drtivé většině v asociaci s gabry a diority (velké batolity)
- významný výskyt zejména v oblastech orogenů (ztluštění kůry)
- ke vzniku granitoidů je nutné termální narušení (prohřátí kůry např. od plášťových magmat apod.)

# Vznik granitů

- obrovská role vody
- rozpady slíd (muskovit, biotit)

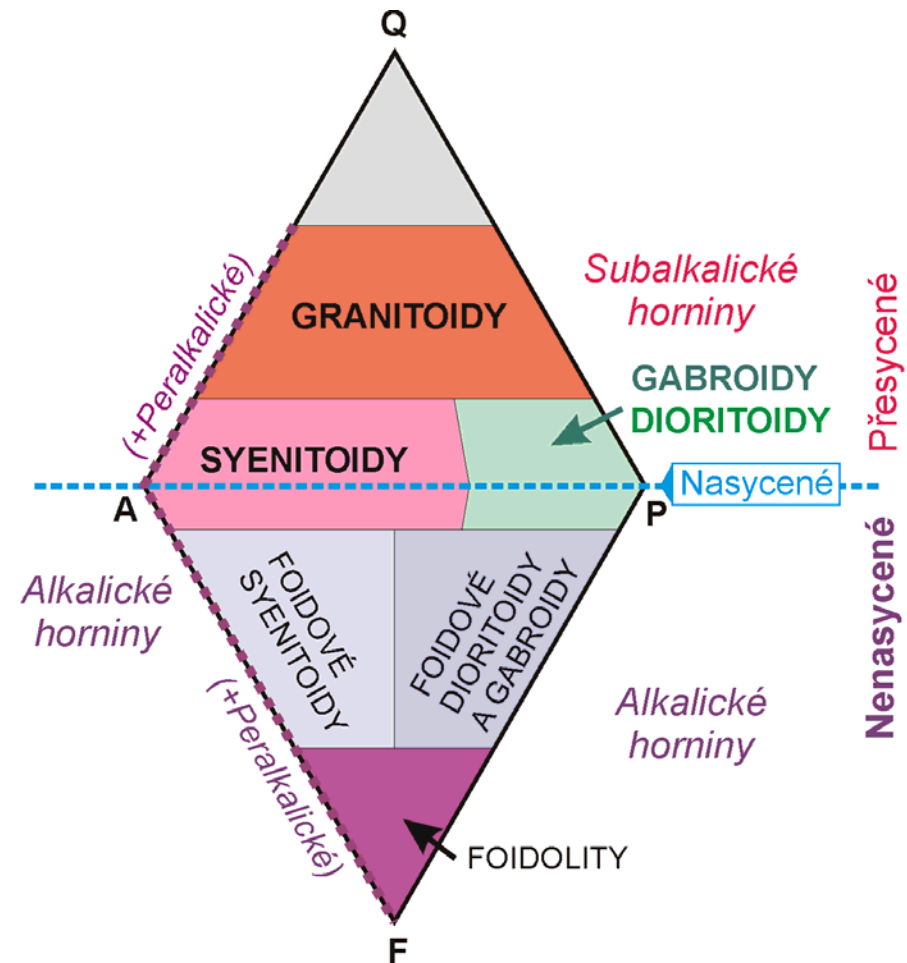


# Klasifikace granitů

- MODÁLNÍ – jednoduchý výpočet, ale nic to neříká o vzniku a vývoji
- HLOUBKA – hloubkové umístění granitů v kontinentální kůře
- CHEMICKÉ – odvození vzniku a vývoje granitového tělesa
- TEKTONICKÉ – modely umístění granitu vzhledem k vývoji orogenu

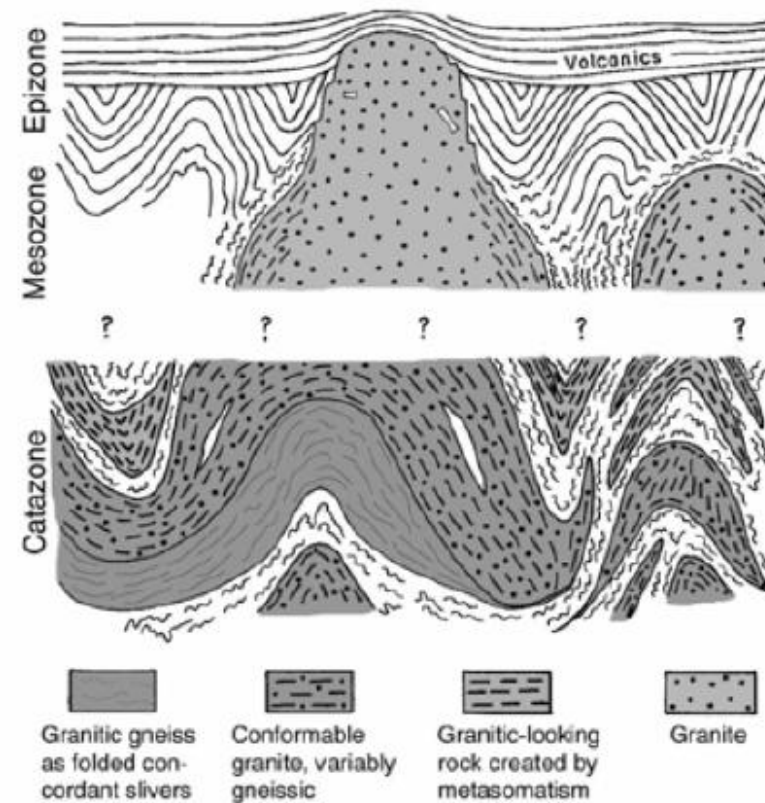
# Modální klasifikace granitoidů

- systém QAPF
- klasifikace podle stupně nasycení  $\text{SiO}_2$



# Hlubková klasifikace granitů

- DODELAT



*Buddington et al. (1959)*

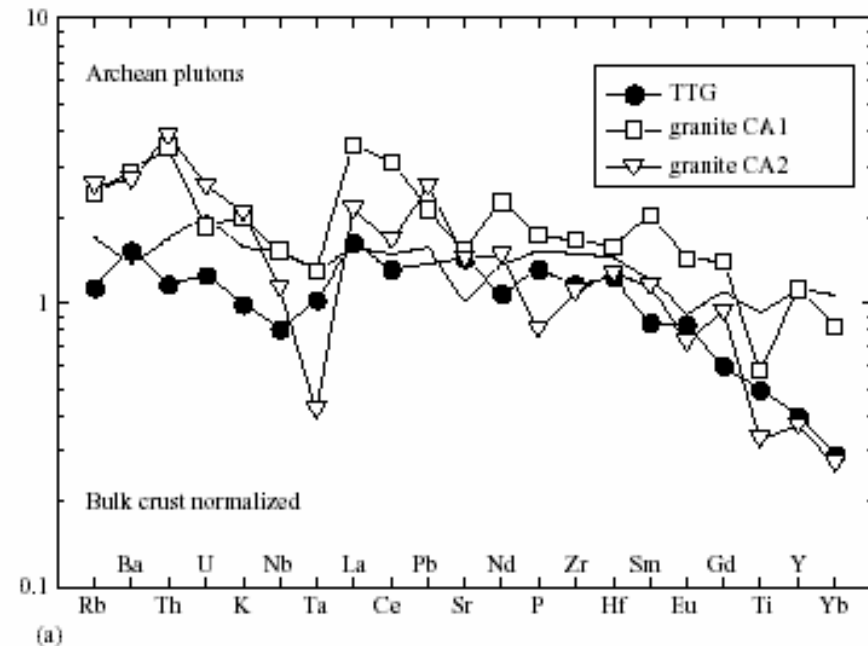
# Geochemický vývoj granitoidů Archaikum

## ■ TTG série

- vysoký obsah  $\text{Na}_2\text{O}$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Sr a LREE a nízký obsah  $\text{K}_2\text{O}$  a HREE ve srovnání s pozdějšími granitoidy
- obsahy stopových prvků blízké plášti => odvození pravděpodobně z hydratovaných (meta)bazaltů ve stabilním poli granátu

## ■ Pozdně archaické granitoidní horniny

- Relativně více  $\text{K}_2\text{O}$  než TTG
- Vznik přetavováním hornin intermediálního a sedimentárního

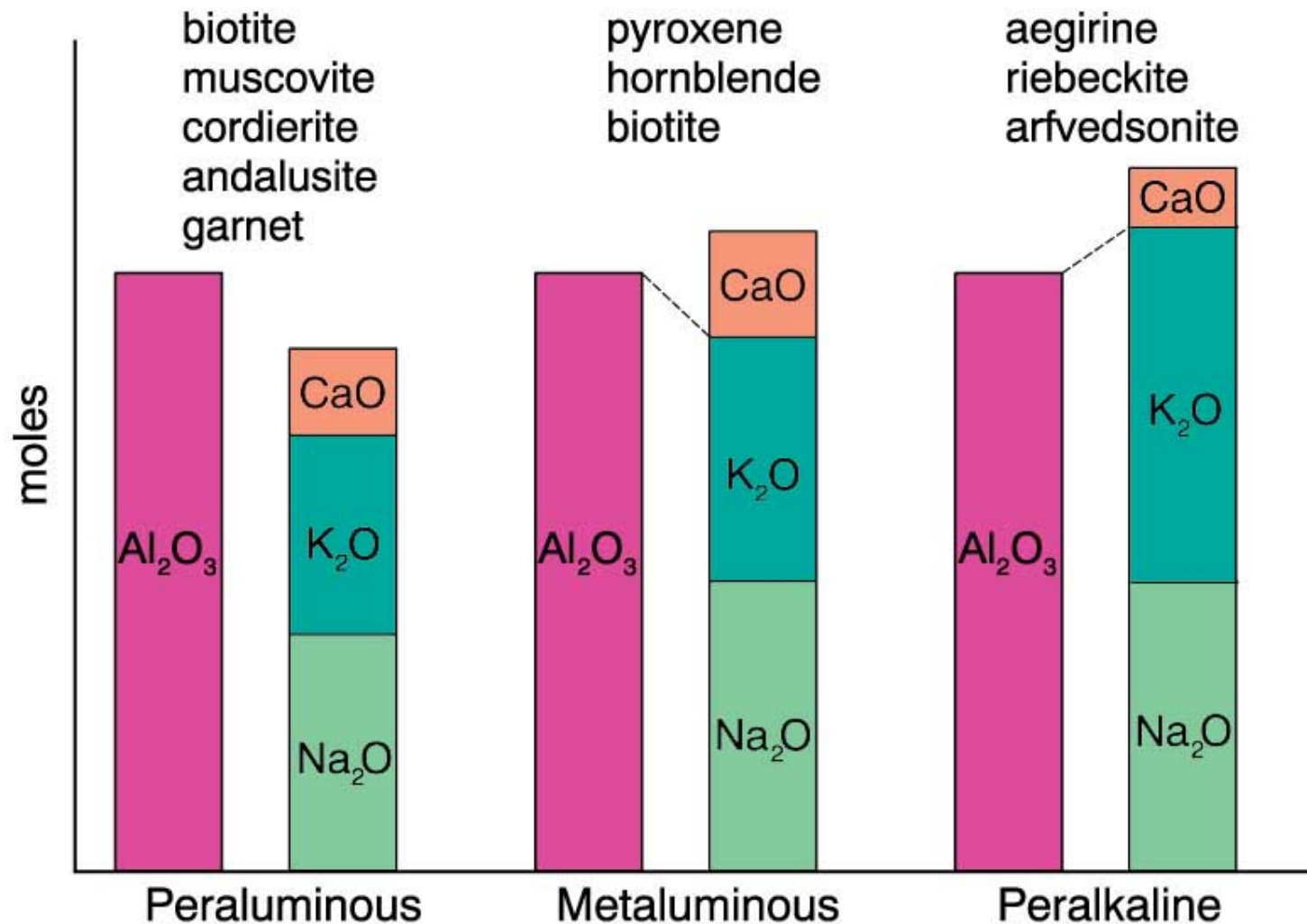




# Geochemický vývoj granitoidů Proterozoikum-Fanerozoikum

- velké množství různých druhů granitoidů
- obecně vyšší obsahy HREE a výraznější Eu anomálie než TTG
- dosažení teploty potřebné k tavení je často vázáno na výstup vysoce temperovaných magmat z pláště  
=> hojné interakce magmat plášťového a korového původu
- dělení založeno na povaze zdrojového materiálu

# Chemická klasifikace granitů (A/CNK)



# Chemická klasifikace granitů

## ■ Peraluminické leukogranity (S-typ)

- vznik výhradně natavováním pre-existujících korových hornin (v klasickém pojetí metapelitů a metadrob)
- reprezentuje mohutné vertikální redistribuce korové hmot
- typicky vázán na kolizní zóny

## ■ Anorogenní granity (A-typ)

- nabožení K (často peralkalické), zvýšené obsahy Zr, Y, Nb
- výskyt často v mělce podpovrchových podmínkách na intrakontinentálních riftech popř. v postkolizních prostředích

# Chemická klasifikace granitů

- **Granity formované z nezralého, z pláště odvozeného materiálu (I-typ)**
  - jsou produktem diferenciací bazaltických či intermediálních magmat
  - reprezentují formování nové kontinentální kůry
  - výskyty na MOR (podružné množství), oceánských ostrovních obloucích či na OI
- **Plášťové granity (M-typ)**
  - představují produkt extrémní diferenciací bazických magmat pocházejících ze svrchního pláště

# Chemická klasifikace granitů

Table 18-3. The S-I-A-M Classification of Granitoids

Type	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	Ca, Sr	A/(C+N+K)*	Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup>	Cr, Ni	δ <sup>18</sup> O	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	Misc	Petrogenesis
<b>M</b>	46-70%	low	high	low	low	low	< 9‰	< 0.705	Low Rb, Th, U Low LIL and HFS	Subduction zone or ocean-intraplate Mantle-derived
<b>I</b>	53-76%	low	high in mafic rocks	low: metal- uminous to peraluminous	moderate	low	< 9‰	< 0.705	high LIL/HFS med. Rb, Th, U hornblende magnetite	Subduction zone Intracrustal Mafic to intermed. igneous source
<b>S</b>	65-74%	high	low	high  metaluminous	low	high	> 9‰	> 0.707	variable LIL/HFS high Rb, Th, U biotite, cordierite Als, Grt, Ilmenite	Subduction zone  Supracrustal sedimentary source
<b>A</b>	high → 77%	Na <sub>2</sub> O high	low	var peralkaline	var	low	var	var	low LIL/HFS high Fe/Mg high Ga/Al High REE, Zr High F, Cl	Anorogenic Stable craton Rift zone

\* molar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)

Data from White and Chappell (1983), Clarke (1992), Whalen (1985)

# Klasifikace granitů (S-I-M-A)

## „Problémy“

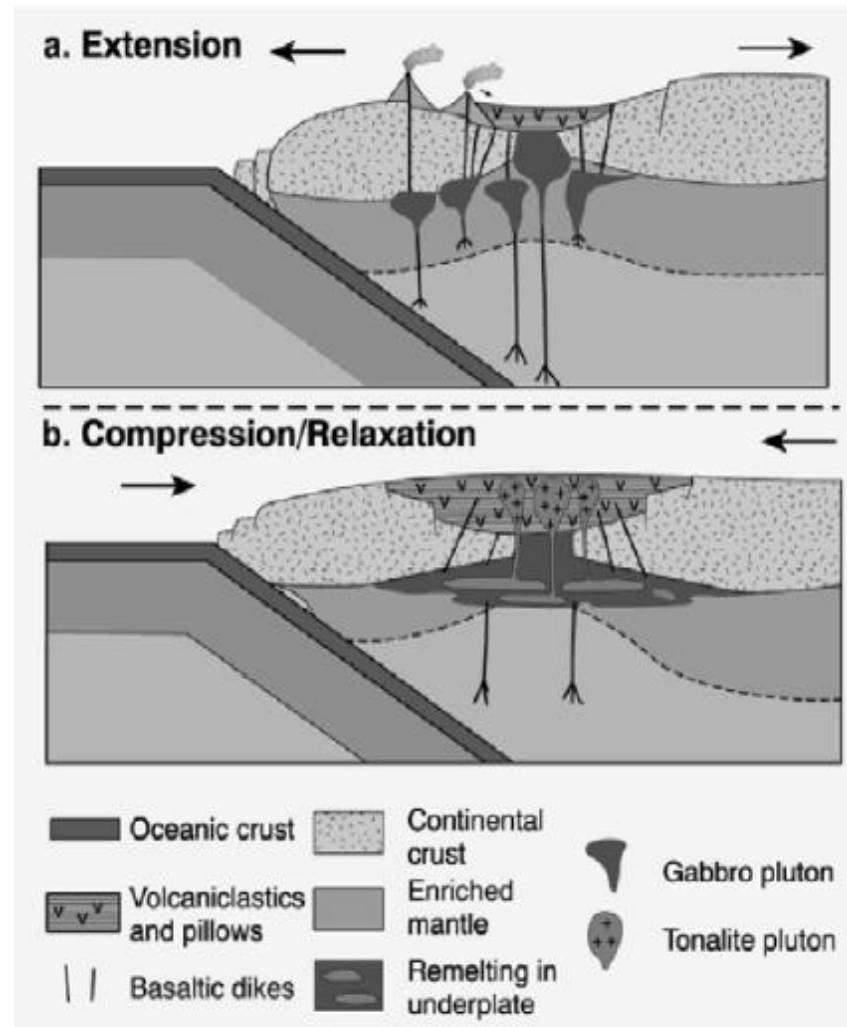
- směs klasifikace podle zdroje (I, S), procesu/zdroje (M), geotektonické pozice (A)
- kritéria nejednoznačná (peralum. granit může vzniknout frakcionací z I-typu)
- v rámci jedné genetické skupiny může vzniknout celé spektrum složení, jako funkce p-T-X
- přílišné zjednodušení (např. hybridizace, horniny ve zdroji jsou směsí)

# Vznik granitů

- většina granitoidních hornin nevznikla diferenciací bazického magmatu
- parciální tavení kontinentální kůry je **základním** mechanismem vzniku granitoidů
- stupeň parciálního tavení je silně ovlivněn (ne-li přímo umožněn) přítomností volatilních komponent, především pak vody
- významný podíl na tvorbě granitoidních hornin má též míšení magmat plášťového a korového původu
- mnohé geochemické anomálie granitoidů jsou vysvětlovány mechanismem frakční krystalizace, která tak hraje neméně významnou roli při tvorbě

# Vznik granitů – Model 1

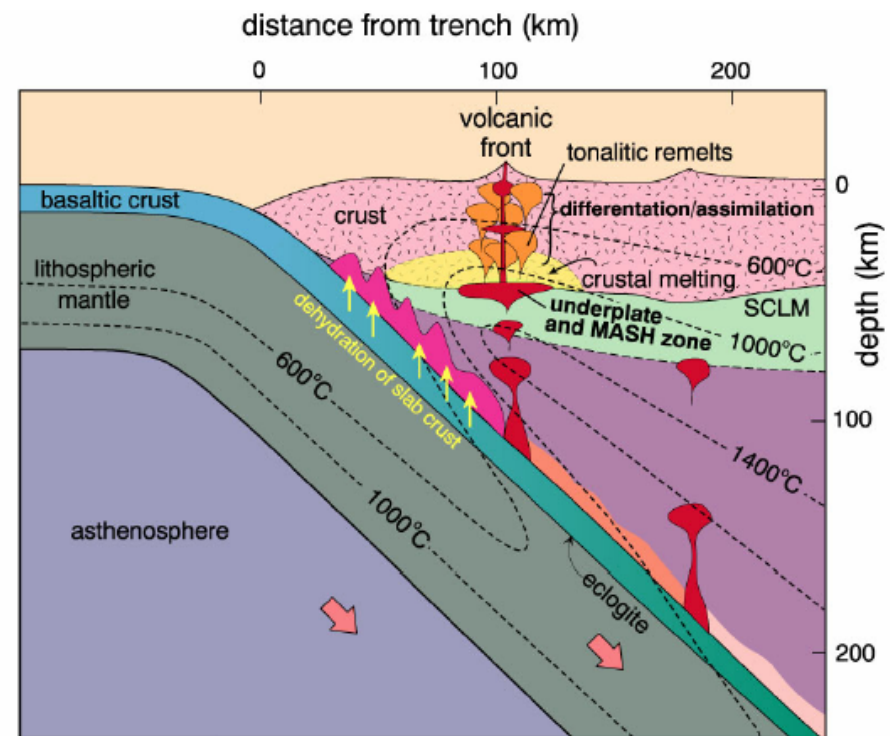
- „underplating“ kůry magmaty vázanými na subdukci
- tavení zóny kde nastal „underplating“ → tonality
- diferenciacce tonalitů (nebo AFC) → granity





# Vznik granitů – Model 2

- „underplating“ kůry magmaty vázanými na subdukci
- extenzivní frakcionace mafických magmat spojená s asimilací a tavením kůry → homogenizace (zóna MASH)



[http://www.whitman.edu/geology/winter/JDW\\_PetClass.htm](http://www.whitman.edu/geology/winter/JDW_PetClass.htm)

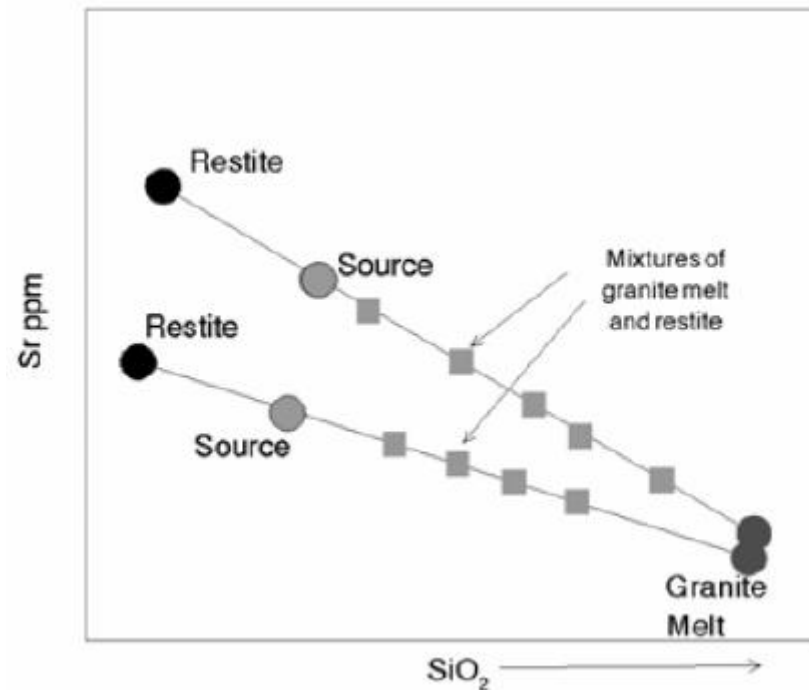
# Mafické inkluze v granitech

## Reziduum vs. mixing

- většinou čím více mafický granit → tím více mafické inkluze
- části mafické taveniny?
- reziduum krustálních hornin (nebo „underplating“ tavenin) po vytvoření granitů?
- **OBR MAFICKEJCH INKLUZI**

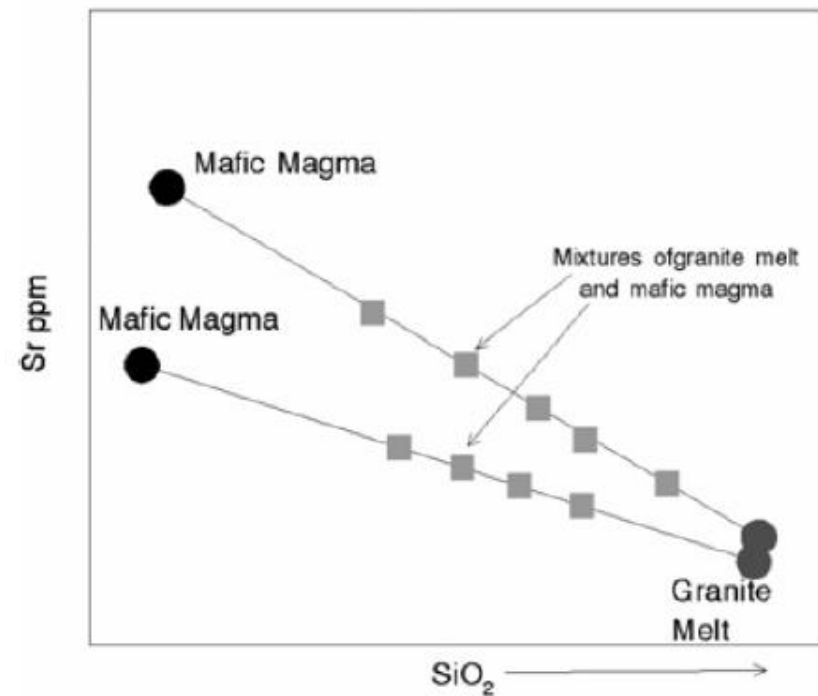
# Vznik granitů – Model 3

- tavení zdroje (S nebo I) → granitoidní tavenina
- reziduum reprezentují mafické inkluze
- rozdílné složení granitoidů (granit-granodiorit) → mix granitoidní taveniny a rezidua



# Vznik granitů – Model 4

- tavení zdroje (S nebo I) → granitoidní tavenina
- Přínos mafického magmatu (plášť) → mixing → rozdílné složení granitoidů (granit-granodiorit)



# Tektonická klasifikace granitoidů

	OROGENIC			TRANSITIONAL	ANOROGENIC	
	Oceanic Island Arc	Continental Arc	Continental Collision	Post-Orogenic Uplift/Collapse	Continental Rifting, Hot Spot	Mid-Ocean Ridge, Ocean Islands
<b>Examples</b>	Bougainville, Solomon Islands, Papua New Guinea	Mesozoic Cordilleran batholiths of west Americas Gander Terrane	Manaslu and Lhotse of Nepal, American Massif of Brittany	Late Caledonian Plutons of Britain, Basin and Range, late Variscan, early Northern Proterozoic	Nigerian ring complexes, Oslo rift, British Tertiary Igneous Province, Yellowstone hotspot	Oman and Troodos ophiolites; Iceland, Ascension, and Reunion Island intrusives
<b>Geo-chemistry</b>	Calc-alkaline > thol. M-type & I-M hybrid Metaluminous	Calc-alkaline I-type > S-type Met-Al to sl. Per-Al	Calc-alkaline S-type Peraluminous	Calc-alkaline I-type S-type (A-type) Metalum. to Peralum	Alkaline A-type Peralkaline	Tholeiitic M-type Metaluminous
<b>Rock types</b>	qtz-diorite in mature arcs	tonalite & granodior. > granite or gabbro	migmatites & leucogranite	bimodal granodiorite + diorite-gabbro	Granite, syenite + diorite-gabbro.	Plagiogranite
<b>Associated Minerals</b>	Hbl > Bt	Hbl, Bt	Bt, Ms, Hbl, Grt, Als, Crd	Hbl > Bt	Hbl, Bt, aegirine fayalite, Rbk, arfved.	Hbl
<b>Associated Volcanism</b>	Island-arc basalt to andesite	Andesite and dacite in great volume	often lacking	basalt and rhyolite	alkali lavas, tuffs, and caldera infill	MORB and ocean island basalt
<b>Classification</b> Barbarin (1990)	T <sub>IA</sub> tholeiite island arc	H <sub>CA</sub> hybrid calc-alkaline	C <sub>ST</sub> C <sub>CA</sub> C <sub>CI</sub> continental types	H <sub>LO</sub> hybrid late orogenic	A alkaline	T <sub>OR</sub> tholeiite ocean ridge
Pearce <i>et al.</i> (1984)	VAG (volcanic arc granites)			COLG (collision granites)	WPG and ORG (within plate and ocean ridge granites)	
Maniar & Piccoli (1989)	IAG island arc granite	CAG contin. arc granite	CCG cont. collision gran.	POG post-orogenic gran.	RRG CEUG rift & aborted/hotspot	OP ocean plagiogranite
<b>Origin</b>	Partial melting of mantle-derived mafic underplate	PM of mantle-derived mafic underplate + crustal contribution	Partial melting of recycled crustal material	Partial melting of lower crust+ mantle and mid-crust contrib	Partial melting of mantle and/or lower crust (anhydrous)	Partial melting of mantle and fractional crystallization
<b>Melting Mechanism</b>	Subduction energy: transfer of fluids and dissolved species from slab to wedge. Melting of wedge, transfer of heat upward		Tectonic thickening plus radiogenic crustal heat	Crustal heat plus mantle heat (rising asthen. + magmas)	Hot spot and/or adiabatic mantle rise	

# Pegmatity

- extrémně diferenciované horniny granitoidního složení
- většinou doprovází velká granitoidní tělesa
- tvoří žíly, čočky, velká masivní tělesa
- silné nabohacení volatilními složkami ( $H_2O$ , B, F, Cl) a vzácnými prvky (Li, Rb, REE, U, Th)
- častá zonálnost (Q nebo KfS jádro, „písmenkovaná“ žula, hrubo- vs. jemnozrnné partie)

# Geneze pegmatitů

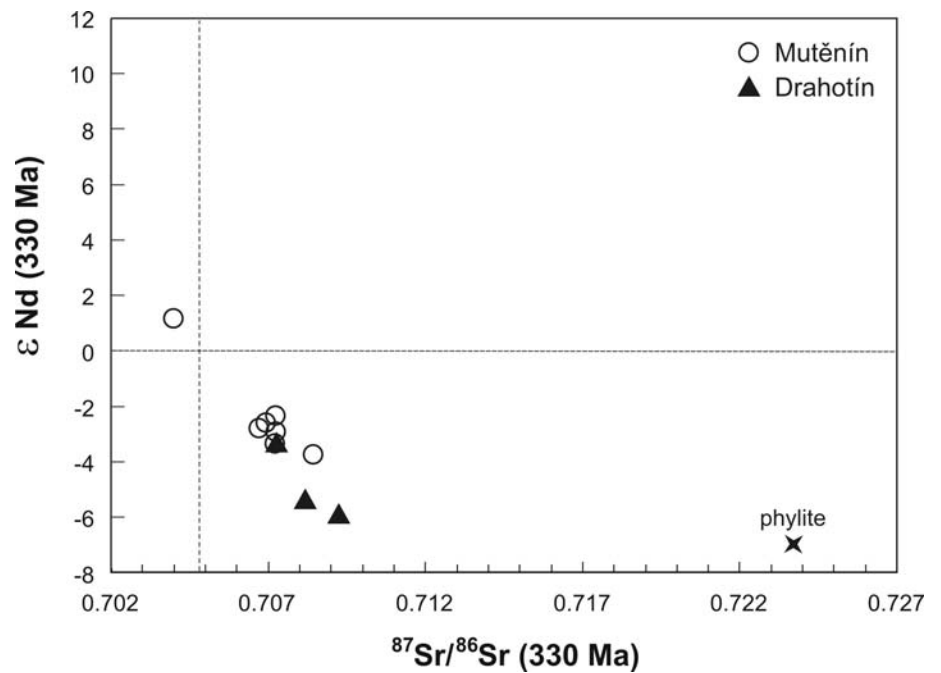
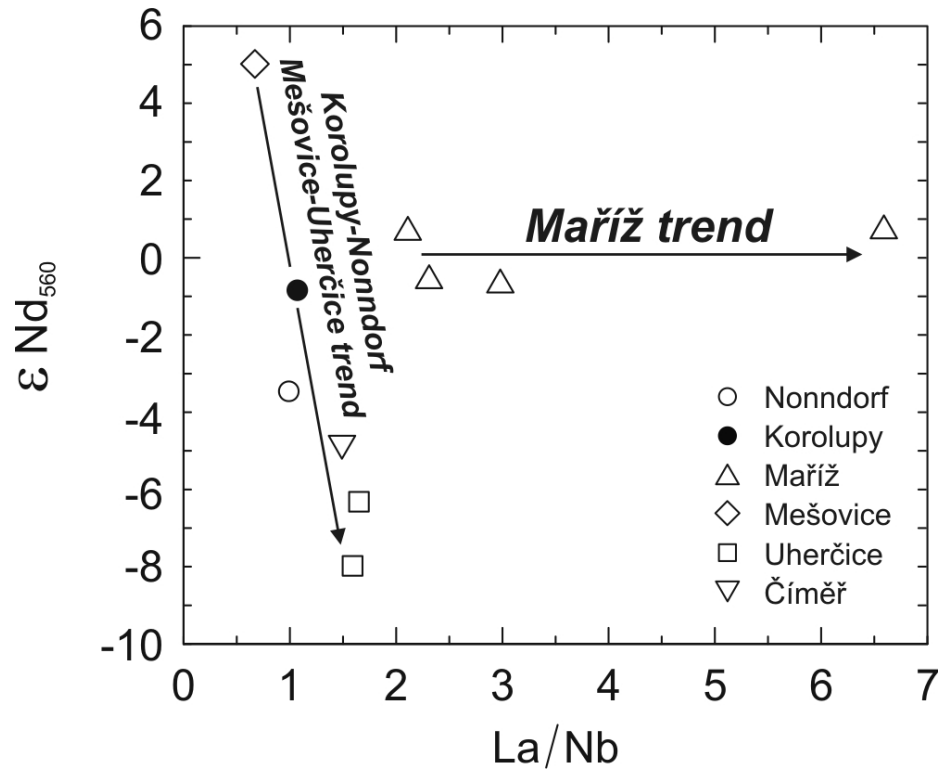
- krystalizace magmatu v dokonale uzavřeném prostoru, v uzavřeném nebo omezeně otevřeném systému
- vysrážení z roztoků v otevřeném systému
- rekrystalizace nebo/a metasomatóza původních hornin, které neměly pegmatoidní složení
- kombinace předchozích procesů s metasomatickým zatlačováním fluidy z pegmatitového nebo vnějšího zdroje

# Kontinentální gabra

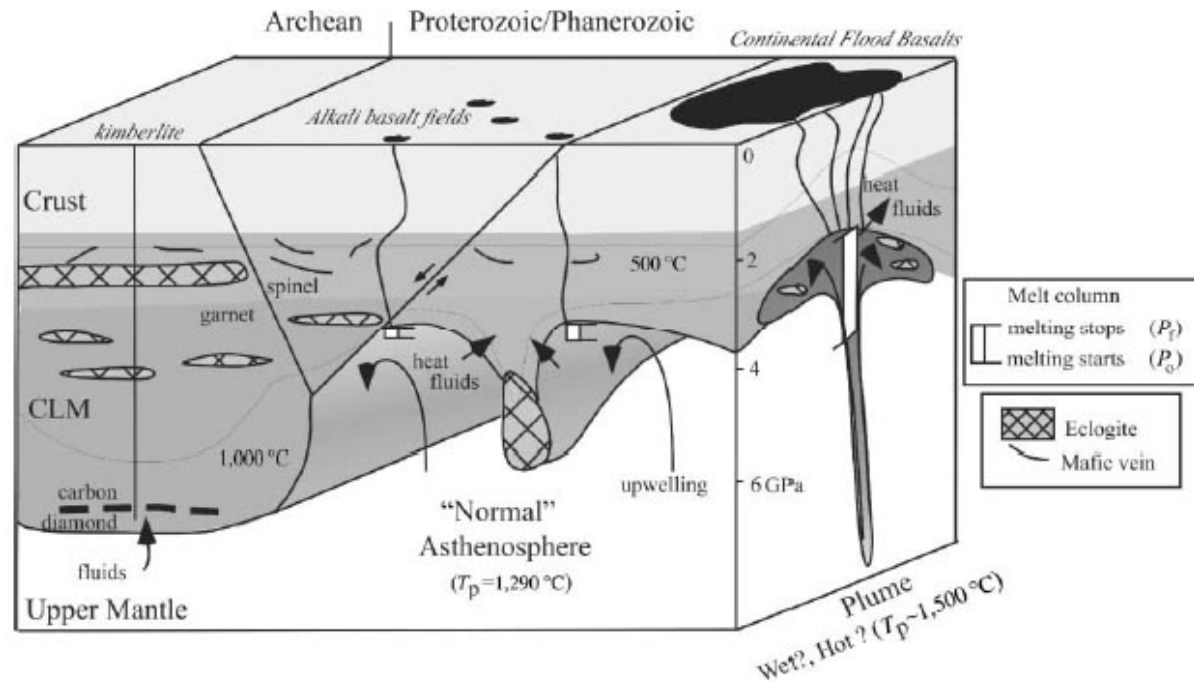
- velmi časté v orogenních oblastech (spjaté s granitoidy)
  - převážně mírně až silně alkalické složení
  - silná role FC a AFC procesů (underplating)
- oceánská gabra (ofiolity) → gabra velmi primitivního složení (ale většinou silně frakcionovaná)



# Kontinentální gabra



# Kontinentální magmatismus

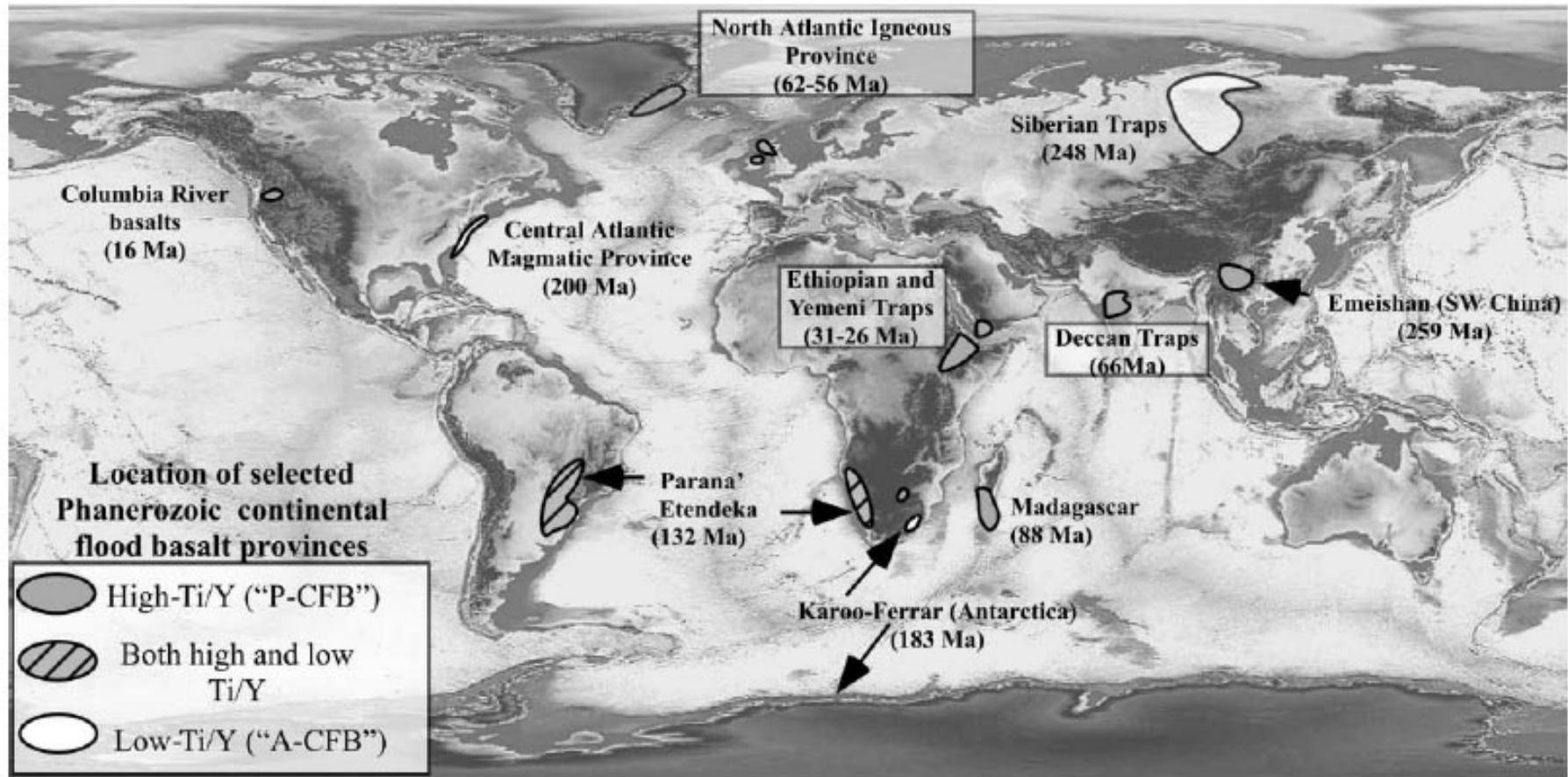


- kontinentální plató bazalty (CFB), alkalické bazalty, kimberlity, lamproity
- derivace magmat z heterogenní kontinentální litosféry (SCLM) + FC/AFC

# Kontinentální plató bazalty (CFB)

- součástí tzv. LIP (Large Igneous Provinces)
- výlevy bazaltů od ~200 000 km<sup>3</sup> do 2 000 000 km<sup>3</sup> v průběhu **pouze** ~ 1-3 Ma
- bazalty tholeitického složení s častými Fe-Ti oxidy → nízké #Mg a Fe<sup>3+</sup> a vysokým obsahem SiO<sub>2</sub> (49-57 %) → primární taveniny prošly silnou diferenciací (velká role H<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub>)

# Kontinentální plató bazalty (CFB)



# Geochemie CFB

- **Vysoké-Ti CFB (Deccan)**
  - > 2 hmot. %  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ti/Y} > 310$
  - nízký poměr LILE/HFSE
  - LILE-REE podobné OIB a kimberlitům
  - vyšší inic.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  a nižší  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
- **Nízké-Ti CFB (Sibiř, Paraná)**
  - < 2 hmot. %  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ti/Y} < 310$
  - silné ochuzení HFSE, velké nabožení Pb

# Geneze CFB

- rozdílná metasomatóza primárního pláště může vysvětlit vysoké- vs. nízké-Ti složení, ale **NE velké objemy magmat**

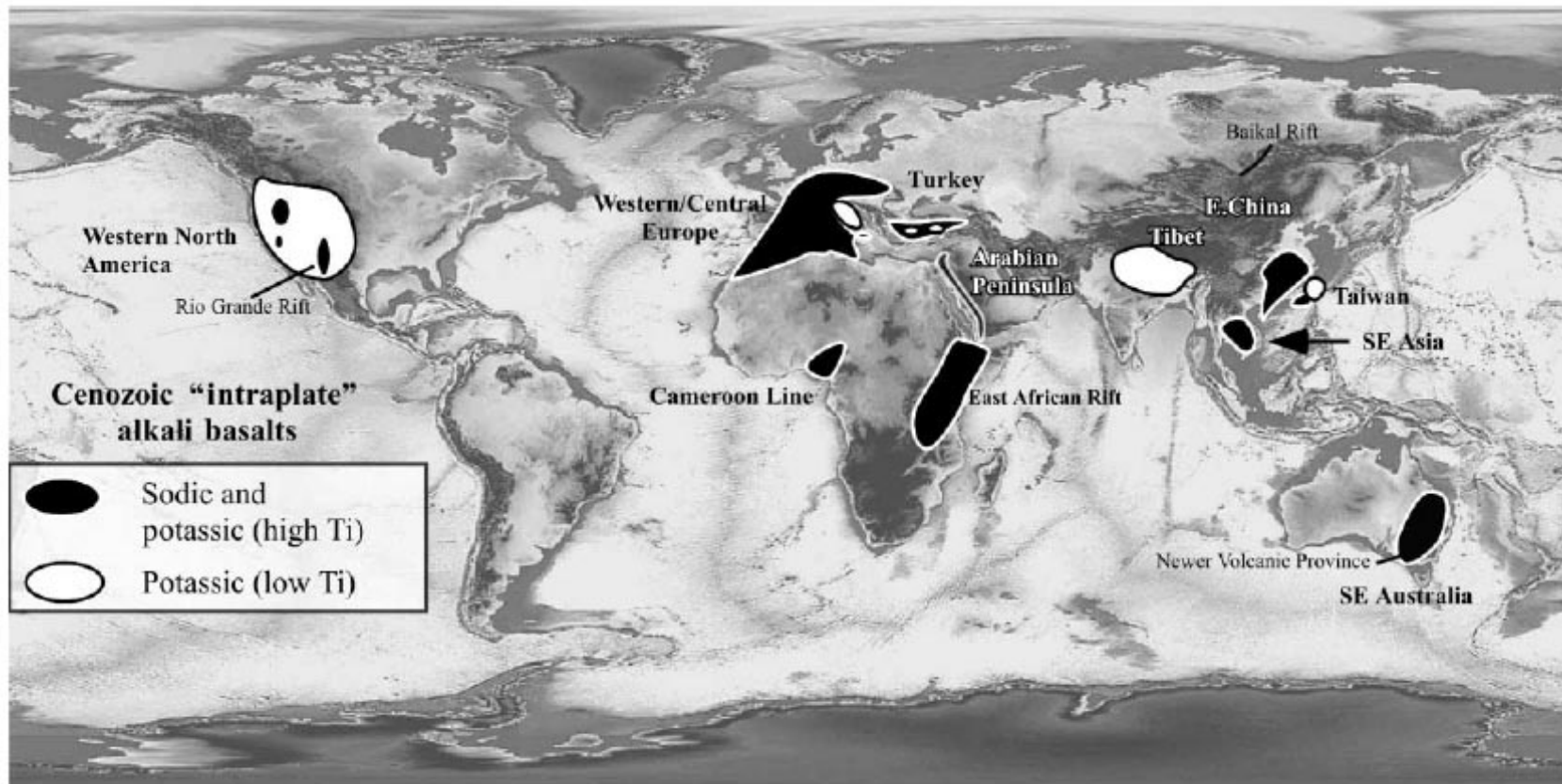
→ derivace CFB v souvislosti s plášťovým chocholem a ztenčením litosféry → zvýšení teploty o cca 300 °C → rozsáhlé tavení

# Alkalické bazalty

- bazalty kenozoického stáří většinou navázané na **rifty** (např. Bajkal, východní Afrika)
  - na ose (počáteční stádium) nebo bocích riftu
- **nebo** rozsáhlé magmatické kontinentální oblasti (Austrálie, Čína)
- 2 hlavní skupiny
  - sodné –  $K_2O/Na_2O < 1$
  - draselné -  $K_2O/Na_2O > 1$



# Alkalické bazalty





# Alkalické bazalty

- sodné bazalty ( $\text{Na}_2\text{O} \sim 2-4$  hmot. %)
  - bazalty-trachybazalty
  - primitivní REE distribuce (podobné OIB), nízké LILE/HFSE
  - vysoké inic.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  a nižší  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
  - geneze nízkým F (< 5 %) (astenosféra nebo plášťový chochol)

# Alkalické bazalty

- draselné bazalty ( $K_2O \sim 3.0-7.5$  hmot. %)
  - bazalty
  - nízké  $TiO_2$ , vysoké  $MgO \rightarrow$  derivace ze svrchního pláště
  - vysoké LREE-LILE, negativní HFSE anomálie, pozitivní Pb anomálie
  - vysoká  $fO_2$  a volatilní složky ( $H_2O-F$ )
  - derivace ze svrchního pláště postiženém metasomatózou vázanou na subdukci

# Kimberlity

- žíly, ložní žíly, diatrémy vázané na Archaické oblasti
- mafického horniny K-bohatého složení s velkým obsahem volatilních složek
- vysoké REE-LILE-HFSE ale i Cr-Ni → extrémně heterogenní složení reflektující **plášť** (xenokrysty ol apod.) i **kůru** (amfibol, flogopit)
- 2 skupiny
  - kimberlity (ol-bohaté, CO<sub>2</sub>-bohaté)
  - orangeity (H<sub>2</sub>O-bohaté, nízký ol)

# Kimberlity

- zdroj H<sub>2</sub>O nebo CO<sub>2</sub> bohatý (metasomatizovaný) peridotit v hloubkách ~ 140 km (hranice grafit-diamant)
- velmi nízký F (< 1 %) grt-pd + karbonát
- derivace z SCLM (kimberlit) nebo LM (orangeit)?