



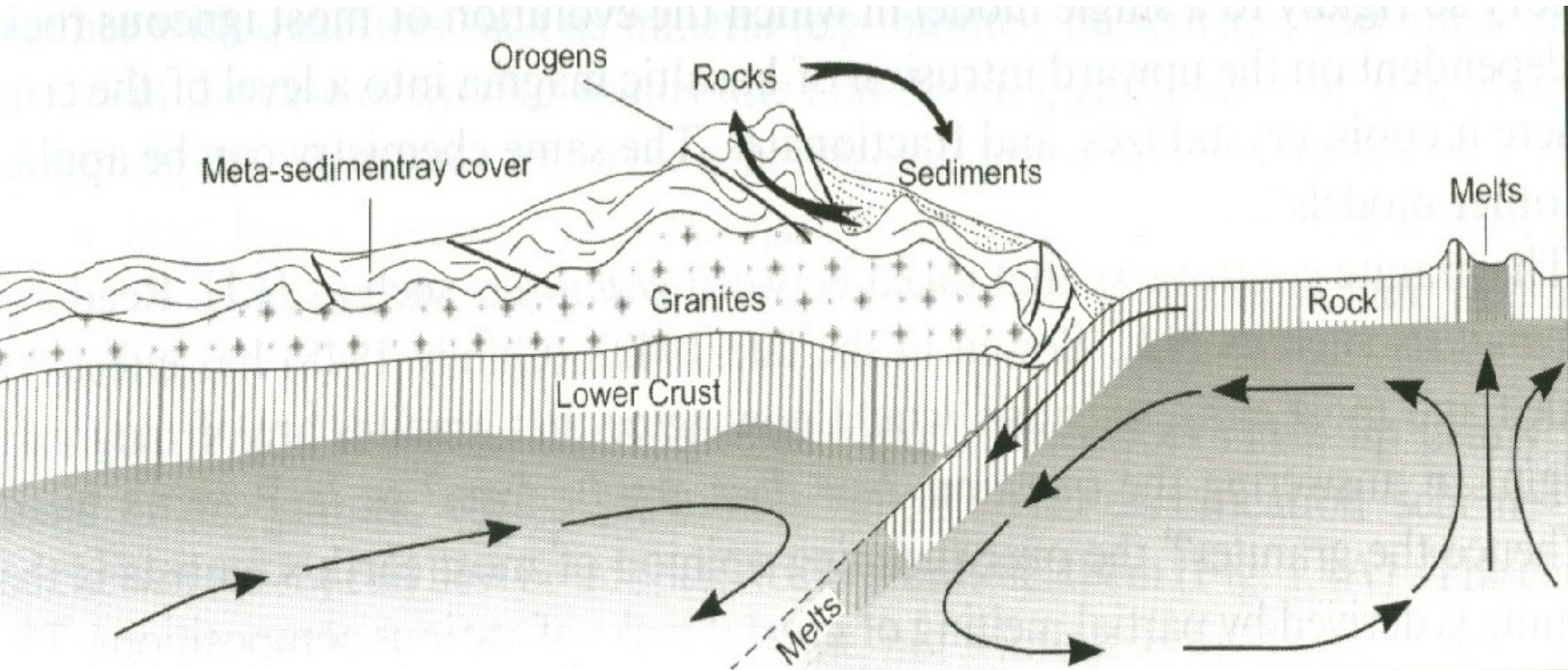
**Granity a kontinentální
kůra
I
(klasifikace granitů)**

David Buriánek

- **I. 1. Význam granitů pro kontinentální kůru**
- **I. 2. Kontinentální kůra**
- **I. 3. Voda v kontinentální kůře**
- **I. 4. Granity-definice**
- **I. 5. Klasifikace granitů**
 - A. Mineralogické klasifikace
 - B. Klasifikace založené na hlavních prvcích
 - C. Klasifikace založené na stopových prvcích
 - D. Klasifikace spojující více kritérií
- **I. 6. Význam chemického složení pro klasifikaci**

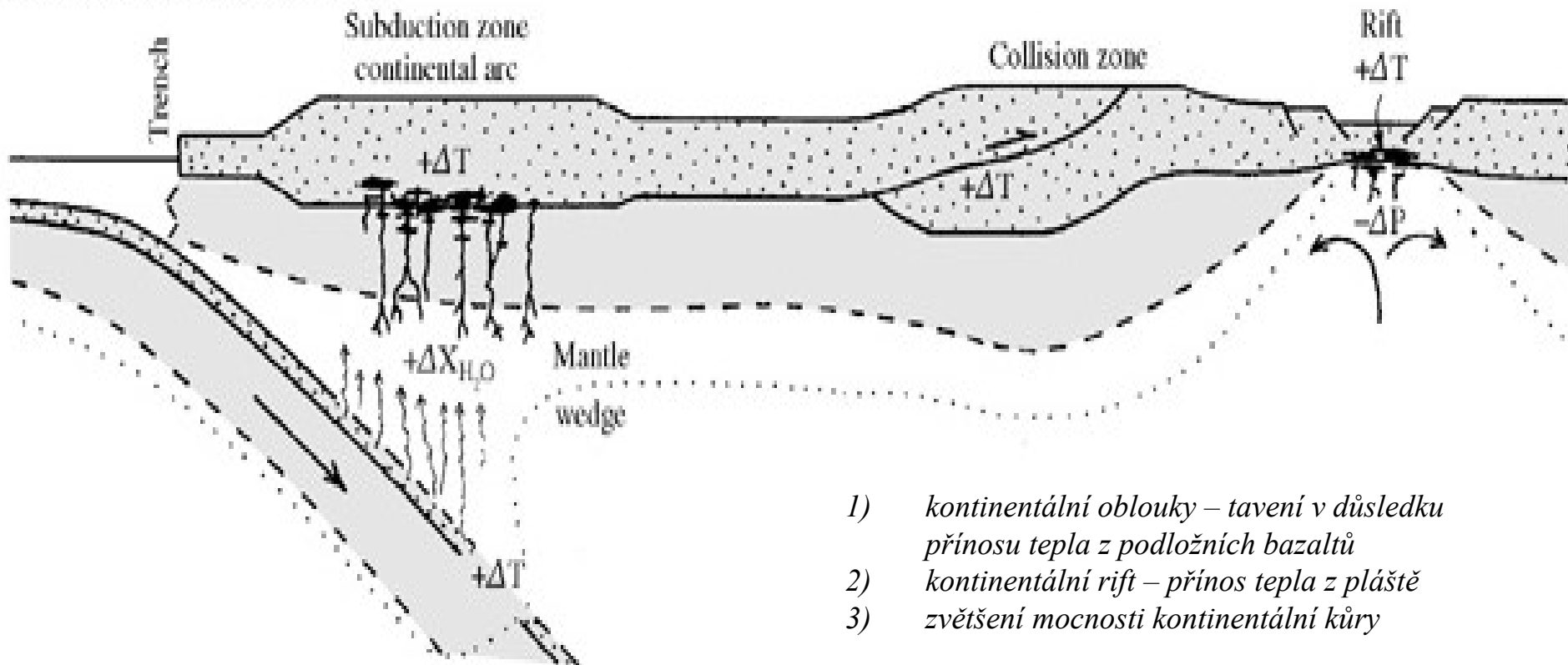
I. 1. Význam granitů pro kontinentální kůru

- Svrchní kontinentální kůra je složena ze sedimentárních, metamorfovaných a magmatických hornin v poměru zhruba 1:4:4 (Wedepohl, 1991).
- Podle Wedepohla (1969) tvoří ve svrchní kontinentální kůře granitoidy 86% intrusivních hornin.
- 44% granitů a křemenných monzonitů, 34% granodioritů a 8 % tonalitů.



- Granitoidy jsou horniny typické pro hlavně pro kontinentální kůru.
- Velká část granitoidů je derivována parciálním tavením kůry.
- Malá část vzniká i frakcionací bazických hornin.
- Většina kontinentální kůry je za normálních podmínek v pevném stavu, aby došlo k tavení musí se odchýlit od běžné geotermy (např. přínos tepla z pláště).

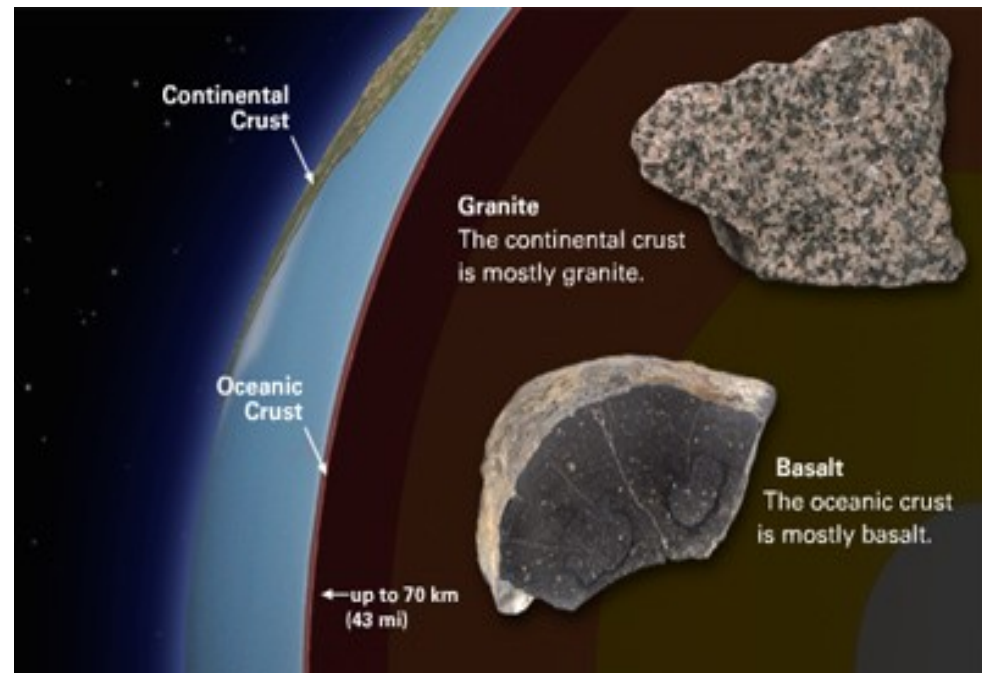
CONTINENTAL LITHOSPHERE



- 1) kontinentální oblouky – tavení v důsledku přínosu tepla z podložních bazaltů
- 2) kontinentální rift – přínos tepla z pláště
- 3) zvětšení mocnosti kontinentální kůry

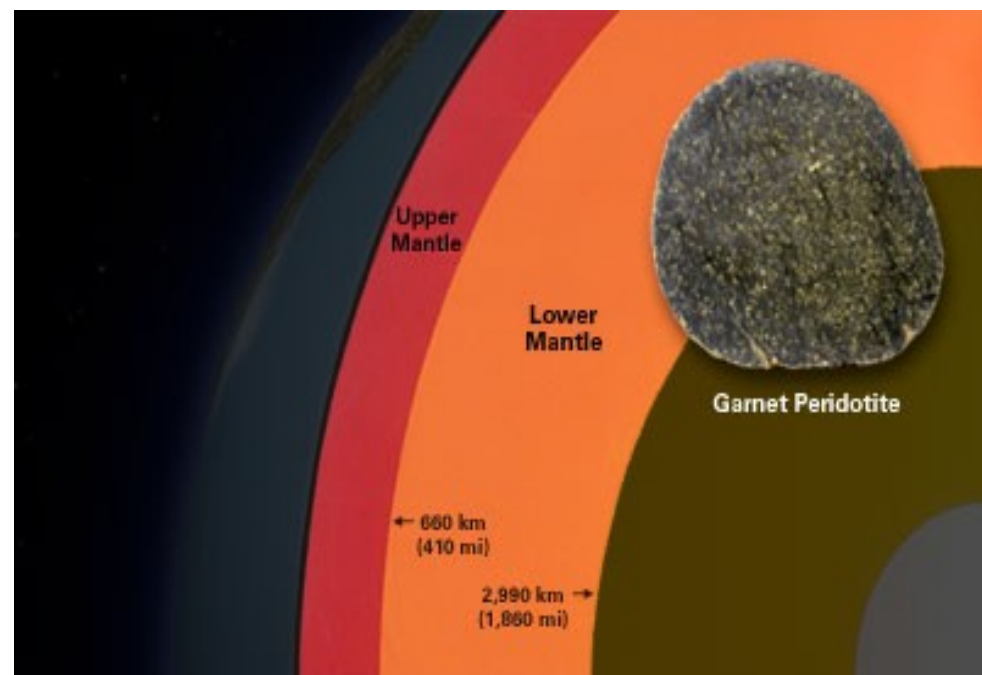
Kůra (*Crust*)

- Proměnlivá mocnost a složení.
- Kontinentální (10 - 70 km) její průměrné složení odpovídá granodioritům.
- Oceánská (8 - 10 km) průměrné složení odpovídá gabrům.



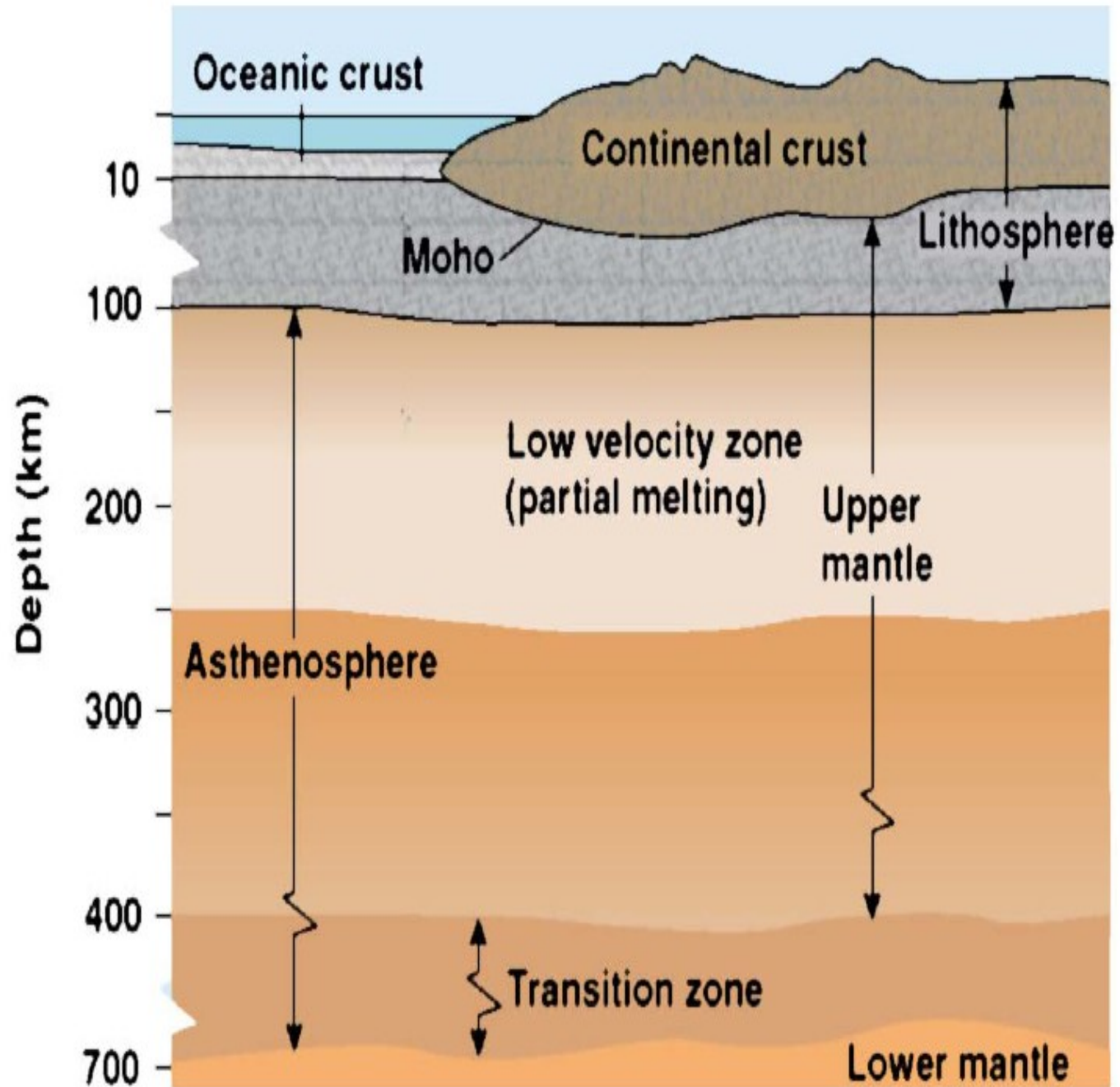
Plášť (*Mantle*)

- 3488 km mocný složený hlavně z peridotitů (Ol + Opx + Cpx).
- S hloubkou se mineralogie peridotitů mění.
- S narůstajícím tlakem postupně mění složení z Pl na Sp a pak při tlacích kolem 30 kilobar Grt.
- V hloubkách 400 km a 670 km se mění olivín a pyroxen na vysokotlaké modifikace.



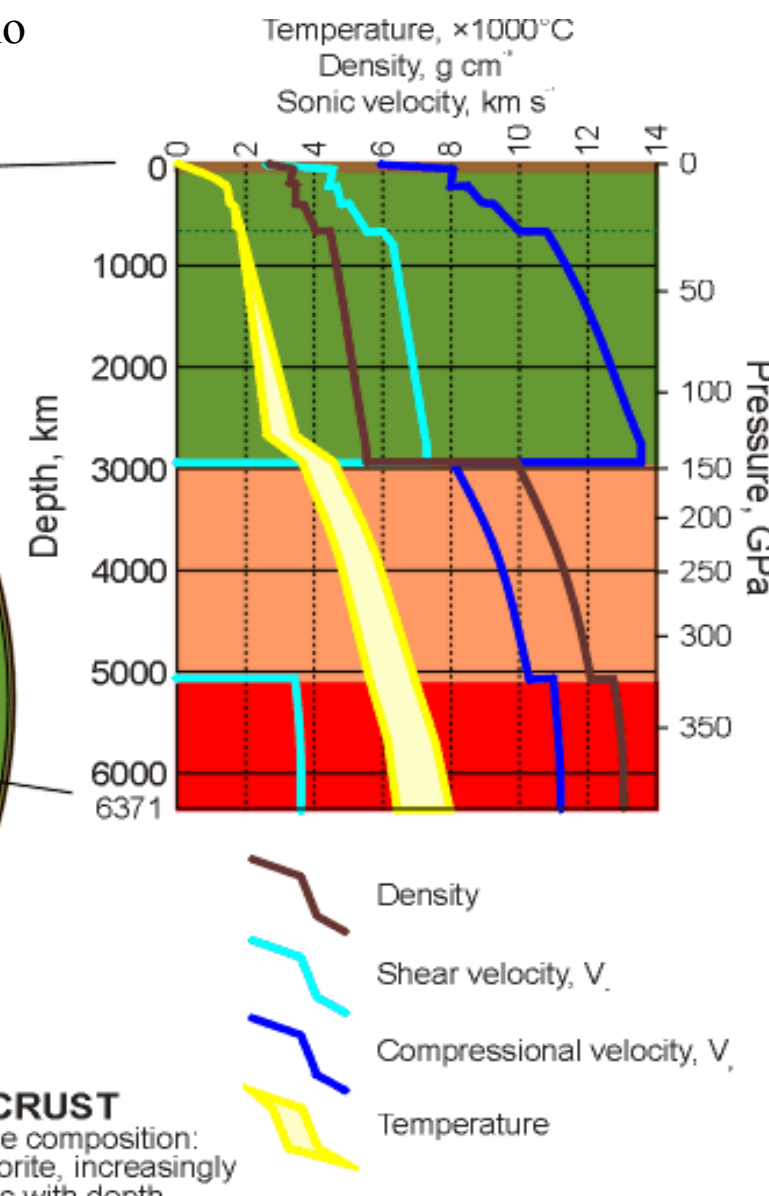
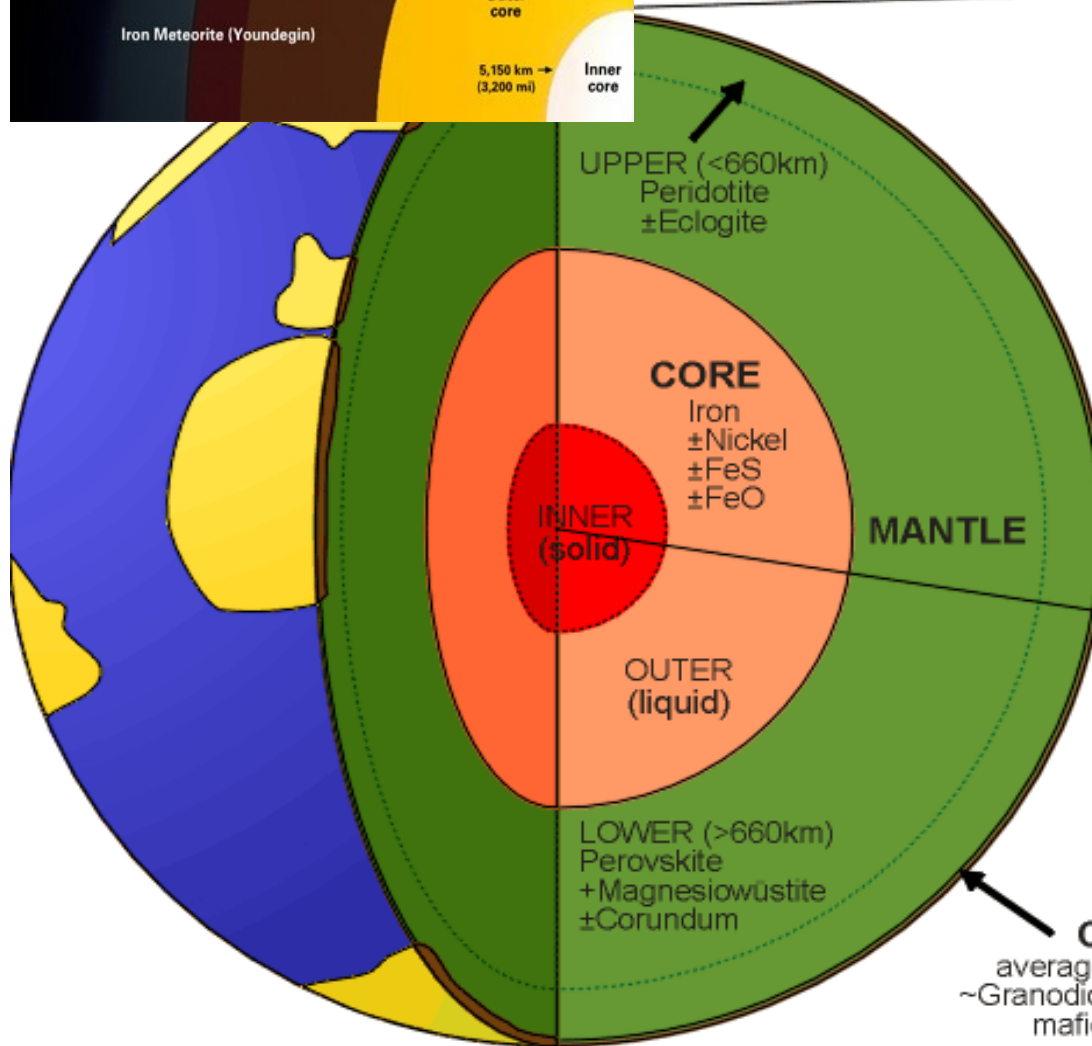
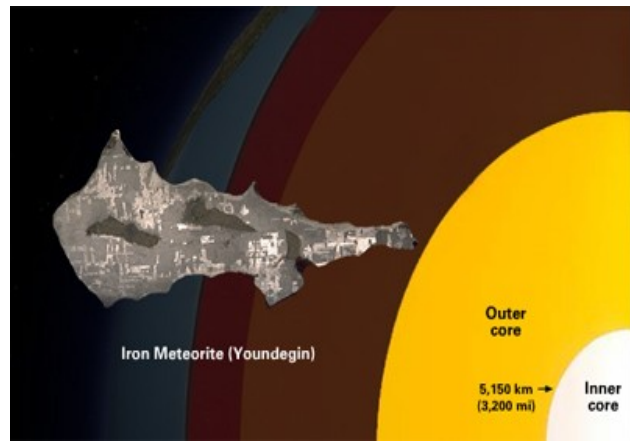
Plášť (Mantle)

- mineralogie peridotitů:
- Ol + Cpx + Opx + Pl
- Ol + Cpx + Opx + Sp
- Ol + Cpx + Opx + Grt

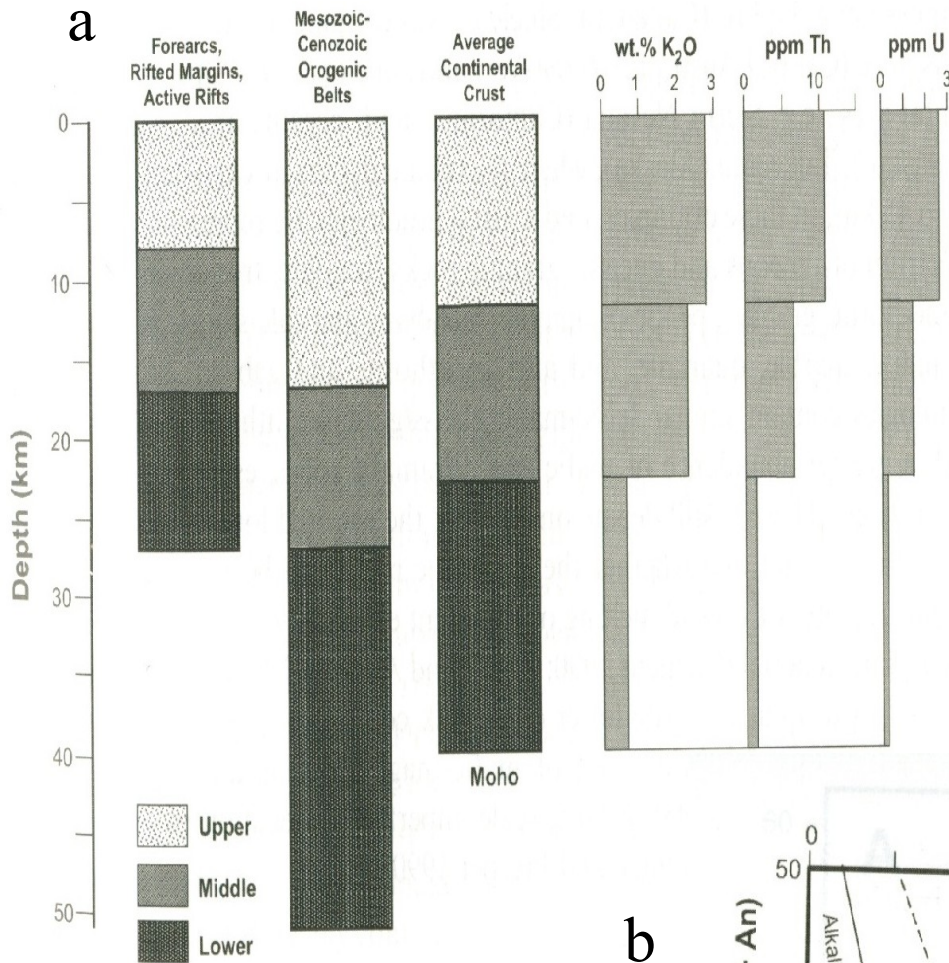


Jádro (Core)

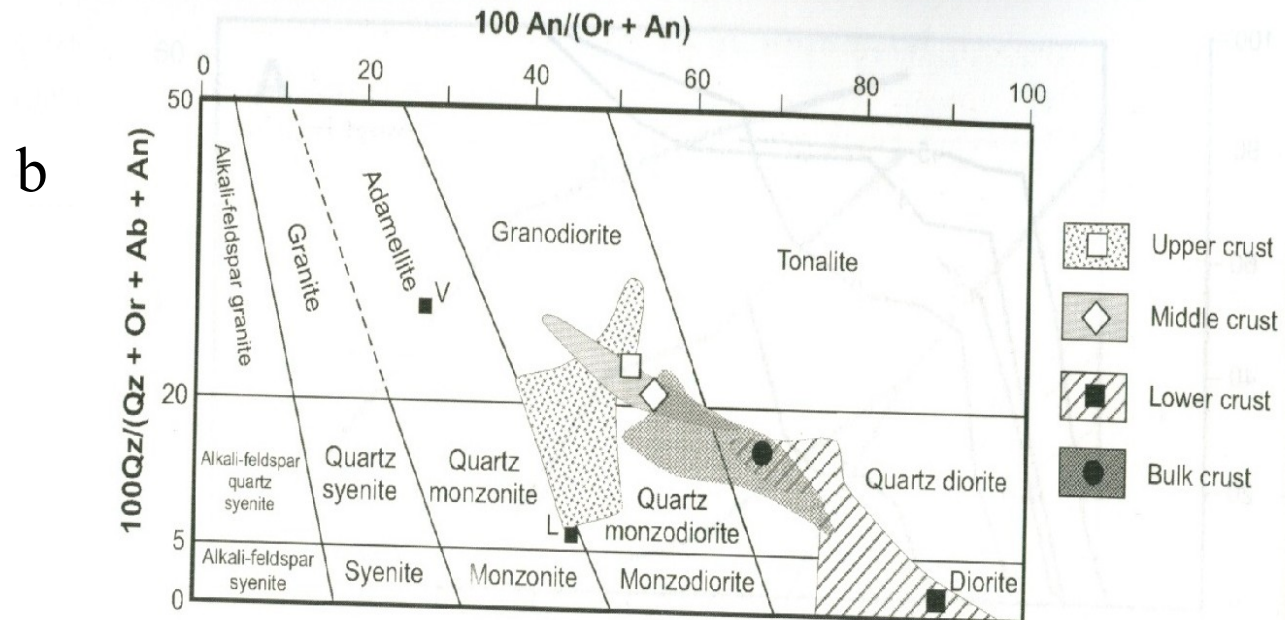
- Poloměr 2883 km složeno hlavně z Fe a malého množství Ni.



I. 2. Kontinentální kůra



- Na riftech je mocnost kontinentální kůry malá kolem 27 km ve srovnání s mocností v orogenních pásmech kolem 50 km.
- Průměrná kůra má složení odpovídající granodioritu, monzogranitu až Qtz dioritu.
- Svrchní kontinentální kůra odpovídá granodioritům



Mocnosti typické kontinentální kůry a její složení: (a) Normativní diagram Qtz-Or-Ab-An značky pro spodní kůru L a V jsou od různých autorů a jsou odlišné od typické spodní kůry (b) (Chen a Grapes, 2007)

Svrchní kontinentální kůra - Upper continental crust (UCC)

- Je snadno přístupná ale poměrně komplikovaná a diferenciovaná.
- Kolem nejstarších prekambriických štítů a platform jsou mladší orogenetické pásy.
- Jak určit složení UCC?

1) Na základě geologických map můžeme získat váženým průměrem (Clarke, 1889; Clarke a Washington, 1924).

2) Analyzováním složení vzorků z různých částí světa (Shaw et al., 1967).

3) Geochemický přístup – analýzy jemnozrnných sedimentů (břidlice a spraše) pro zjištění nerozpustných prvků. Odhadnutí ostatních prvků na základě geochemických principů (Goldschmidt, 1933; Taylor a McLennan, 1985; Rudnick a Fountain, 1995).

Obsahy hlavních prvků v UCC Rudnick a Gao (2004)

Table 1 Major element composition^a (in weight percent oxide) of the upper continental crust. Columns 1–9 represent averages of surface exposures and glacial clays. Columns 10–11 are derivative compositions from these data. Column 12 shows our recommended values.

Element	1 Clarke (1889)	2 Clarke and Washington (1924)	3 Goldschmidt (1933)	4 Shaw et al. (1967)	5 Fahrig and Eade (1968)	6 Ronov and Yaroshevskiy (1976)	7 Condie (1993)	8 Gao et al. (1998a)	9 Borodin (1998)	10 Taylor and McLennan (1985)	11 Wedepohl (1995)	12 This Study ^b
SiO ₂	60.2	60.30	62.22	66.8	66.2	64.8	67.0	67.97	67.12	65.89	66.8	66.62
TiO ₂	0.57	1.07	0.83	0.54	0.54	0.55	0.56	0.67	0.60	0.50	0.54	0.64
Al ₂ O ₃	15.27	15.65	16.63	15.05	16.10	15.84	15.14	14.17	15.53	15.17	15.05	15.40
FeO _T ^c	7.26	6.70	6.99	4.09	4.40	5.78	4.76	5.33	4.94	4.49	4.09	5.04
MnO	0.10	0.12	0.12	0.07	0.08	0.10		0.10	0.00	0.07	0.07	0.10
MgO	4.59	3.56	3.47	2.30	2.20	3.01	2.45	2.62	2.10	2.20	2.30	2.48
CaO	5.45	5.18	3.23	4.24	3.40	3.91	3.64	3.44	3.51	4.19	4.24	3.59
Na ₂ O	3.29	3.92	2.15	3.56	3.90	2.81	3.55	2.86	3.21	3.89	3.56	3.27
K ₂ O	2.99	3.19	4.13	3.19	2.91	3.01	2.76	2.68	3.01	3.39	3.19	2.80
P ₂ O ₅	0.23	0.31	0.23	0.15	0.16	0.16	0.12	0.16	0.00	0.20	0.15	0.15
Mg#	53.0	48.7	46.9	50.1	47.4	48.1	47.9	46.7	43.2	46.6	50.1	46.7

Mg# = molar $100 \times \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}_{\text{tot}})$.

^a Major elements recast to 100% anhydrous. ^b See Table 3 for derivation of this estimate. ^c Total Fe as FeO.

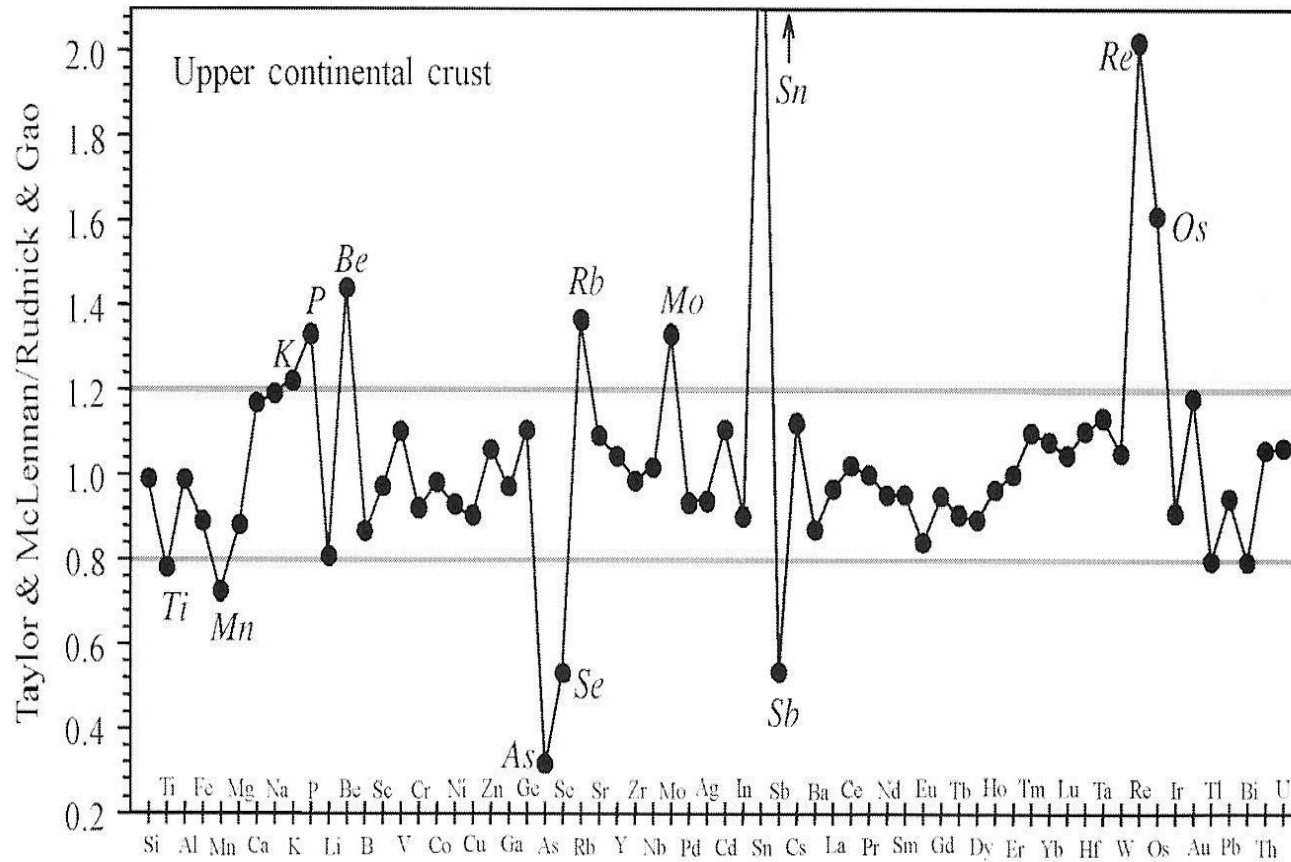
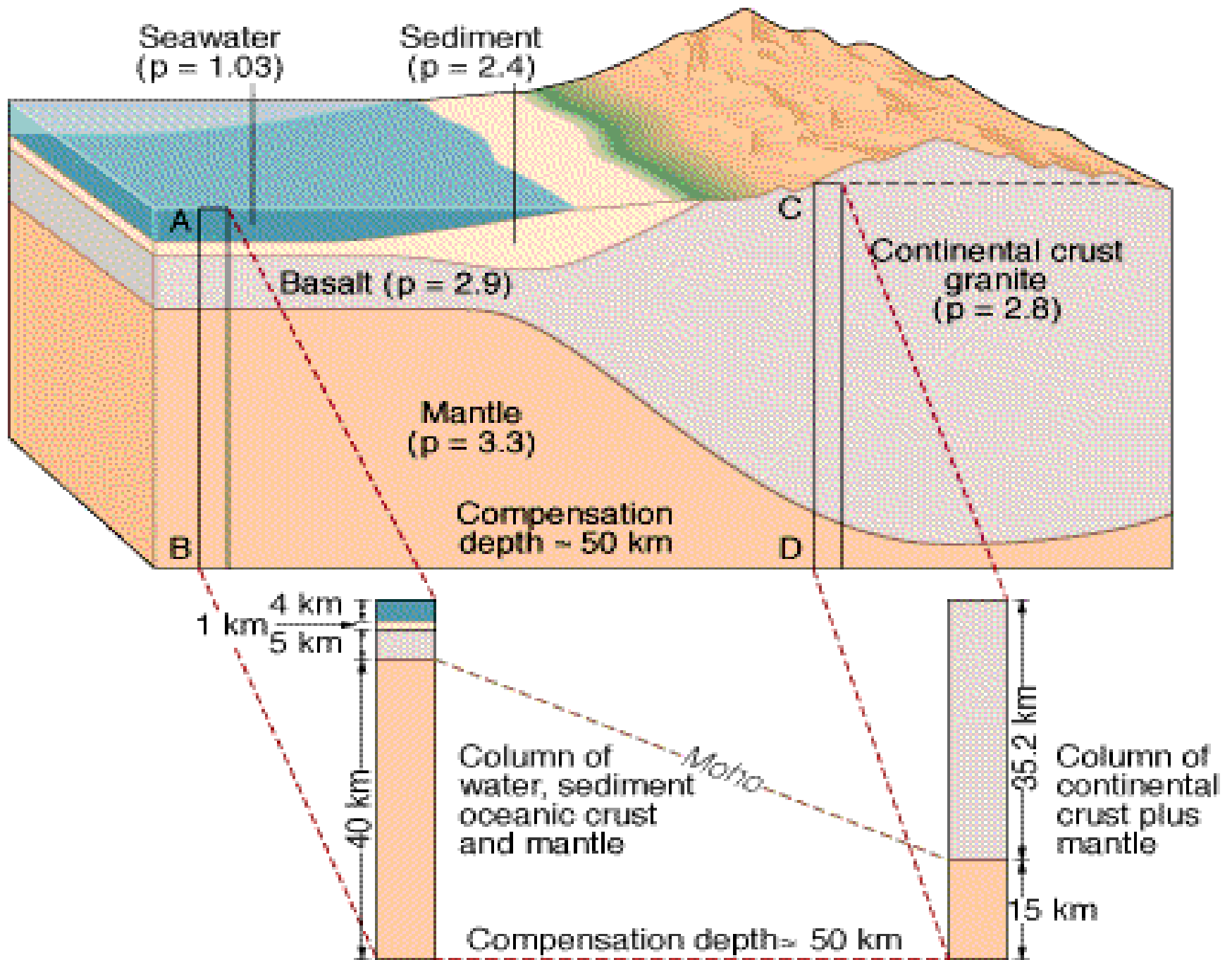
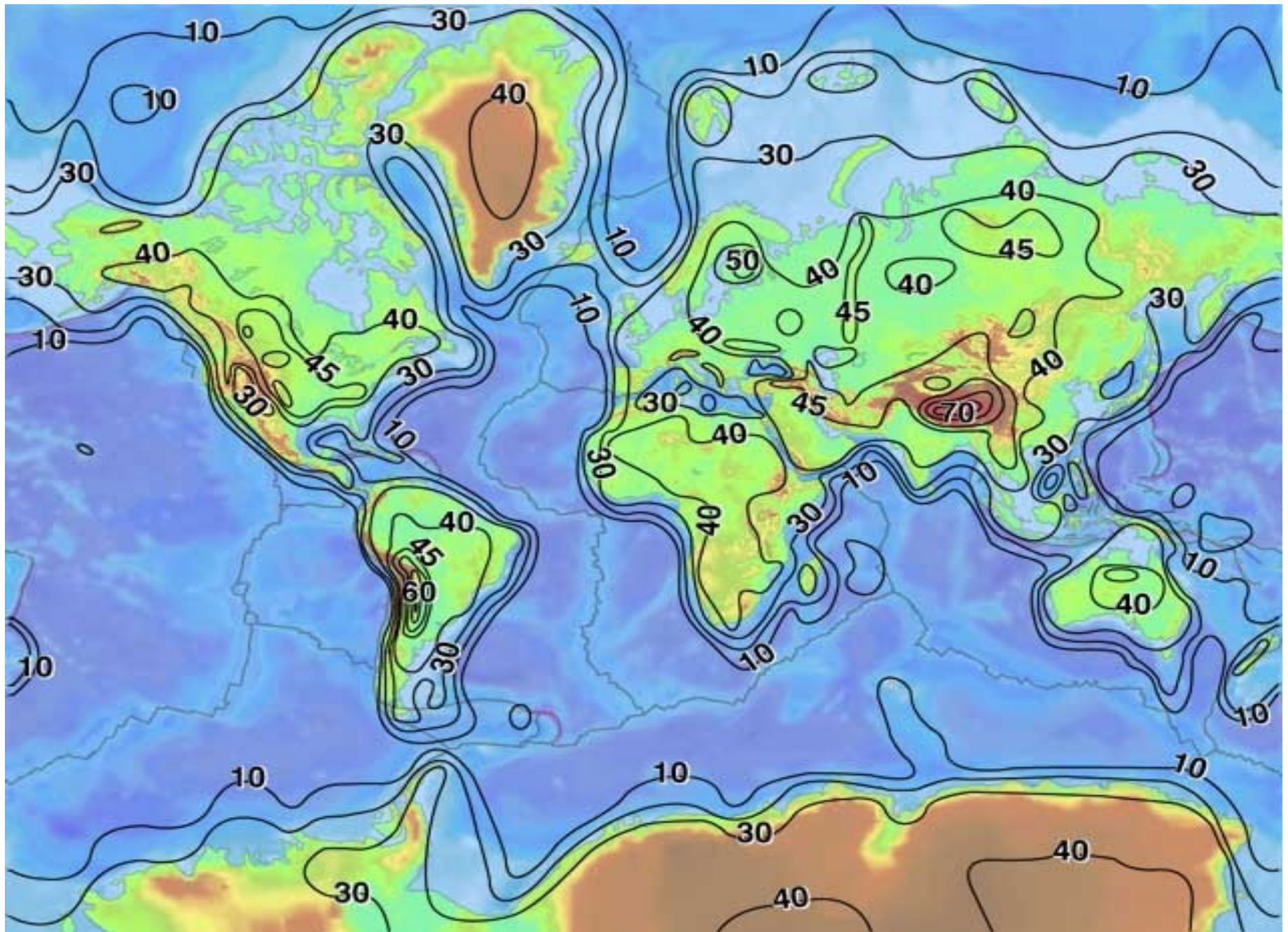


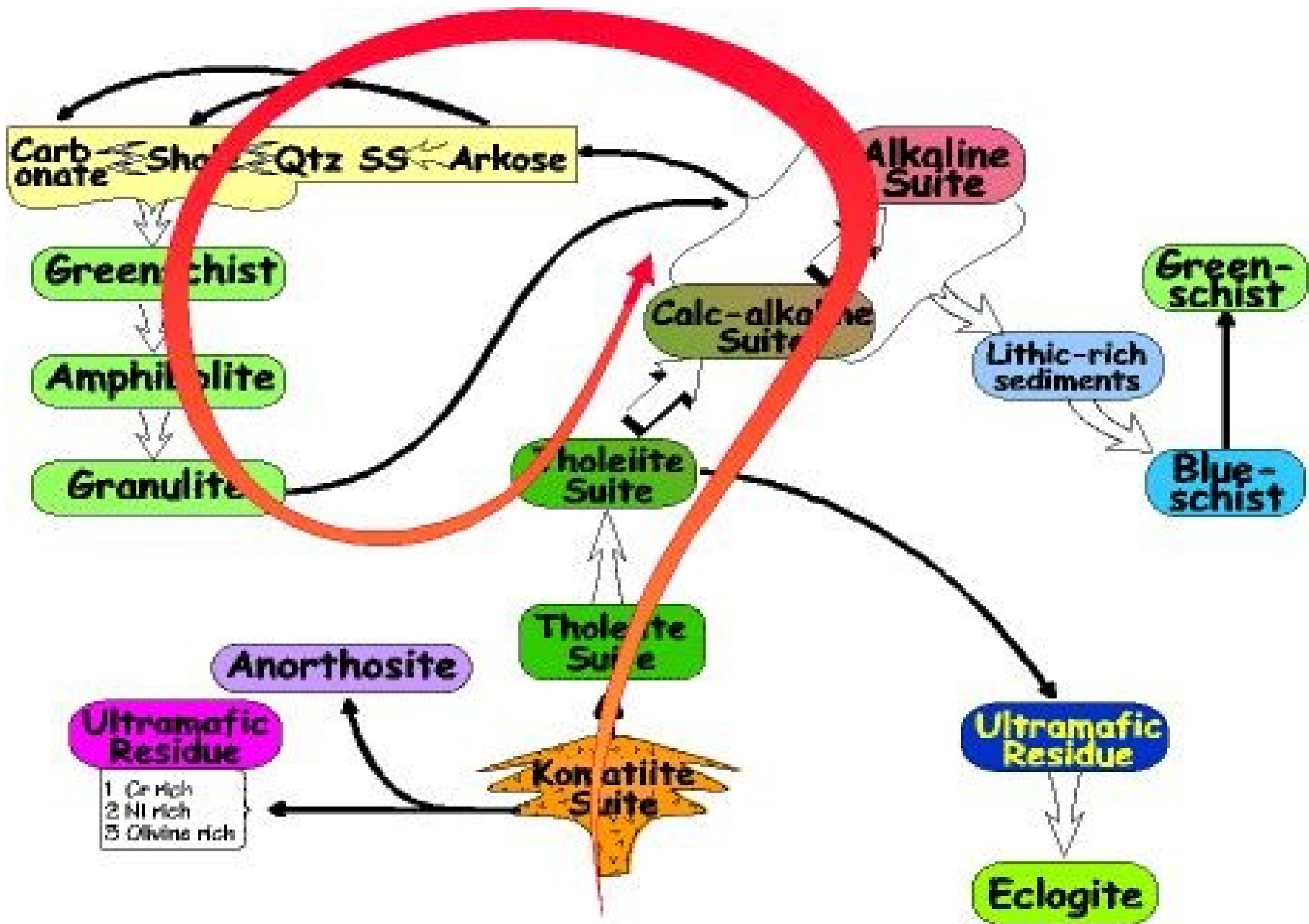
Figure 8 Plot of upper crustal compositional estimate of Taylor and McLennan (1995) (updated with values from McLennan, 2001b), divided by recommended values from this study. Horizontal lines mark 20% variation. Most elements fall within the $\pm 20\%$ bounds; elements falling beyond these bounds are labeled. Of the elements that differ by over 20%, potassium and rubidium are probably the most significant, since these elements are commonly analyzed to high precision in crustal rocks.

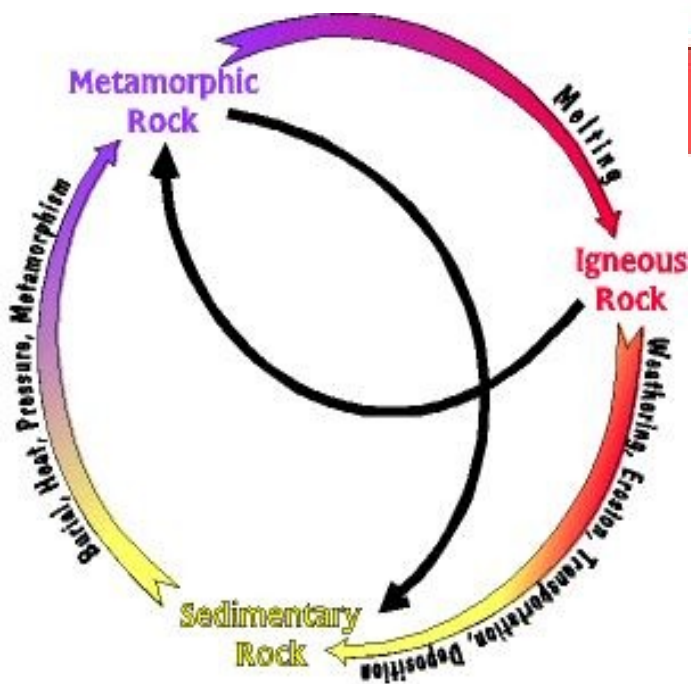
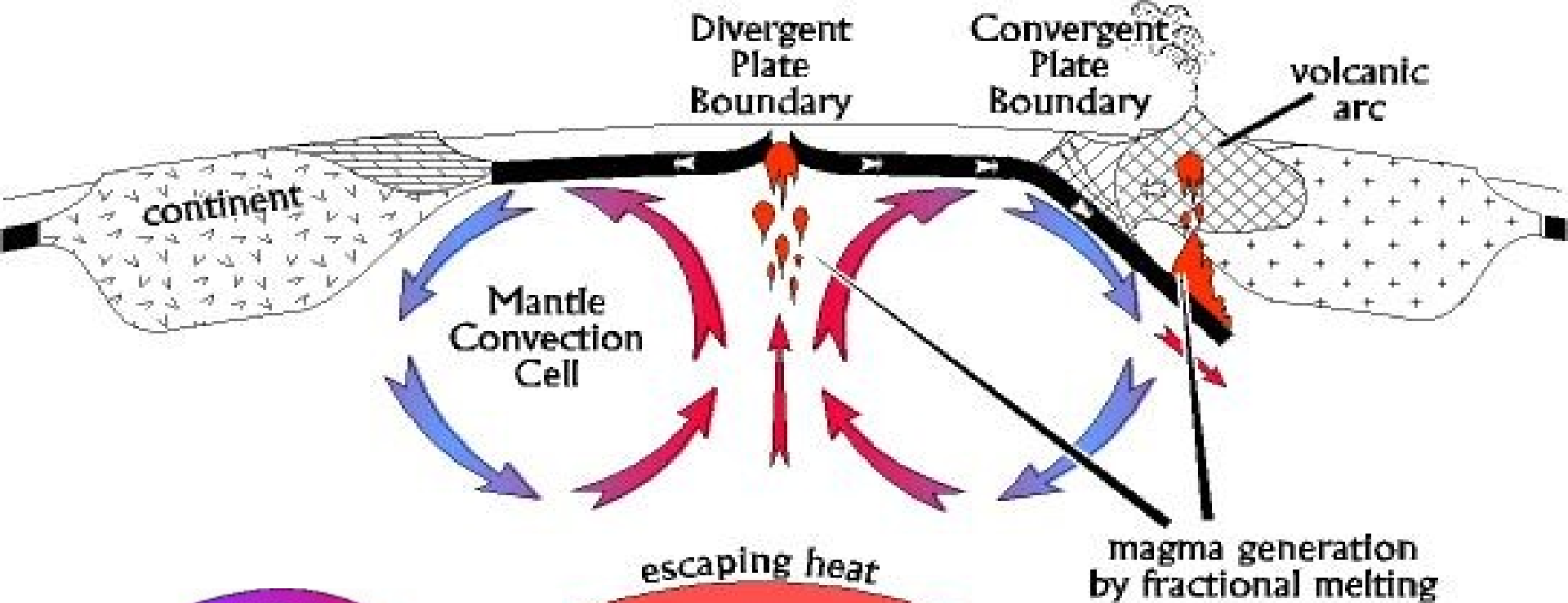




Mocnost kůry (<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Topo.jpg>)

- Kůra Země reprezentuje pouhých sedm desetin procenta objemem u této planety.
- Kůry neovlivňuje celkové složení Země co do obsahu hlavních prvků (Si, O, Al, Fe, Mg, Ca).

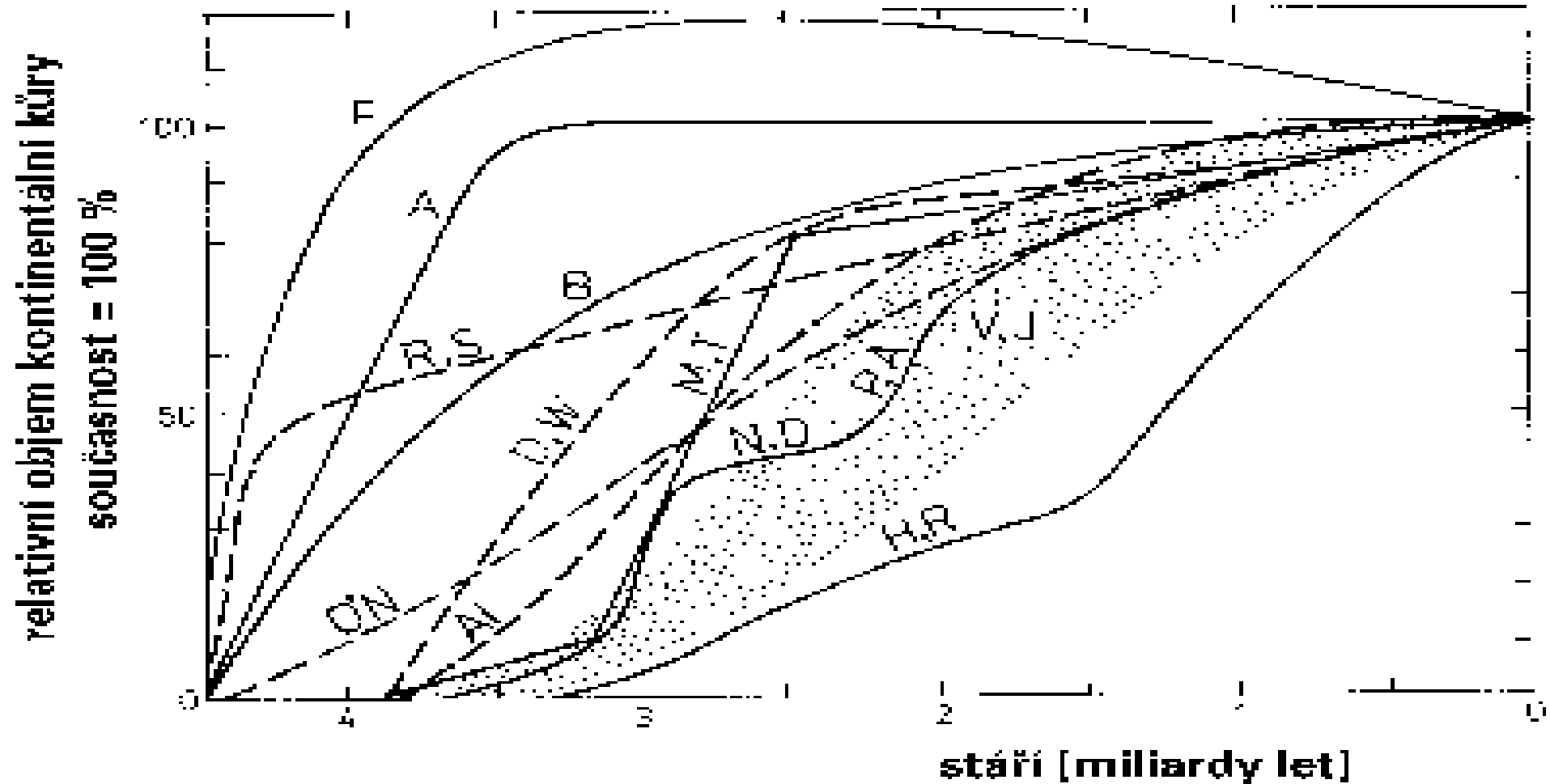




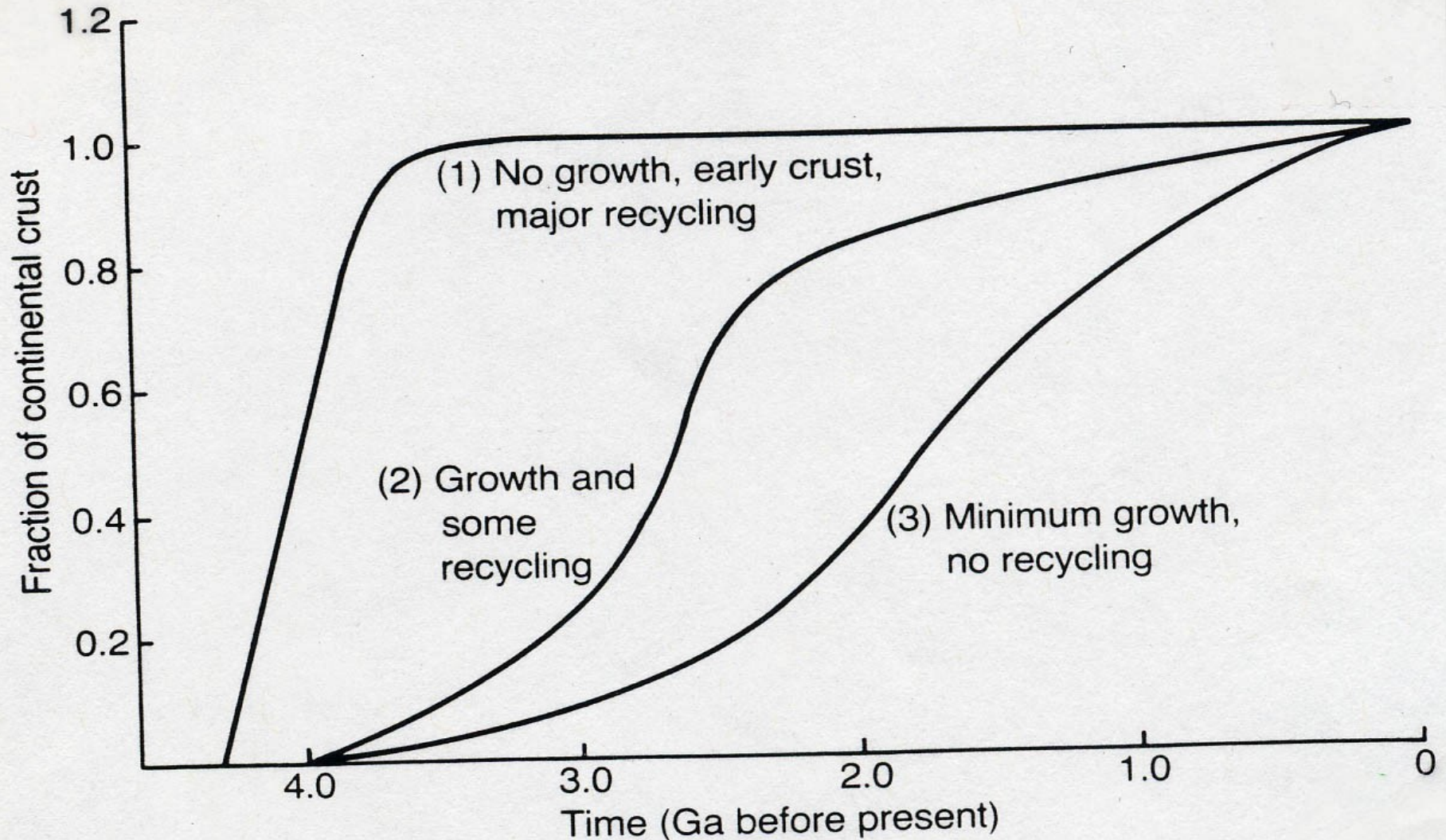
- Voda umožňuje komunikaci mezi svrchním pláštěm, oceánskou a kontinentální kůrou.
- Termín růst kontinentální kůry znamená akreci (nahloučení, shluknutí menších součástí k vytvoření tělesa většího) "kontinentální kůry" (obvyčně ostrovního oblouku) k existujícímu kontinentálnímu jádru.
- Stavba kontinentů ukazuje stará jádra (kratony) obklopená mladšími útvary.

Představy o kontinentálním růstu vyjádřené v grafu závislosti objemu kontinentální kůry na jejím stáří (Převzato Jakeš, Vesmír 74, 83, 1995/2).

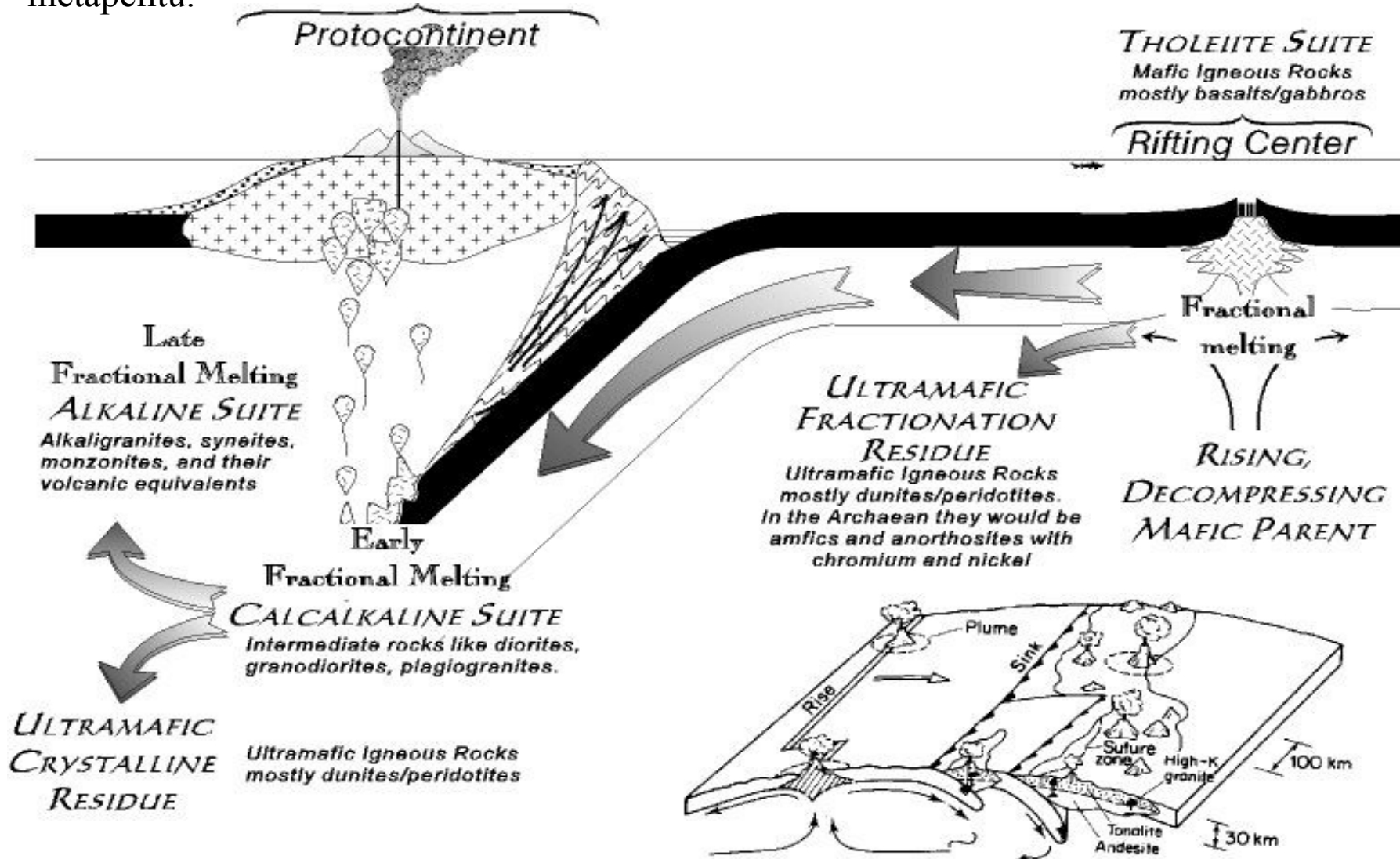
- Křivky typu F (W. Fyfe) reprezentují náhlý vznik velkého množství kůry a vlastně i atmosféry.
- Křivky H, R (Hurley a Rand) anebo V, J (Veizer a Janssen) reprezentují víceméně kontinuální přirůstání.
- Epizodické přirůstání s maximem přírůstku v pozdním archaiku reprezentuje křivka M, T (McLennan a Taylor).



- Kůra se mohla vytvořit jako následek jednorázového diferenciačního procesu v prvopočátku Země a od té doby se její rozsah nemění (jen se recykluje).
- Distribuční koeficienty prvků mezi taveninou a krystaly a mineralogie svrchního pláště indikují, že tvorba kontinentální kůry nemůže být jednorázovým procesem a přirůstá v průběhu geologických dob.



- Granity jsou v zemské kůře běžné až v posledních 2500 Ma.
- Archaická kůra obsahovala granodiority, tonality a trnhjemity blízké svým složením horninám vulkanických oblouků.
- Typické granity nevznikaly frakční krystalizací bazických hornin, ale parciálním tavením metapelitů.



- Archaická kůra měla poněkud jiný geotermální gradient.

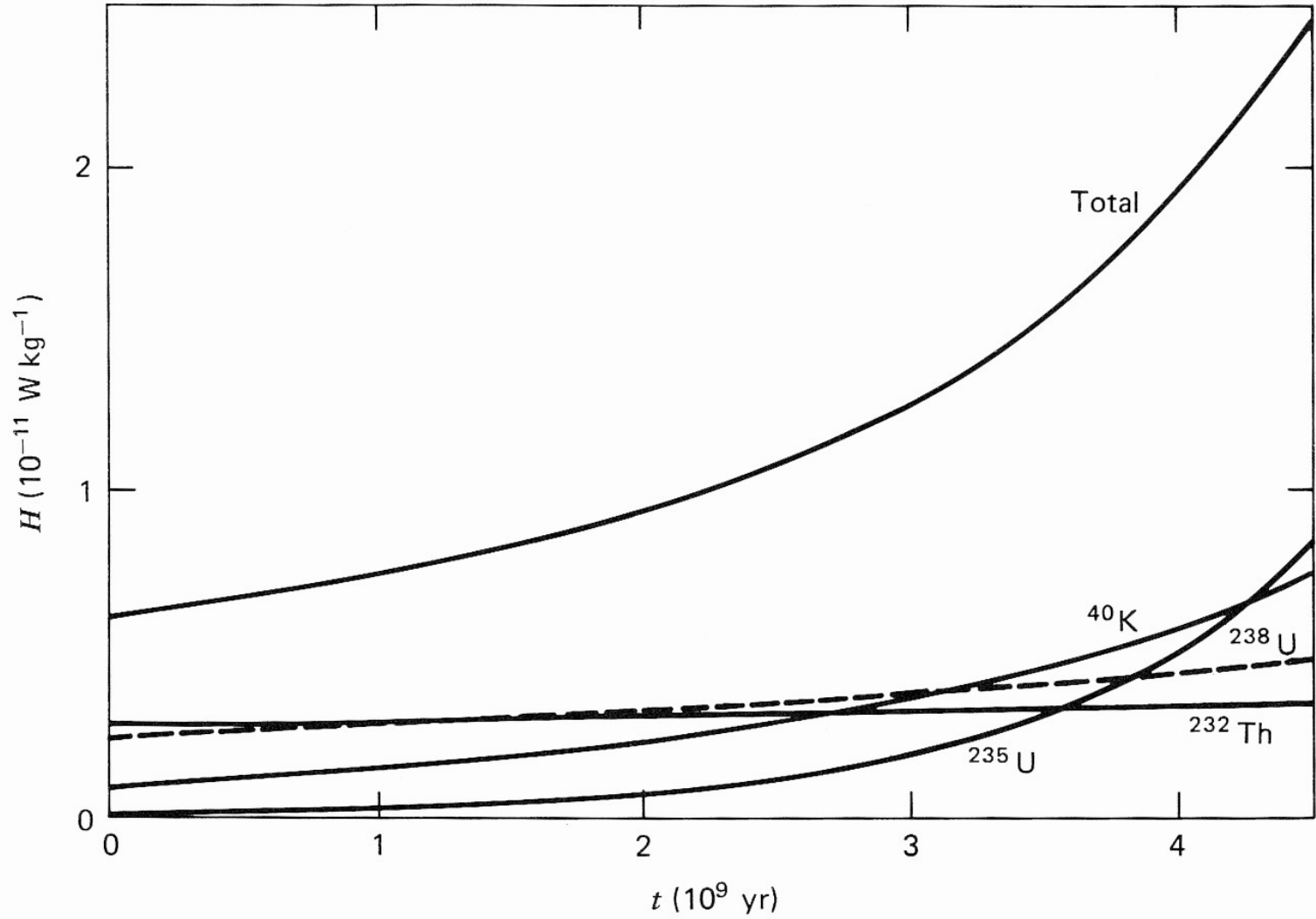
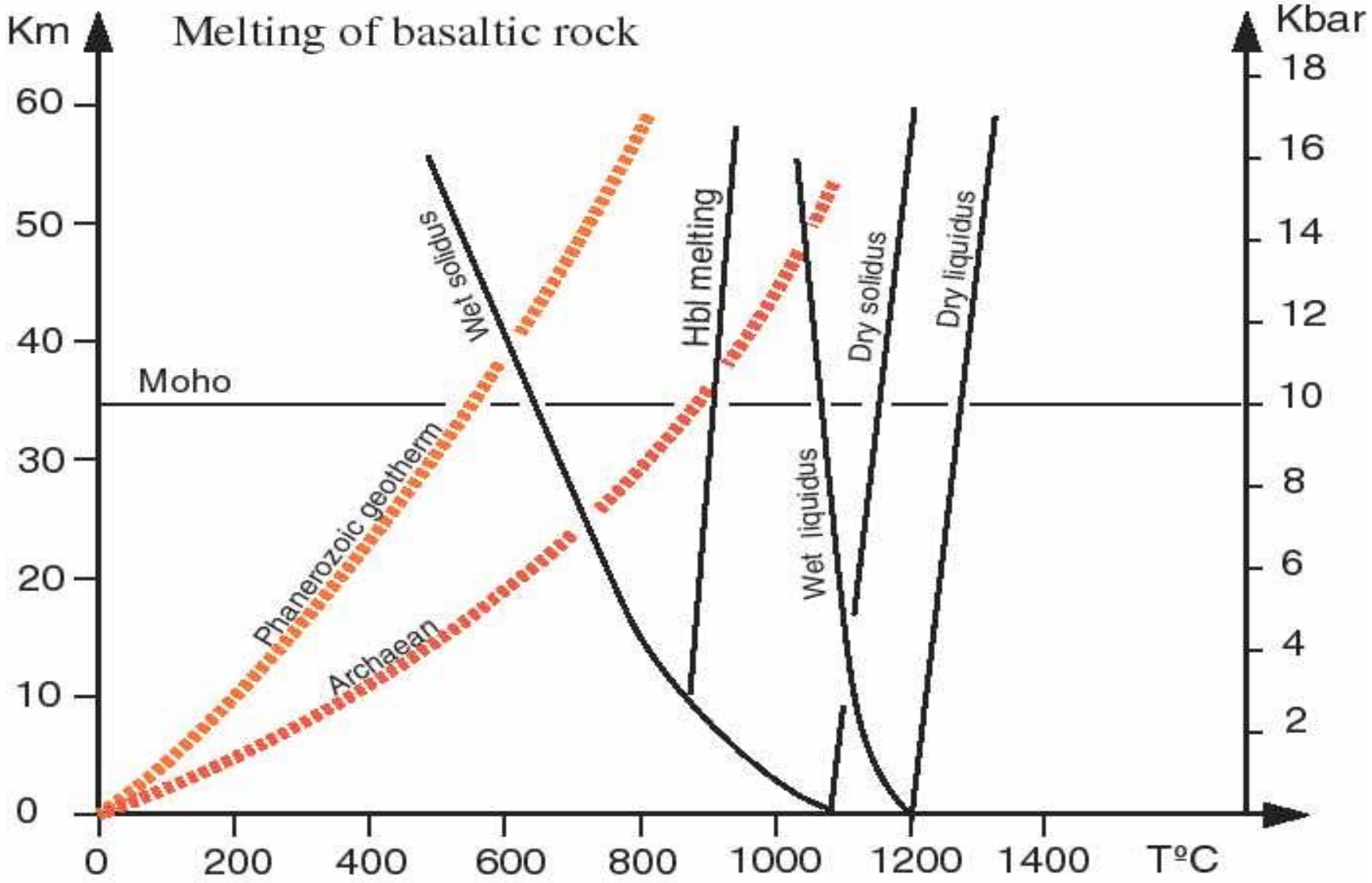


Figure 4-4 Mean mantle heat production rates due to the decay of the radioactive isotopes ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , and ^{40}K as functions of time measured back from the present.

- Na hranici MOHO byly teploty kolem 750 až 950°C.
- K tavení vodou nasycených bazaltů docházelo již v hloubce 25 km.



- Během vývoje země množství kontinentální kůry roste

Continental complexity

Crustal age distribution

Oldest:
The continental core is an Archaean craton

Newest:
active plate margin accreting material today

Grenville and Appalachian rocks:
accreted to craton in continental collision

Age range: 0-4000 Ma

- more information about Earth history than 0-160 Ma oceans

Oldest parts of the continents typically at the centers

- implies continents are formed gradually by accretion at the margins

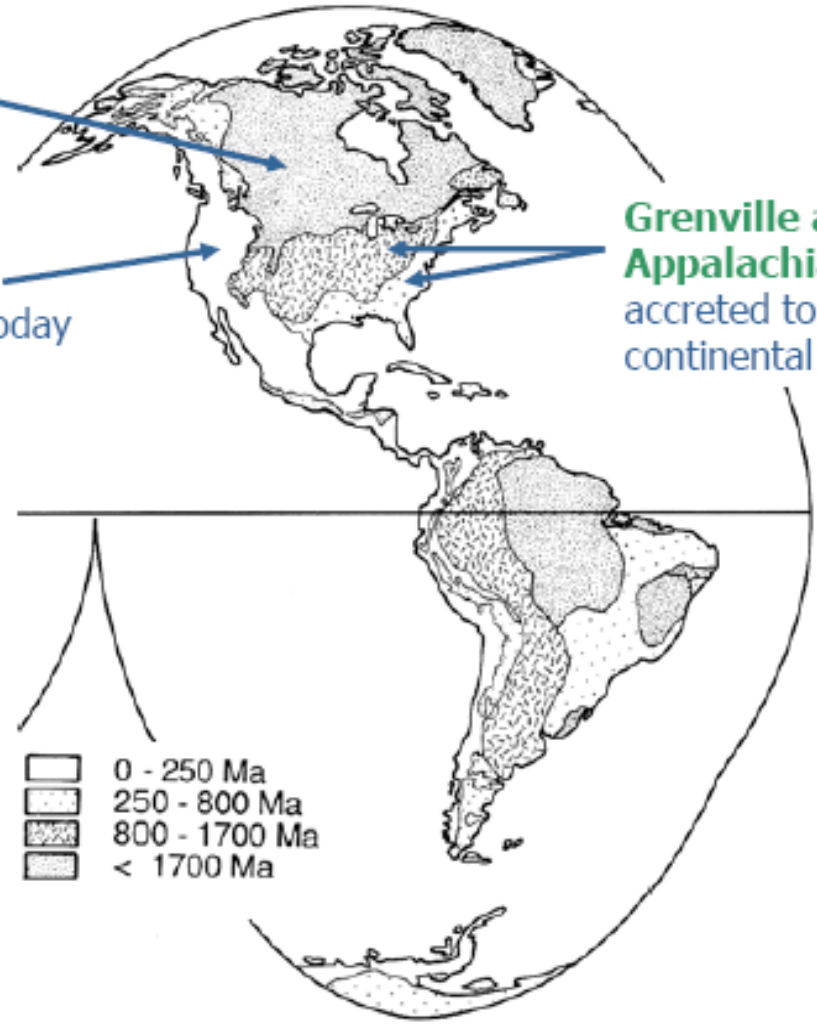


Figure 94. The age of the continents. (After Sclater et al. 1981.)

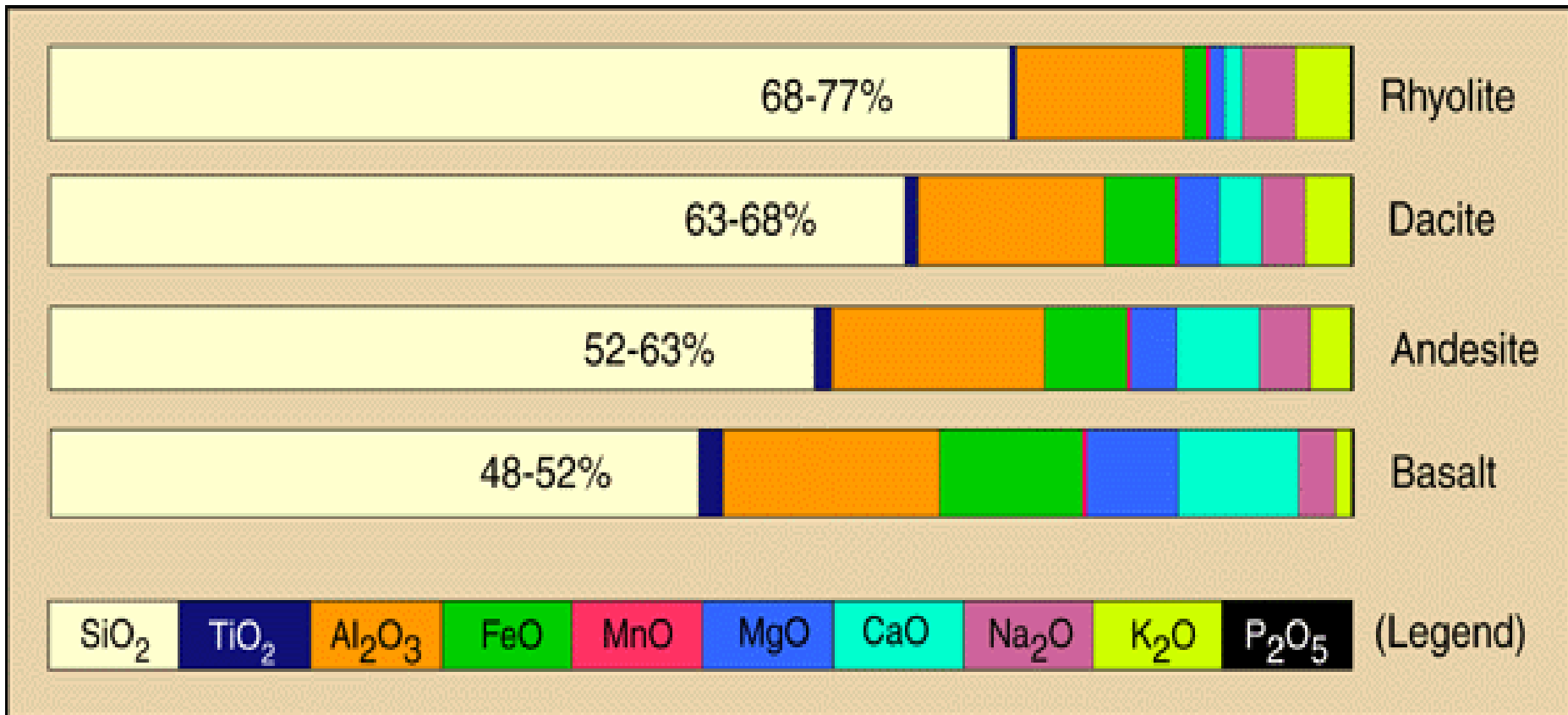
MAGMA

- Je to přírodně vzniklá tavenina z níž krystalizují vyvřelé horniny.
- Magma obsahuje:

Kapalná fáze - je složena z celé řady iontů Fe^{2+} (ferrous), Fe^{3+} (ferric), Mg^{2+} , Na^+ Si, Al a O.

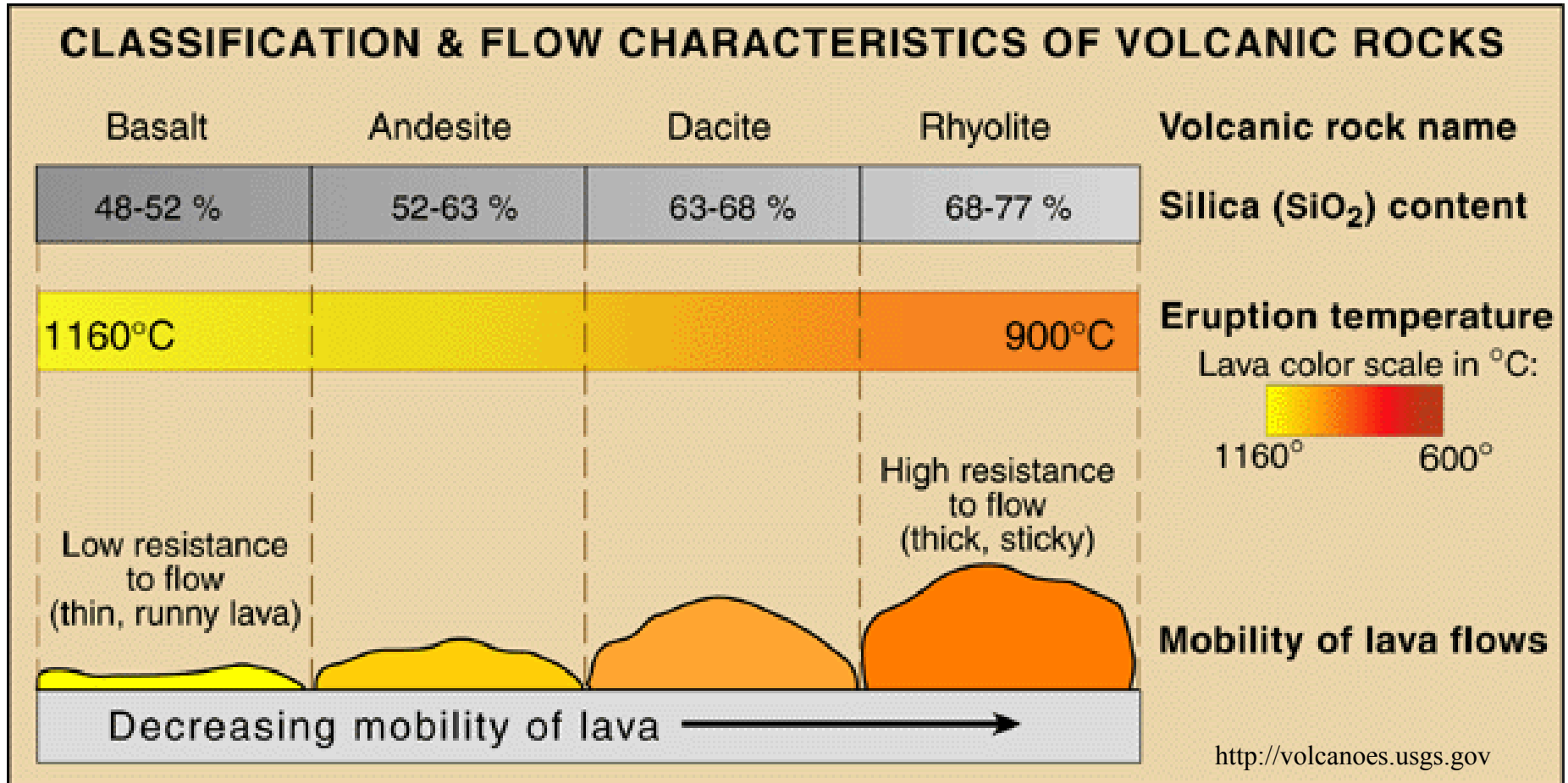
Plynná fáze - plyn rozpuštěný v tavenině H_2O , CO_2 , H_2S , CH_4 (metan), NH_3 (amoniak).

Pevná fáze - krystaly, xenokrysty, xenolity cizorodých hornin.



TEPLOTA MAGMATU

- Extruzivní magma = výlevné horniny, magma je uvolněno do atmosférického nebo vodního prostředí a je jen málo, nebo vůbec závislé na tlaku. Teplota krystalizace je tedy závislá jen na složení magmatu (bazalty například 900-1500°C).
- Intruzivní magma = plutonické horniny, magma je pod povrchem a tak je jeho teplota krystalizace závislá i na tlaku. S nárůstem tlaku teplota krystalizace klesá.

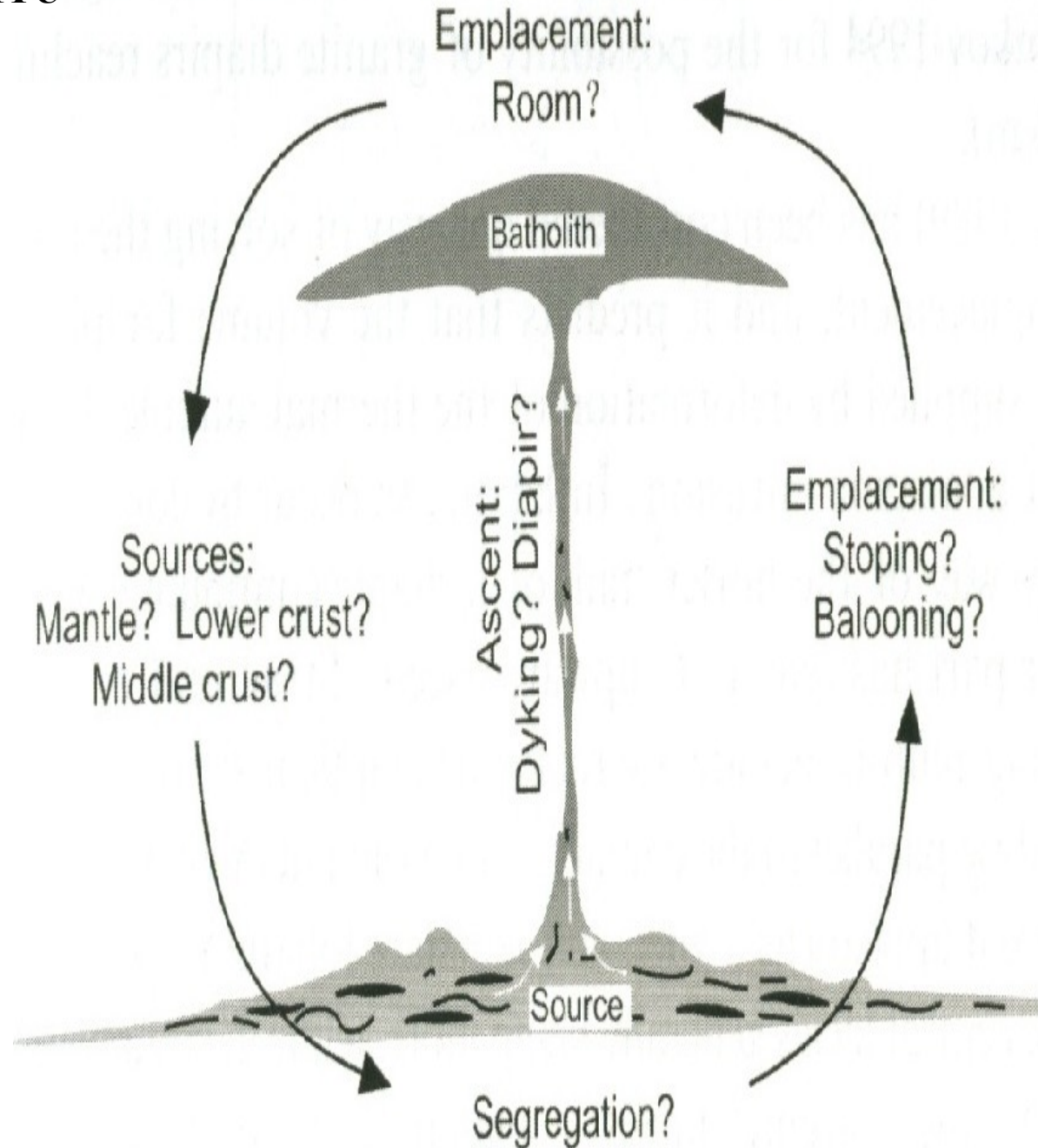


DŮLEŽITÉ PROBLÉMY GRANITŮ

- Původ magmatu.
- Transport magmatu.
- Vmístění magmatu.
- Krystalizace magmatu.

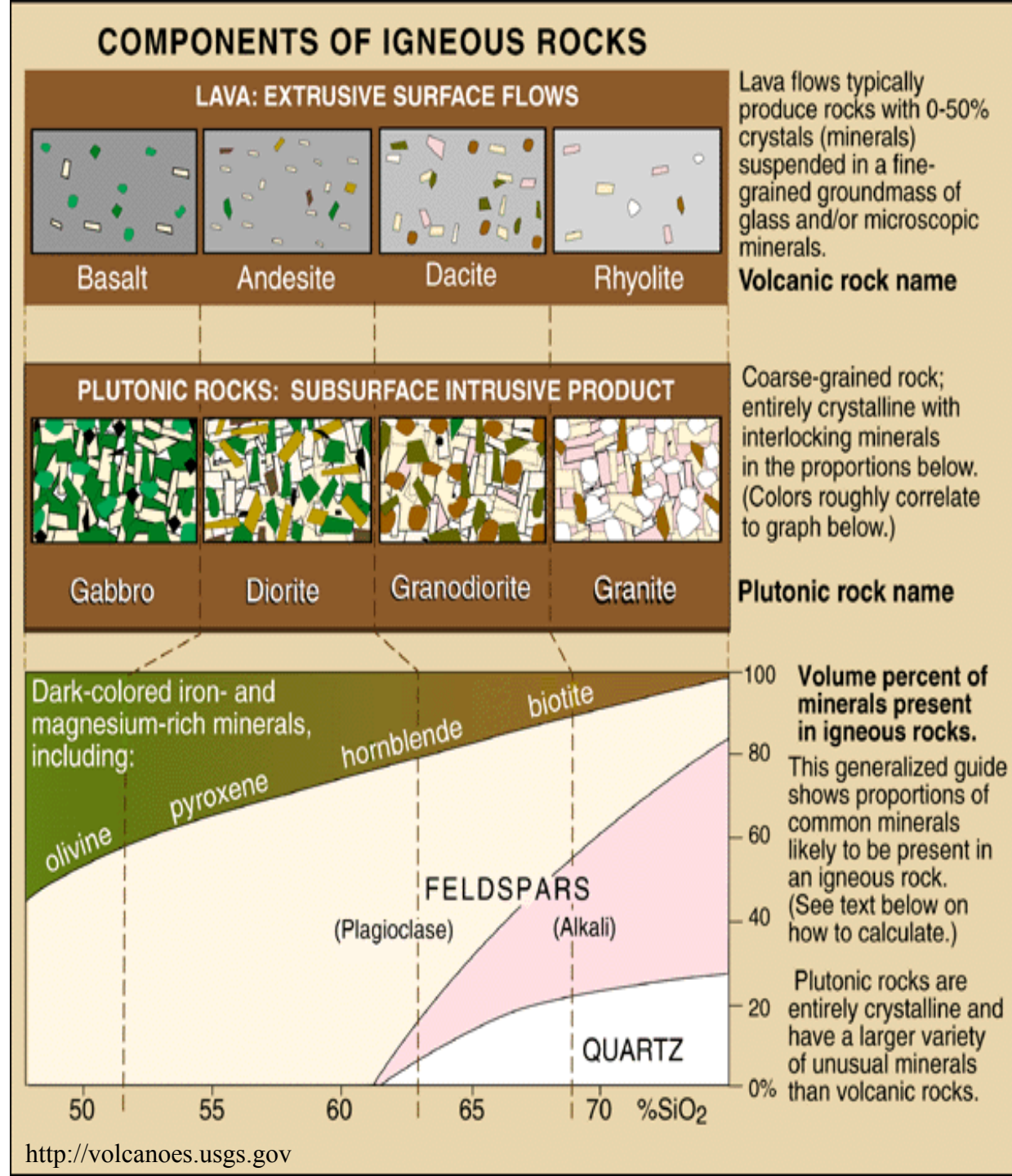
CHLADNUTÍ

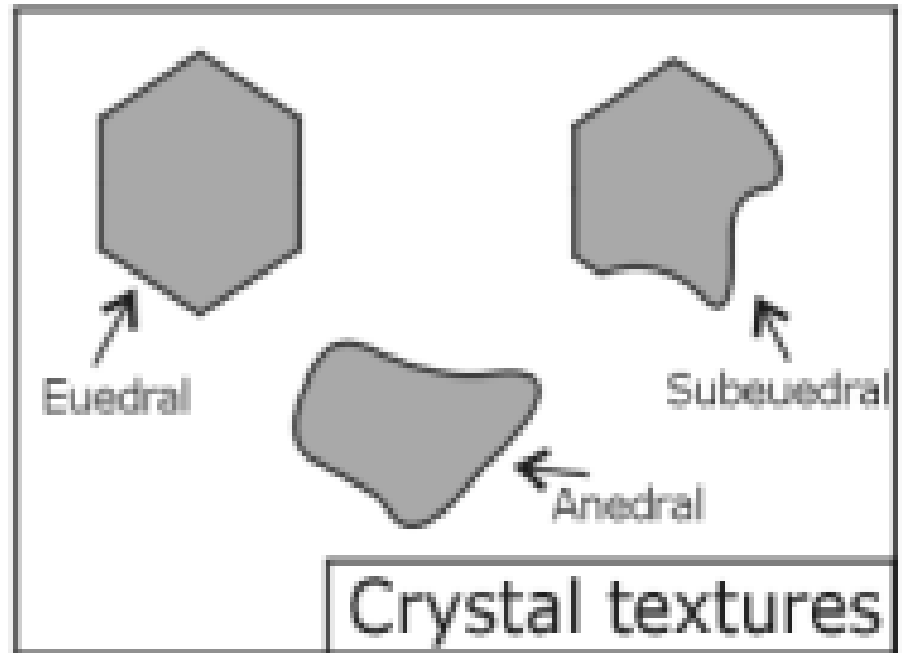
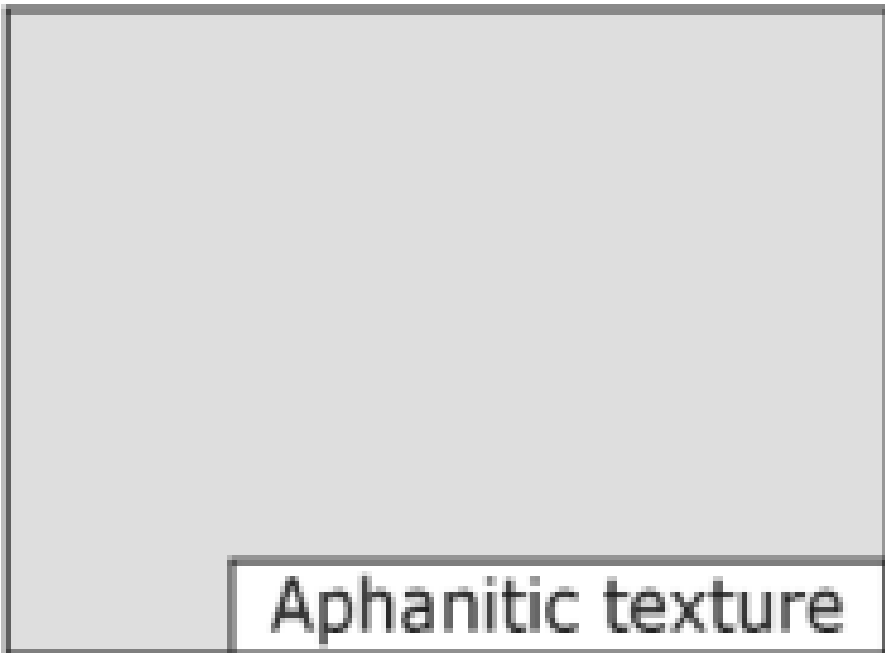
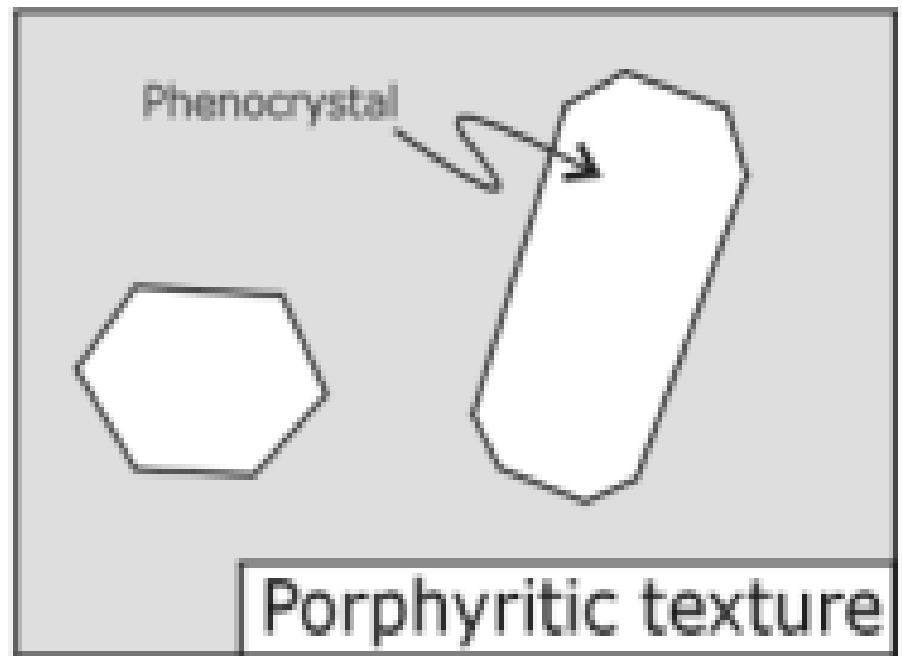
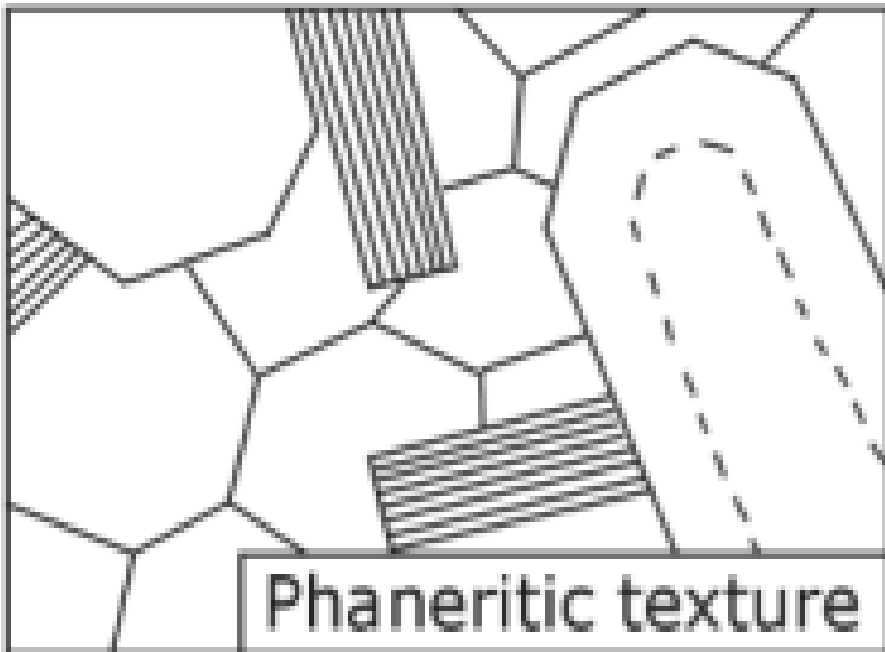
- Krystalizace magmatu probíhá v teplotním intervalu u většiny granitů to je 1000-600°C.
- Rychlost chladnutí závisí na hloubce, tvaru magmatického krbu, a krystalujících fázích.
- Magma chladne exotermicky a uvolňuje teplo do okolních hornin či atmosféry.
- Magma je otevřený systém, který uvolňuje do okolí plyny nebo fluida.



RYCHLOST VÝSTUPU A CHLADNUTÍ

- Tyto vlastnosti závisí na fyzikálních a strukturních charakteristikách magmatu (velikost tělesa, tvar, viskozita, složení).
- Největší rychlost výstupu mají kymberlity (40 km/h), nejnižší rychlost je kolem několika cm/1000 roků.
- Rychlost chladnutí: batolit o rozměrech 10,000 km³ potřebuje asi 10 million let.

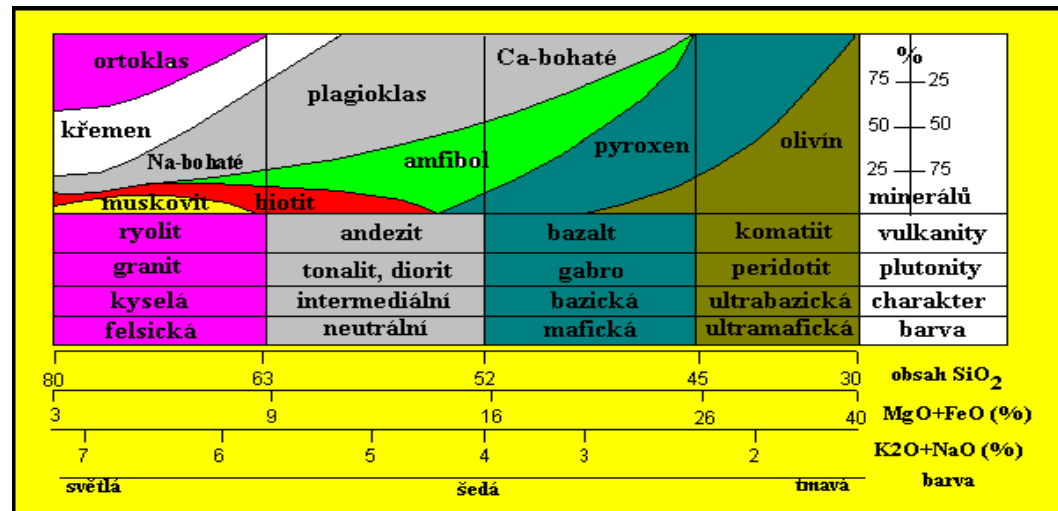




Rozdělení vyvřelých hornin (klasifikace IUGS)

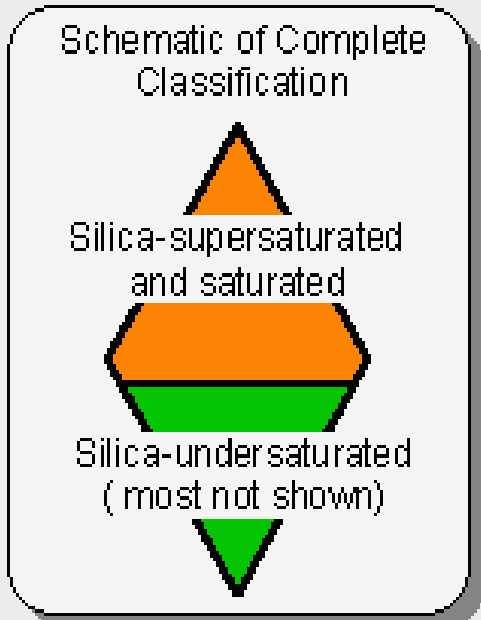
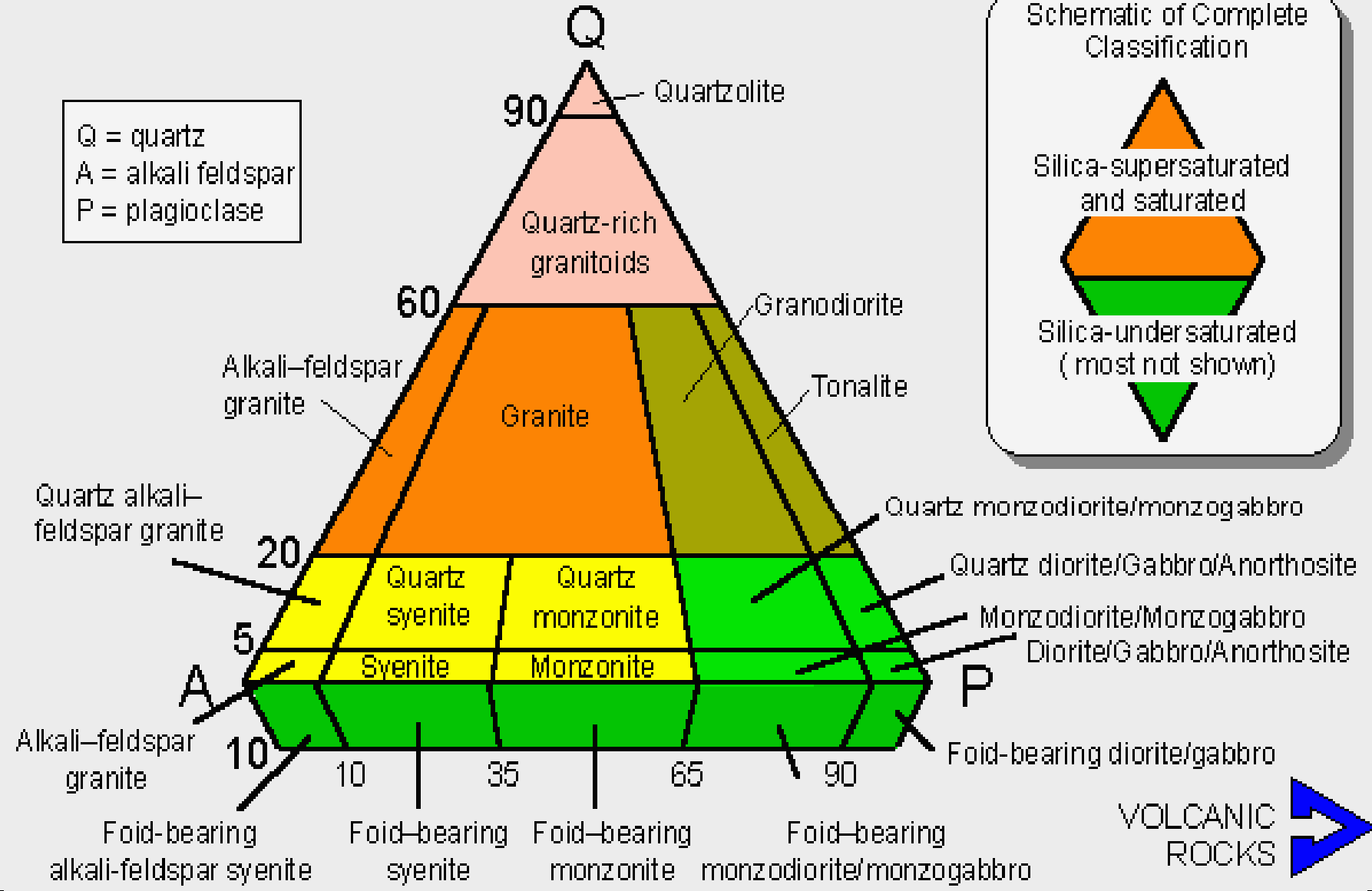
- Klasifikace IUGS pro plutonity je klasifikací kvantitativně-mineralogická.
- Pro vulkanity se používají jak mineralogického tak i chemického klasifikačního principu (prostřednictvím diagramu TAS).
- Jako hlavní a primární klasifikační kritérium pro granity použít (modální) minerální složení hornin:
- Q = křemen;
- A = alkalický živec (ortoklas, mikroklin, perthit, anortoklas, albit An 00 až 05);
- P = plagioklas An 05 až 100, skapolit;
- F = foidy (leucit a pseudoleucit, nefelin, minerály sodalitové skupiny, analcim);
- M = mafické minerály, (slídy, amfiboly, pyroxeny, olivín, opakní minerály, akcesorie jako zirkon, apatit, titanit apod., epidot, ortit, granáty, melilit, monticellit, primární karbonáty atd.

- Podle SiO₂ na vyvřeliny:
 - kyselé (nad 65% SiO₂)
 - intermediární (65-52% SiO₂)
 - bazické (52- 44% SiO₂)
 - ultrabazické (pod 44% SiO₂)



PORTION OF IUGS CLASSIFICATION OF PHANERITIC FELDSPATHIC ROCKS
(after Streckeisen, 1973, 1976)

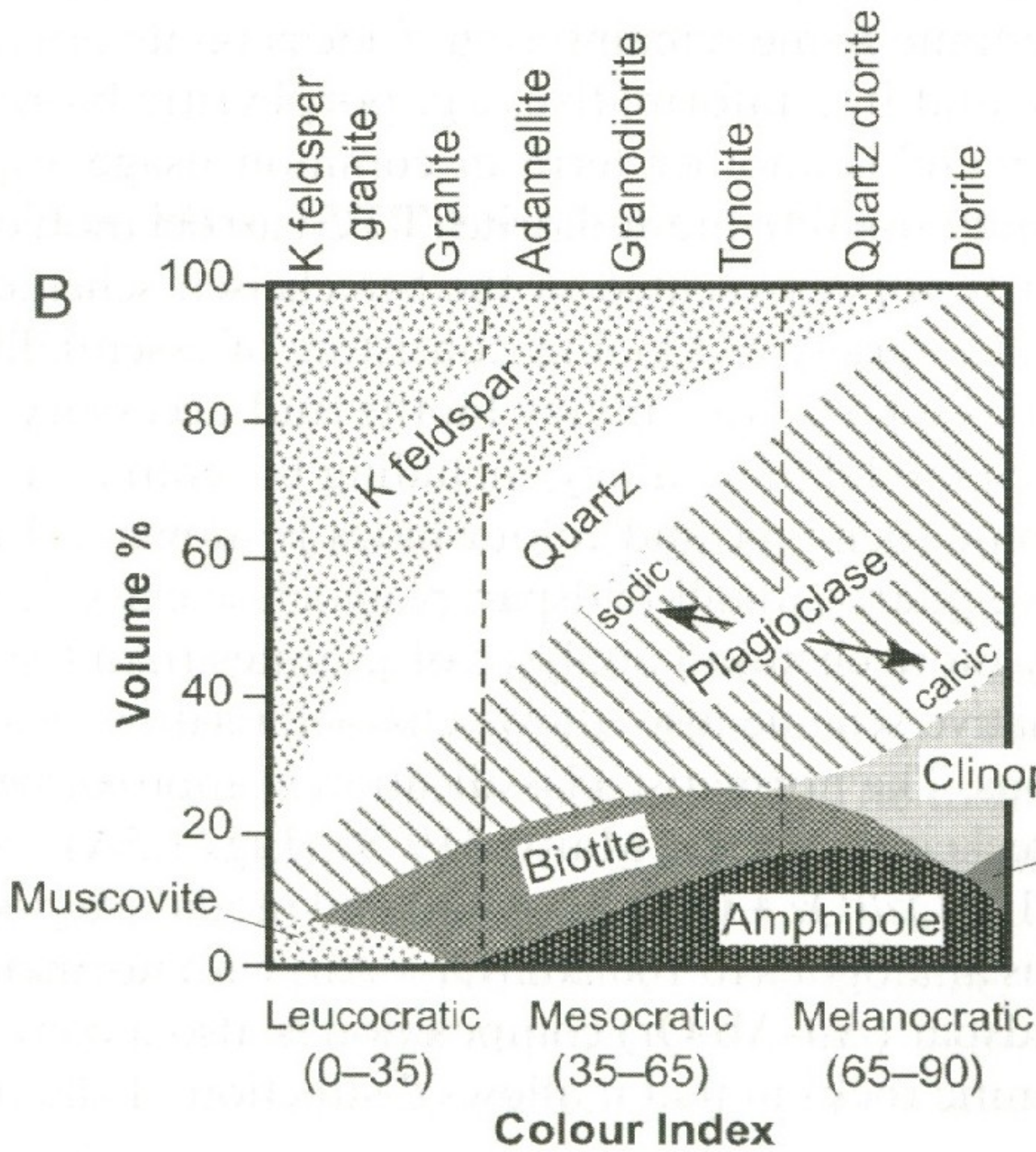
Q = quartz
A = alkali feldspar
P = plagioclase



VOLCANIC ROCKS

Podle nasycení SiO₂

- Nasycení (saturování) SiO₂ : minerály můžeme rozdělit na 2 skupiny:
 - a) minerály nasycené SiO₂: jsou kompatibilní s křemenem a dalšími modifikacemi SiO₂ (tridymit)-živce, amfiboly.
 - b) minerály nenasyčené SiO₂: nemohou se vyskytovat s primárním křemenem např. Mg-olivín, nefelin a další foidy. Nenasycené minerály by v přítomnosti SiO₂ reagovaly na nasycené:
- $2\text{SiO}_2 + \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \rightleftharpoons \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
- $\text{Qtz} + \text{Ne} \rightleftharpoons \text{Albite}$
- $\text{SiO}_2 + \text{Mg}_2\text{SiO}_4 \rightleftharpoons 2\text{MgSiO}_3$
- $\text{Qtz} + \text{Ol} \rightleftharpoons \text{En}$
- Horniny na základě tohoto kritéria rozdělujeme na:
- Přesycené - obsahují křemen
- Nasycené - neobsahují ani křemen ani nenasyčené minerály
- Podsyčené - obsahují nenasyčené minerály



Index tmavosti

(Color index)

Celkový obsah mafických minerálů (v objem. %).

olivín, pyroxeny, amfiboly, biotit, běžné granáty, melilit, ilmenit, magnetit

10% amfibolu + 12% biotitu
= index tmavosti 22

I. 3. Voda v kontinentální kůře

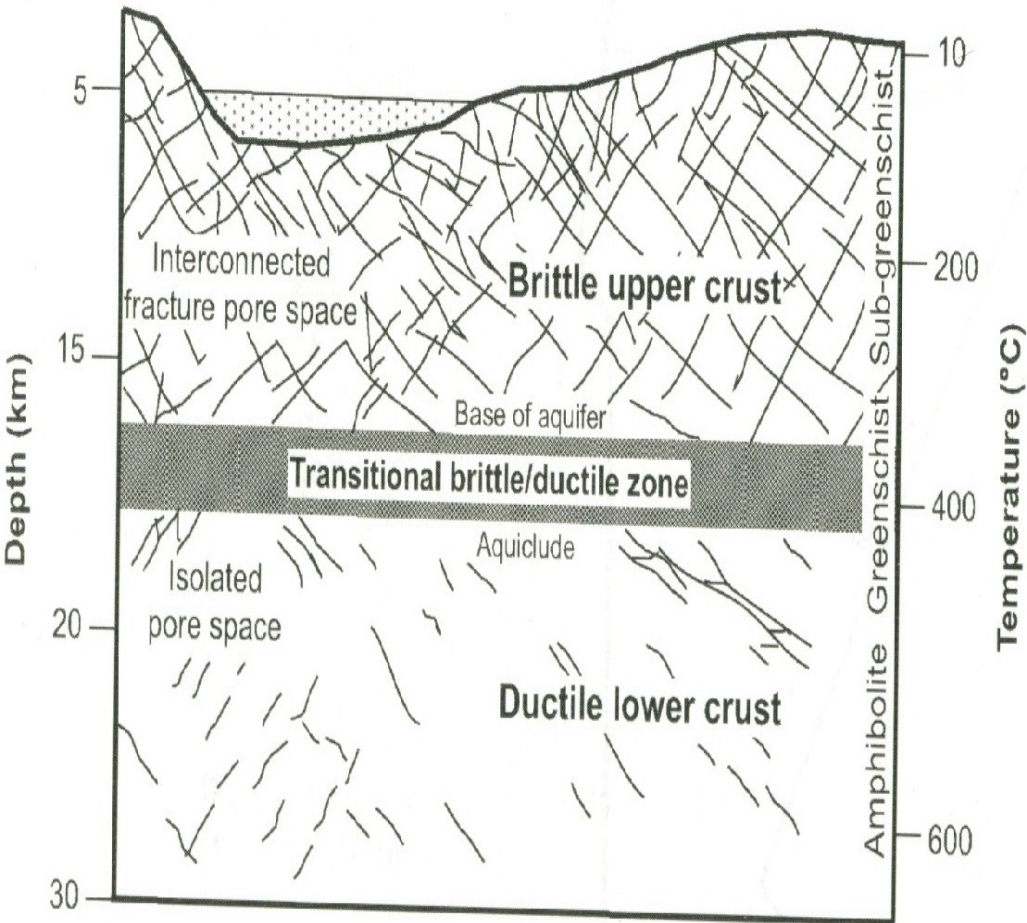
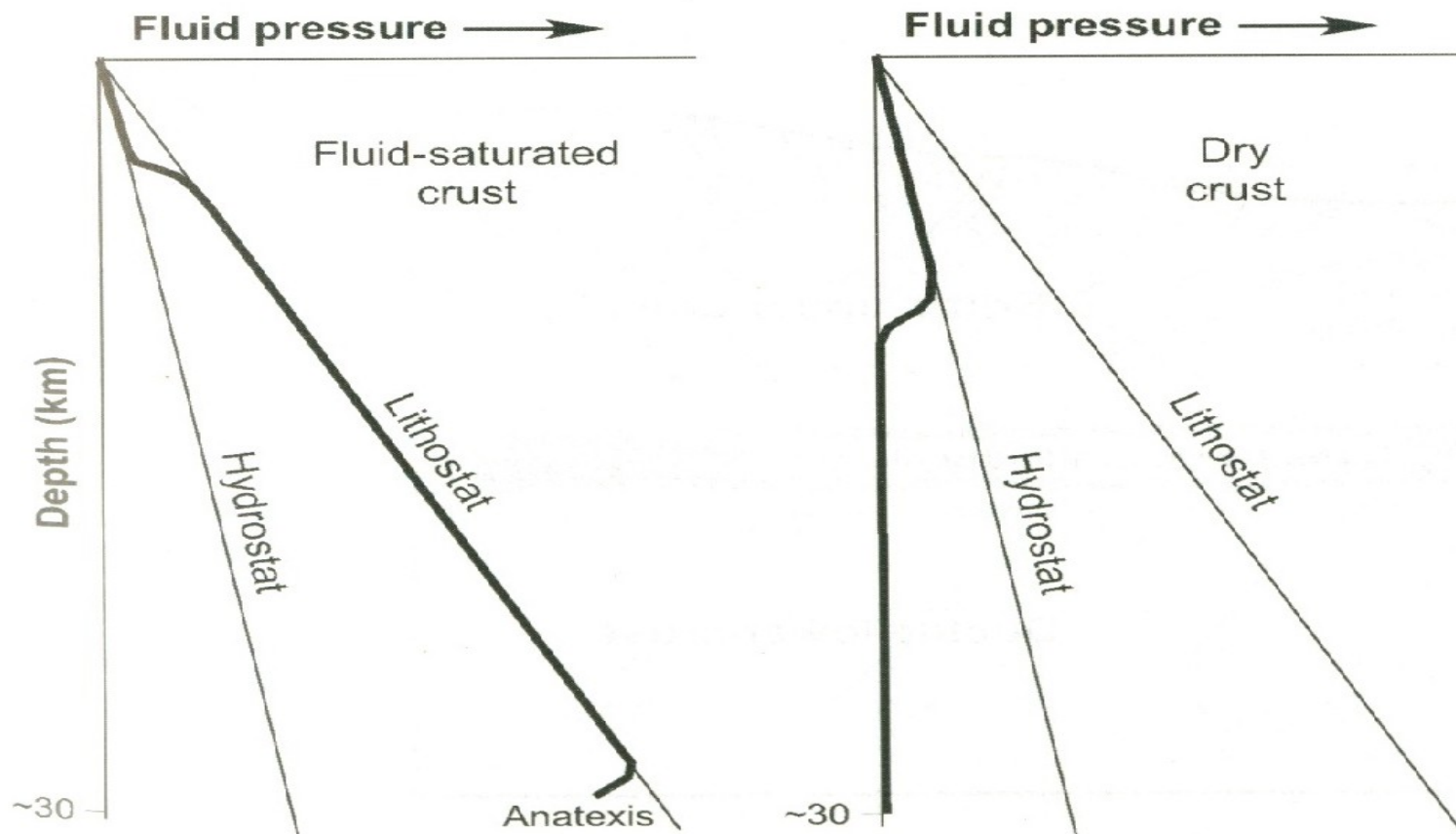


Figure 2.23. Diagram showing fracture system within the SW German (Black Forest) continental crust (redrawn from Fig. 1 of Stober and Bucher 2004). The brittle upper crust is characterised by an interconnected fracture/pore space (aquifer) and the ductile lower crust is characterised by isolated fractures and pores (aquiclude).

- Množství vody v kontinentální kůře ovlivňuje možnosti jejího tavení
- Voda výrazně ovlivňuje transport prvků v kůře.
- Volná voda je na puklinách, v pórech, inkluzích a na zrnech jako tenký film.
- V běžné kontinentální kůře se voda jako fluidní fáze vyskytuje běžně do hloubek 4-5 km kde je teplota kolem 100-200 °C ale ve větších hloubkách se setkáváme vysoce temperovanými fluidy.
- Ve svrchní kůře mohou fluida komunikovat s povrchem ve větších hloubkách je systém uzavřen
- Ve střední a spodní kůře je většina vody vázána v minerálech.
- Obsah vody ve spodní kůře je méně než 0,1 % tedy v podstatě bez volné vody.

- Model pro vývoj tlaku fluid v závislosti na hloubce:
- A. Kůra saturovaná fluidy tlak roste s růstem hloubky z hydrostatického tlaku ve svrchní kůře do litostatického tlaku ve spodní kůře.
- B. Suchá kůra ve svrchní kůře je tlak hydrostatický a není díky minerálním reakcím přítomen v kůře spodní, kde je velmi nízký tlak pufrován minerálními reakcemi (Chen a Grapes, 2007)



	Q = 20-60				Q = 5-20						
	Plagioclase				Plagioclase						
	0-10	10-65	65-90	90-100	0-10	10-35	35-65	65-90	90-100		
	% of total feldspar				% of total feldspar						
Field	2	3	4	5	6*	7*	8*	9*	10*		
Color index								An...	An...	An...	An...
0	Alkali-feldspar	Leuco-	Leuco-	Leuco-	Alkali-feldspar	Leuco-	Leuco-	Leuco		Quartz anorthosite	
10											
20	granite	Granite	Granodiorite	Tonalite	quartz	Quartz	Quartz	monzodiorite	Leuco	Leuco	Leuco
30	(biotite)	(biotite + hornblende)	(biotite or hornblende)		monzonite	syenite	syenite		monzogabbro	Leuco	Leuco
35										Quartz	Quartz
40								Quartz	Quartz	Quartz	gabbro
50	Mela-	Mela-	Mela-	(biotite-hornblende)	Mela-	Mela-	(biotite)	Quartz	Quartz	Quartz	Quartz
60				Mela-			Mela-	Mela-		(hornblende ± biotite)	Quartz
65											
70									Mela-	Mela-	Mela-

Na₂O + K₂O (wt.%)

16
14
12
10
8
6
4
2
0

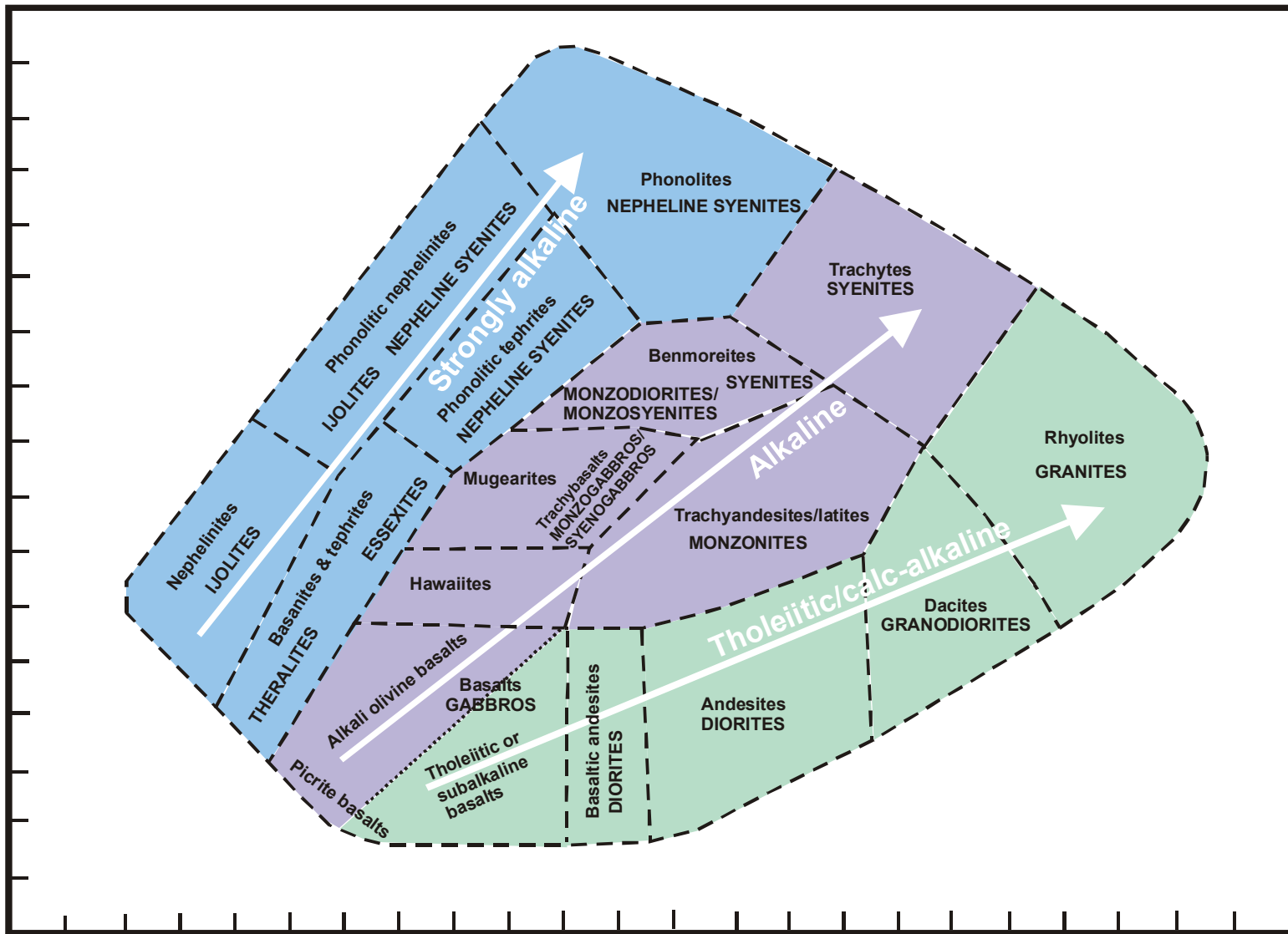
40

50

60

70

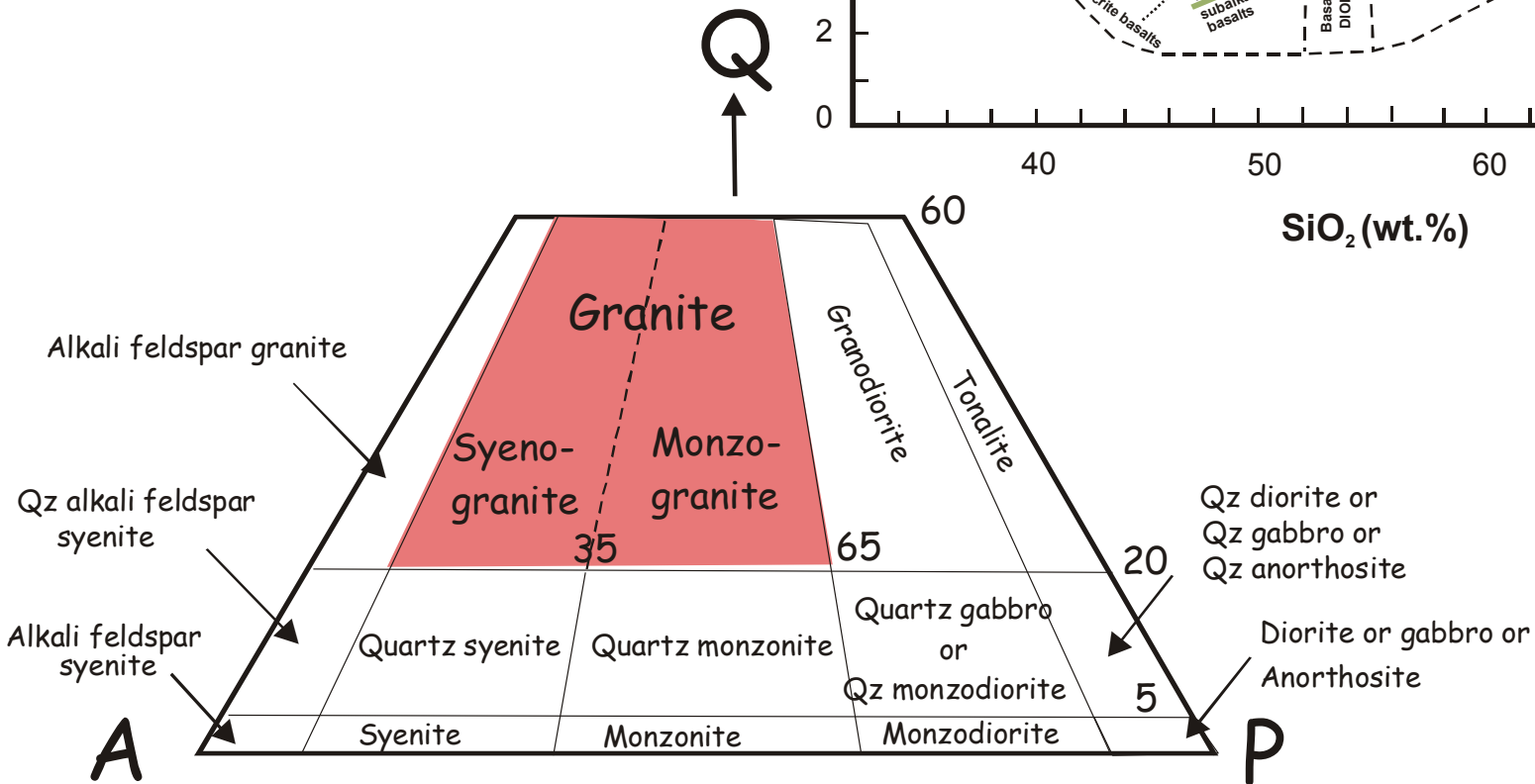
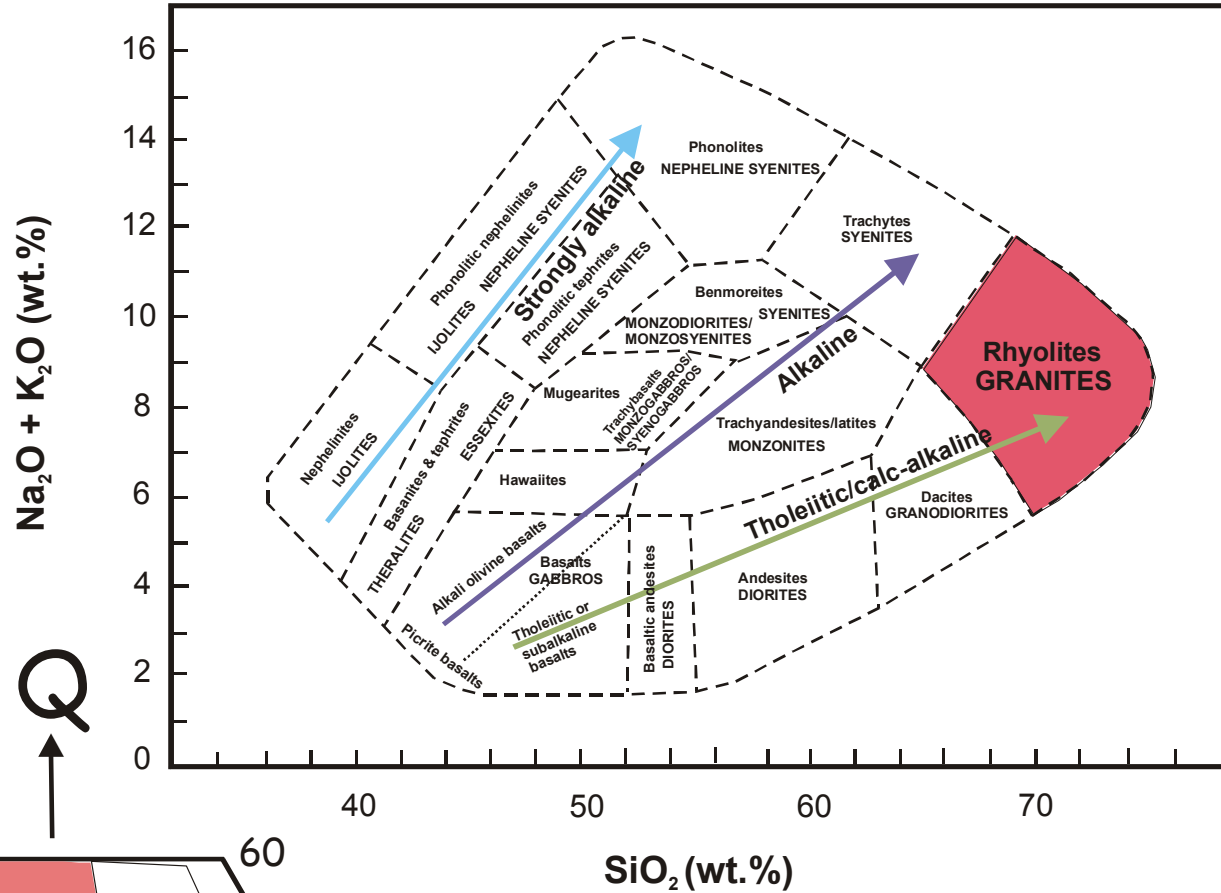
SiO₂ (wt.%)



I. 5. Klasifikace granitů

- Během posledních zhruba třiceti let se objevila celá řada snah klasifikovat granitoidy podle různých kritérií.
- Ne všechny klasifikace se ujaly a navíc některá klasifikační kritéria nejsou vzájemně porovnatelná.
- A) Mineralogická klasifikace
- B) Klasifikace založené na hlavních prvcích
- C) Klasifikace založené na stopových prvcích
- D) Klasifikace spojující více kritérií (genetická)
- E) Pojmenování geografické (např. "mrákotínský typ", „táborský syenit,“) zahrnuje horninu nebo skupinu hornin které jsou definovány petrograficky a regionálně.

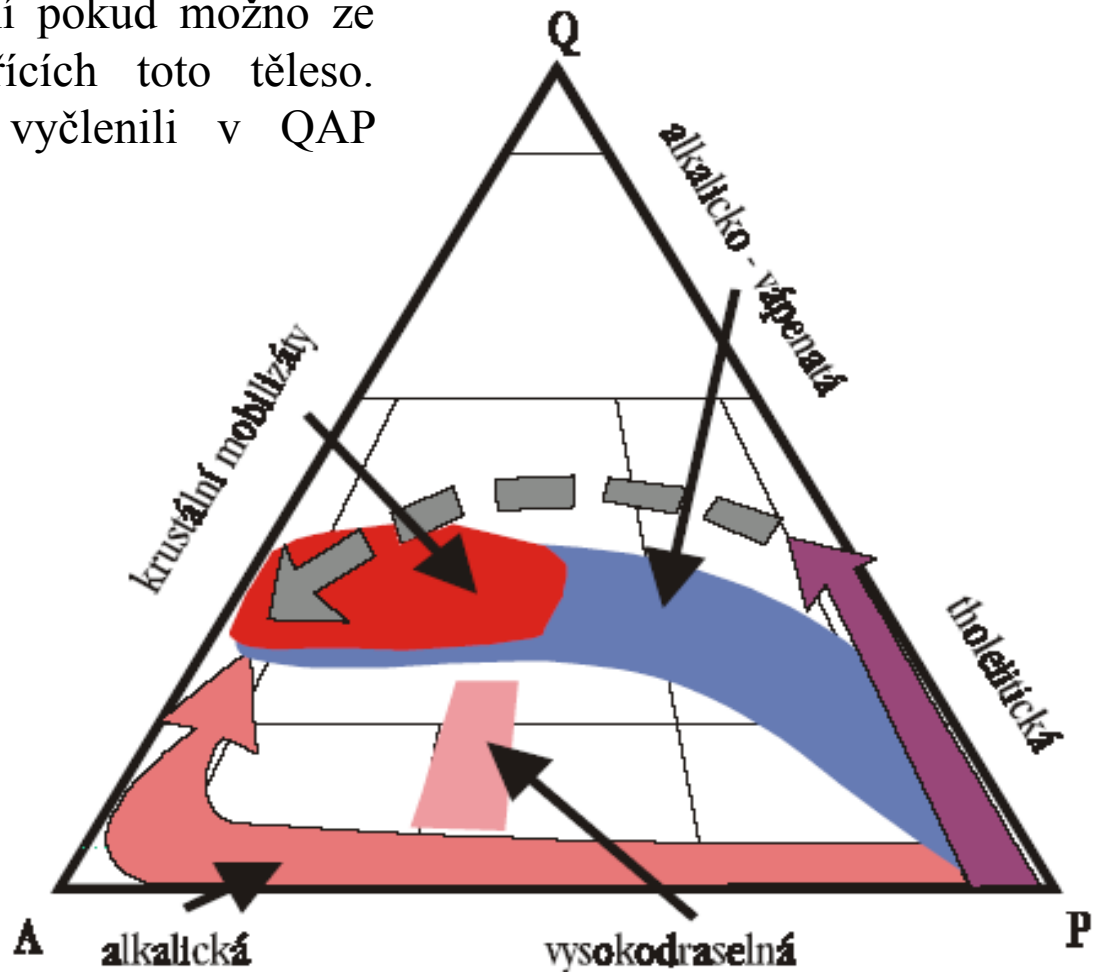
%SiO ₂	Designation	% Dark minerals	Designation	Example rock
> 66	Acid	< 40	Felsic	Granite, rhyolite
52–66	Intermediate	40–70	Intermediate	Diorite, gabbro
45–52	Basic	70–90	Mafic	Gabbro, basalt
< 45	Ultrabasic	> 90	Ultramafic	Dunite, peridotite



A. Mineralogické klasifikace

- Podle poměru hlavních světlých minerálů (křemen, alkalické živce, plagioklasy) vyneseno do QAP diagramu je možné určit k jaké horninové sérii magmatické těleso (masiv, batolit) patří.
- Je třeba vynést modální složení pokud možno ze všech horninových typů tvořících toto těleso. Lameyre a Bowden (1982) vyčlenili v QAP diagramu tyto horninové série:
 - vápenato-alkalická serie
 - alkalická serie
 - tholeiitická serie
 - krustální mobilizáty

Základní magmatické asociace v QAP diagramu podle Lameyre & Bowden (1982), převzato Hanžl, (1995)



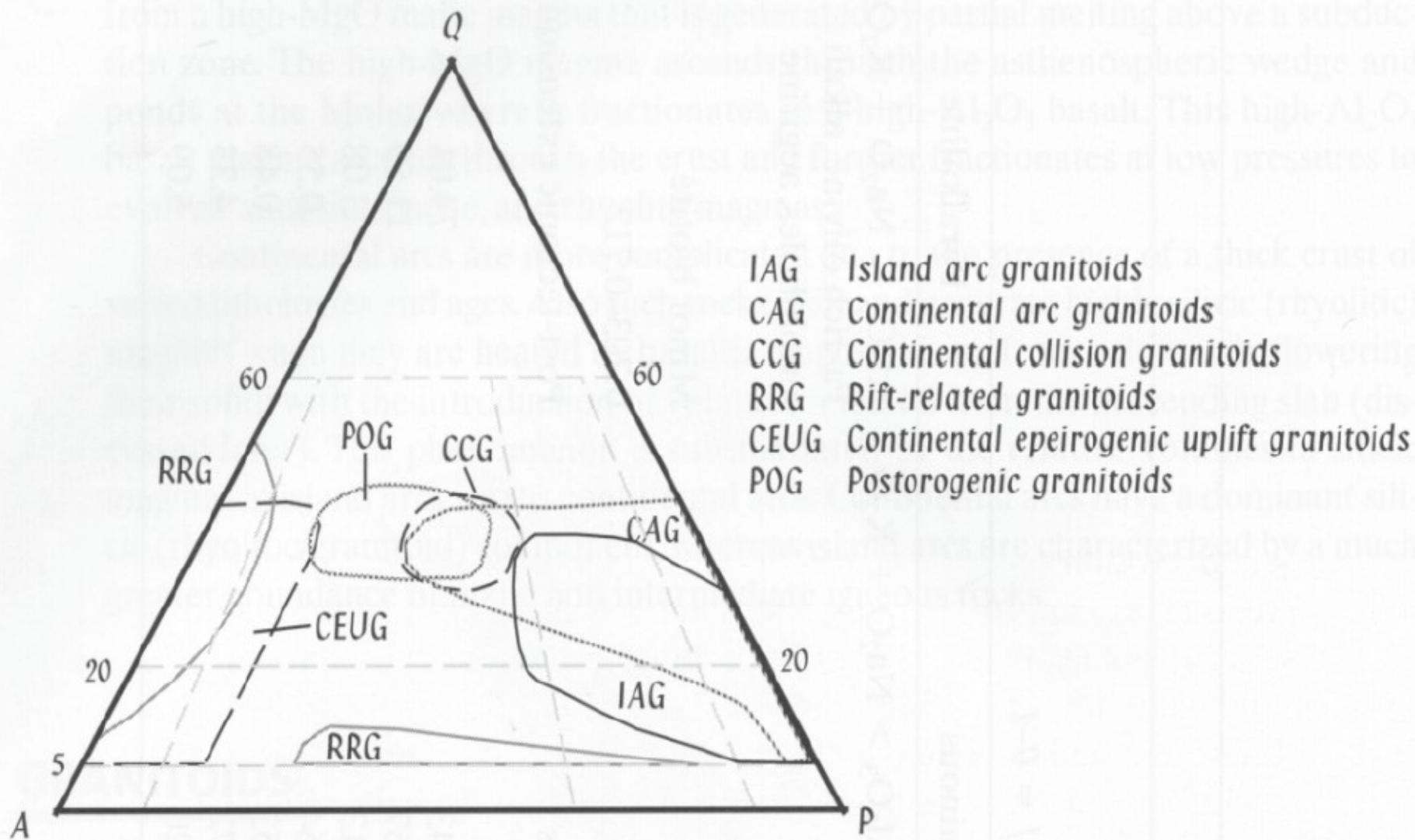
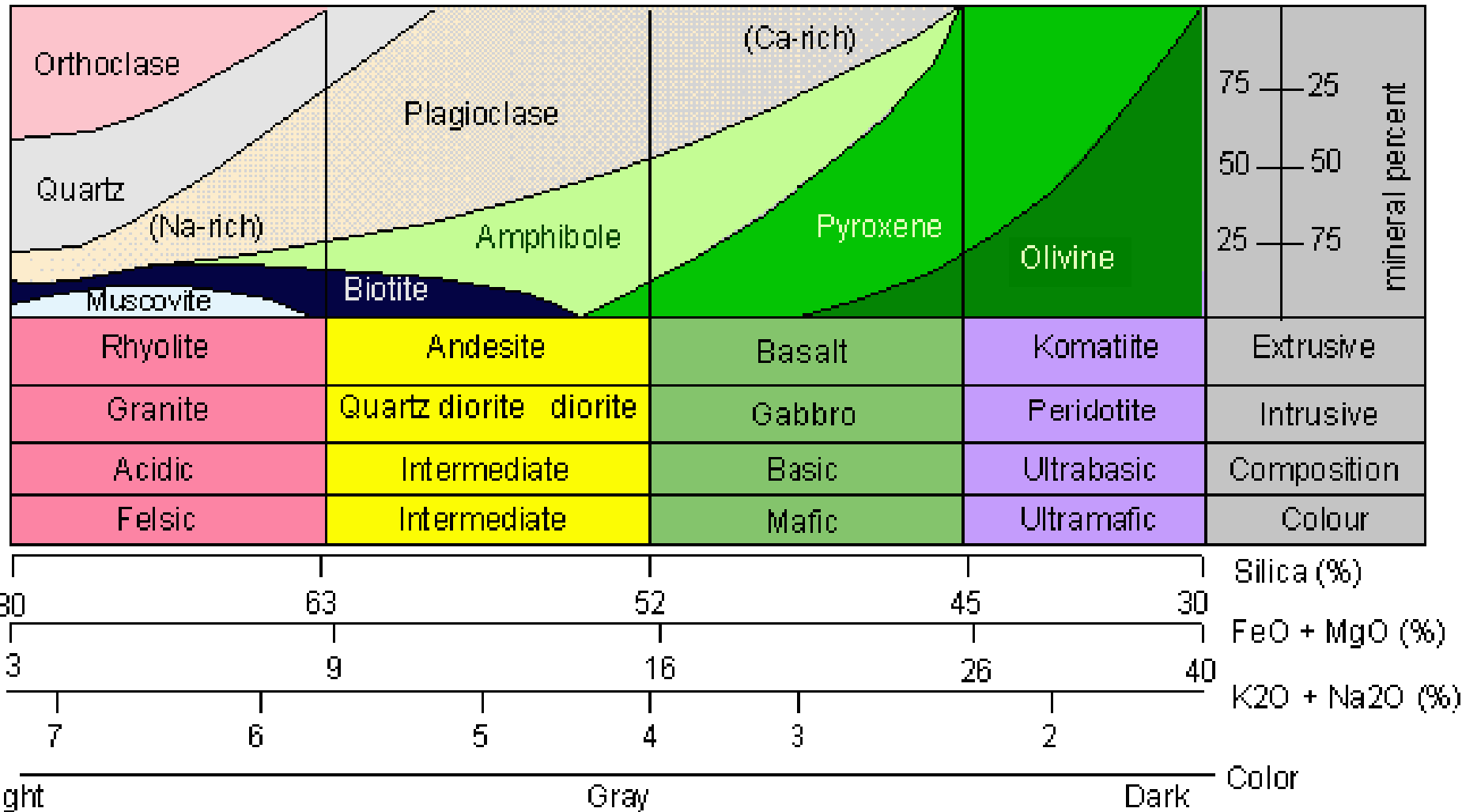


FIGURE 12.18 Plate tectonic environments and granitoid compositions. (Redrawn from Maniar and Piccoli, 1989)

Color index je založen na obsahu minerálů s Fe a Mg :

- **Leukokratní (Leucocratic):** světlá barva 0-30 % tmavých minerálů.
- **Mesokratní (Mesocratic):** 30-60 % tmavých minerálů.
- **Melanokratní (Melanocratic):** 60-90 % tmavých minerálů.
- **Hypermelanokrání (Hypermelanitic):** 90-100 % tmavých minerálů.



Biotit

- Pro klasifikaci lze využít i jednotlivé minerály.
- Podle chemizmu (MgO, FeO, Al₂O₃) rozděluje Albdel-Rahman (1994) biotity na:
 1. biotity v horninách vápenato-alkalických orogenetické suity
 2. biotit v horninách anorogenetické alkalické suity
 3. biotit v horninách peraluminické (včetně S-typů) suity

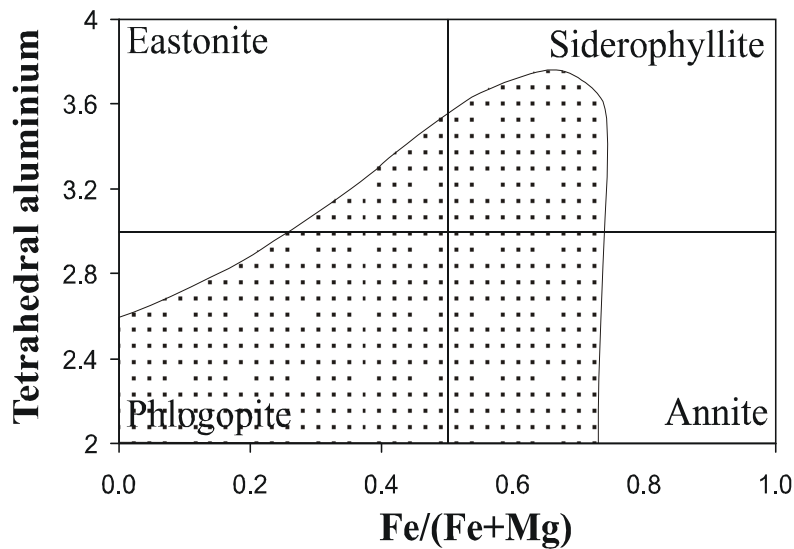
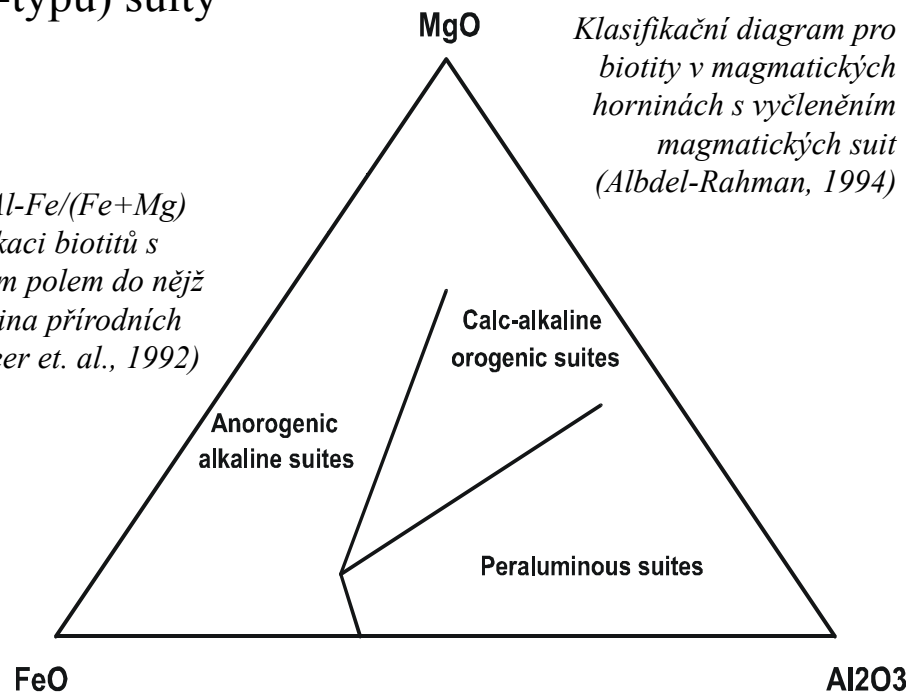


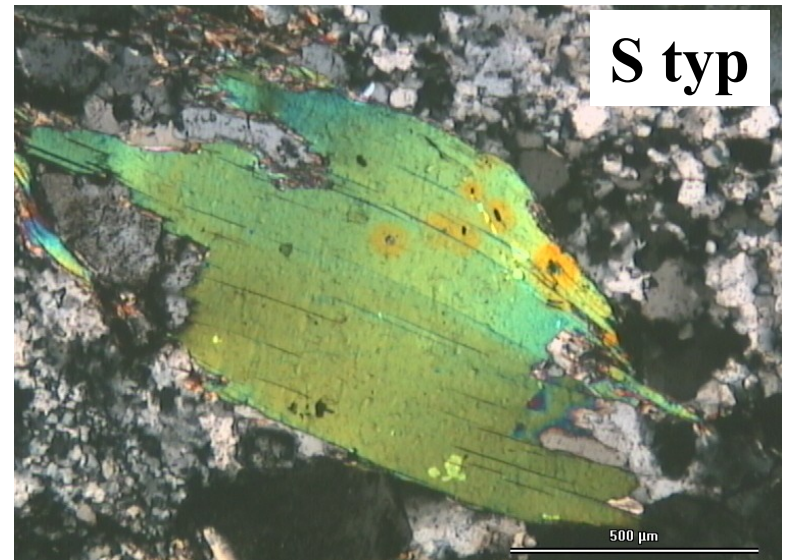
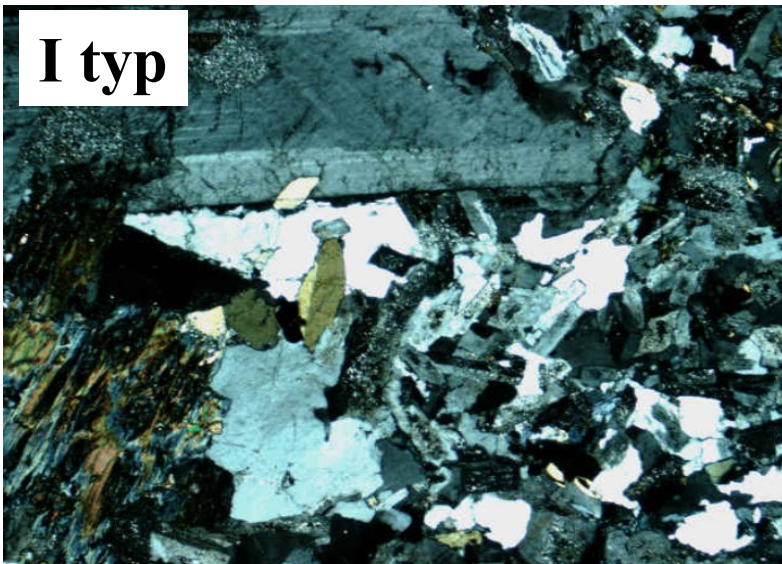
Diagram Al-Fe/(Fe+Mg) pro klasifikaci biotitů s vyznačeným polem do nějž spadá většina přírodních biotitů (Deer et. al., 1992)



Klasifikační diagram pro biotity v magmatických horninách s vyčleněním magmatických suit (Albdel-Rahman, 1994)

Ilmenit-magnetit

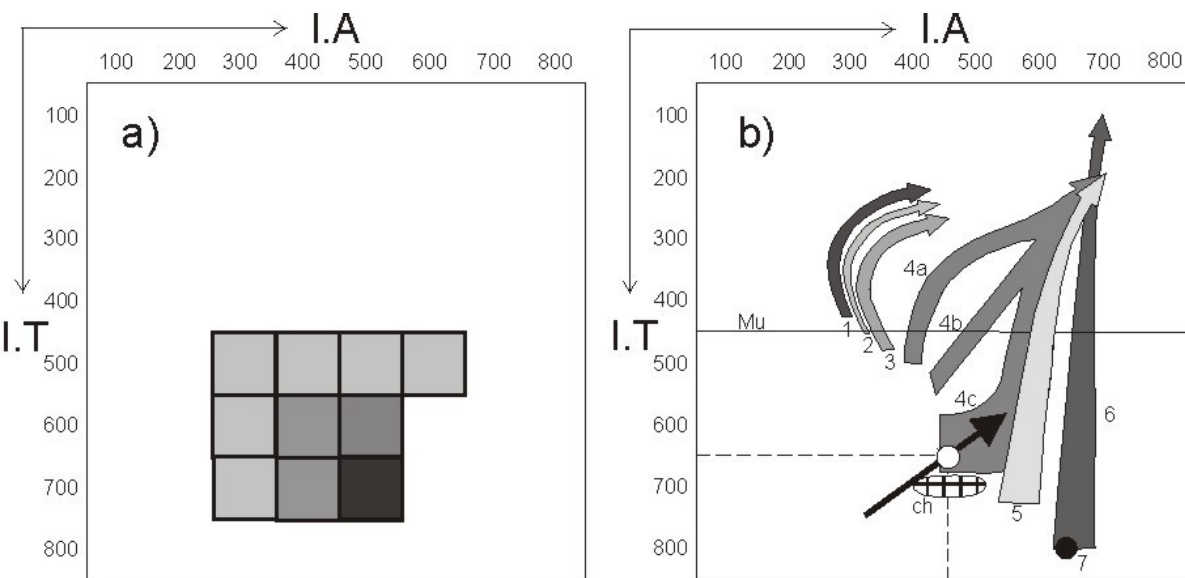
- Na základě studia opákných minerálů japonských granitoidů vyčlenil Ishihara (1977) magnetitovou a ilmenitovou serií.
- Také Whalen a Chappell (1988) zjistili v australských granitech I-typu asociaci magnetit+ilmenit, zatímco v S-typech asociaci ilmenit+sulfidy.
- Asociaci v S-typech vysvětlují redukčními podmínkami při vzniku, díky přítomnosti síry a uhlíku v původních sedimentech.
- Zmínění autoři potvrdili, že magnetitová serie většinou odpovídá I-typy granitů, zatímco S-typy granitů vesměs spadají do ilmenitové serie.
- Ale toto rozdělení neplatí vždy, protože výskyt magnetitu nebo ilmenitu výrazně ovlivňuje fugacita kyslíku.



Zirkon

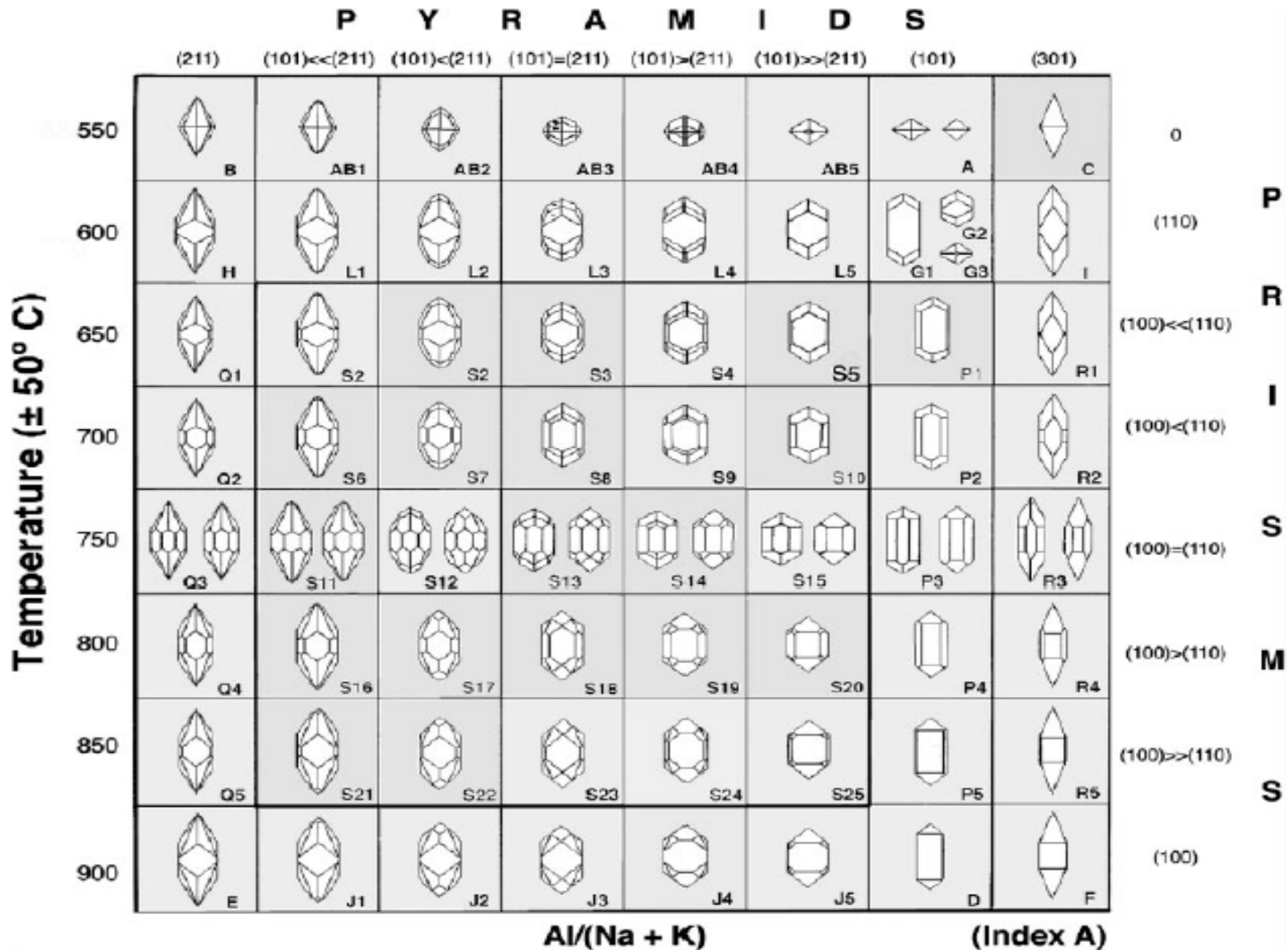
- Typologie zirkonů (Pupin, 1985). Diagram vytvořený tímto autorem umožňuje odhadnout interval teploty krystalizace zirkonu a stupeň alkalinity mateřské taveniny. Navíc na základě tvarové diverzity zirkonu v hornině je možné zařadit tuto horninu do magmaticke suity. V diagramu je vyčleněno několik hlavních trendů:

1. aluminické anatektické granity
2. hybridní korovo-plášťové vápenato-alkalické a subalkalické granity
3. plášťové alkalické nebo tholeitické granity
4. charnockity

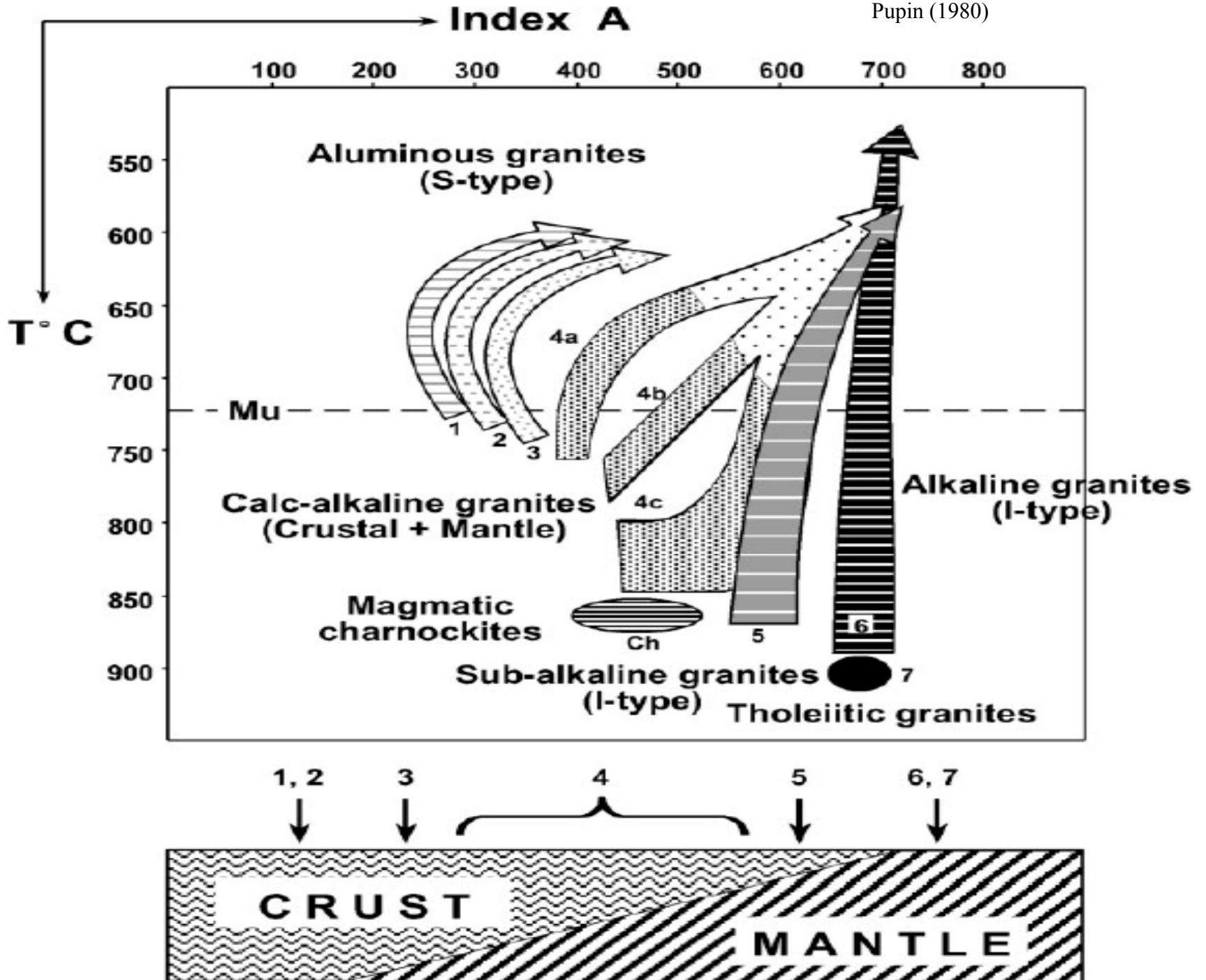


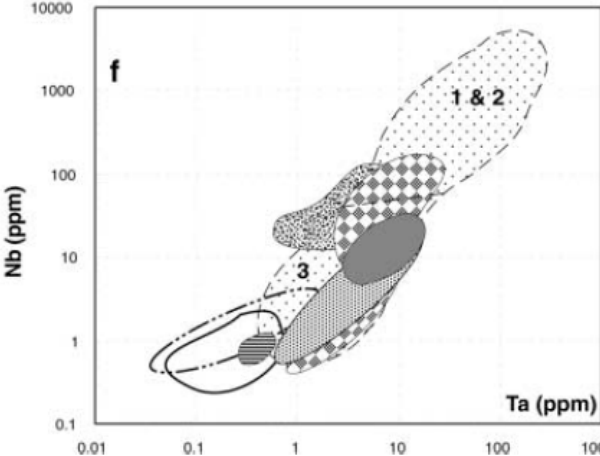
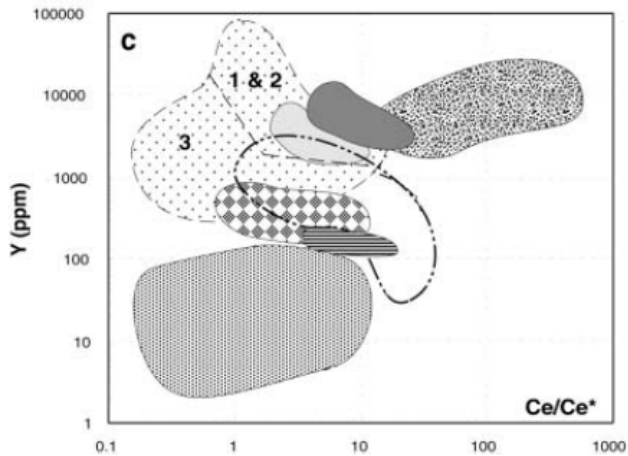
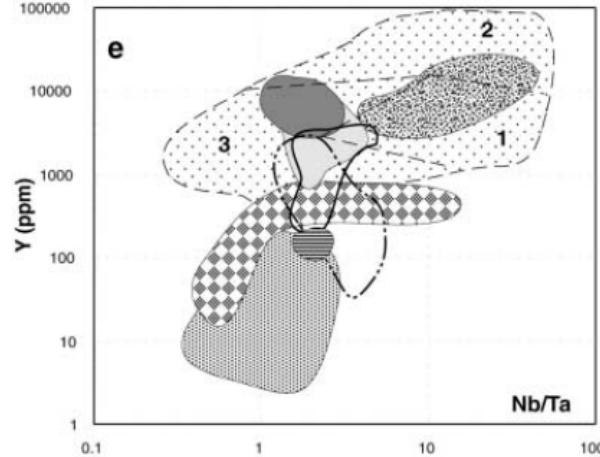
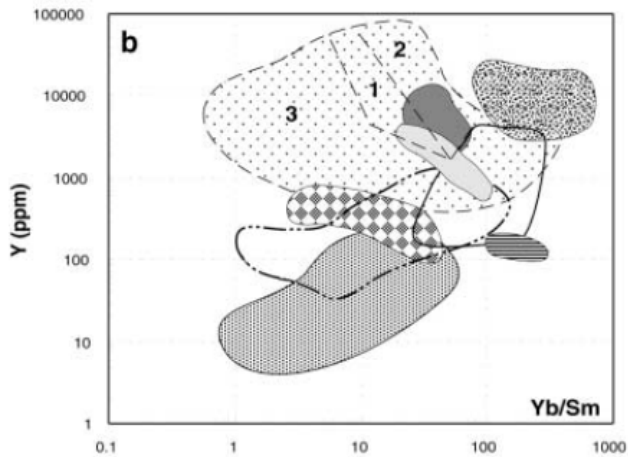
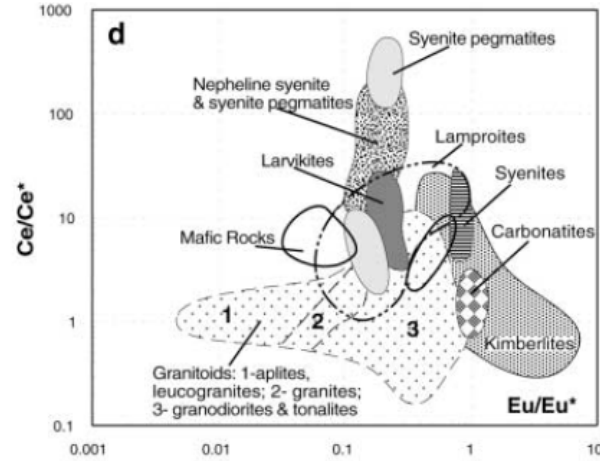
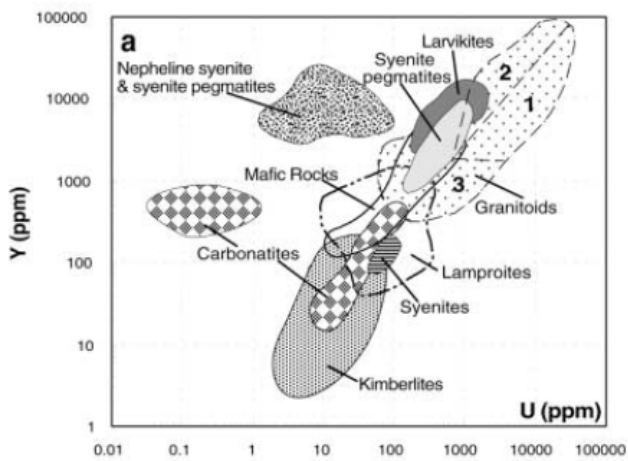
a) Četnost zirkonů (vzrůstá se sytostí); b) T.E.T. je označen šipkou. Bílé kolečko představuje tzv. střední bod zirkonové populace (Dozbaba, 2003).

1 – peraluminické leukogranity, 2 – (sub)autochtonní monzogranity a granodiority, 3 – peraluminické monzogranity a granodiority, 4(a,b,c) – granity smíšeného korového a plášťového původu (hybridní granity), 5 – granity subalkalické suity, 6 – granity alkalické série, 7 – granity tholeitické série, ch – čarnokity, Mu – vyjadřuje hranici, pod níž není v granitech přítomen muskovit (upraveno podle Pupina 1980).



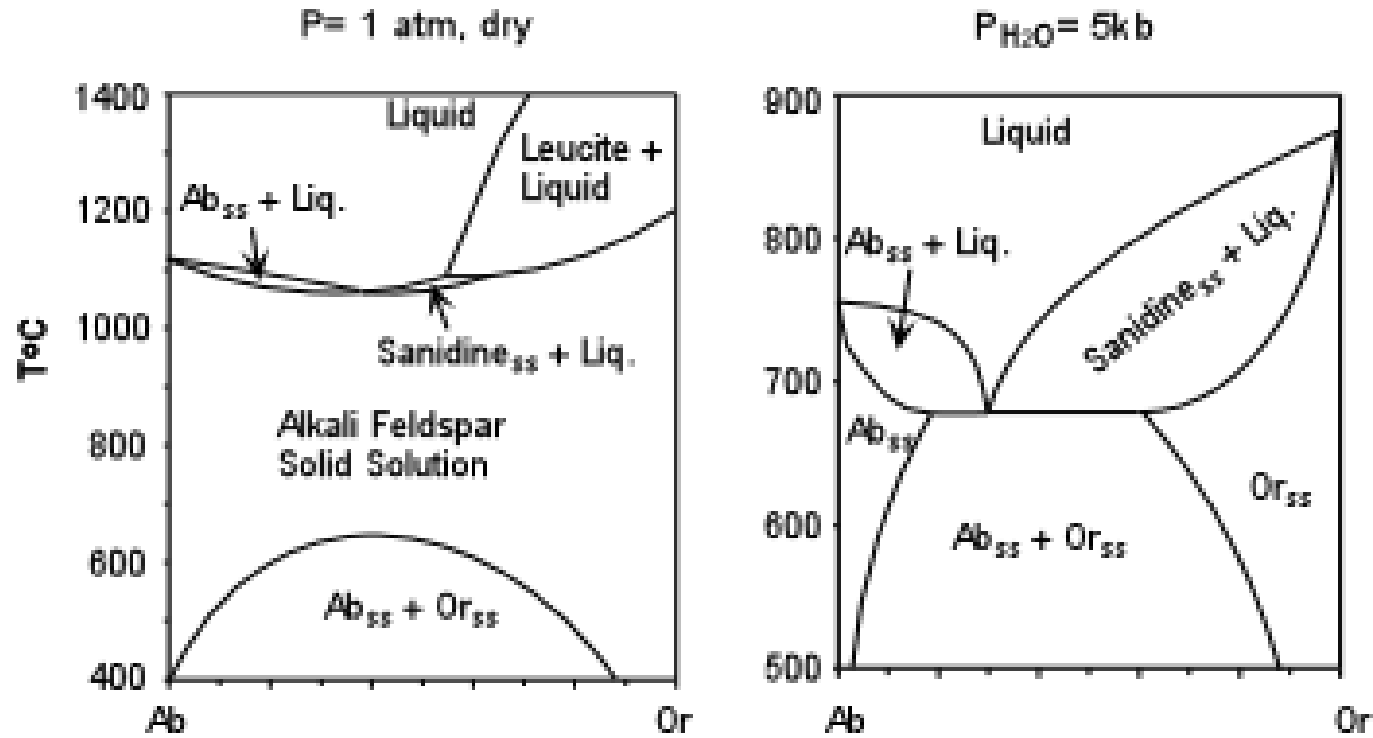
Zircon typological classification and corresponding geothermometric scale proposed by Pupin (1980). Index A reflects the Al/alkali ratio, controlling the development of zircon pyramids, whereas temperature affects the development of different zircon prisms.





- Chemické složení zirkonu může poskytnout celou řadu důležitých informací (Belusova et al. 2002).
- Jádra některých zirkonů nesou informaci o původu protolitu granitů.
- Někdy mohou granity obsahovat xenokrysty, které dokazují míšení magmat.
- Množství stopových prvků v zirkonech roste od ultramafických hornin k granitoidům.

Hypersolvní a subsolvní granity



- Granity můžeme rozdělit podle chování živců při krystalizaci.
- Protože celou situaci komplikuje přítomnost An komponenty používá se tato klasifikace jen pro alkalickoživcové granity (alkali feldspar granites) podle klasifikace IUGS.
- **Hypersolvní:** při krystalizaci z vodou nasycené granitové taveniny za nízkých tlaků krystaluje jeden alkalický živec za vysokých teplot a vyznačuje se úplnou mísivostí. Při rychlém chladnutí zůstane jeden perthitický draselný živec (*hypersolvus granites*).
- **Subsolvní (*subsolvus granites*)** při pomalém chladnutí za vyšších tlaků se pak odmísí na dvě složky (albit a ortoklas).

B. Klasifikace založené na hlavních prvcích

- Rozdělení na peraluminické, metaluminické a peralkalické zavedl Shand (1947).
- Založeno na molárním poměru $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ a $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$.

Peraluminické (*peraluminous*)

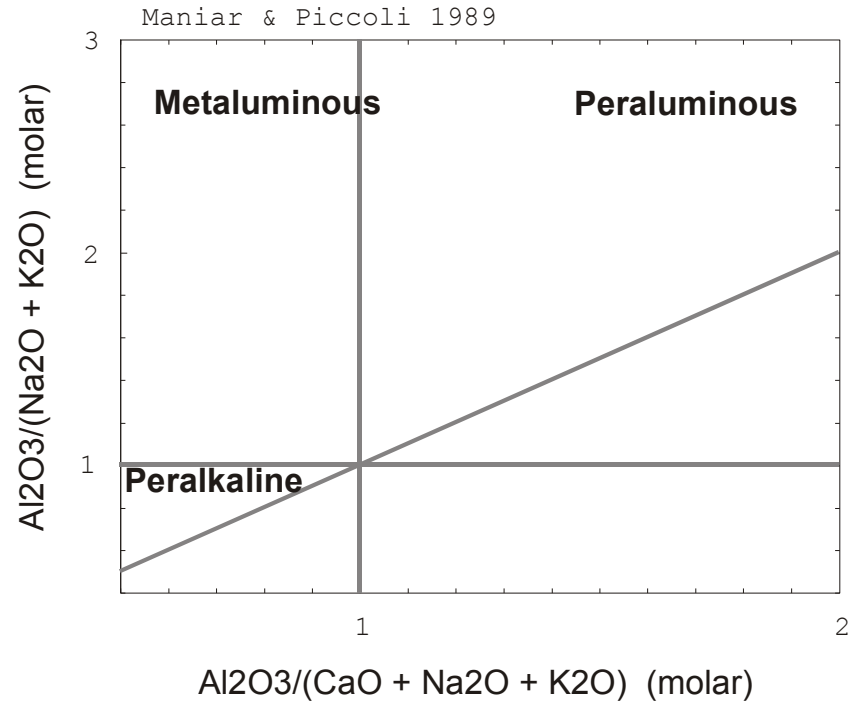
- $Al_2O_3 > (CaO + Na_2O + K_2O)$
- Al_2O_3 bohaté minerály jako muskovit $[KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2]$, korund $[Al_2O_3]$, topaz $[Al_2SiO_4(OH,F)_2]$, nebo $Al_2SiO_5^-$ (kyanit, andalusit nebo sillimanit)

Metaluminické (*metaluminous*)

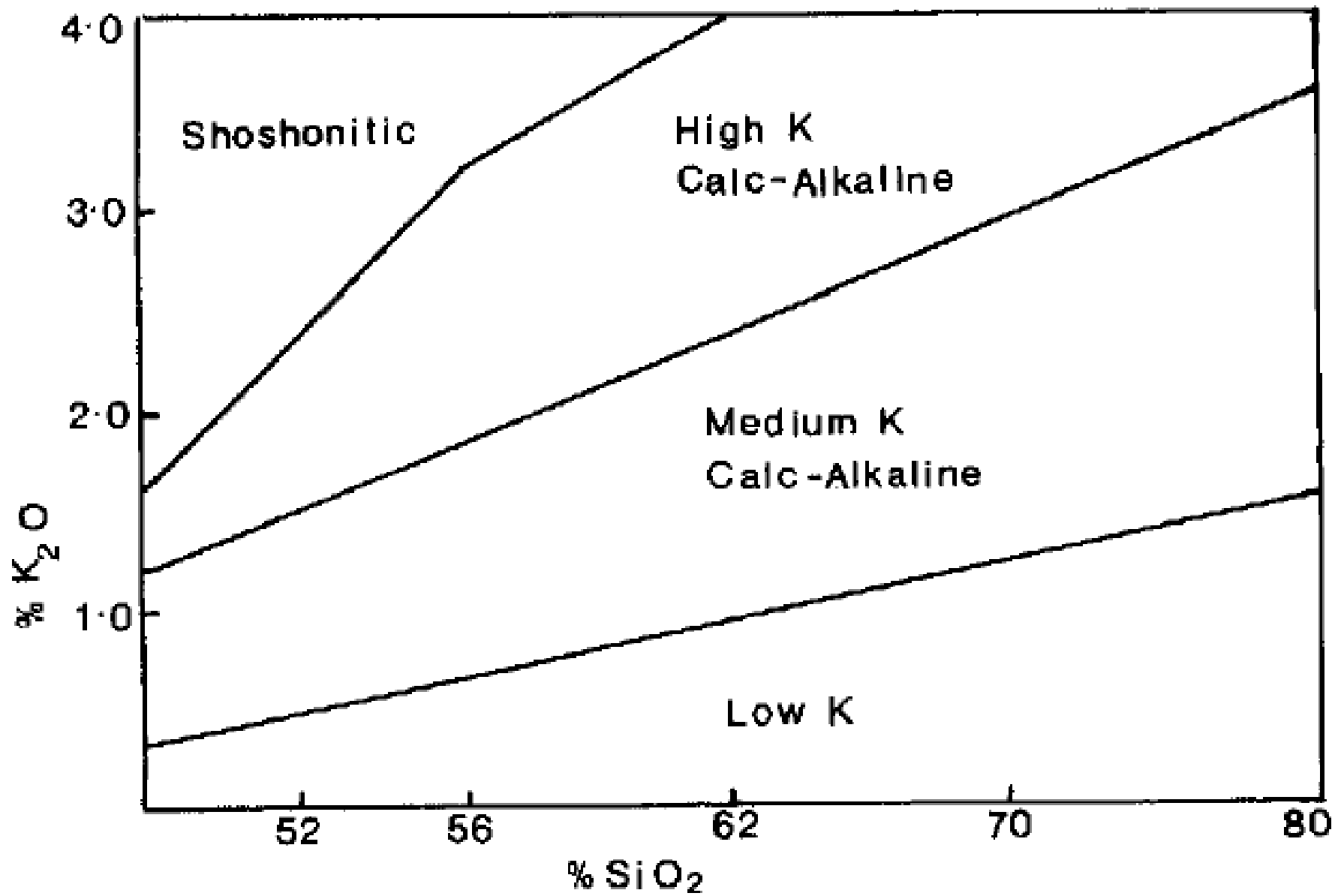
- $Al_2O_3 < (CaO + Na_2O + K_2O)$ a $Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O)$
- tyto granity jsou nejběžnější
- pyroxeny a amfiboly

Peralkalické (*peralkaline*)

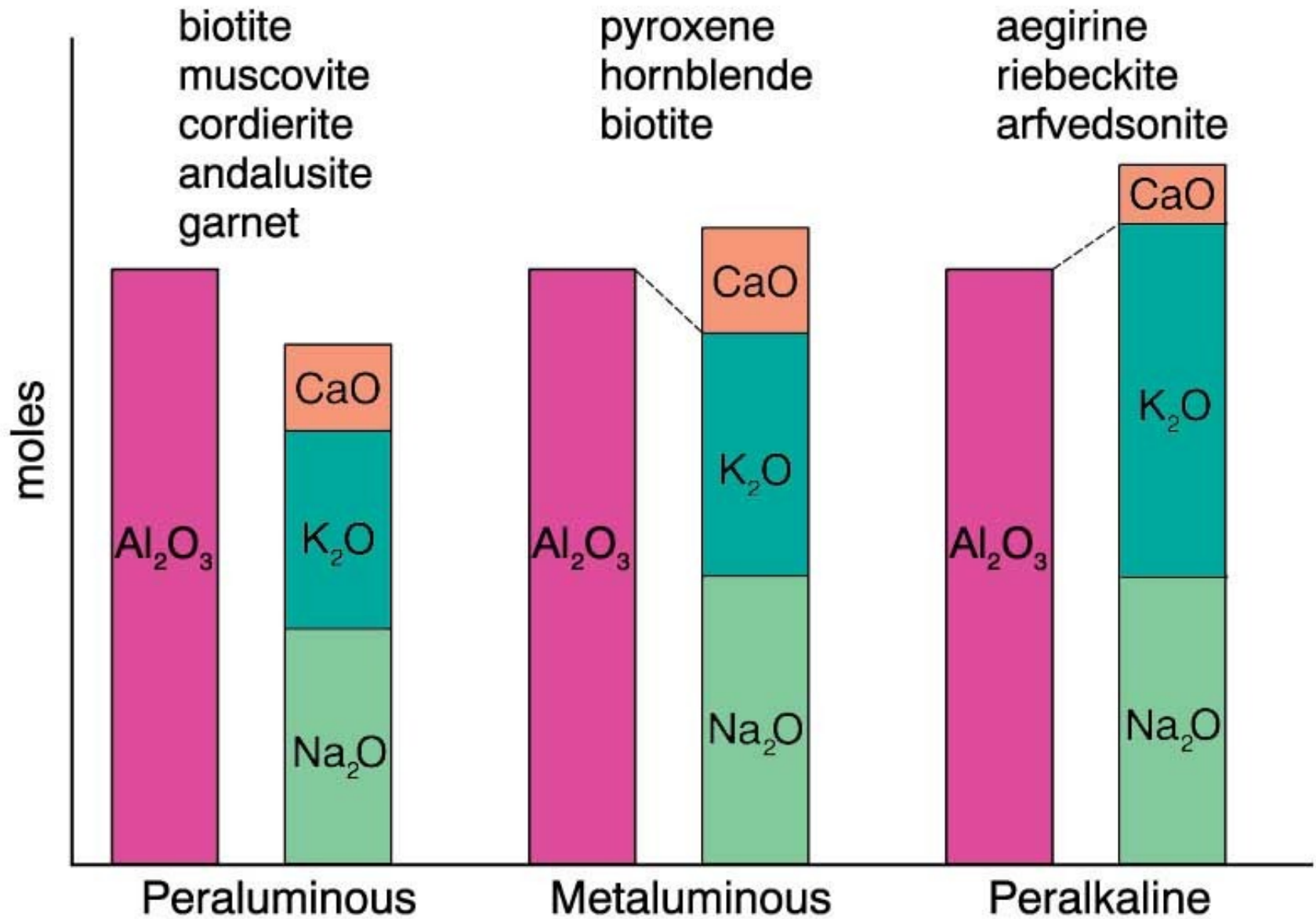
- $Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O)$
- horniny bohaté na alkalie ($Na_2O + K_2O$)
- aegerin $[NaFe^{+3}Si_2O_6]$, riebekit $[Na_2Fe_3^{+2}Fe_2^{+3}Si_8O_{22}(OH)_2]$, arfvedsonit $[Na_3Fe_4^{+2}(Al,Fe^{+3})Si_8O_{22}(OH)_2]$



Diskriminační diagram A/NK a A/CNK (Maniar-Piccoli, 1989) založený na rozdělení granitů podle Shanda (1947)



Diskriminační diagram K₂O a SiO₂ (Peccerillo-Taylor, 1976)

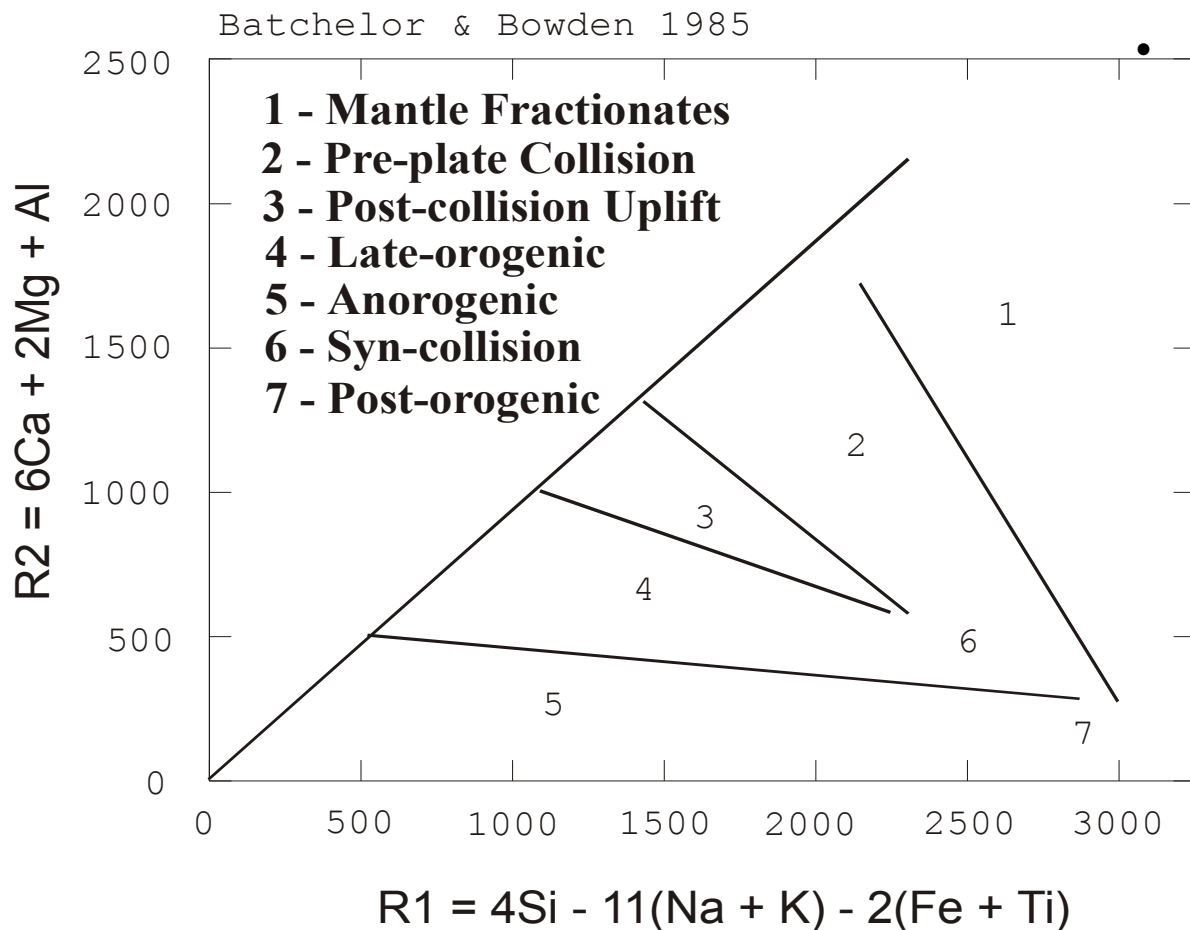


Podle Clarka (1992). Granitoid Rocks. Chapman Hall.

	<i>peraluminická</i>	<i>metaaluminická</i>	<i>peralkalická</i>
definice	A > CNK	CNK > A > NK	A < NK
typické minerály	cordierit, granát, topaz, turmalín, spinel, korund	pyroxeny, cumingtonit, amfibol, epidot	fayalitický olivín, egirín, arfvedsonit, riebeckit
další běžné minerály	biotit, muskovit	biotit, vzácně muskovit	vzácně biotit
oxidy	ilmenit, tapiolit	magnetit	magnetit
akcesorické minerály	apatit, zirkon, monazit	apatit, zirkon, titanit, allanit	apatit, zirkon, titanit, allanit, fluorit, kryolit, pyrochlorit
další chemické rysy	F/Cl > 3		nízké obsahy CaO, Al ₂ O ₃ , H ₂ O, Ba, Sr, Eu vysoké SiO ₂ , Fe/Mg, Na+K, Zr, Nb, Ta, S REE, Y, F/Cl < 3
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _i	0.7050-0.7200	0.7030-0.7080	0.7030-0.7120
εNd _i	<< 0	>> 0	silně variabilní
typická ložiska	aplity, pegmatity, greiseny, polymetalické, Sn, W, U, Mo, Cu a Be, B, Li, P	porfyrická Cu - Mo	Sn-W-U-Mo a Nb-Ta greiseny
geotektonické prostředí	kolizní tektonika kontinent-kontinent se ztluštěním kontinentální kůry	kontinentální a ostrovní oblouky spojené se subdukcí	post-tektonická nebo anorogenní extenze v intrakontinentálních ringových komplexech

Charakteristiky Shandovy klasifikace shrnuté podle Clarka (1992) převzato Hanžl (1995)

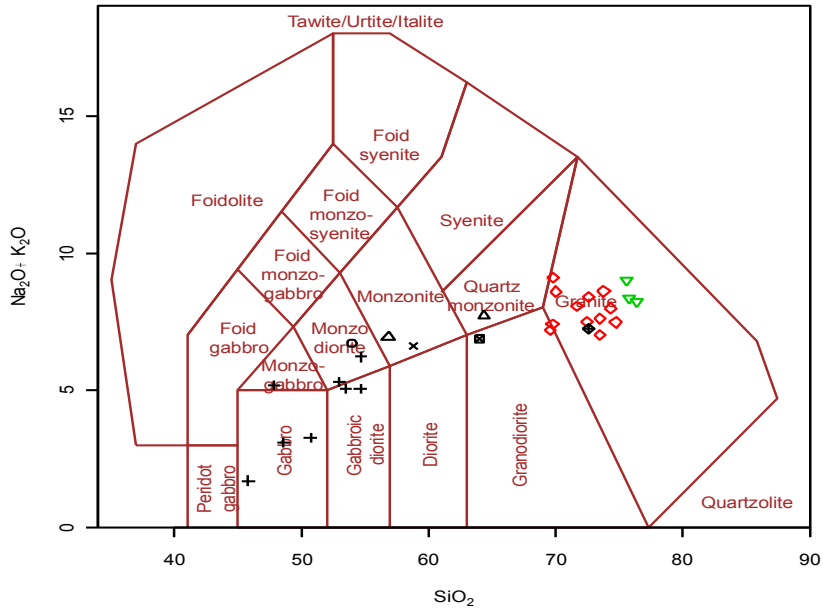
- Na poměru hlavních oxidů spočívá princip klasifikace Debona a Le-Fora (1983).
- Autoři na základě parametrů, použitých La Roche (1978) A, B, F.
- $A = Al - (K + Na + 2Ca)$,
- $B = Fe + Mg + Ti$,
- $F = 555 - (Q - B)$,
- $Q = Si/3 - (K + Na + 2Ca/3)$



Další klasifikaci jejíž základ tvoří diagramy La Roche et al (1980) publikovali Bachelor a Bowden (1985), kteří pro geotektonickou klasifikaci granitů využili parametry R1 a R2.

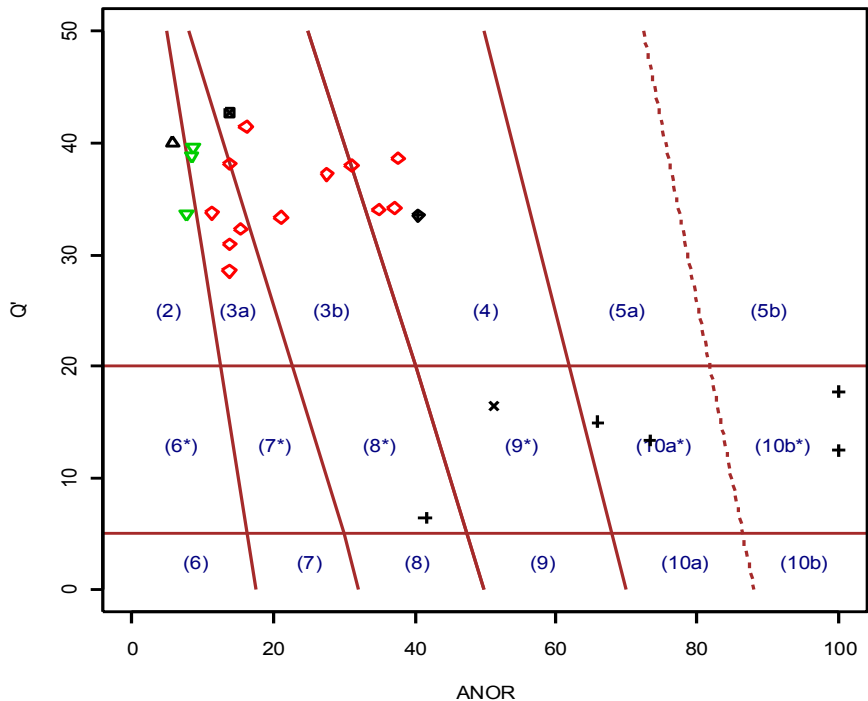
Diskriminační diagram R1-R2 (Batchelor-Bowden, 1985):
 1) plášťové plagiogranity,
 2) předdesková kolize,
 3) postkolizní výzdvih,
 4) pozdně orogenní,
 5) anorogenní,
 6) synkolizní,
 7) postorogenní.

Middlemost (1985)



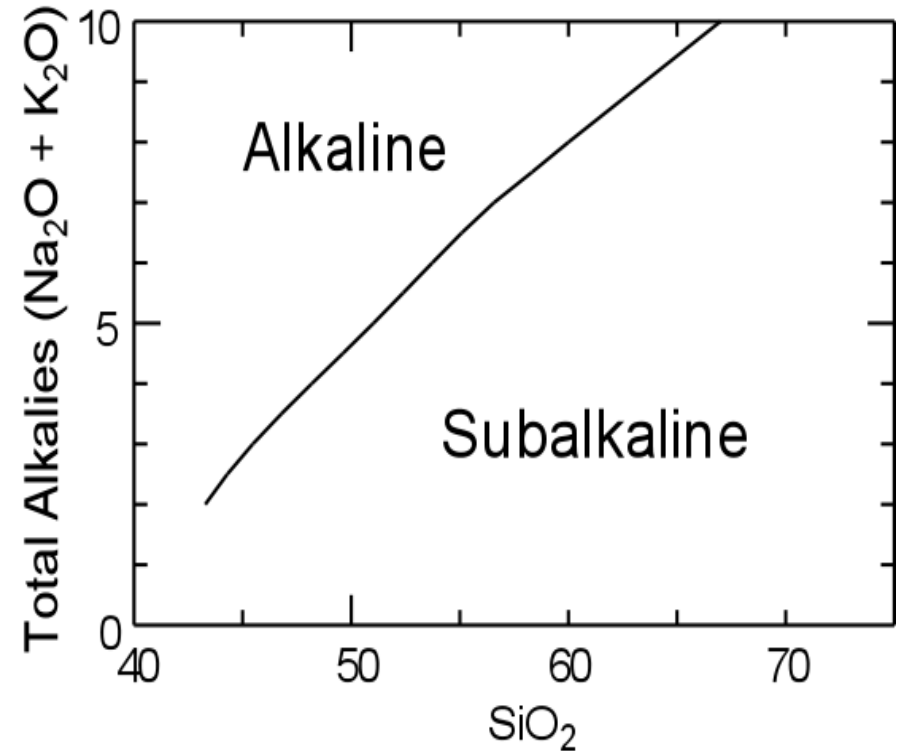
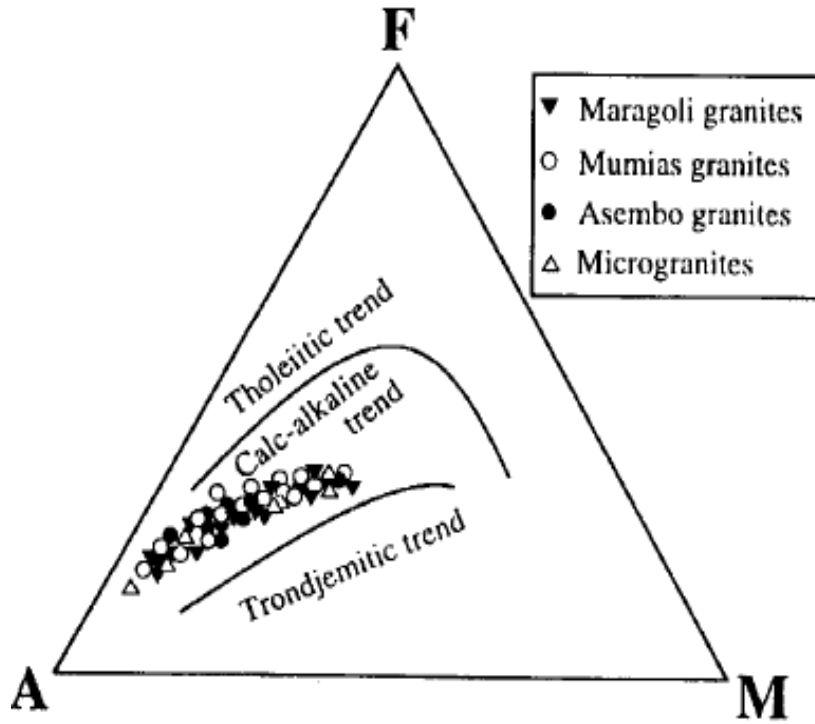
Q'-ANOR diagram (Streckeisen & Le Maitre 1979)

- 2 alkali feldspar granite
- 3 granite
- 4 granodiorite
- 5 tonalite
- 6* quartz alkali feldspar syenite
- 7* quartz syenite
- 8* quartz monzonite
- 9* quartz monzodiorite/quartz monzogabbro
- 10* quartz diorite/quartz gabbro
- 6 alkali feldspar syenite
- 7 syenite
- 8 monzonite
- 9 monzodiorite/monzogabbro
- 10 diorite/gabbro



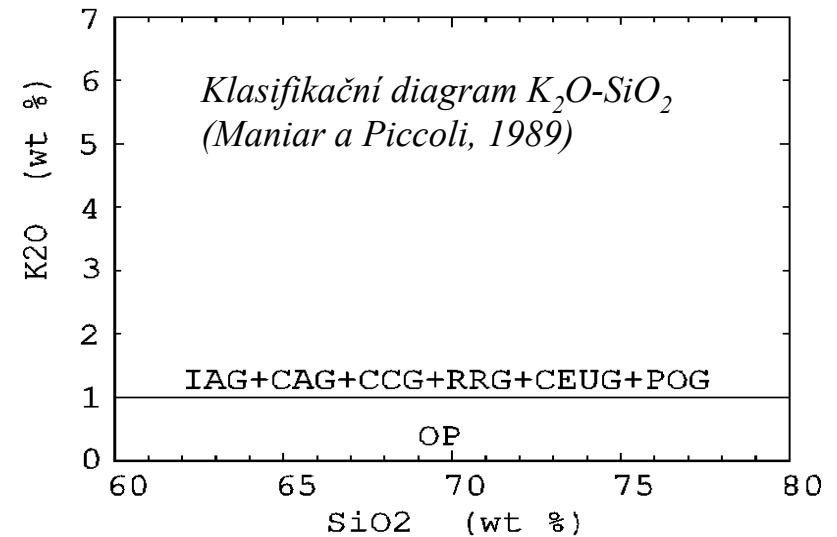
- Základní dělení je na vyvřeliny alkalické a subalkalické série
- Subalkalické se dělí na sérii tholeiitické nebo sérii alkalickovápenaté.
- Tholeiity a alkalickovápenatoalkalcké vyvřelin jsou dobře oddělitelné v diagramu AFM.

AFM (vynáší se v molekulárních nebo hmotnostních procentech) A = Na₂O + K₂O, F = FeO (+Fe₂O₃), M = MgO



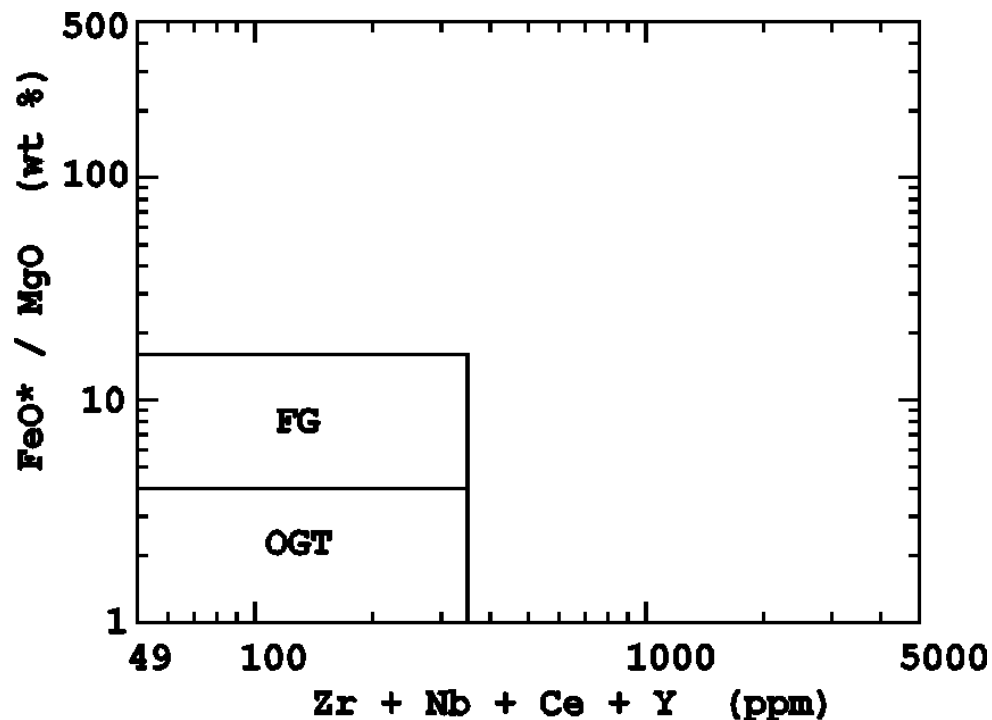
- Maniar a Piccoli (1989) zavedli klasifikaci založenou na poměru hlavních prvků uváděné v hmotnostních procentech.
- Diagramy MgO-FeO, $\text{SiO}_2\text{-FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$, $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO-FeO}+\text{MgO}$ umožňují oddělit od sebe několik typů granitů:

1. IAG-granitoidy ostrovních oblouků
2. CAG-granitoidy kontinentálních oblouků
3. CCG-granitoidy kontinentální kolize
4. POG-postorogenní granitoidy
5. RRG-granitoidy spojené s rifty
6. CEUG-granitoidy kontinentálního epiorogenetického zdvihu
7. OP-oceanské plagiogranity



C. Klasifikace založené na stopových prvcích

- Whalen et al.(1987) navrhli dva klasifikační diagramy určené především pro odlišení A-
typů granitu.
- Oba jsou založeny na poměru mezi $Zr + Nb + Ce + Y$ (udávané v ppm) na jedné ose
diagramu a $(K_2O+Na_2O)/CaO$ či Fe/Mg na druhé ose diagramu.
- Oxidy jsou uváděny v hmotnostních procentech.
- Diagram obsahuje pole:
- FG (A-typy granitů a frakcionované felzické granity)
- OTG (nefrakcionované S, I a M-typy)



*Diagram pro odlišení FG a OTG
granitů (Whalen et al., 1987)*

- Pro určení geotektonické pozice jsou vhodné diagramy Pearce et al. (1984) Rb-(Y+Nb), Rb-(Yb+Ta), Y-Nb, Yb-Ta, Rb-Y-Nb, Rb-Yb-Ta.
- Často užívaným je především diagram Rb-(Y+Nb).
- V diagramu bylo později vyčleněno také pole postkolizních granitů Pearce (1996).

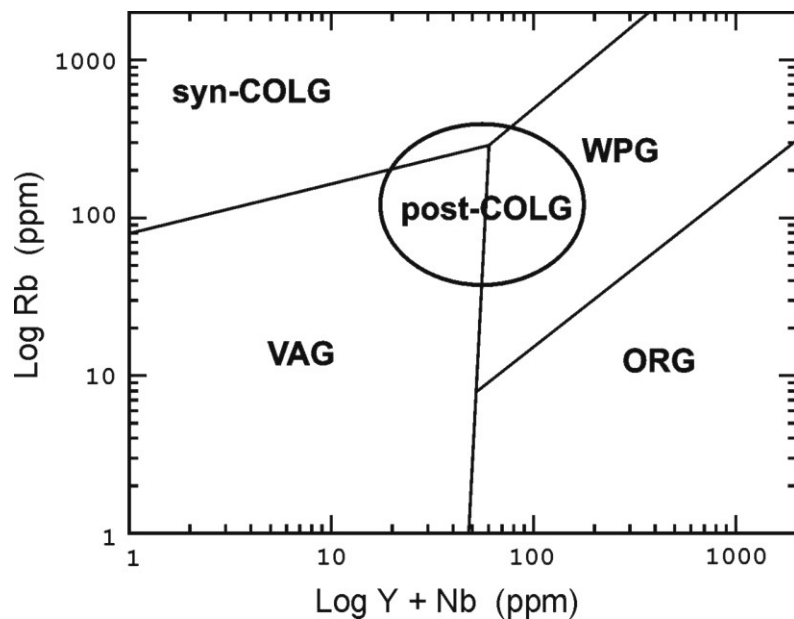


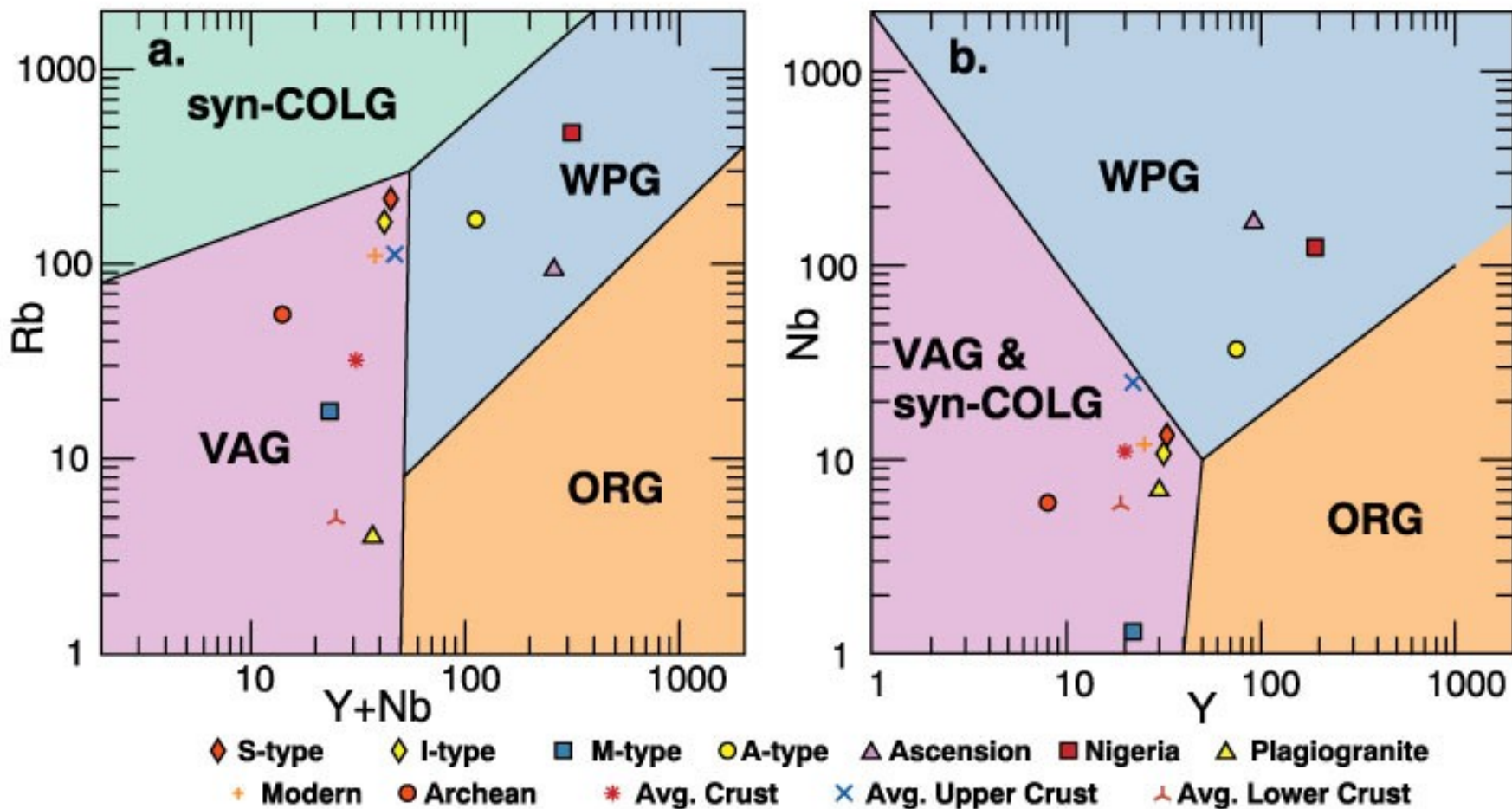
Diagram Rb-(Y+Nb) Pearce (1996)

V diagramech byly vyčleněny tyto typy granitů:

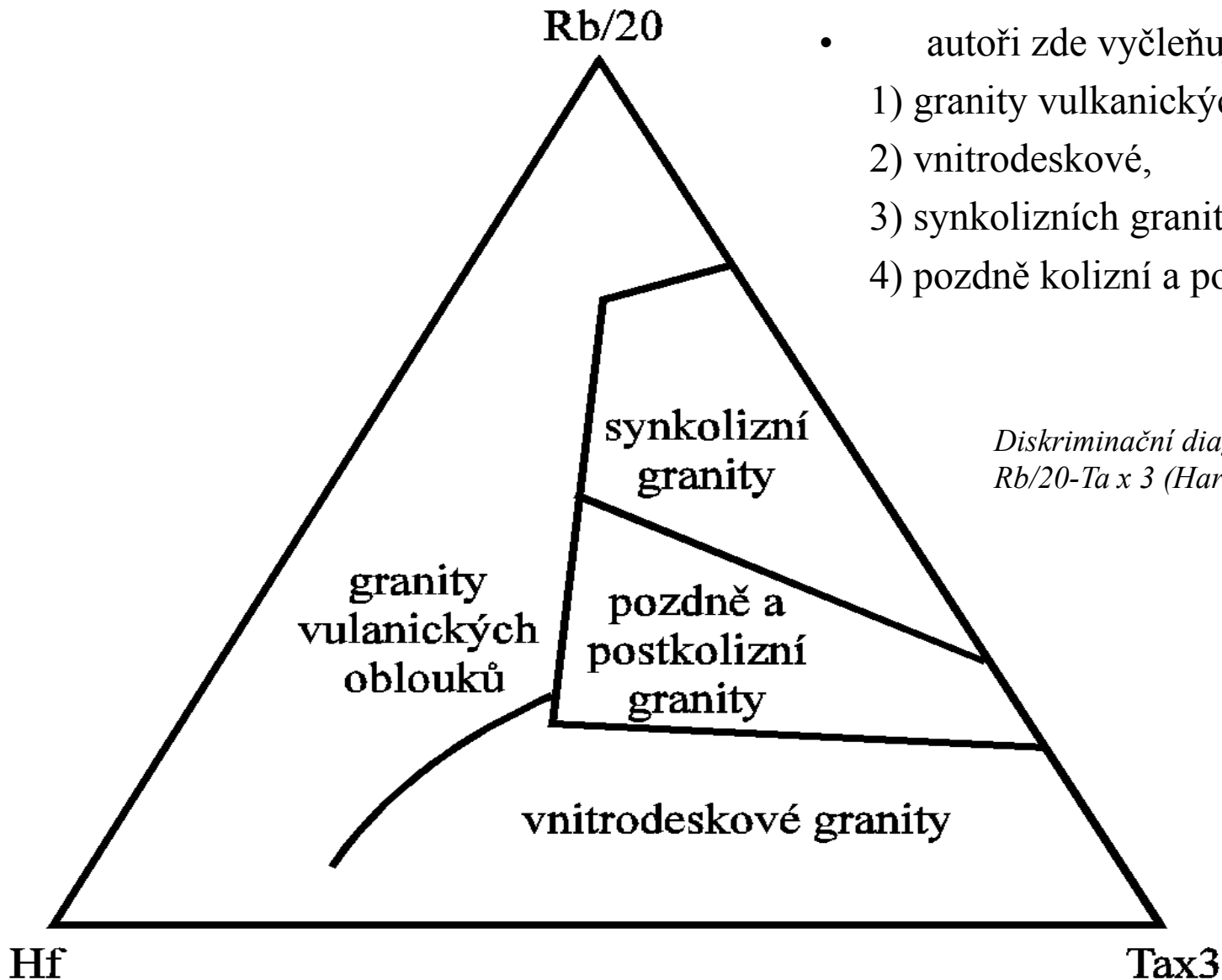
1. ORG-granity oceánských hřbetů
2. WPG-granity vnitrodeskové
3. VAG-granity ostrovních oblouků
4. COLG-kolizní granity
5. Post-COLG-postkolizní granity

- Nově byla diagram Rb-(Y+Nb) testována Förstrem et al. (1997). Nevýhodou je především velký přesah mezi polem VAG a COLG.
- Také bylo zjištěno, že hornina nemusí spadat do odpovídajícího pole, pokud prošla vysokým stupněm frakcionace.
- Konečně výsledné chemické složení granitu může být ovlivněno zdrojovými horninami. Například bude-li jako protolit pro tavení vnitrodeskových granitů sloužit materiál, který pocházel ze starého vulkanického oblouku, ponese vzniklé granity se znaky VA granitů.

- Na další úskalí tohoto diagramu upozorňuje Rollinson (1993).
- Rubidium patří mezi prvky, které jsou poměrně mobilní během interakce horniny s hydrotermálními fluidy.
- Proto je třeba určité opatrnosti při použití tohoto diagramu v alterovaných granitech.



- Klasifikační diagramy Harrise et al. (1986) využívají Rb.
- Jde o trojúhelníky, do nichž se vynáší poměry Hf-Ta x 3-Rb/20 nebo (Rb/10).



- autoři zde vyčleňují pole:
 - 1) granity vulkanických oblouků,
 - 2) vnitrodeskové,
 - 3) synkolizních granitů
 - 4) pozdně kolizní a postkolizní

Diskriminační diagram pro granity Hf-Rb/20-Ta x 3 (Harris et al., 1986)

Přehled zkratek

- AGT - Anorogenic Granite Type - anorogenní typ granitu
- CAG - Continental Arc Granitoids - granitoidy kontinentálních oblouků
- CCG - Continental Collision Granitoids - kontinentálně kolizní granitoidy
- CEUG - Continental Epeirogenic Uplift Granitoids - kontinentální granitoidy epeirogenetických zdvihů
- FG - Fractionated Felsic Granites - frakcionované leukogranity
- IAG - Island Arc Granitoids - granitoidy ostrovích oblouků
- OGT - Orogenic Granite Type - orogenní typ granitu
- OP - Oceanic Plagiogranites - oceánské plagiogranity
- ORG - Ocean Ridge Granites - granity oceánských hřbetů
- POG - Postorogenic Granitoids - postorogenní granitoidy
- RRG - Rift-Related Granitoids - granitoidy vázané na rifty
- syn-COLG - Syn-Collision Granitoids - synkolizní granitoidy
- WPG - Within Plate Granites - vnitrodeskové granity

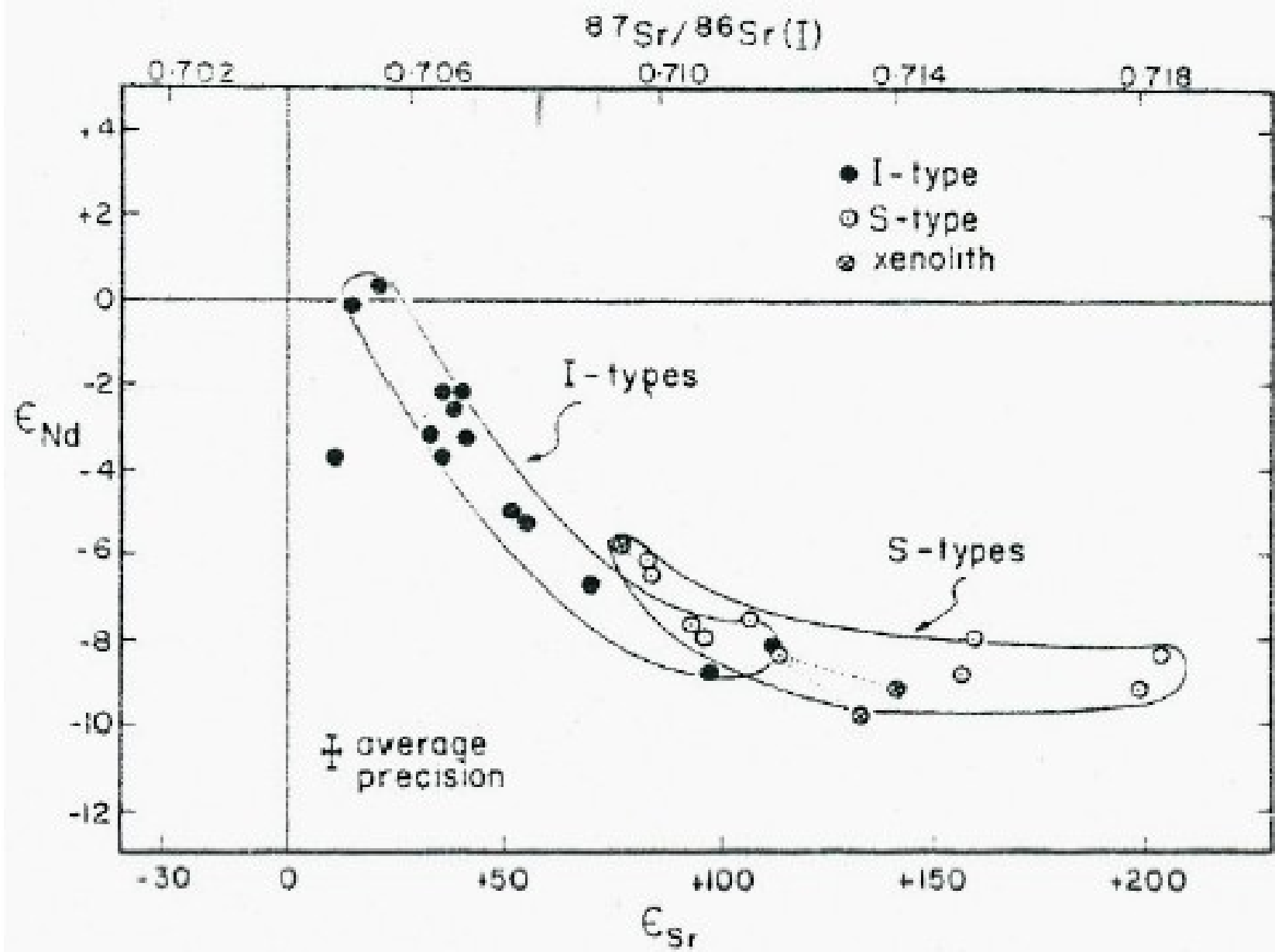
D. Klasifikace spojující více kritérií

- Chappell a White (1974) vyčlenili dva typy granitů: I-typy (I = igneous) derivované tavením starších vyvřelin, S-typy (S = sedimentary) vzniklé anatexí sedimentárních hornin.
- Dalším typem jsou granity M-typu (M = mantle derived) odvozené z plášťového zdroje (White, 1979; Pitcher, 1987).
- Whalen et al. (1987) vyčlenili A-typy (A = anorogenic), granitů vzniklé parciálním tavením granulitového rezidua po vytavení orogenních granitů ve spodní kůře.
- H-typ hybridní granity se řadí k postorogenním granitům

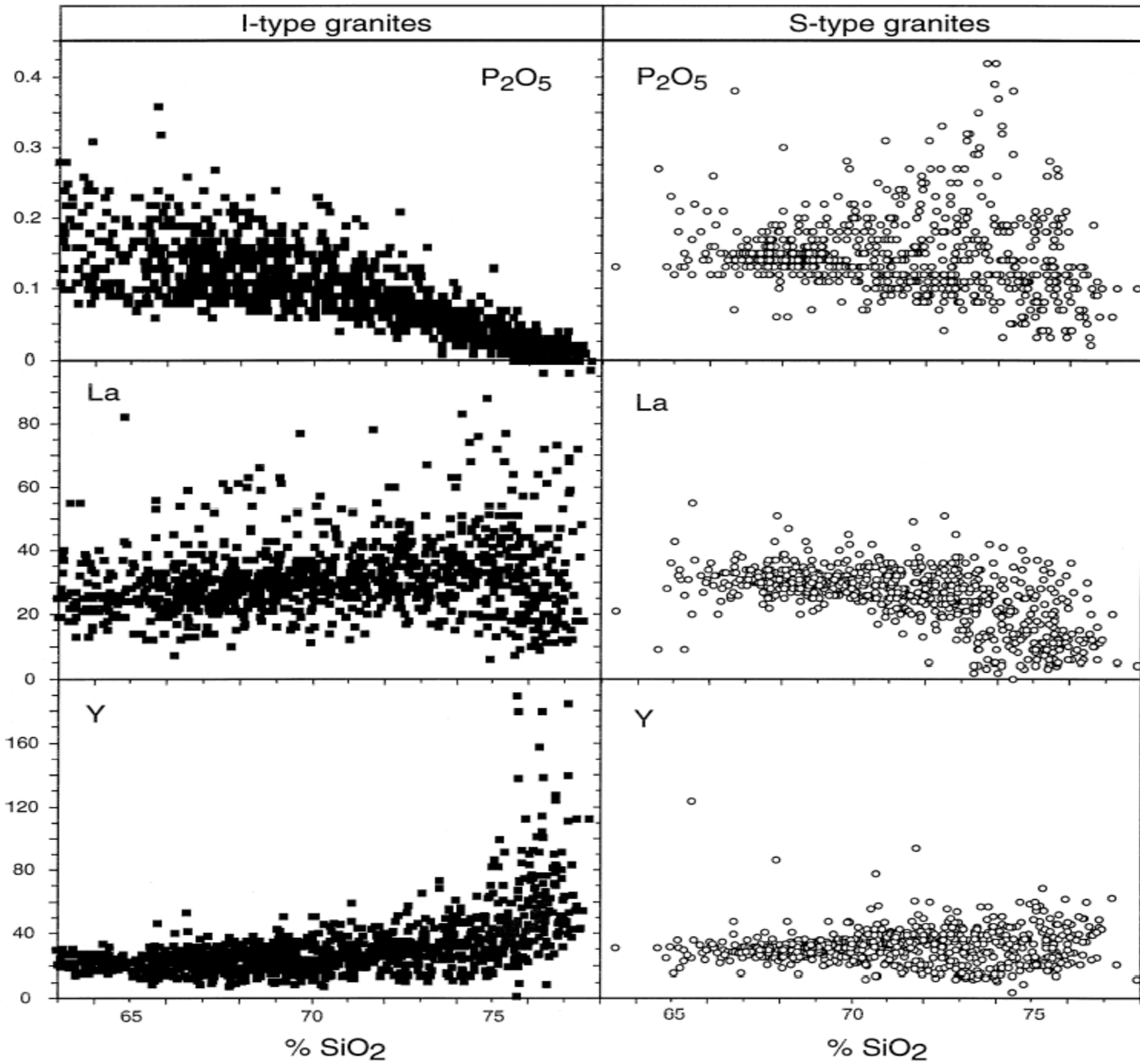
Type	SiO ₂	K ₂ O/Na ₂ O	Ca, Sr	A/(C+N+K)*	Fe ³⁺ /Fe ²⁺	Cr, Ni	δ ¹⁸ O	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Misc	Petrogenesis
M	46-70%	low	high	low	low	low	< 9‰	< 0.705	Low Rb, Th, U Low LIL and HFS	Subduction zone or ocean-intraplate Mantle-derived
I	53-76%	low	high in mafic rocks	low: metaluminous to peraluminous	moderate	low	< 9‰	< 0.705	high LIL/HFS med. Rb, Th, U hornblende magnetite	Subduction zone Intracrustal Mafic to intermed. igneous source
S	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
A	high → 77%	Na ₂ 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 Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)

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

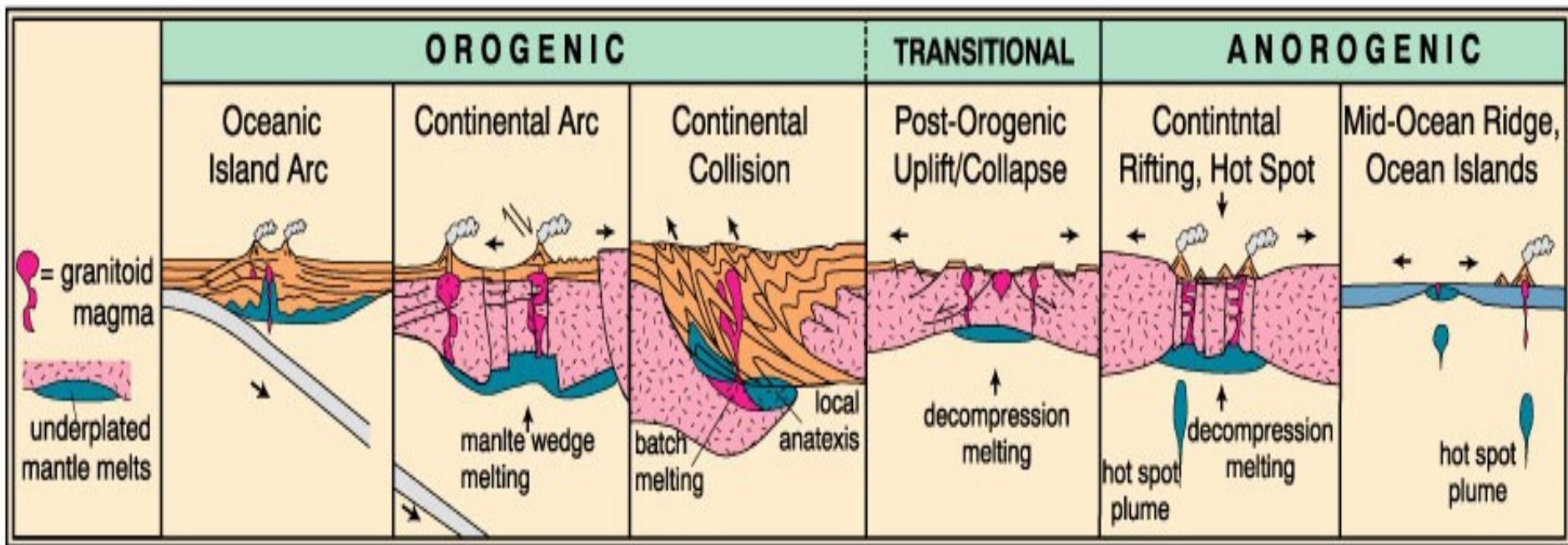


Sr a Nd isotopické složení I- a S-typových granitů Lachlan Fold Belt, rozdíly vychází z rozdílných zdrojových hornin (McCulloch a Chappell 1982) *Earth Planet Sci Lett* 58, 51-64.

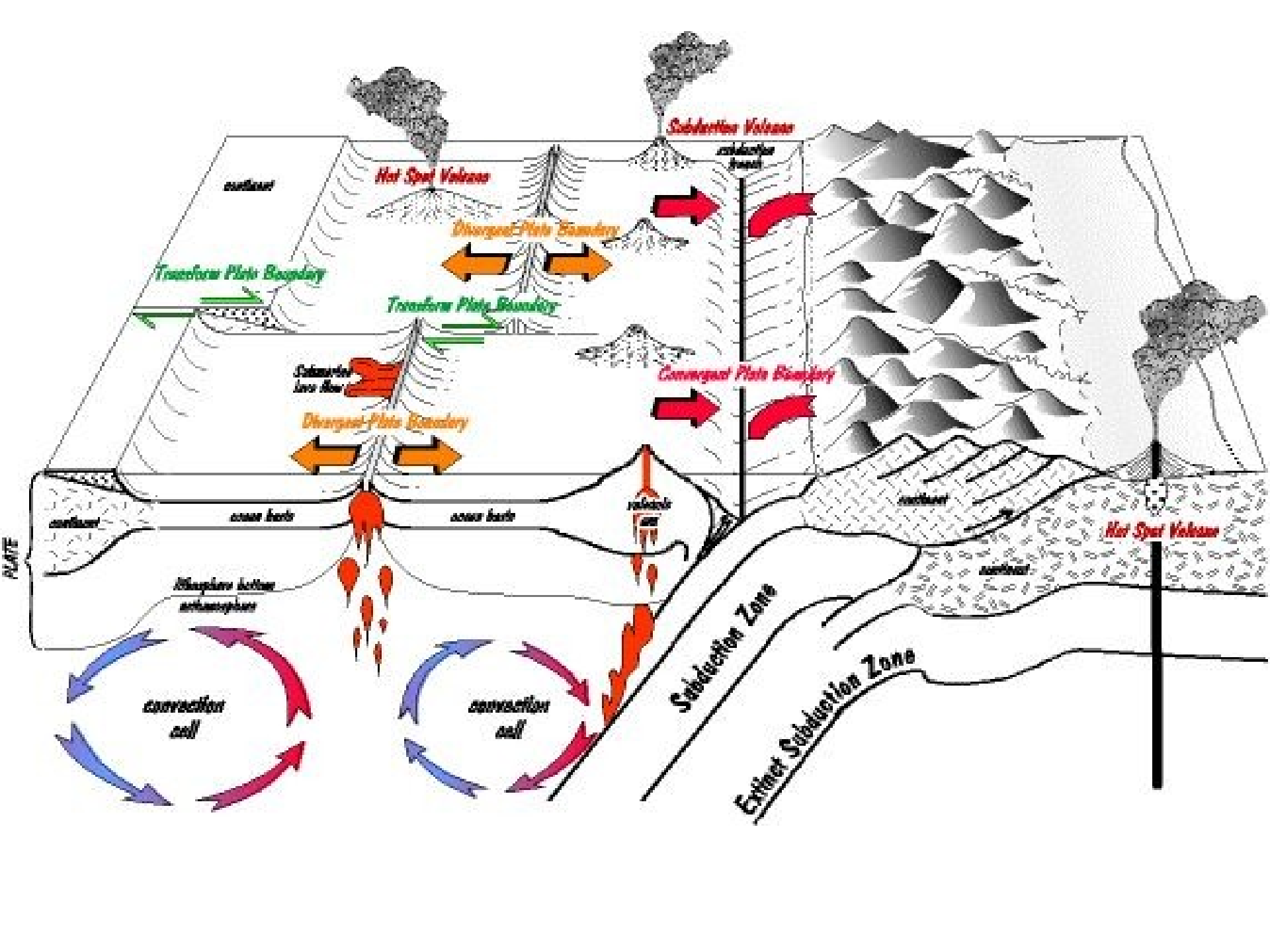


Chappell 1999

- O syntézu data mineralogických, geochemických i izotopických se ve své klasifikaci pokusil Barbarin (1999).
- Skupiny vyčleněné tímto autorem se mnohdy shodují se skupinami vyčleněnými dříve jinými autory (Pitcher, 1987; Pearce et al., 1984; Maniar a Piccoli, 1989).
- Jednotlivým skupinám se autor pokusil přiřadit pozici v geotektonickém Wilsonově cyklu.

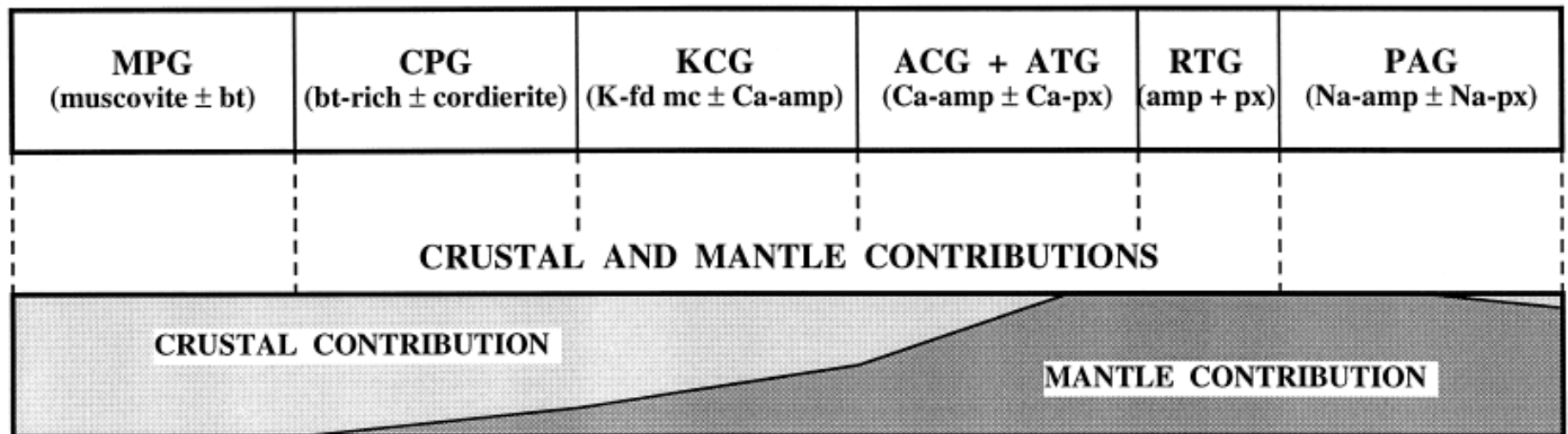


A Classification of Granitoid Rocks Based on Tectonic Setting. After Pitcher (1983) in K. J. Hsü (ed.), Mountain Building Processes, Academic Press, London; Pitcher (1993), The Nature and Origin of Granite, Blackie, London; and Barbarin (1990) Geol. Journal, 25, 227-238. Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



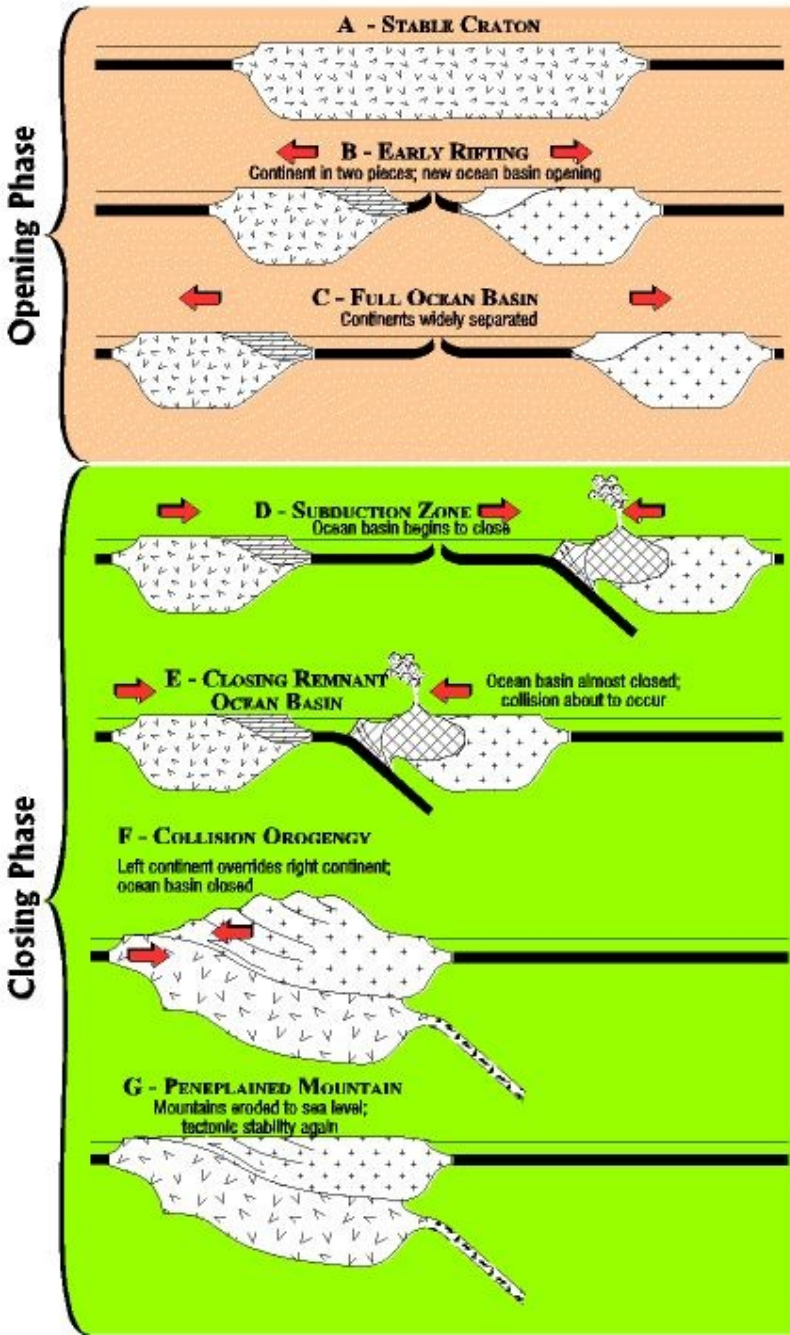
Pozice granitoidů ve Wilsonově cyklu

- Označení jednotlivých skupin granitoidů a jejich zařazení do geotektonických prostředí vychází z klasifikace Barbaina (1999).
1. MPG- muskovitické peraluminické granitoidy
 2. CPG- cordieritické a biotitické peraluminické granitoidy
 3. KCG- vápenato-alkalické draslíkem bohaté granitoidy obsahující porfyrické vyrostlice draselného živce.
 4. ACG- amfibolické vápenato-alkalické granitoidy
 5. ATG- tholeiitické granitoidy oblouků
 6. RTG- tholeiitické granitoidy oceánských hřbetů
 7. PAG-peralkalické a alkalické granitoidy





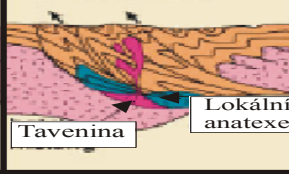
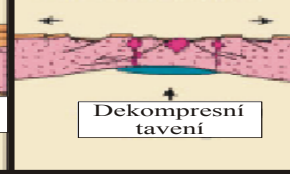
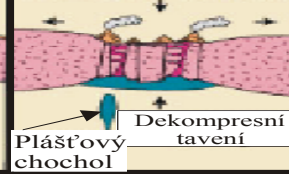

A Simple Wilson Cycle

The Opening and Closing of An Ocean Basin

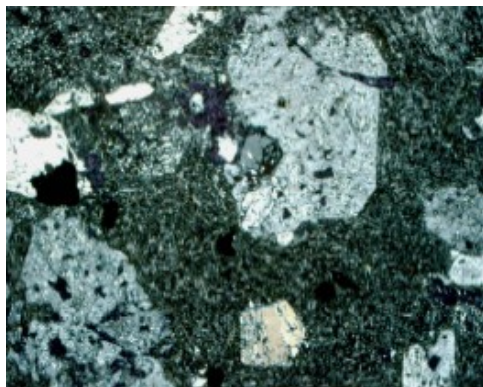


Wilsonuv cyklus

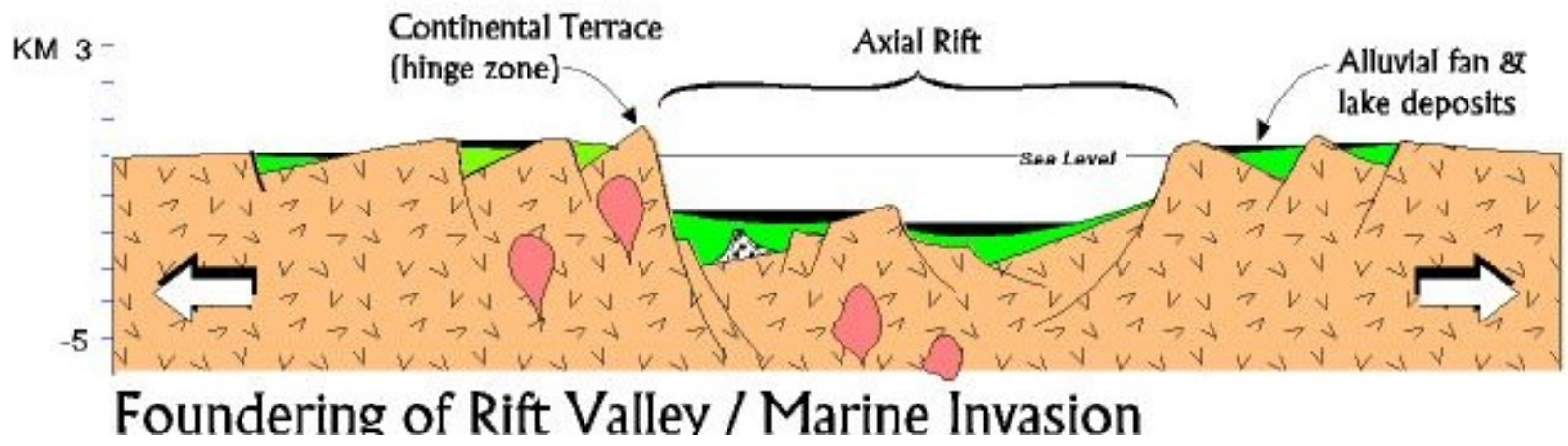
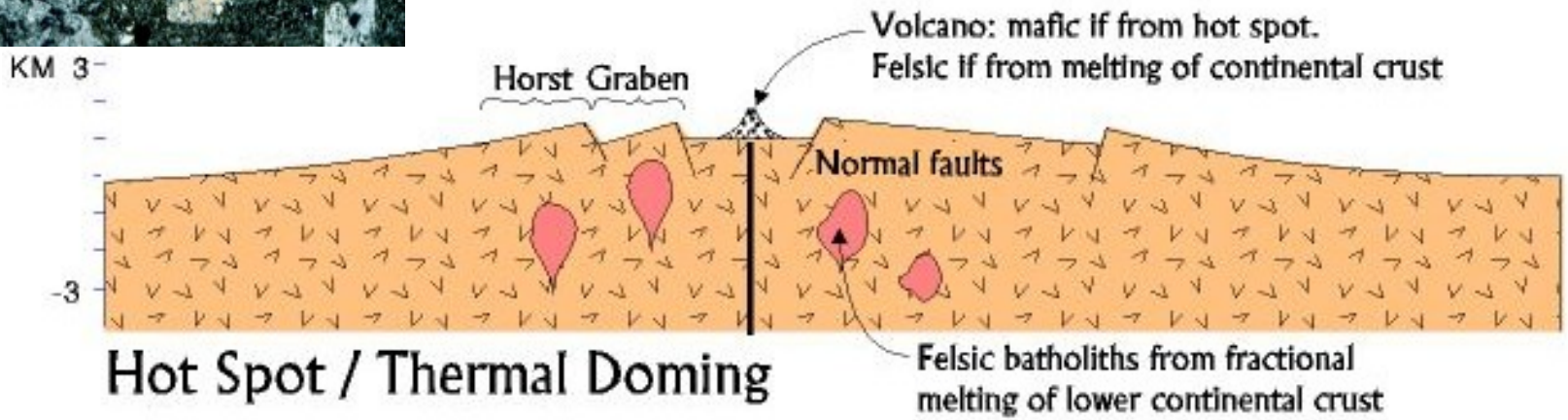
- A) Pod stabilním kontinentální kratonem objeví horká skvrna. Tak vzniká nové divergentní rozhraní kontinentální rift.
- B) Kontinent se rozdělí na dvě části a mezi nimi vzniká nový oceánský bazén (jeho charakter je srovnatelný s Rudým mořem). Sedimenty se akumulují na obou kontinentálních okrajích.
- C) Nově vzniklý oceán se rozšiřuje v tomto stadiu je dnes Atlantik
- D) Na okraji kontinentální desky začínají vznikat subdukční zóny oceánská kůra začíná mizet.
- E) Když je celý bazén subdukován dochází ke kolizi kontinentů. Během subdukce je na okraji kontinentu generováno magma, které způsobuje silný vulkanismus projevující se vznikem kordillerových pohoří. Objevuje metamorfóza, vrásnění a zlomová tektonika.
- F) Kolize dvou kontinentů způsobuje vznik rozsáhlého horstva je spojena s metamorfózou a tavením hornin.
- G) Kolizní orogén je denudován a dochází k jeho zarovnání.

		OROGENETICKÉ				PŘECHODNÉ		ANOROGENETICKÉ	
		Oceánské ostrovní Oblouky	Kontinentální oblouky	Kontinentální kolize	Post-orogenetický výzdvih/kolaps	Kontinentální rifty, horké skvrny	Středoocéánský hřbet, oceánské ostrovy		
									
		Granitová tavenina	Klín plášťové taveniny	Tavenina Lokální anatexe	Dekompresní tavení	Plášťový chochol Dekompresní tavení	Plášťový chochol		
GEOCHEMIE		vápenato-alkalické > toleitickými M typy a I-M typy metaluminosní	vápenato-alkalické I typy > S typy metaaluminosní až peraluminosní	vápenato-alkalické S typy peraluminosní	vápenato-alkalické I typy, S typy (A typy) metaluminosní až peraluminosní	alkalické A typy peralkalické	tholeitické M typy metaluminosní		
MAFICKÉ MINERÁLY		amfíbol převažuje nad biotitem	amfíbol a biotit	biotit, muskovit, amfíbol, granát, alumosilkáty	amfíbol převažuje nad biotitem	amfíbol, biotit, fayalit, alkalické pyroxeny a alkalické amfiboly	amfíbol		
PLUTONIY		křemenné diority	tonality a granodiority převažují nad granity a gabry	leukogranity a migmatity	granodiority + diority a gabra	granity, syenity + diority a gabra	Plagiogranity		
VULKANITY		bazalty až andezity	andezity až dacity ve velkém objemu	často chybí	bazalty a ryolity	alkalické lávy a pyroklastika	MORB a bazalty oceánských ostrovů		
GENEZE		parciální tavení podsouvané oceánské desky	parciální tavení podsouvané desky + určitý podíl korového materiálu	parciální tavení korového materiálu	parciální tavení spodní kůry + podíl pláště a střední kůry	parciální tavení pláště a/nebo spodní kůry	parciální tavení pláště a frakční krystalizace		
PRINCIP TAVENÍ		subdukční energie, výstup fluid do subdukčního klínu jeho tavení a transport taveniny nahoru		tektonické stluštění + radiogenní korové teplo	korové teplo + plášťové teplo (výstup plášťového materiálu)	horké skvrny nebo konvekční pohyb v plášti			
KLASIFIKACE		Barbarin (1999)	ATG arc tholeiitic granitoids	ACG Amphibole-bearing calc-alkaline granitoids	MPG muscovite-bearing peraluminous granitoids	CPG cordierite-bearing peraluminous granitoids	KCG K-rich calc-alkaline granitoids	PAG peralkaline and alkaline granitoids	RTG mid-ocean ridge tholeiitic granitoids
		Mamiar&Piccoli (1989)	IAG island arc granite	CAG contin. Arc granite	CCG cont. collision granite	POG post-collision granite	RRG CEUG rift & aborted hotspot	OP ocean plagiogranite	
		Pearce et al. (1984)	VAG volcanic arc granites		COLG collision granites			WPG a ORG within plate and ocean ridge granites	

Kontinentální rozpad a rifting



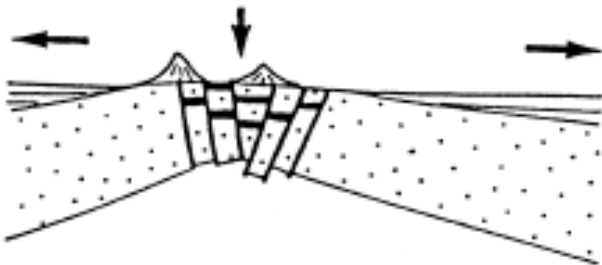
- Volcanos may be fissure type or conduit type
- Bimodal association: felsic (alkaline) + mafic (tholeiitic)



Klasifikace podle Barbaina (1999)

- Cyklus začíná rozpadem kontinentální kůry.
- Během ztenčování kůry vznikají příkopové propadliny a svrchní plášť se posouvá blíže k povrchu.
- Následkem tohoto procesu vystupují k povrchu podél zlomů alkalická magmata a vznikají peralkalické a alkalické granity (PAG).
- Na kontinentálních riftech jsou PAG granitoidy spojeny s intruzemi alkalických syenitů, gaber a anortozitů.

THINNING AND FRACTURING OF A CONTINENTAL LITHOSPHERE



MAJOR RIFTING
(REGIONAL TENSION)

INTRACONTINENTAL RIFT ZONES

**Alkaline and peralkaline granitoids
(syenites, granites and alkali feldspar granites)**

Corsica alkaline province, France
(*Bonin, 1986; 1988; Egeberg et al., 1993*)
Eastern Red Sea margin, Yemen
(*Capaldi et al., 1987; Manetti et al., 1991*)
Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brazil
(*Sial et al., 1987*)

- Mixing plášťového (frakcionace alk. baz.) a korového materiálu
- Mohou také vznikat tavením metadrob nebo starších A-typových granitů
- vysoké obsahy alkálií (Na_2O , K_2O), SiO_2 ;
- vysoké obsahy inkompatibilních prvku HFSE (Zr, Nb, Ta, Ga, REE, U, Th),
- vysoké obsahy halogenidů ($\text{Cl} = 0,02\text{-}0,2 \text{ wt.}\%$, $\text{F} = 0,05\text{-}1,7 \text{ wt.}\%$)
- Peralkalické = Alk. (Na) pyroxen - aegerin a amfibol – reibeckit, Fe bohatý biotit
- Často bezvodá minerální asociace
- Vysoká teplota ($> 900^\circ\text{C}$)
- Granofyrické struktury (hodně Kfs)
- Variabilní $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (plášť, kůry)
- Malé objemy taveniny
- Alkalické granity v klasifikaci Pearce et al. (1984) WPG, A-typ

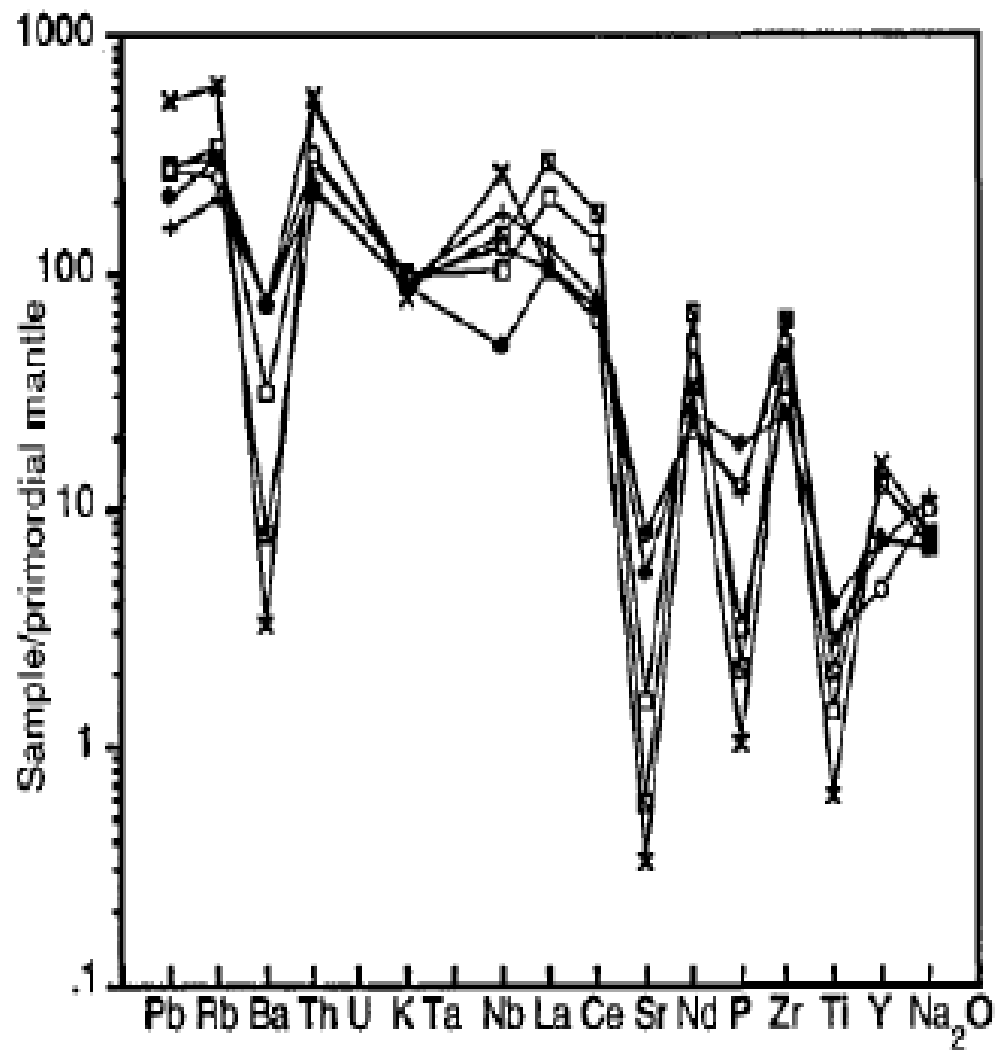
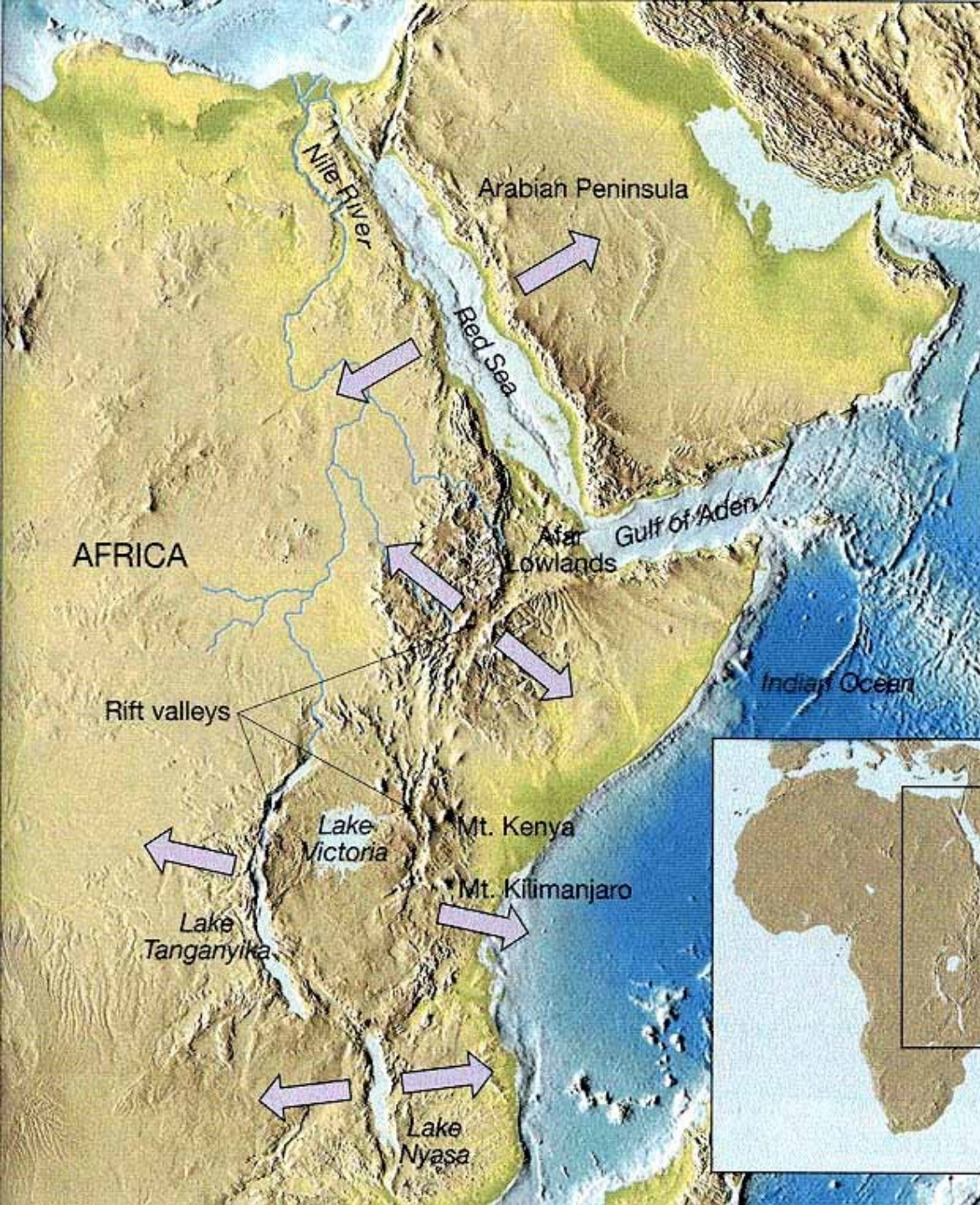


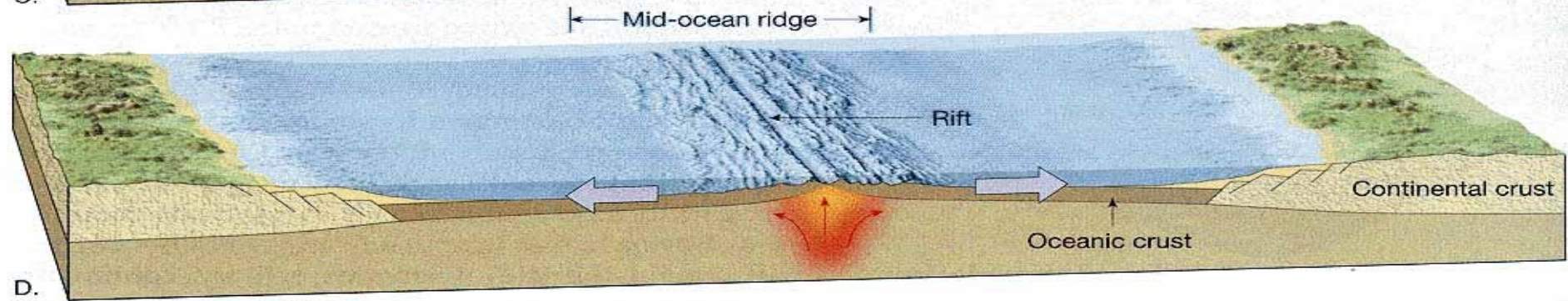
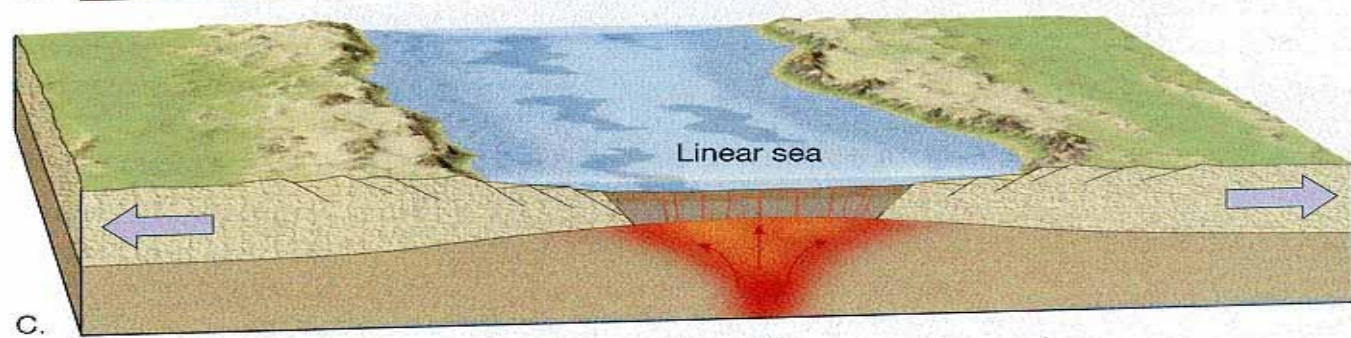
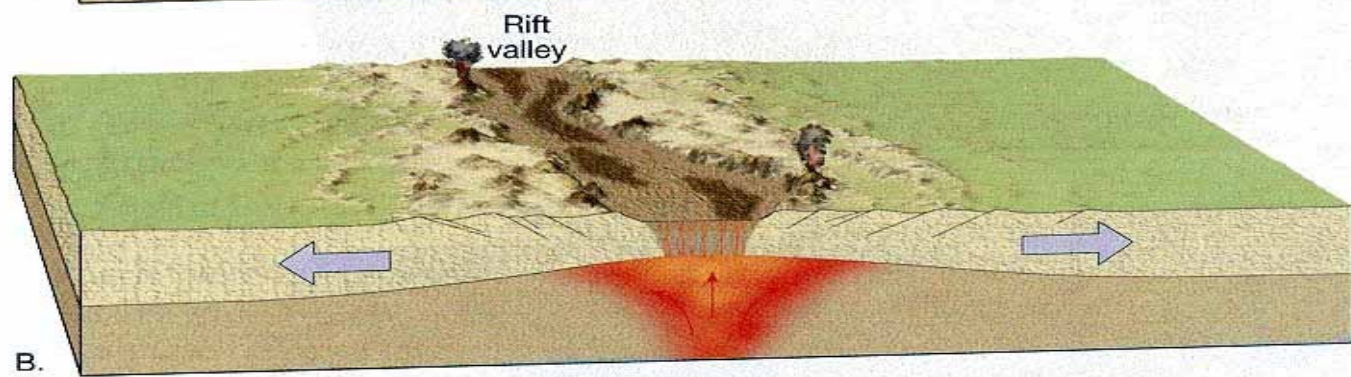
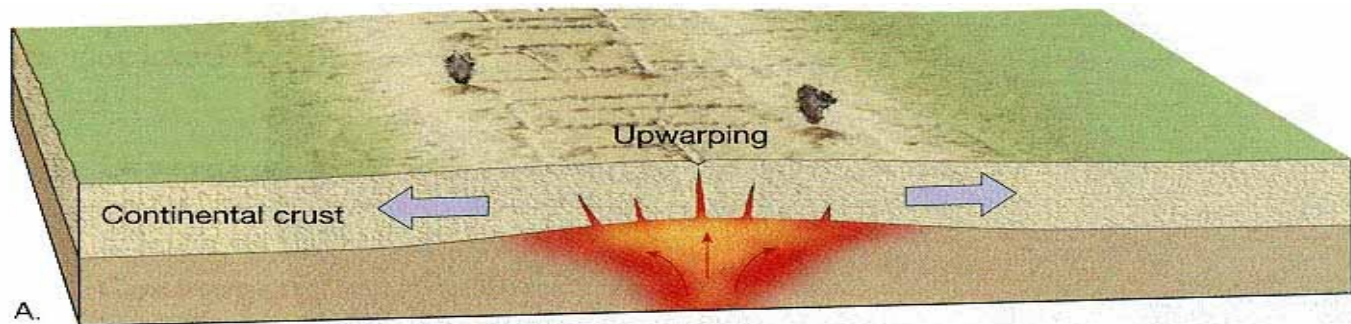
Figure 5 Primordial mantle-normalised multi-element diagram comparing representative analyses of various varieties of French Creek Granite. Plots normalised to the values of McDonough *et al.* (1992). Symbols as in Figure 4.



Granophyric quartz-alkali feldspar intergrowth, consequence of rapid, simultaneous crystallization of quartz and feldspar, from French Creek Granite, New Zealand (f.o.v. ca. 2mm). Note that all the quartz is one crystal, with simultaneous extinction, from Waight (1995).



- Existují ještě A-WPG (Within Plate Granites - thin lithosphere)
- Na kontinentálních okrajích a oceánských plató.
- Hlavně M-typy, málo S, M
- Většinou tholeitický charakter, vzácně korový charakter
- Granity s Cpx, Ol



Ringový komplex Evisa (Korsika) aegerin-arfedsonitový granit





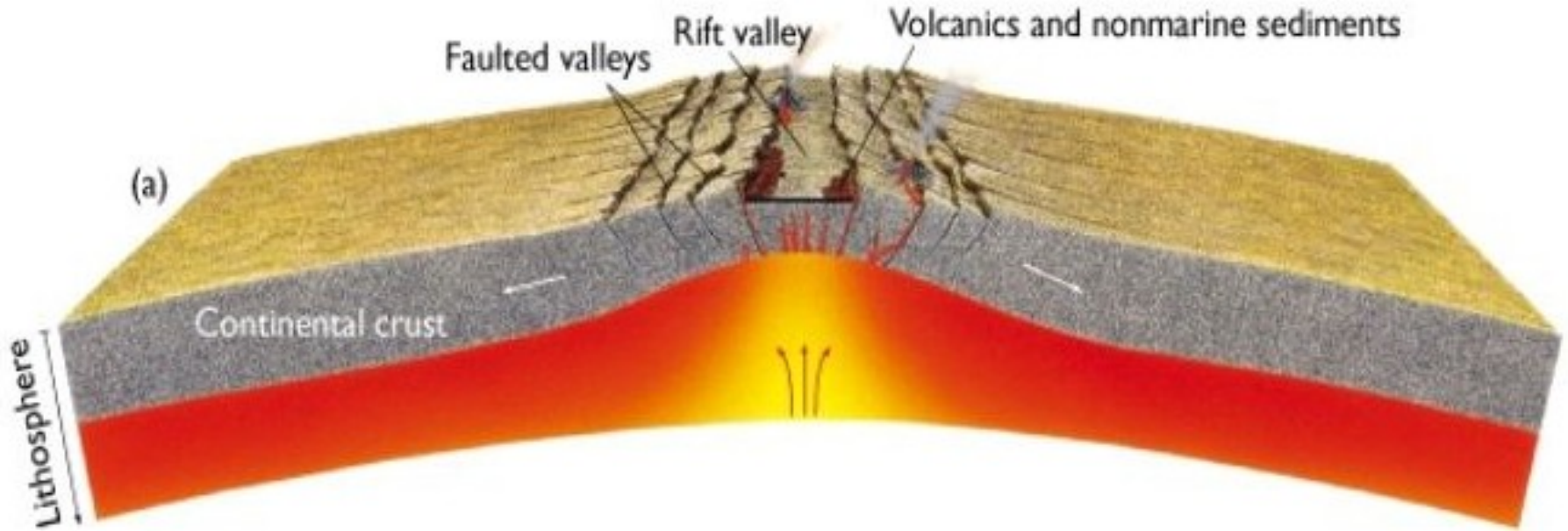
Ringový komplex Cauro-Bastelica (Korsika, přehrada Tolla) hypersolvní fayalitový granit



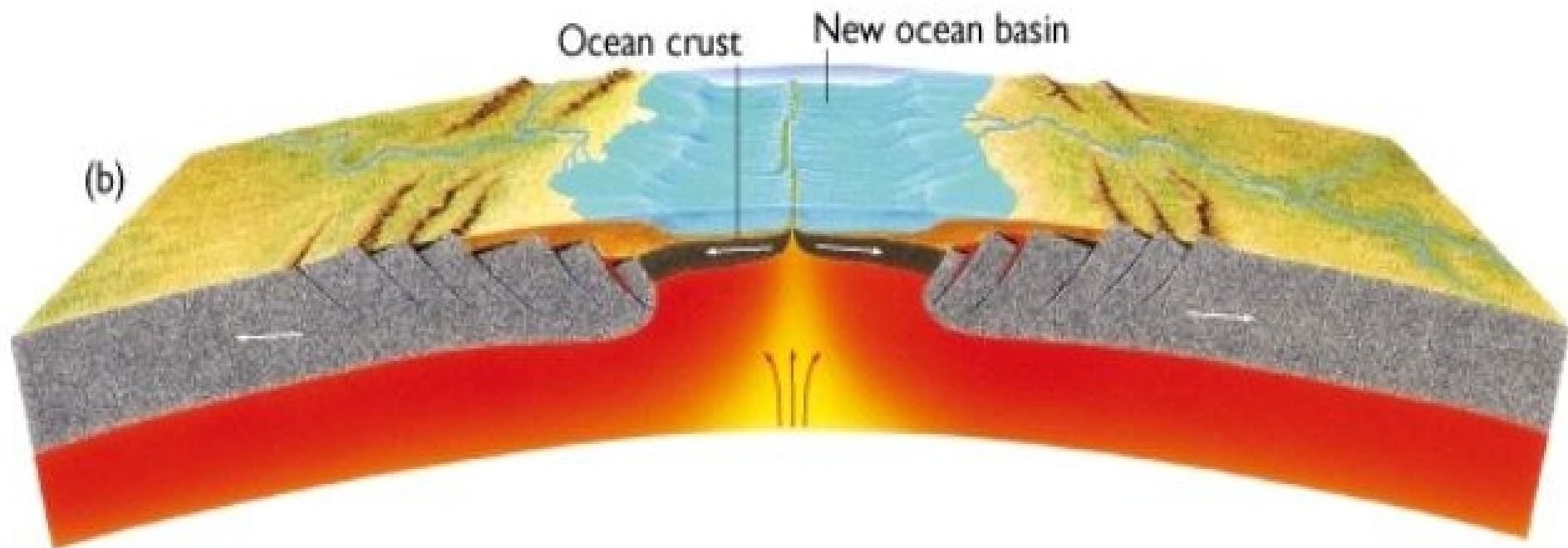


Ringový komplex Evisa (Korsika) pegmatit s krystaly fayalitu (Qtz+Kfs+Fa)

Volcanic and Nonmarine sediments are deposited in rift valleys

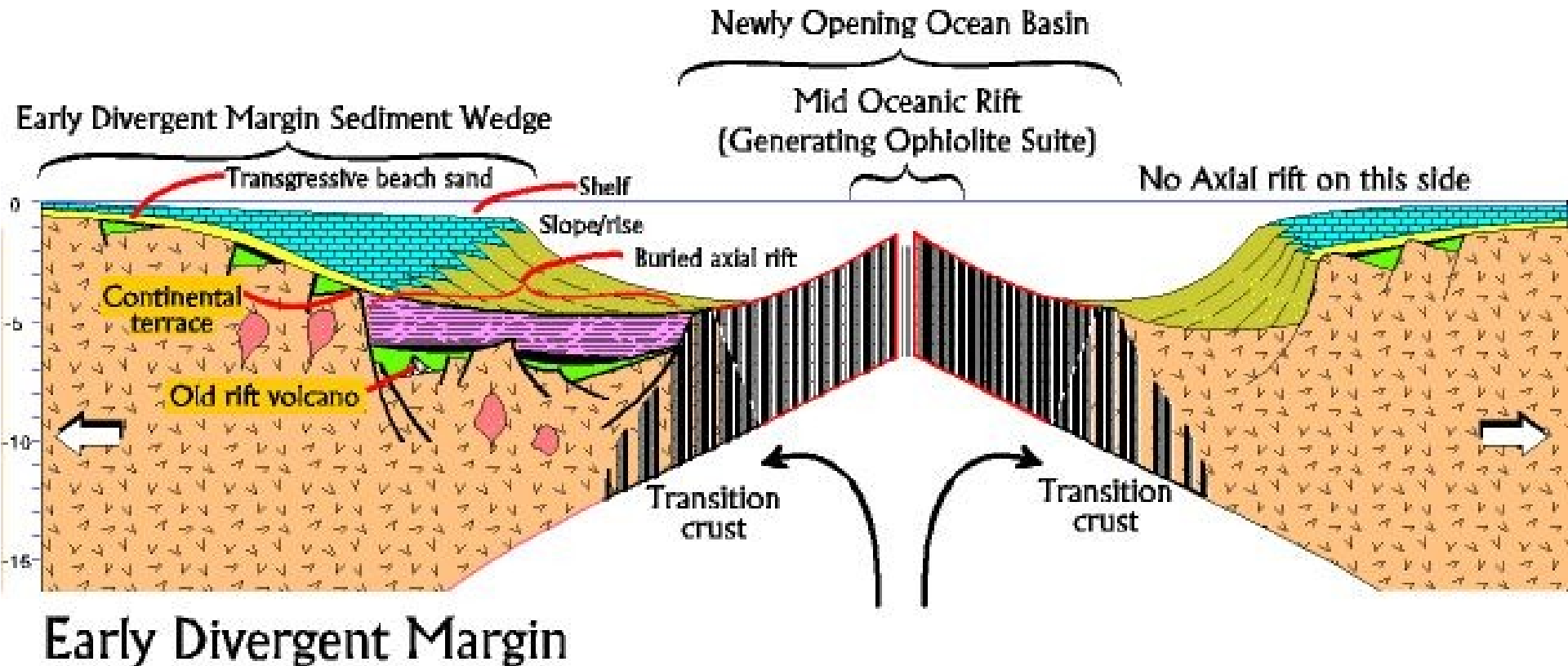


Cooling and subsidence of rifted margin allows sediments to be deposited



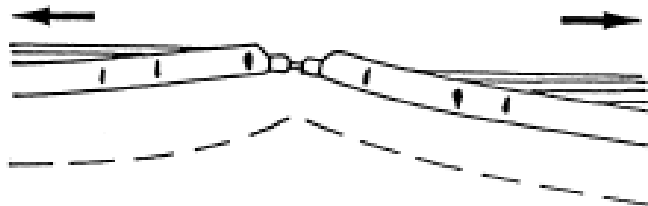
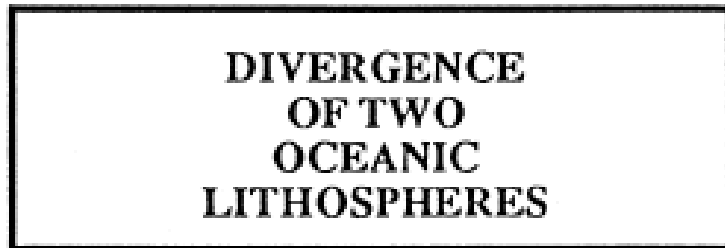
Středoocéánské hřbety

THIRD STAGE IN THE RIFTING PROCESS STAGE C IN WILSON CYCLE



Klasifikace podle Barbaina (1999)

- Na středooceánských hřbetech vystupují v obrovském množství bazická magmata derivovaná z pláště, ale i přesto odtud známé granity typu RTG.
- Jde o plagiogranity až tonality (nízké obsahy K) vzniklé extrémně silnou frakcionací bazického magmatu.
- I když jsou RTG granity známy z většiny odkrytých ofiolitových komplexů, je jejich objemové zastoupení v těchto komplexech menší než 2%.
- RTG odpovídají v klasifikaci Pearce et al. (1984) ORG, M-typ



- Malá tělesa ve spodní oceánské kůře.
 - Obsahují pyroxen a amfibol.
- MID-OCEAN RIDGES (OPHIOLITES)**

**Mid-ocean ridge tholeiitic granitoids
(plagiogranites)**

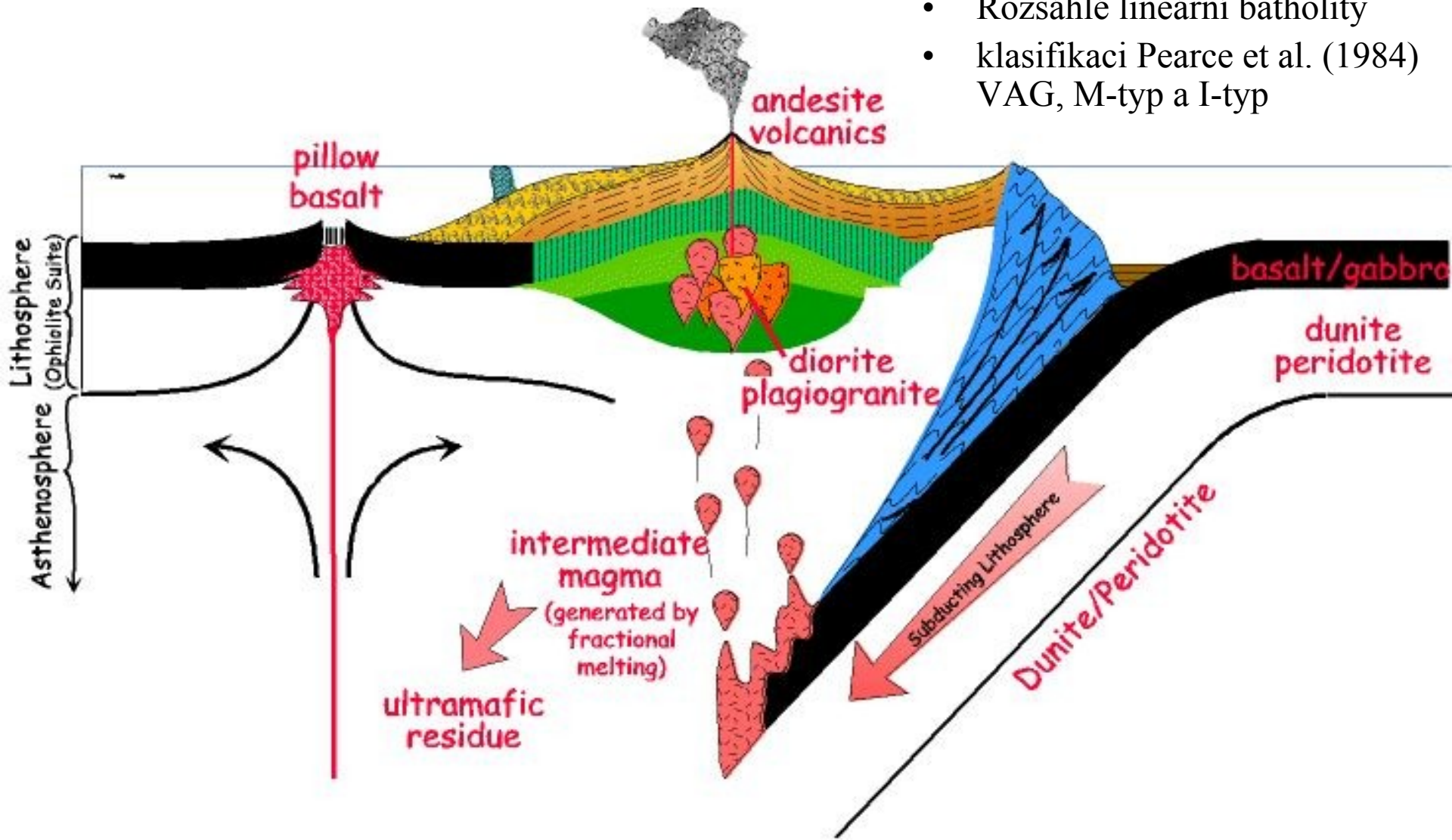
Western ophiolite belt, Albania
(*Bébién et al., 1997*)

Karmoy ophiolite, western Norway
(*Pedersen and Malpas, 1984*)

Subdukce a vulkanické oblouky

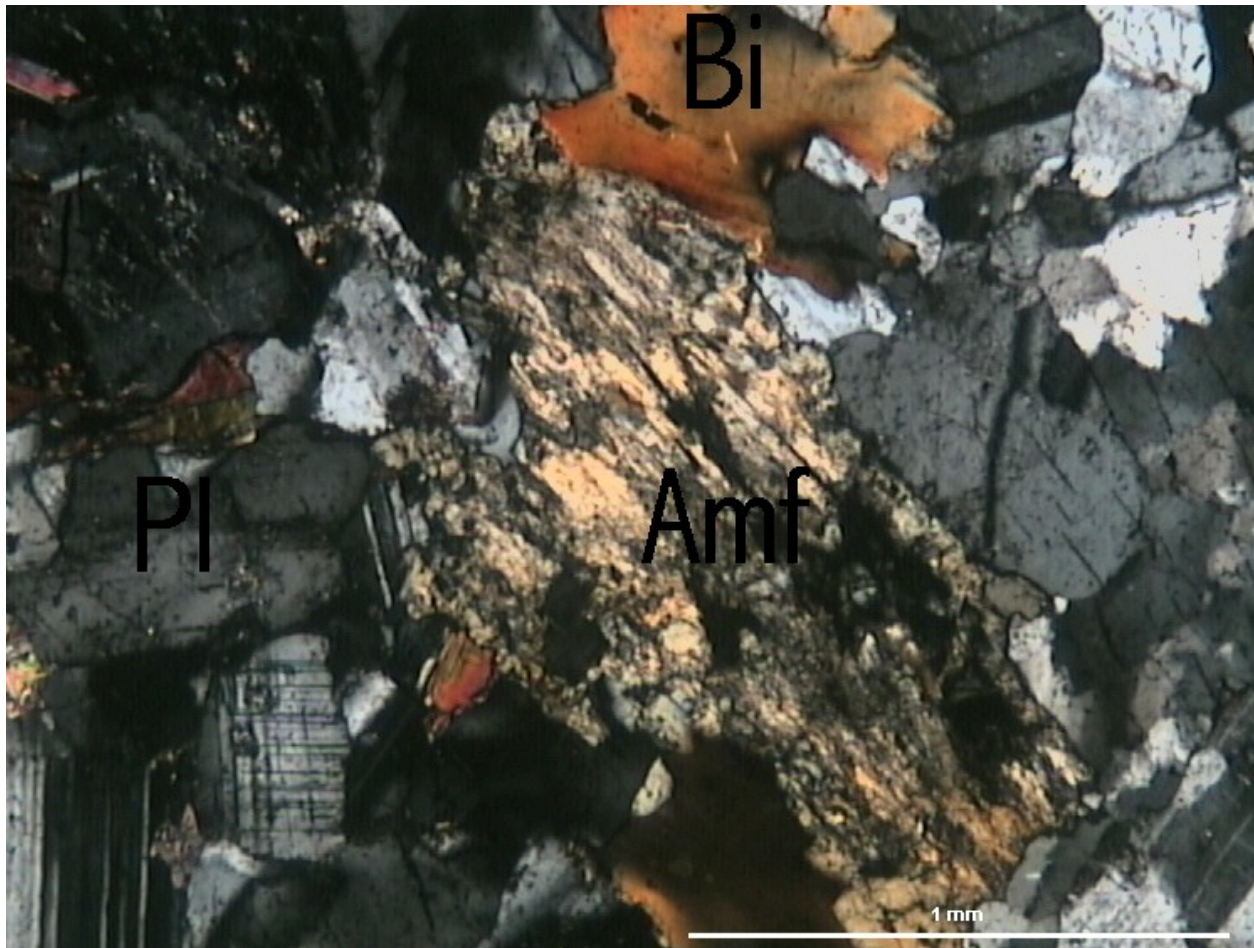
- Tavení subdukčního klínu, pláště a kůry (intrakce mezi plášťovým a korovým magmatem).
- Většinou vápenato-alkalické tonality až granodiority
- Amfibol, klinopyroxen a biotit

- Rozsáhlé lineární batholity
- klasifikaci Pearce et al. (1984)
VAG, M-typ a I-typ



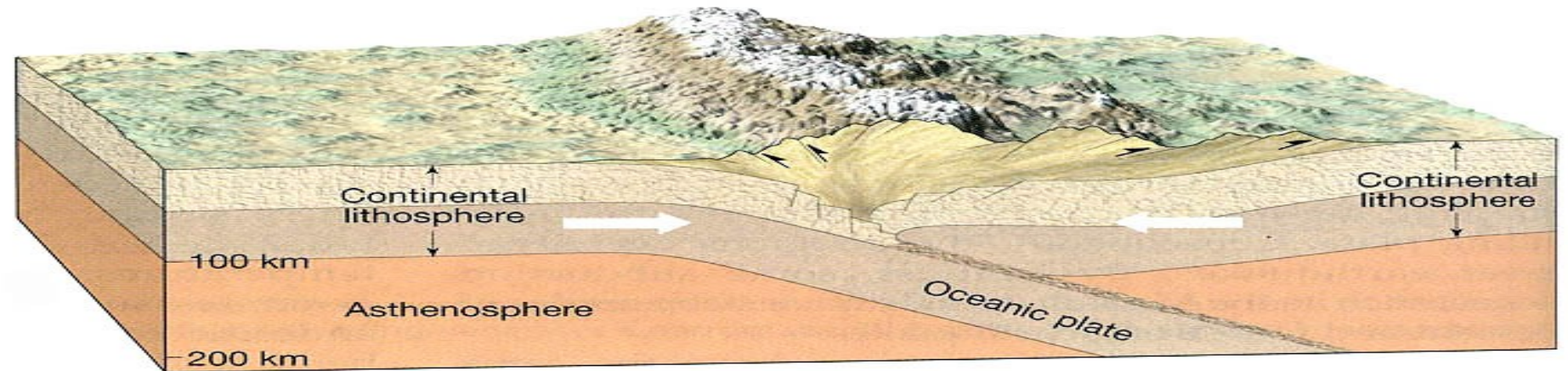
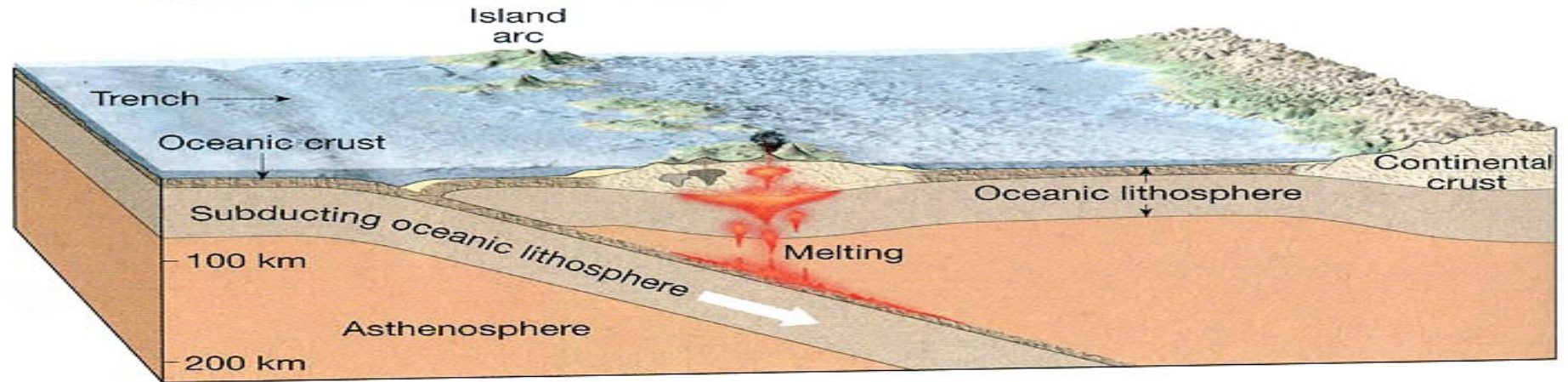
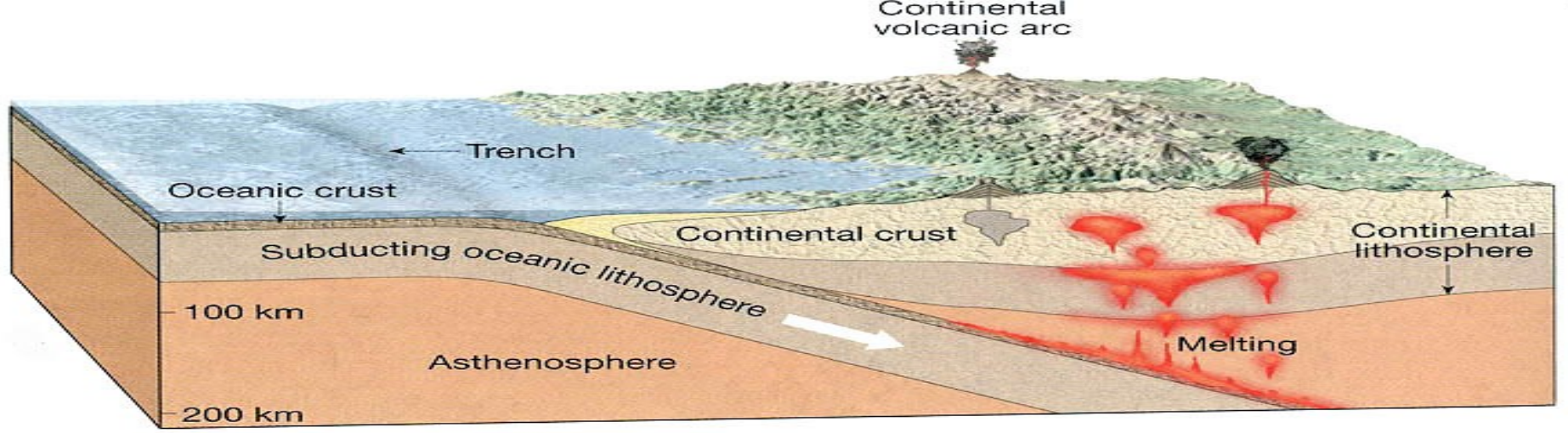
I-typové granity

- metaluminické
- amfibol, titanit, magnetit
- biotit = žlutý-zelený-hnědý pleochroismus
- magnetit a zelený biotit ukazují na oxidační prostředí
- Vysoký Na₂O a CaO, εNd
- Nízký ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (0,704-0,708), δ18O





enkláva dioritu v Bt tonalitu Miřetínský pluton



Parts of an Ocean–Ocean Convergent Plate Boundary

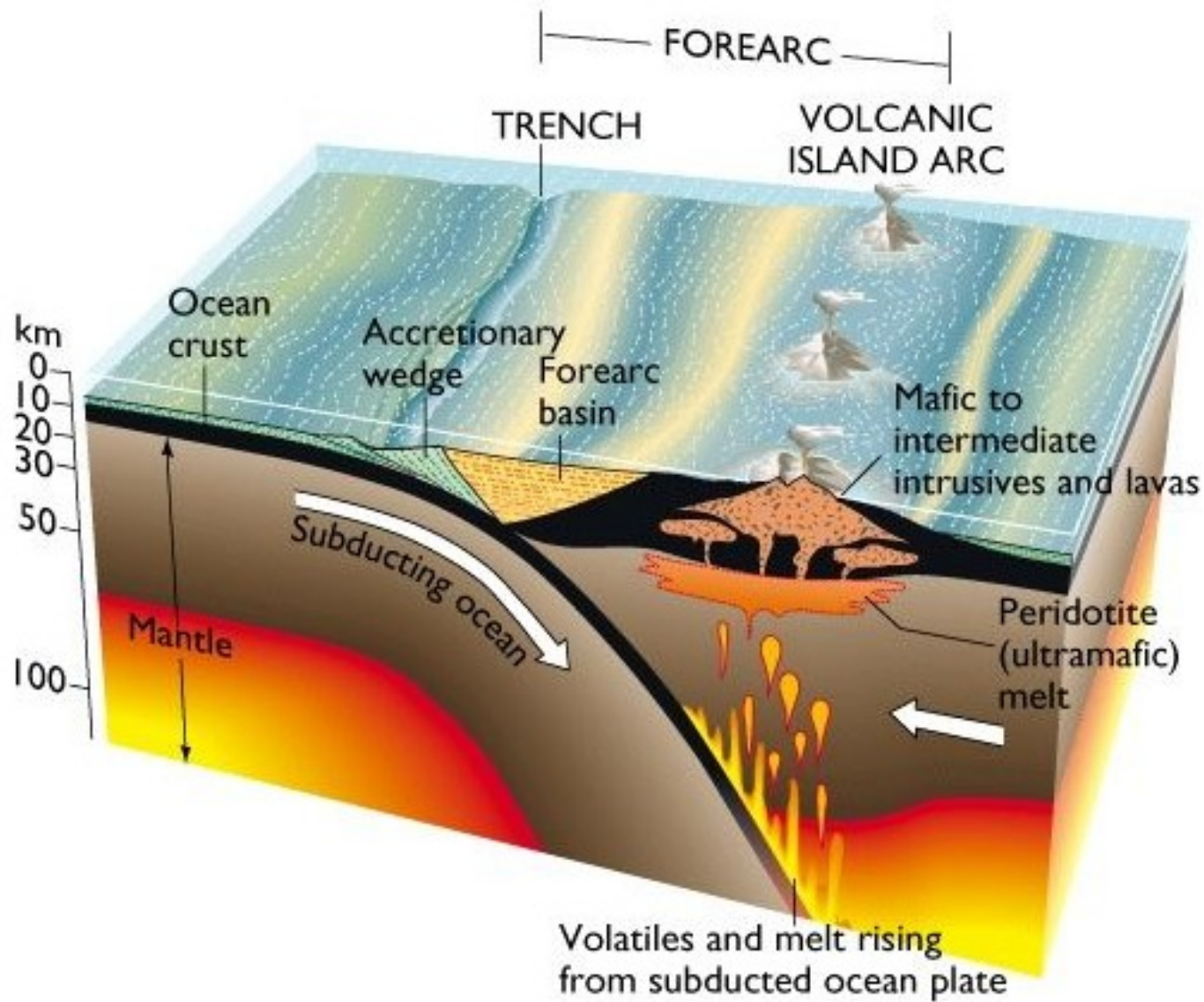
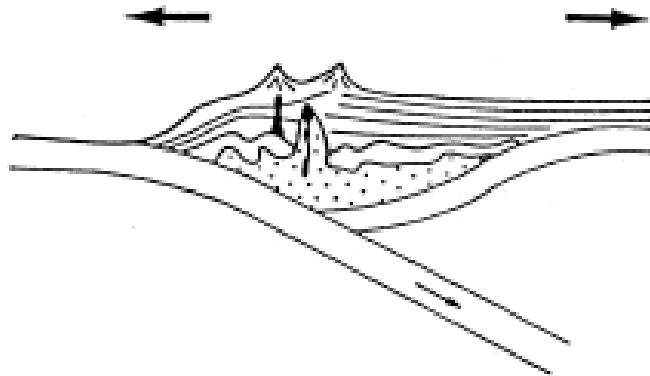


Fig.

Klasifikace podle Barbaina (1999)

- V oblastech, kde dochází k subdukcí jedné oceánské desky pod druhou, vznikají vulkanické oblouky, na něž jsou vázány vápenato-alkalické diority až tonality a granodiority (ACG) s menším zastoupením tholeitických gaber až křemenných monzodioritů (ATG).
- Zastoupení hlubinných vyvřelin je však poměrně malé ve srovnání s zastoupením jejich vulkanických analogů hlavně vápenato-alkalických a tholeitických bazaltů a andezitů.

CONVERGENCE
OF TWO
OCEANIC
LITHOSPHERES



SUBDUCTION
(REGIONAL TENSION)

VOLCANIC ISLAND ARCS

Calc-alkaline granitoids
(diorites-tonalites-granodiorites)
+ Arc tholeiitic granitoids
(gabbros-quartz monzodiorites)

New Britain arc, Papua New Guinea
(Whalen, 1985)

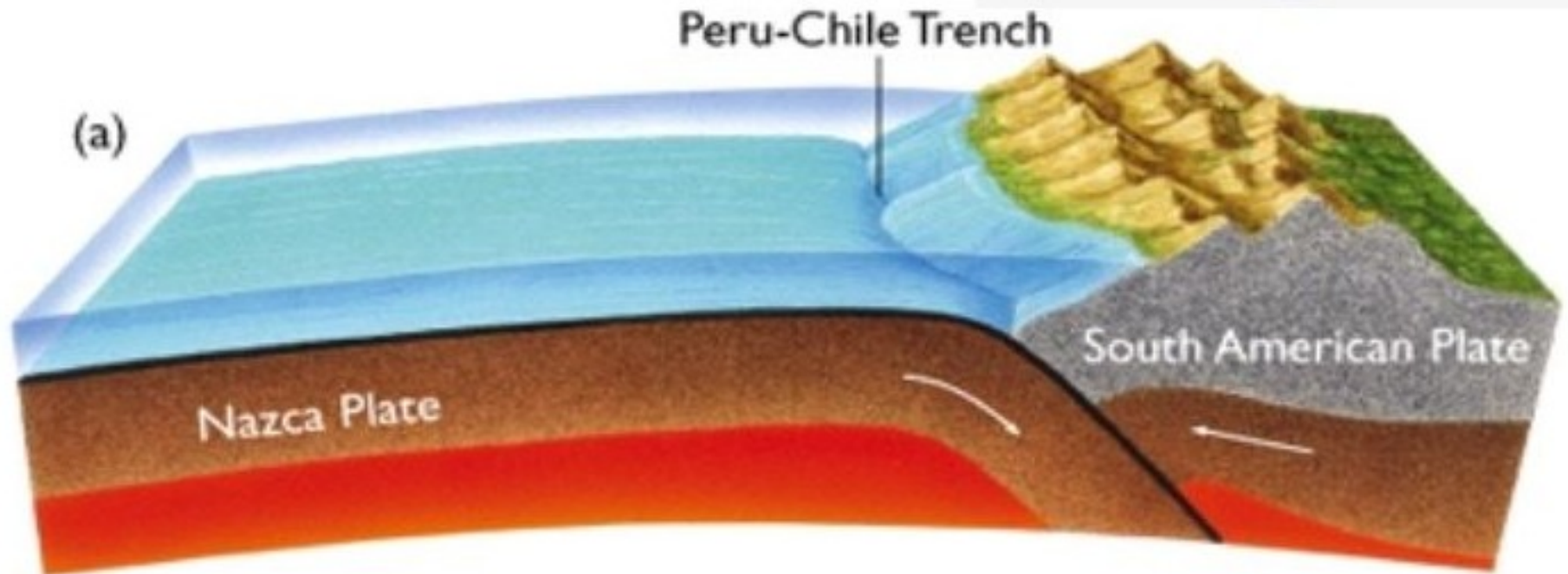
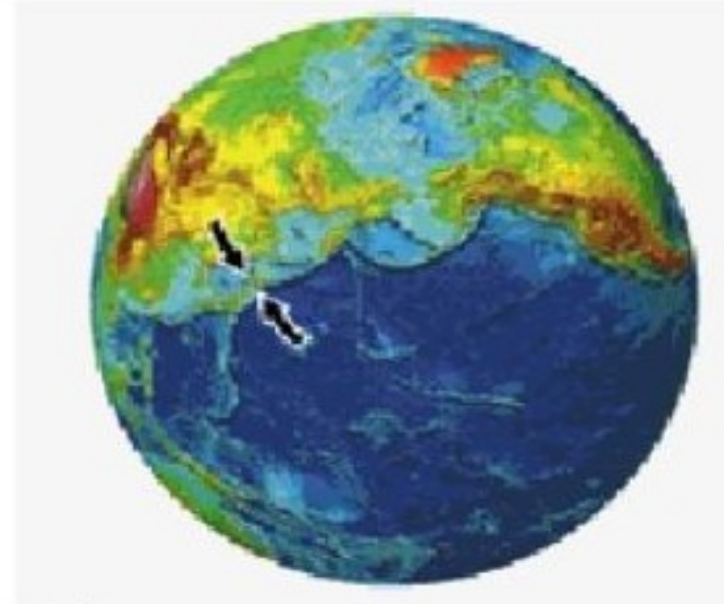
Aleutian arc, Alaska
(Perfit et al., 1980; Kay et al., 1983)

Subdukce a aktivní kontinentální okraj

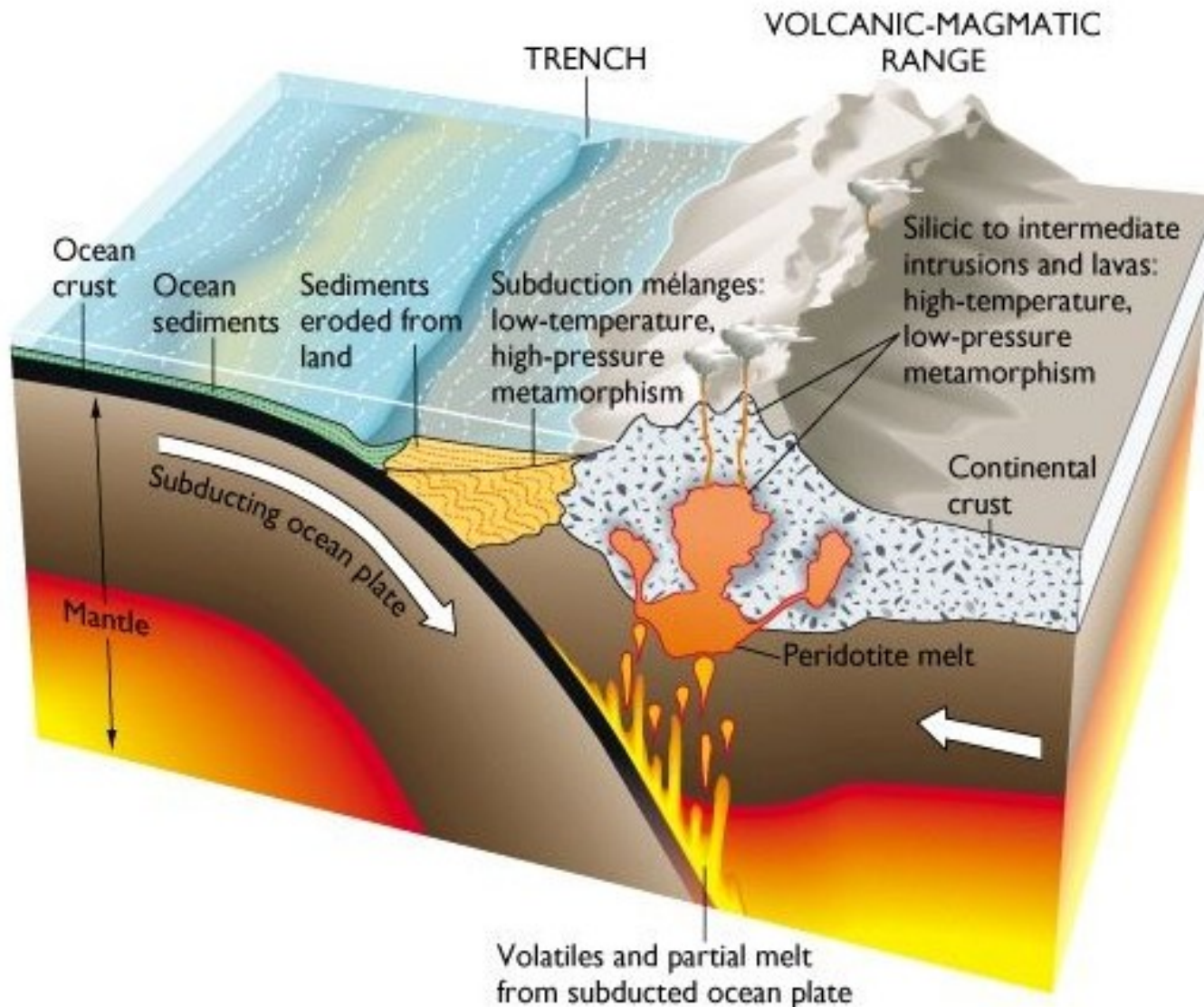
Ocean-continent subduction zone

Continental arcs:

- Active volcanoes (andesite to rhyolite)
- Often accompanied by compression of upper crust
- Andes, Japan, Indonesia
- Mt. St. Helens, Krakatoa, Thira



Parts of an Ocean–Continent Convergent Plate Boundary

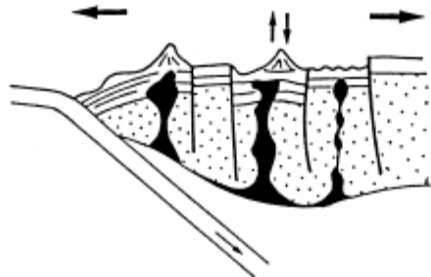


- Na aktivním kontinentálním okraji je magma generováno tavením akrečního klínu subdukované oceánské desky.
- Vzniklé magma pak taví nadložní kontinentální kůrou.

Klasifikace podle Barbaina (1999)

- V oblastech subdukce oceánské kůry pod kontinenální vznikají velké objemy nízce draselných a vysoce vápenatých a vápenato-alkalických tonalitů až granodioritů (ACG).
- Tyto granitoidy tvoří stovky plutonů po celé délce kontinentálního okraje při hranici se subdukční zónou. Nad těmito plutony bývá vyvinut rozsáhlý komplex vulkanitů andezitového charakteru.
- I když typ ACG je na aktivních kontinentálních okrajích zastoupen nejvíce, jsou zde přítomny i další typy.
- ATG granitoidy se v malém množství vyskytují v blízkosti subdukčního příkopu.
- Dále na kontinentu se pak vzácně mohou vyskytnout KCG granity, které oddělují ACG granity od PAG granitů vázaných na zaobloukové pánve.

CONVERGENCE OF OCEANIC AND CONTINENTAL LITHOSPHERES



SUBDUCTION
(REGIONAL TENSION)

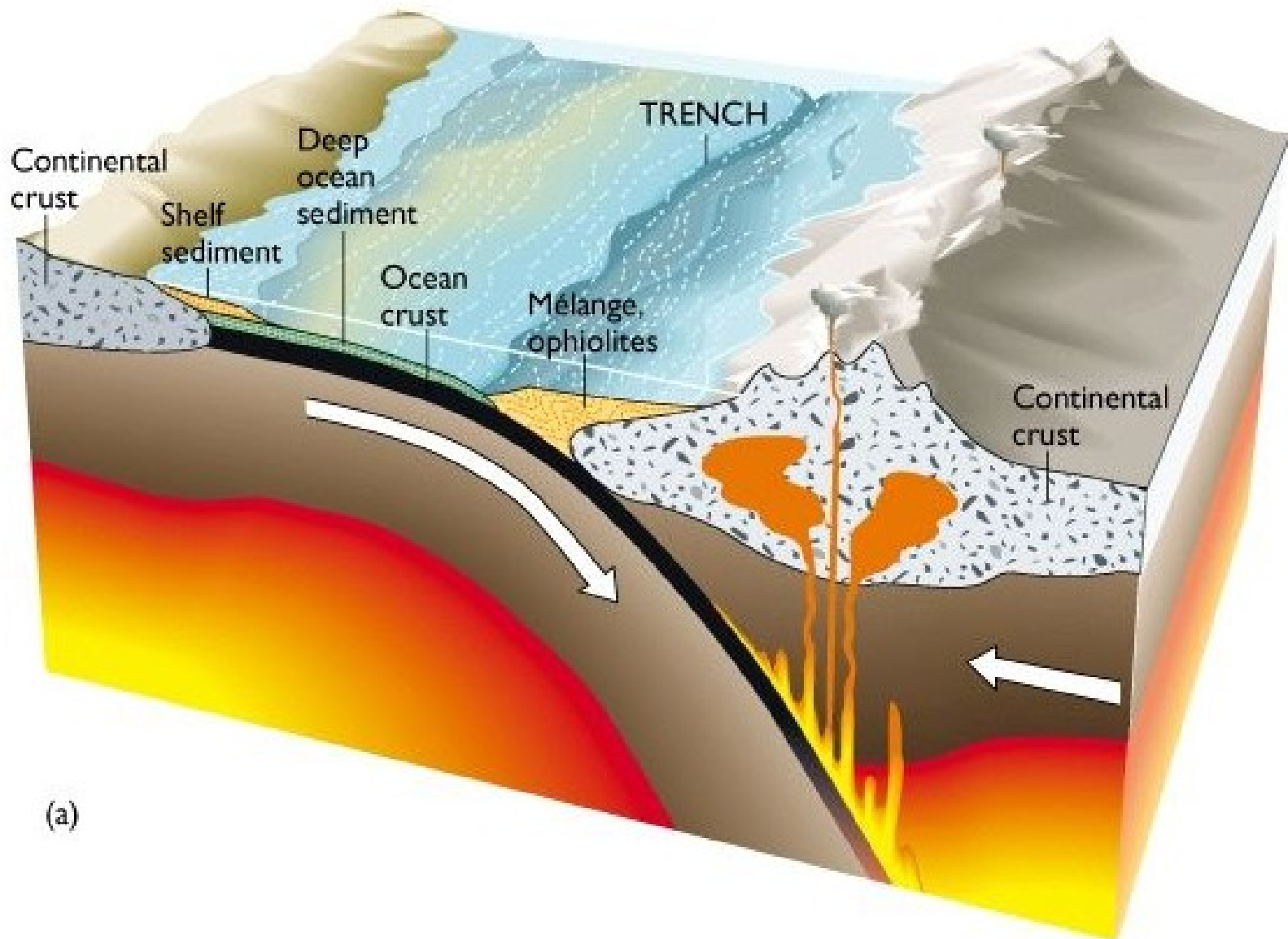
ACTIVE CONTINENTAL MARGINS

Calc-alkaline granitoids
(tonalites-granodiorites)
± K-rich calc-alkaline granitoids
(monzogranites)

Coastal batholith, Peru, and Patagonian batholith, Chile
(Pitcher et al., 1985; Bartholomew and Tarney, 1984)
Sierra Nevada batholith, California
(Bateman, 1983, 1992)

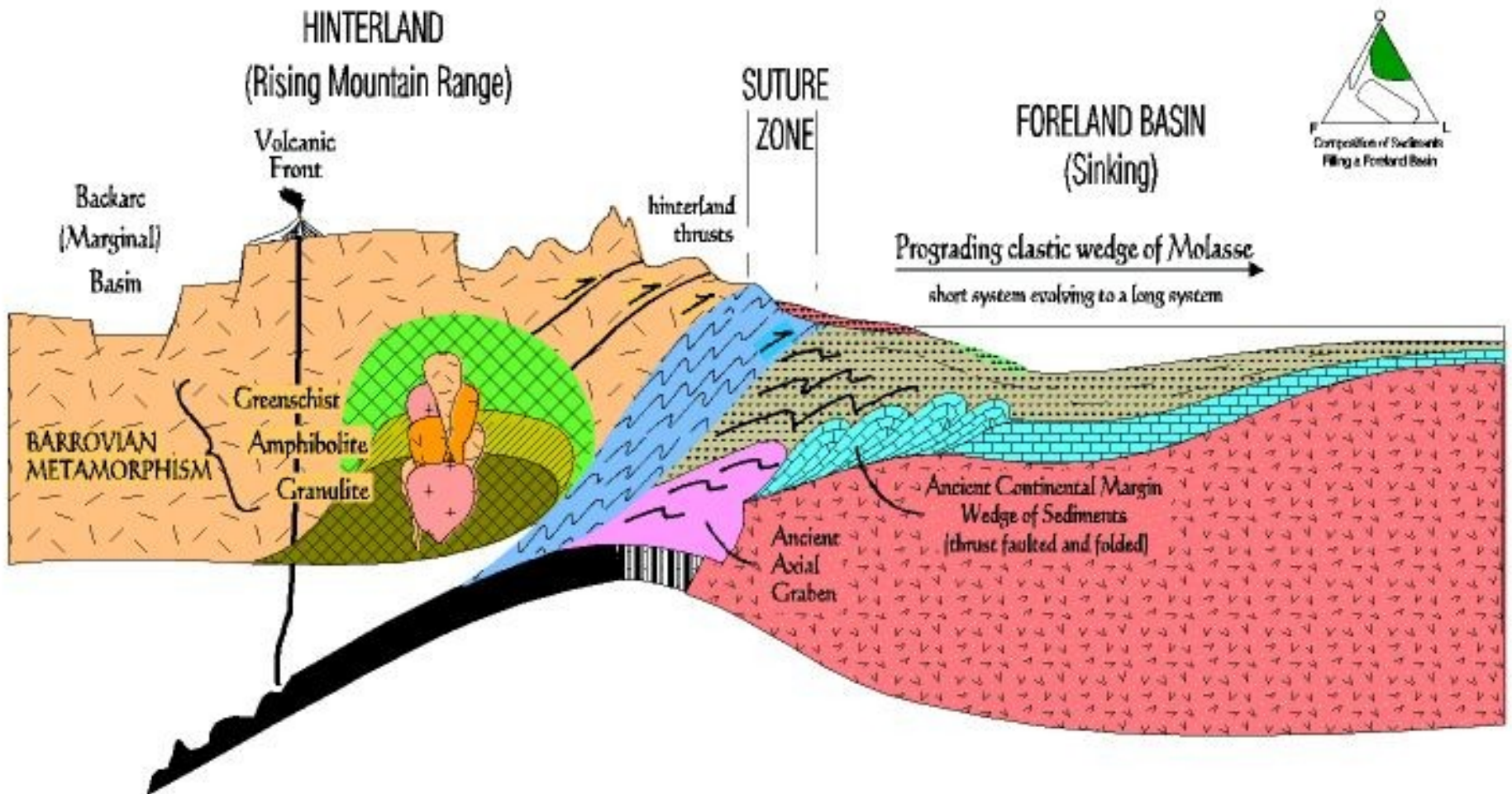
- Na aktivních kontinentálních okrajích tedy můžeme pozorovat směrem od hlubokomořského příkopu zonálnost: malé množství ATG, velké plutony ACG, vzácné KCG a nejdále PAG granitoidy typické pro zaoblokové pánve.

Continued Subduction



Kolize dvou kontinentálních desek

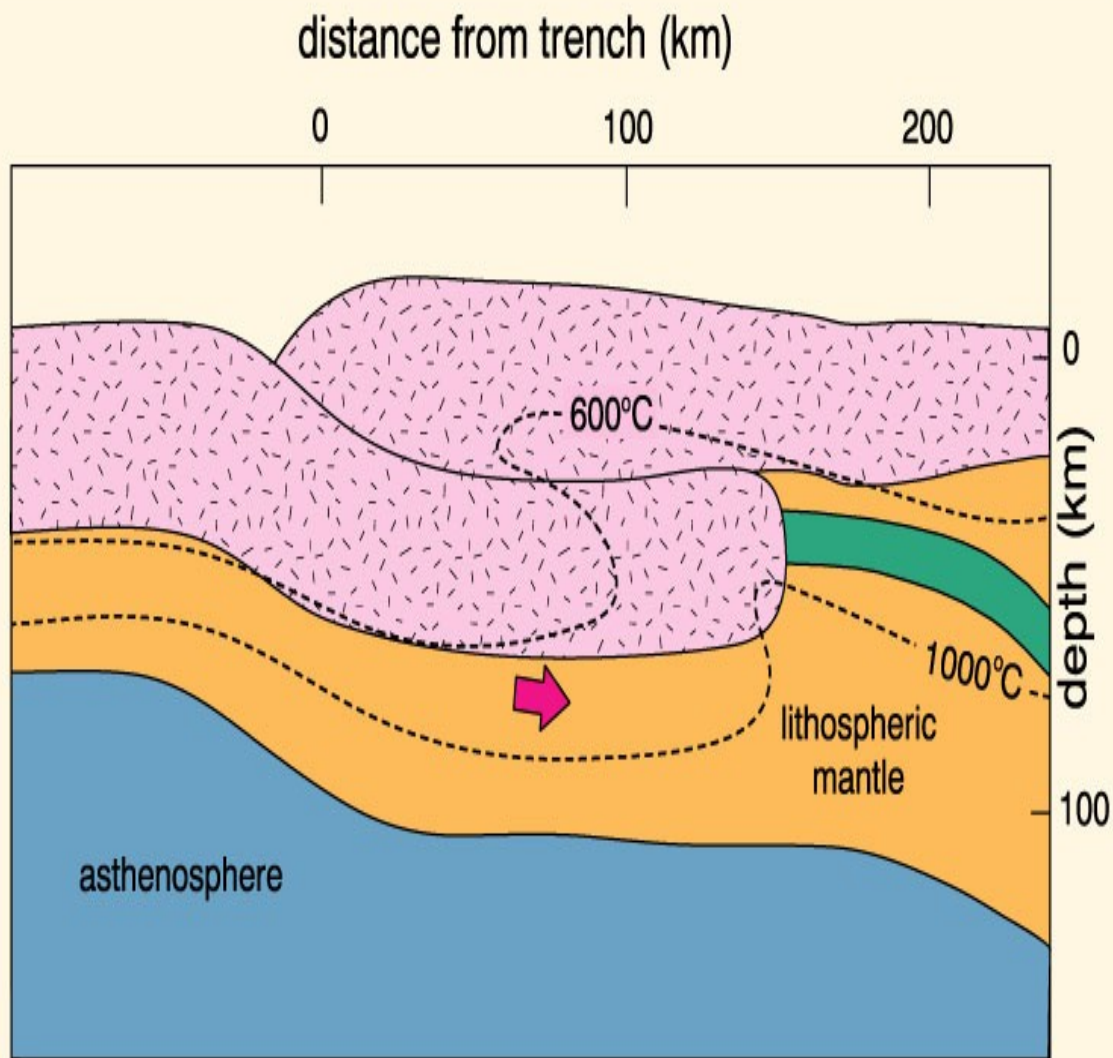
DETAILED FEATURES OF A CONTINENT-CONTINENT COLLISION OROGENY



- Rozdílné velikosti těles (většinou malé)
- Tavení kůry (dekompresní nebo s přínosem fluid)
- Peraluminické (muskovit, granát, biotit, cordierit)
- klasifikaci Pearce et al. (1984) Syn-Collision Granites (syn-COLG), S-typ



Cdr granit (lom Vanov)



Pokračující ubdukce táhne studenou kont. Desku. Ztluštění kontinentální kůry vede ke zvýšení teploty na její bázi a k tavení. Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



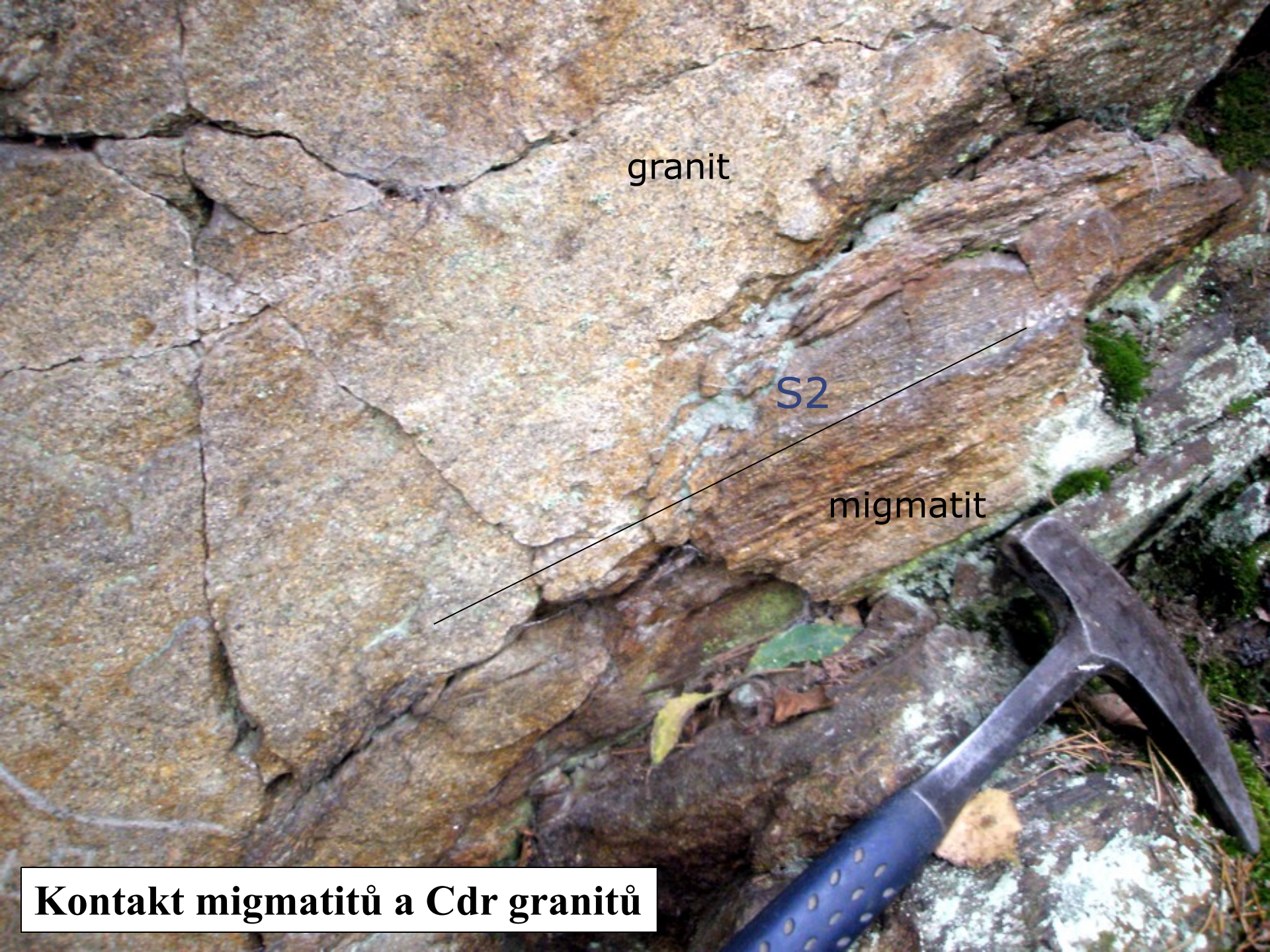
Pegmatitová žíla v granulitu

granit

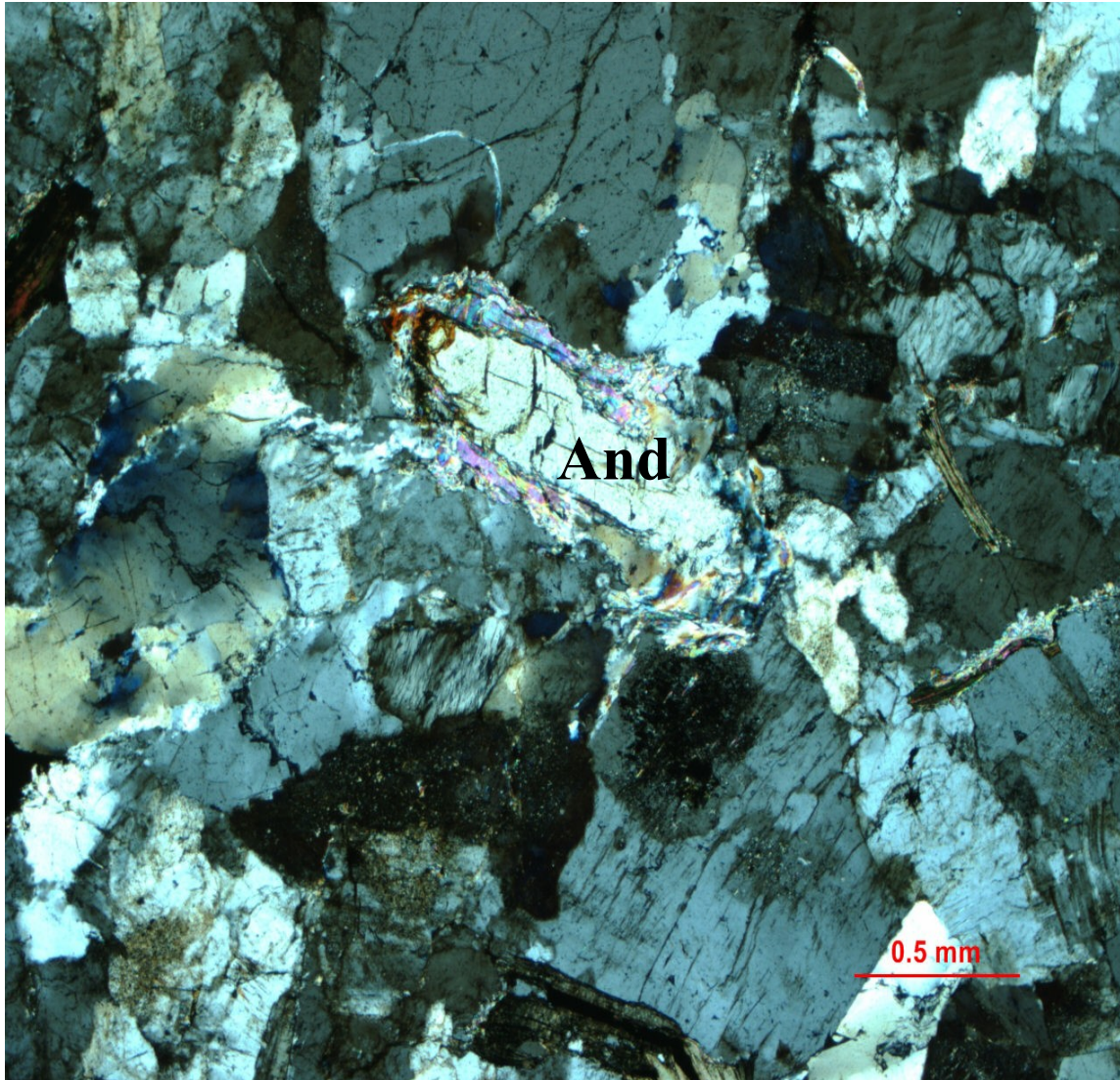
S2

migmatit

Kontakt migmatitů a Cdr granitů



S-typové granity



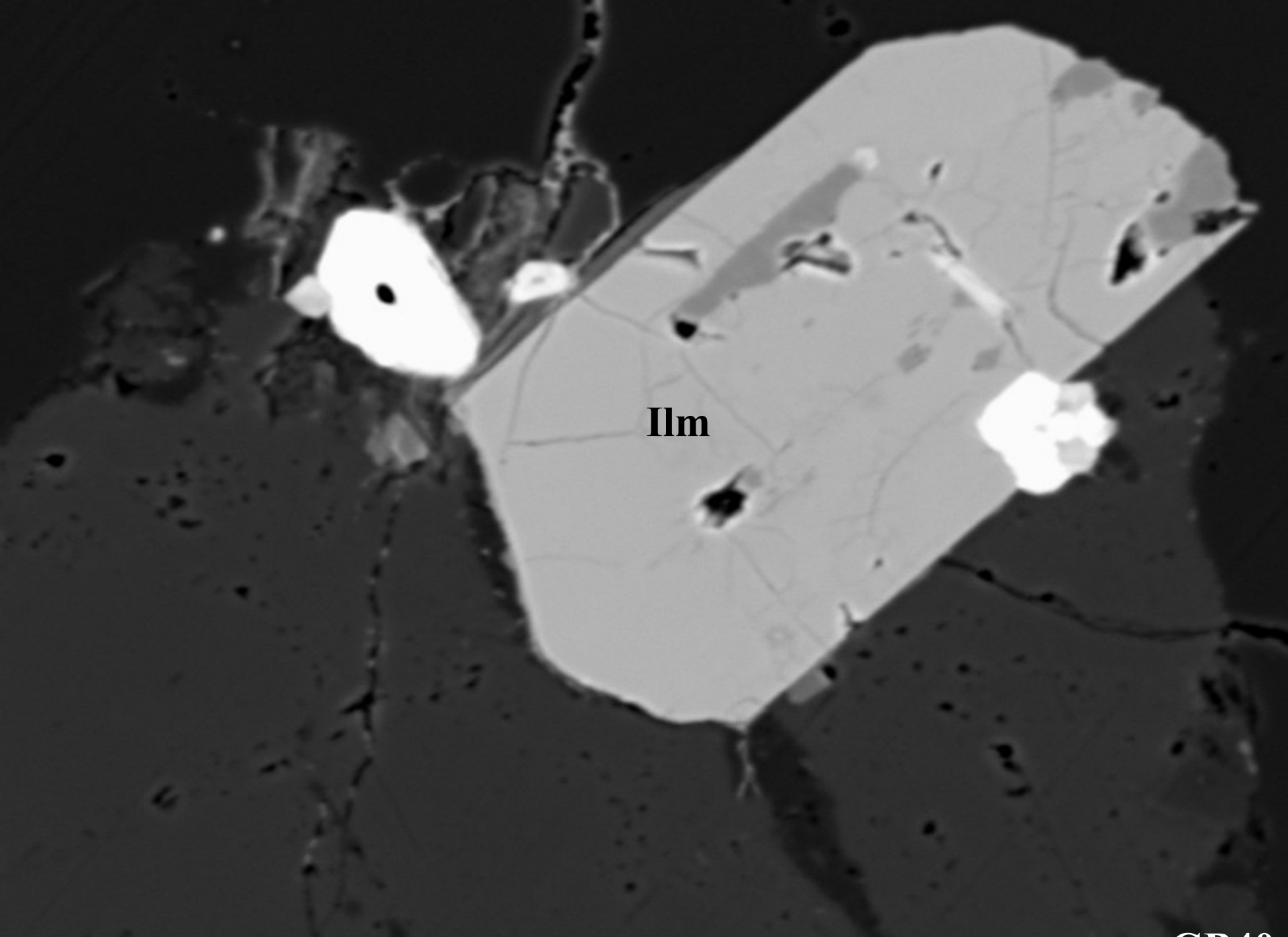
- peraluminické
- muskovit, granát, cordierit, ilmenit, alumosilikáty = Sill, And
- biotit = červenohnědý pleochroismus,
- během zvětvávání se v jílu koncentruje K a Al
- Ca a Na se koncentrují do roztoků
- Relativně redukční prostředí (grafit v sedimentech)
- Vysoký poměr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (více než 0,708), $\delta^{18}\text{O}$
- Nízký Na_2O , ϵNd



xenolit rul v granitu Budislav

Smolná Pec





Ilm

Pl

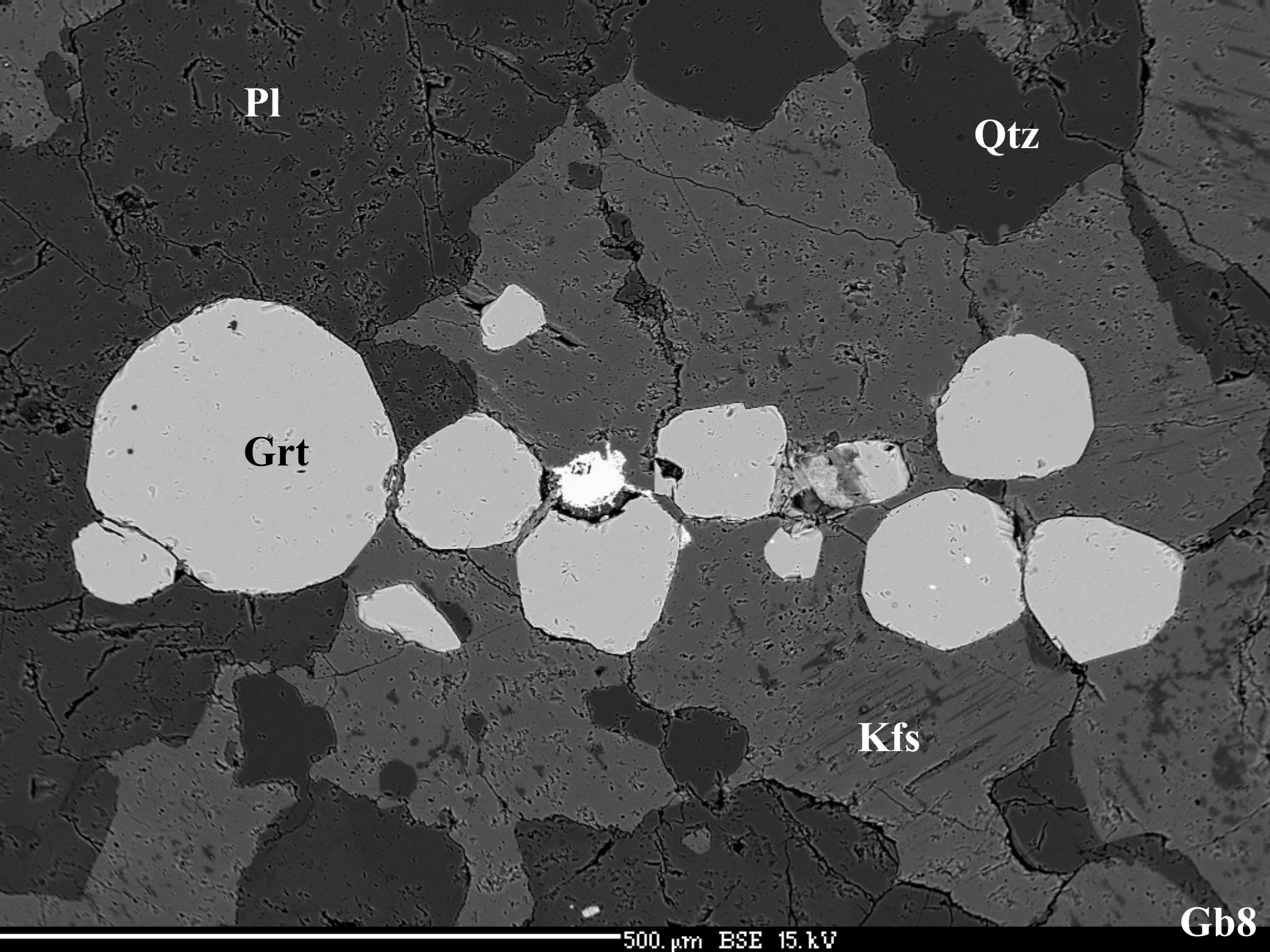
Qtz

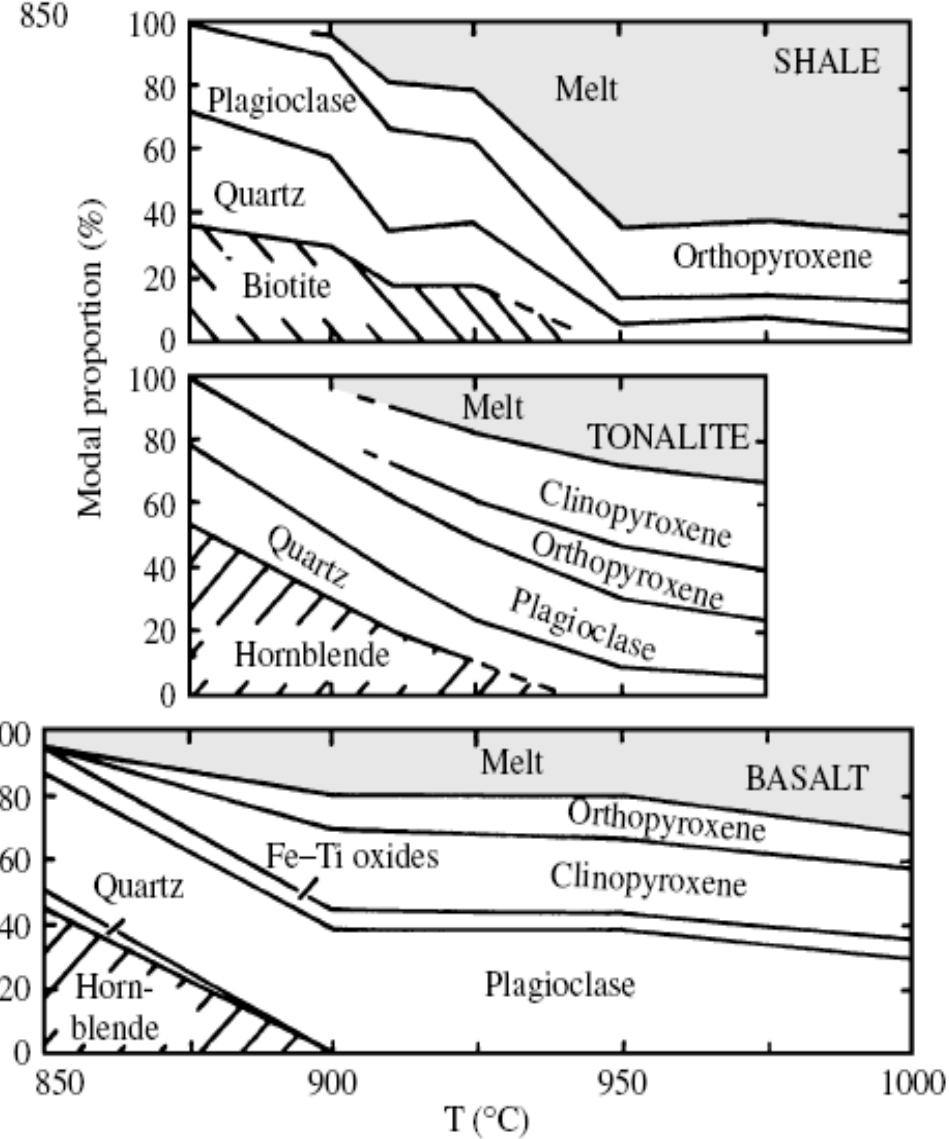
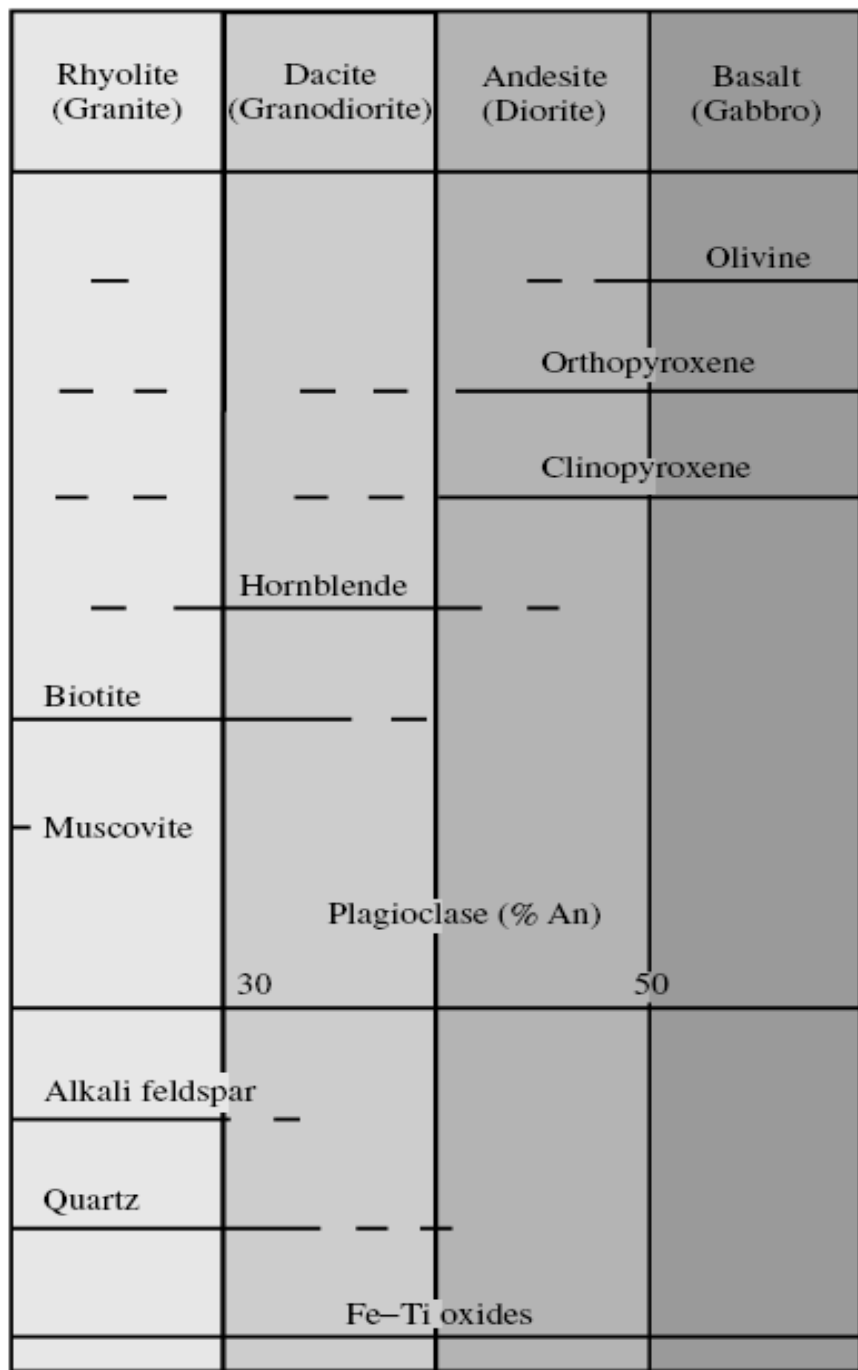
Grt

Kfs

Gb8

500. μ m ESE 15. kV

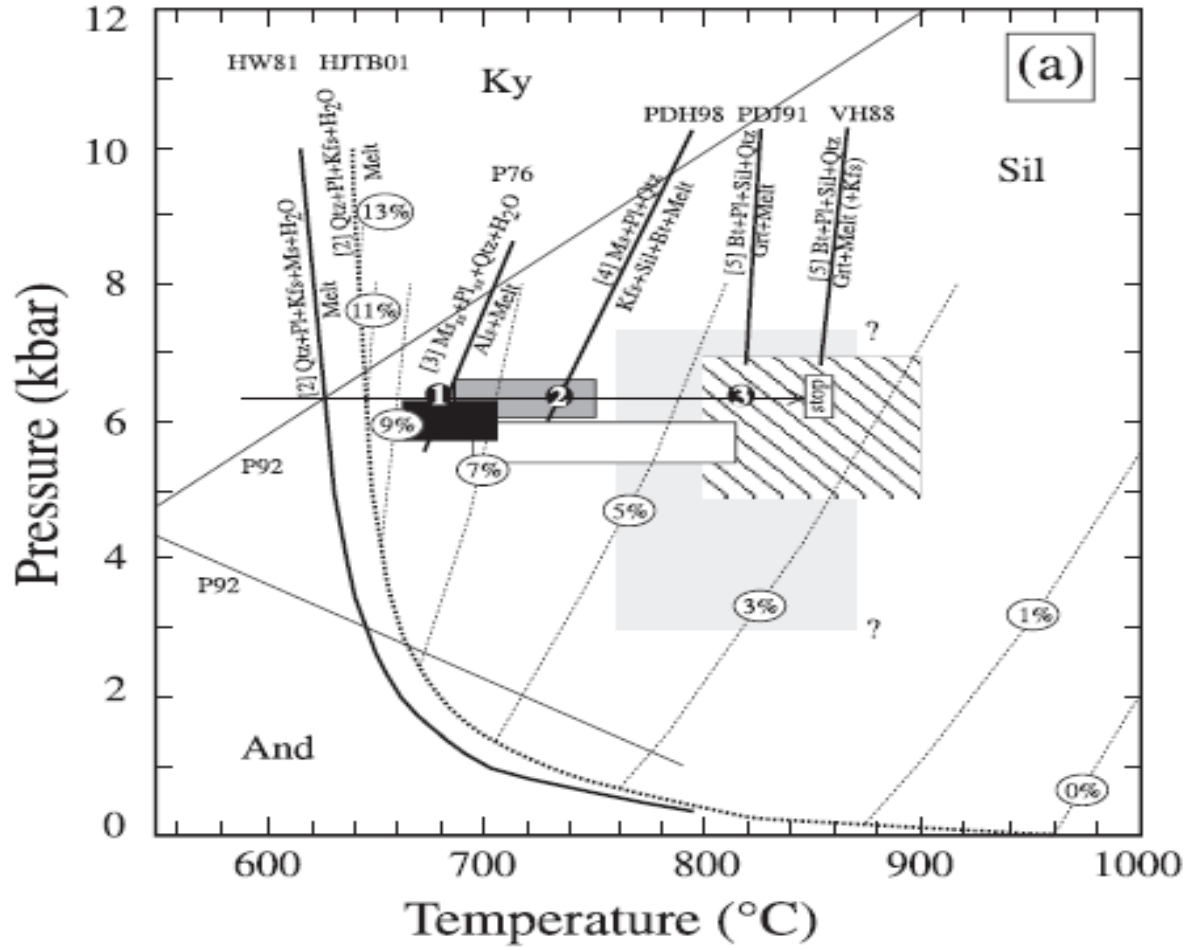
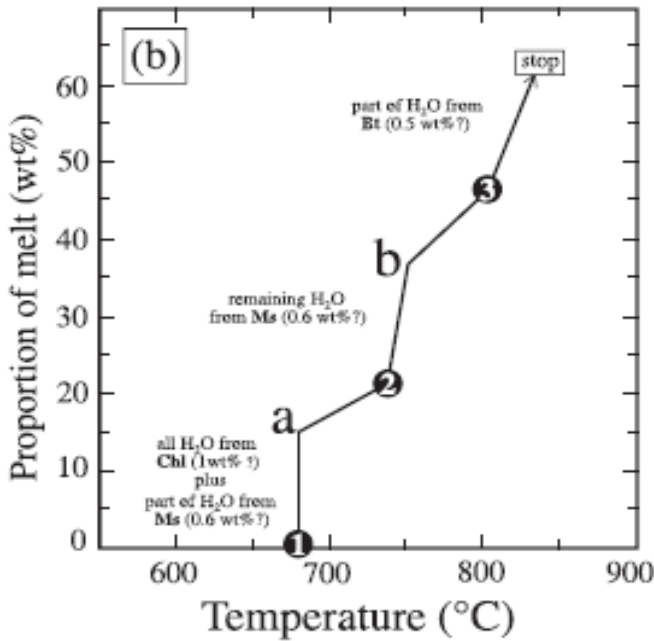
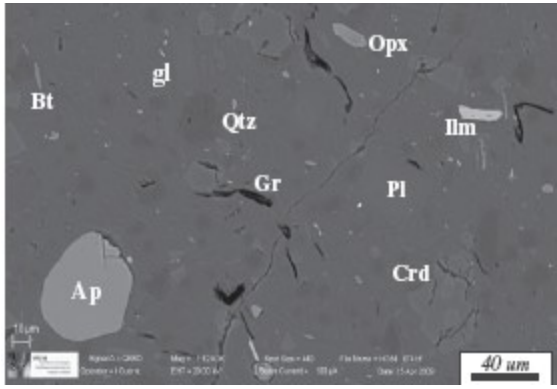




Výsledky experimentů s dehydratečním tavením biotitických břidlic, tonalitů (10 kbar) a bazaltů (7 kbar); Patiño Douce a Harris, 1998, Beard and Lofgren, 1991).

INCREASING TEMPERATURE →

- minerální a chemické složení závisí na:
- 1) PT podmínkách tavení
- 2) charakteru protolitu



Grt-Bt-Sil enclaves

- T_{Zn} & Mnz , MI in Pl
- T_{Zn} & Mnz , MI in Grt
- T_{Zn} & Mnz , Mat glass
- ▨ Conventional thermobarometry (CSMV97)

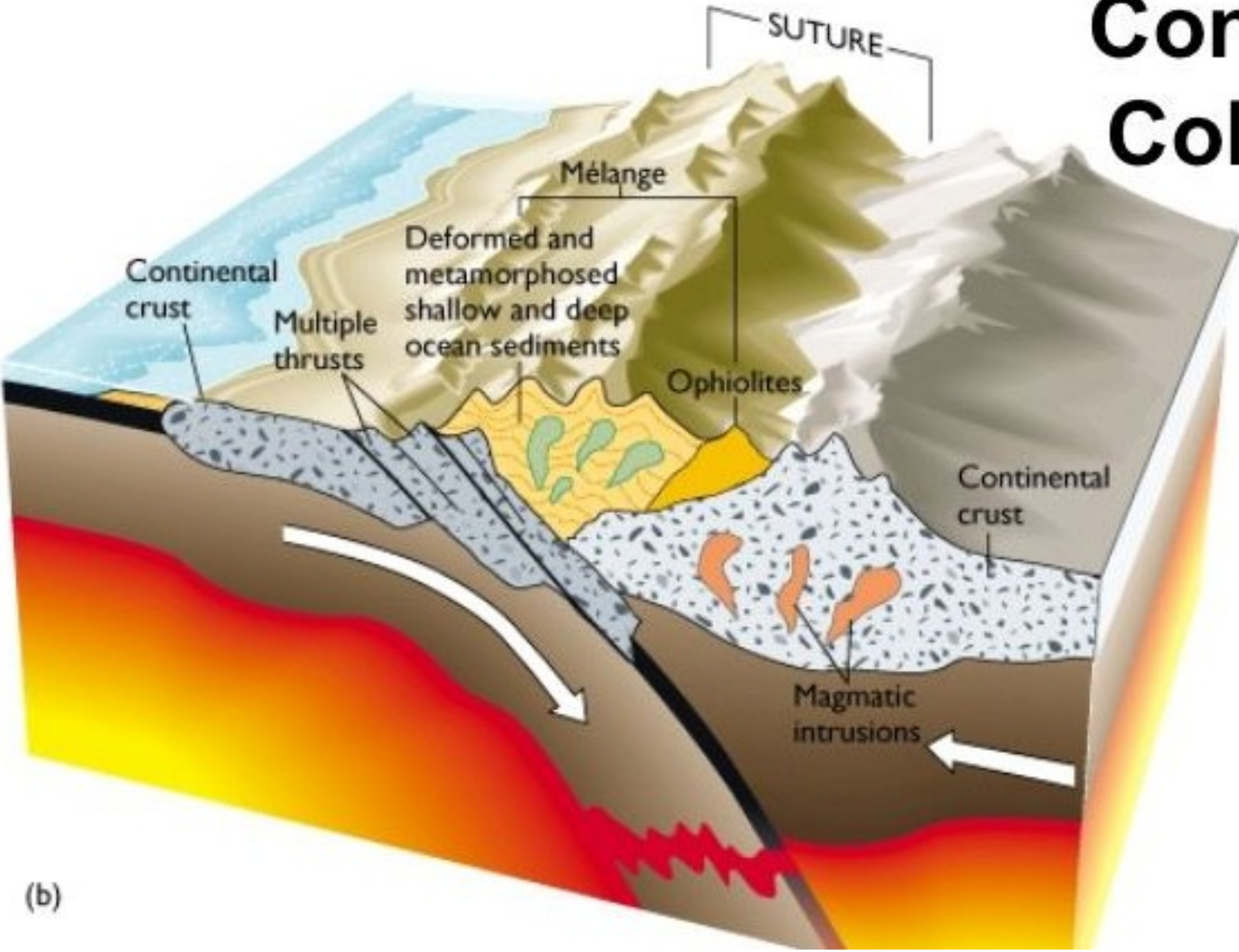
Dacites

- T_{Zn} & Mnz , Mat glass

PT podmínky vypočtené pro tavení metasedimentární enklávy v dacitu (ACOSTA-VIGIL 2010).

- Když se oceán díky subdukci zcela uzavře, dochází ke kolizi dvou kontinentálních bloků a zvětší se mocnost kontinentální kůry.

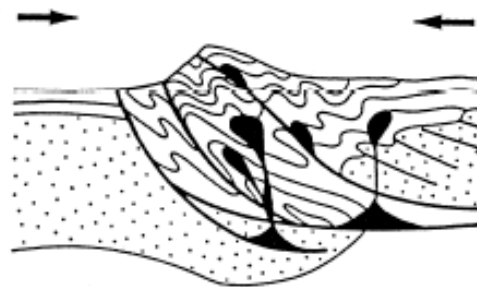
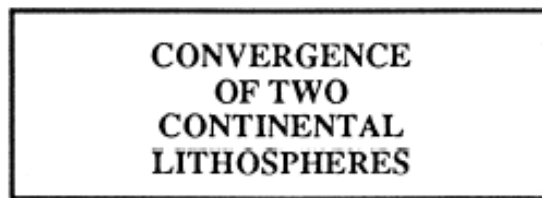
Continent-Continent Collision



(b)

Klasifikace podle Barbaina (1999)

- Tavením kontinentální kůry vznikají peraluminické granitoidy (MPG a CPG) a také draslíkem bohatá vápenato-alkalická magmata (KCG).
- MPG a CPG granity jsou vázány na období vrcholu orogeneze, kdy dochází k migmatitizaci regionálního rozsahu. Magma vzniká v kompresním režimu a intruduje podél zlomů a střížných zón.
- KCG granity oproti tomu pravděpodobně intrudují až během období relaxace orogenu.
- Je pravděpodobné, že během orogeneze dochází ke střídání období komprese a extenze, a tak se také střídají intruze peraluminických granitů a granitů KCG (vápenato-alkalické draslíkem bohaté granitoidy obsahující porfyrické vyrostlice draselného živce).
- Před úplným ukončením konvergence kontinentálních desek převládá KCG magmatismus.



COLLISION
(REGIONAL COMPRESSION)
(LOCAL TENSION)

COLLISIONAL OROGENS

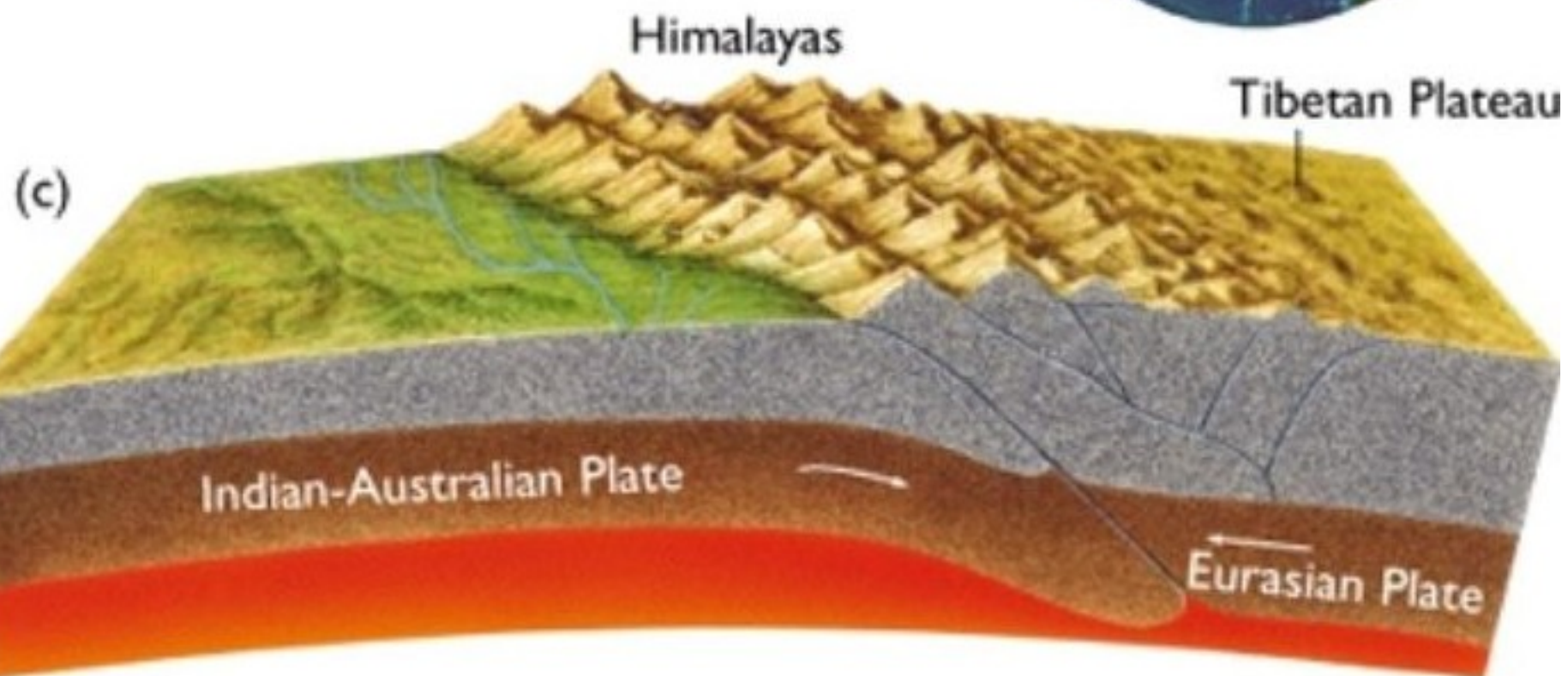
Peraluminous granitoids
(granodiorites and leucogranites)
+ K-rich calc-alkaline granitoids
(monzogranites)

Massif Central and Brittany, France
(*Lameyre et al., 1980; de La Roche et al., 1980*)
High Himalaya leucogranites
(*Le Fort, 1981*)
Lachlan Fold belt S-type granitoids, Australia
(*Chappell and White, 1992*)

Continent-Continent Collision

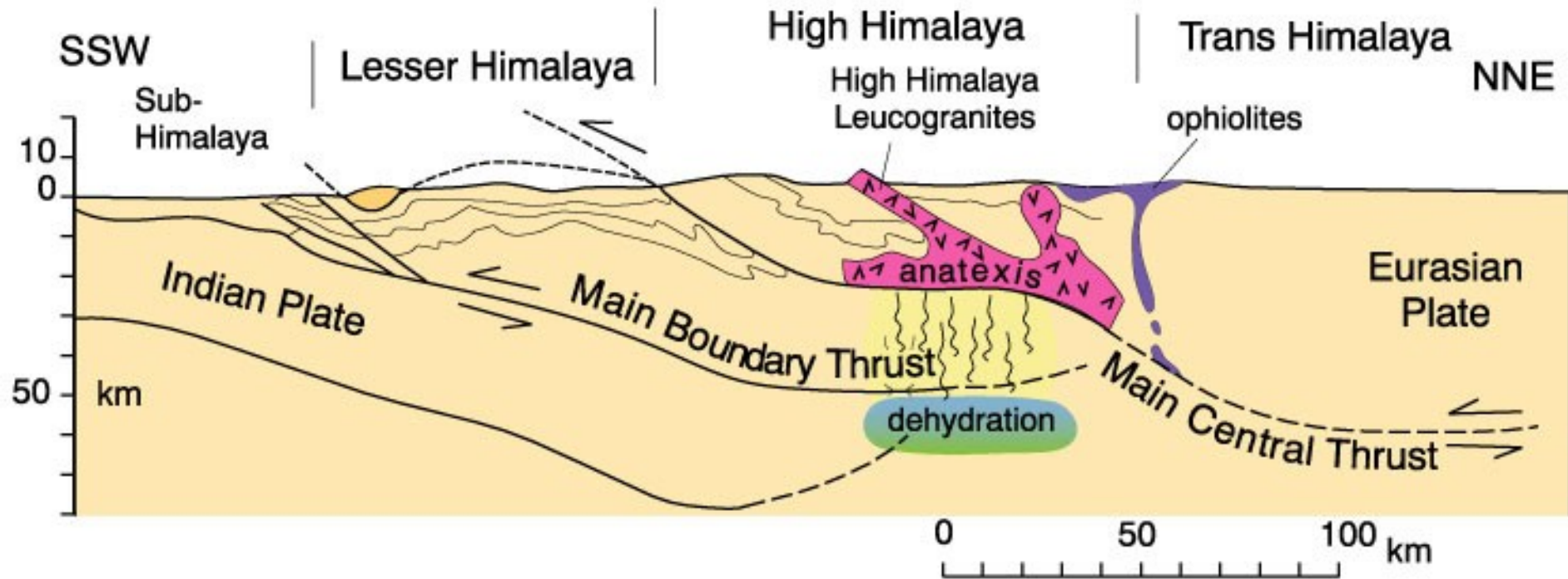
Continent–continent boundaries, convergence is accommodated by

- *Folding* (shortening and thickening)
- *Strike-slip* faulting
- *Underthrusting* (intracontinental subduction)



Post-kolizní výzdvih

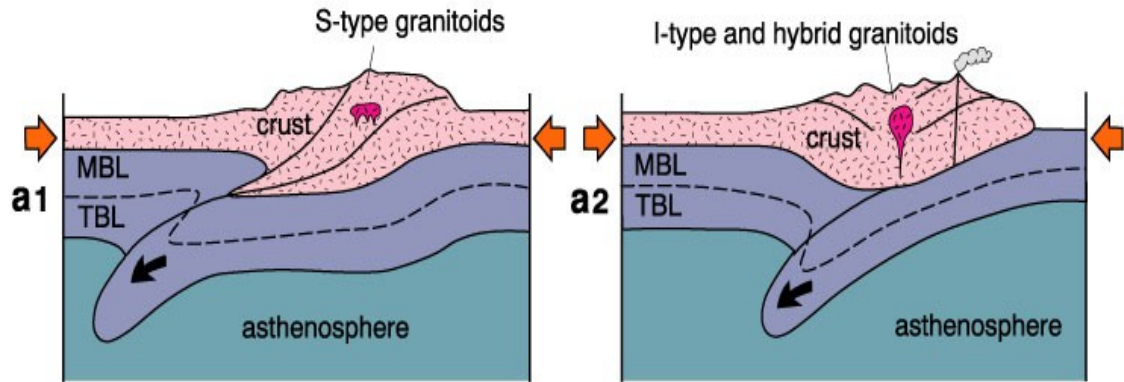
- Většinou velká zonální tělesa
- Granodiority, granity až alkalické granity rozdílného původu (převážně korové)
- klinopyroxen, amfibol, biotit
- klasifikaci Pearce et al. (1984) Post-Collision Granites (P-COLG), A-typ, I-typy



*Schematic cross section of the Himalayas showing the dehydration and partial melting zones that produced the leucogranites. After France-Lanord and Le Fort (1988) *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, 79, 183-195. Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.*

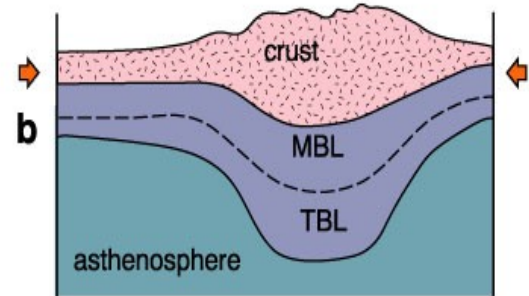
Schematický model výzdvihu a extenzního kolapsu orogeneticky zvětšené mocnosti kontinentální kůry:

(a) V důsledku subdukce dojde k kolizi dvou kontinentálních bloků a ztlustění kontinentální kůry (a1) nebo dojde ke kompresi kontinentálního oblouku (a2).

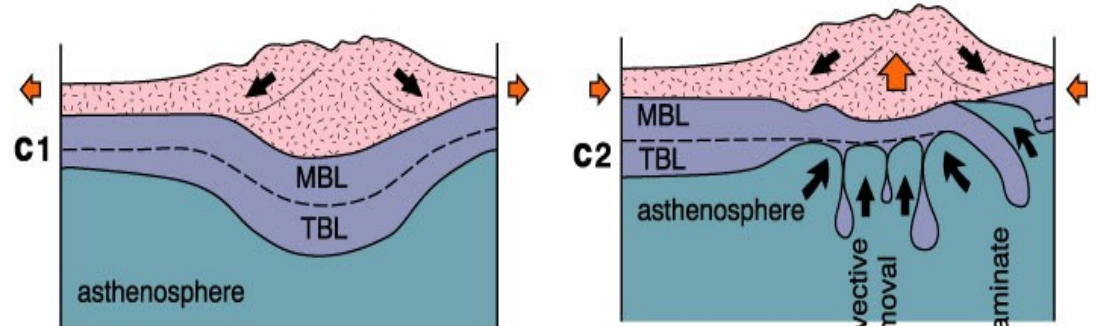


Oba mechanismy mají za následek zvětšení mocnosti kůry

(b) v obou případech tak vzniká mocná kontinentální kůra v kompresním režimu v níž dochází k metamorfóze.

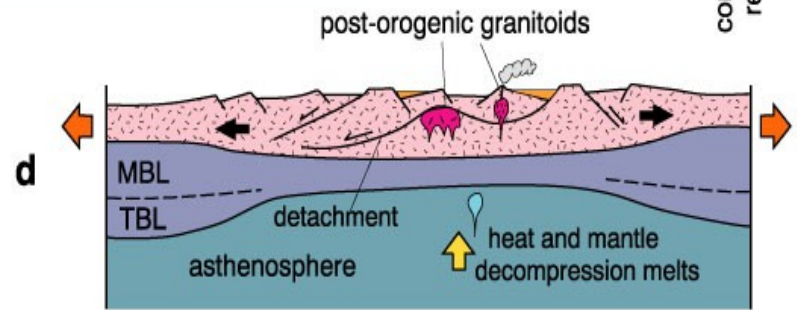


(c) takové pohoří není stabilní a dochází k extenzi a kolapsu kůry což je spojeno s ztenčením litosféry a horká astenosféra se dostává blíže k povrchu.



Ztenčení litosféry probíhá jako důsledek delaminace kůry (c1) nebo konvektivní erozí (c2).

(d) V důsledku tepelného toku dochází k tavení a vzniku granitových magmat (bimodální postorogenetický magmatizmus s mafickou plášťovou a felzickou korovou složkou).



Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.

Klasifikace podle Barbaina (1999)

- Během eroze orogénu a postolizního výzdvihu jsou hojné intruze KCG (vápenato-alkalické draslíkem bohaté granitoidy obsahující porfyrické vyrostlice draselného živce) granitů, které bývají spojeny s PAG (peralkalické a alkalické granitoidy) granity v zaobloukových pánvích.
- Někteří autoři však do období post-kolizního výzdvihu kladou i vznik části MPG granitů Sylvester (1998).

RELAXATION
OF A
CONTINENTAL
LITHOSPHERE

FORMER COLLISION BELTS

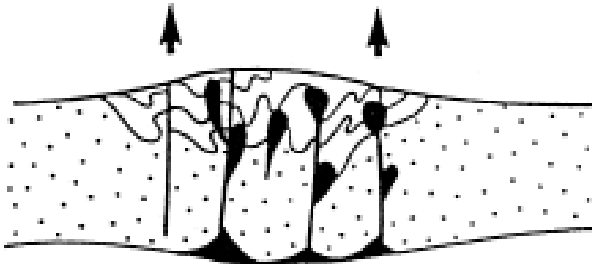
K-rich calc-alkaline granitoids
(monzogranites)

Caledonian plutons of the northern British Isles
(*Halliday and Stephens, 1984*)

Ploumanac'h intrusive complex, Brittany, France
(*Barrière, 1977*)

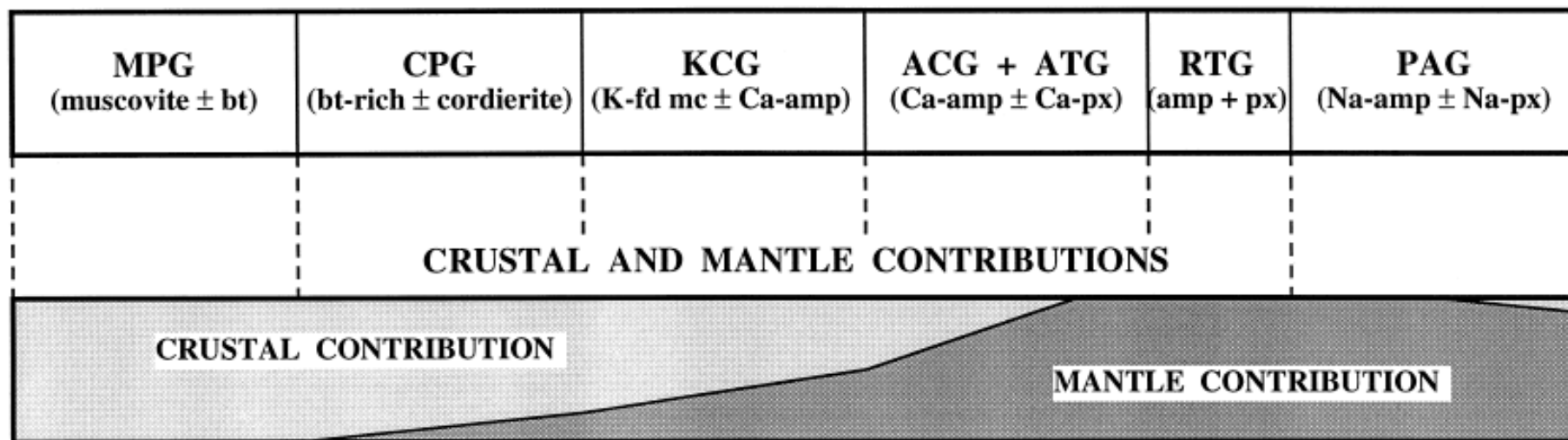
Ballons intrusive complex, Vosges, France
(*Pagel and Leterrier, 1980*)

Montagne Bourbonnaise plutons, Massif Central, France
(*Lameyre et al., 1980; Barbarin, 1983*)

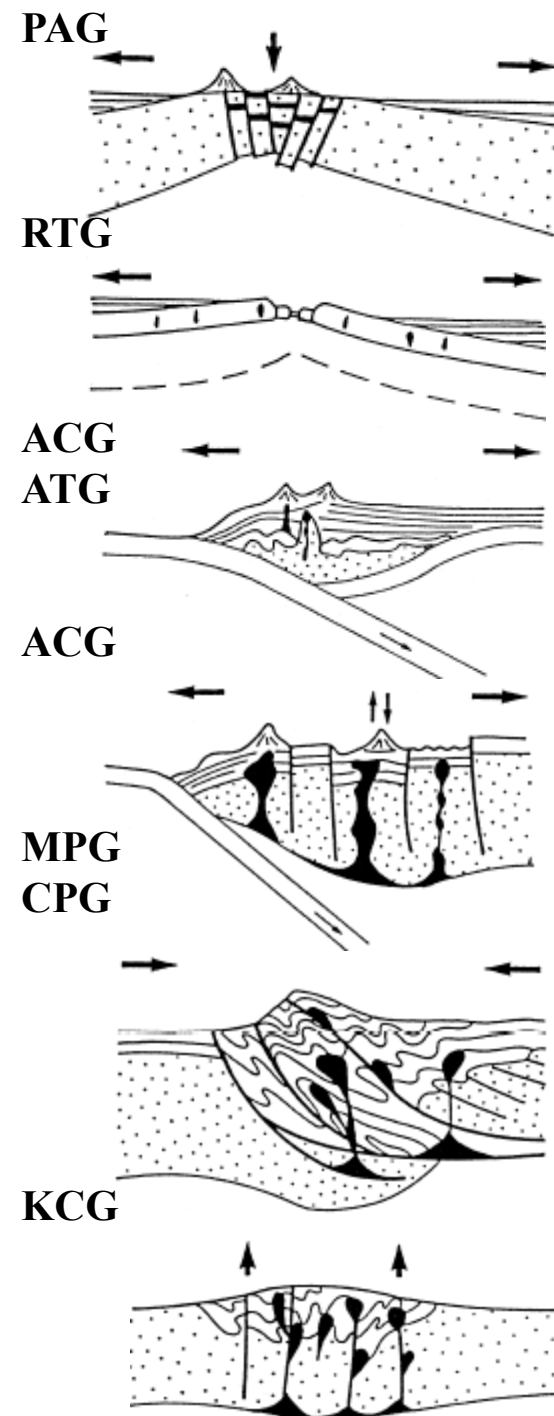


POST COLLISION UPLIFT
(REGIONAL TENSION)

- Označení jednotlivých skupin granitoidů a jejich zařazení do geotektonických prostředí vychází z klasifikace Barbaina (1999).
1. MPG- muskovitické peraluminické granitoidy
 2. CPG- cordieritické a biotitické peraluminické granitoidy
 3. KCG- vápenato-alkalické draslíkem bohaté granitoidy obsahující porfyrické vyrostlice draselného živce.
 4. ACG- amfibolické vápenato-alkalické granitoidy
 5. ATG- tholeiitické granitoidy oblouků
 6. RTG- tholeiitické granitoidy oceánských hřbetů
 7. PAG-peralkalické a alkalické granitoidy



GRANITOID TYPES		ORIGIN	GEODYNAMIC ENVIRONMENT
Muscovite-bearing Peraluminous Granitoids	MPG	CRUSTAL ORIGIN PERALUMINOUS GRANITIODS	CONTINENTAL COLLISION
Cordierite-bearing Peraluminous Granitoids	CPG		
K-rich Calc-alkaline Granitoids (High K - Low Ca)	KCG	MIXED ORIGIN (Crust + Mantle) METALUMINOUS AND CALC-ALKALINE GRANITIODS	TRANSITIONAL REGIMES
Amphibole-bearing Calc-alkaline Granitoids (Low K - High Ca)	ACG		SUBDUCTION
Arc Tholeiitic Granitoids	ATG	MANTLE ORIGIN THOLEIITIC, ALKALINE AND PERALKALINE GRANITIODS	OCEANIC SPREADING OR CONTINENTAL DOMING AND RIFTING
Mid-ocean Ridge Tholeiitic Granitoids	RTG		
Peralkaline and Alkaline Granitoids	PAG		



CHEMISTRY	MPG	CPG	KCG	ACG	RTG	PAG
Alumina Index	A ≥ CNK		CNK > A > NK			A ≤ NK
A / KCN (molar)	≥ 1		< 1			alkaline
Al ₂ O ₃	x x x	x x x	x x	x x	x x	x
CaO	x	x	x x	x x x	x x	x
Na ₂ O	x x	x x	x x	x x	x x x	x x x
K ₂ O	x x	x x x	x x x	x x	x	x x x
FeOt+MgO+MnO	x	x x	x x	x x x	x x	x x
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	x	x	x x	x x x	x x x	x x
FeOt/(FeOt+MgO)	< 0.8	< 0.8	0.8 - 1.0	< 0.8	> 0.8	> 0.8
⁸⁷ Sr / ⁸⁶ Sr	.706 to .760	> .708	.706 to .712	.706 to .708	≤ .704	.704 to .712
ε _{Nd}	- 4 to -17	- 6 to -9	- 4 to -9		-	-
δ ¹⁸ O (‰)	+ 10 to +14	+ 10 to + 13	+ 5 to + 10		-	-
δ ³⁴ S (‰)	- 12 to + 2		+ 5 to + 20		-	-

(x : low; xx : medium; xxx : high)



MPG- muskovitické peraluminické granitoidy

Grt-Ms metagranit, Nedvězí

MPG
(muscovite ± bt)

CPG
(bt-rich ± cordierite)

KCG
(K-fd mc ± Ca-amp)

ACG + ATG
(Ca-amp ± Ca-px)

RTG
(amp + px)

PAG
(Na-amp ± Na-px)

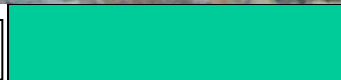
CRUSTAL AND MANTLE CONTRIBUTIONS

CRUSTAL CONTRIBUTION

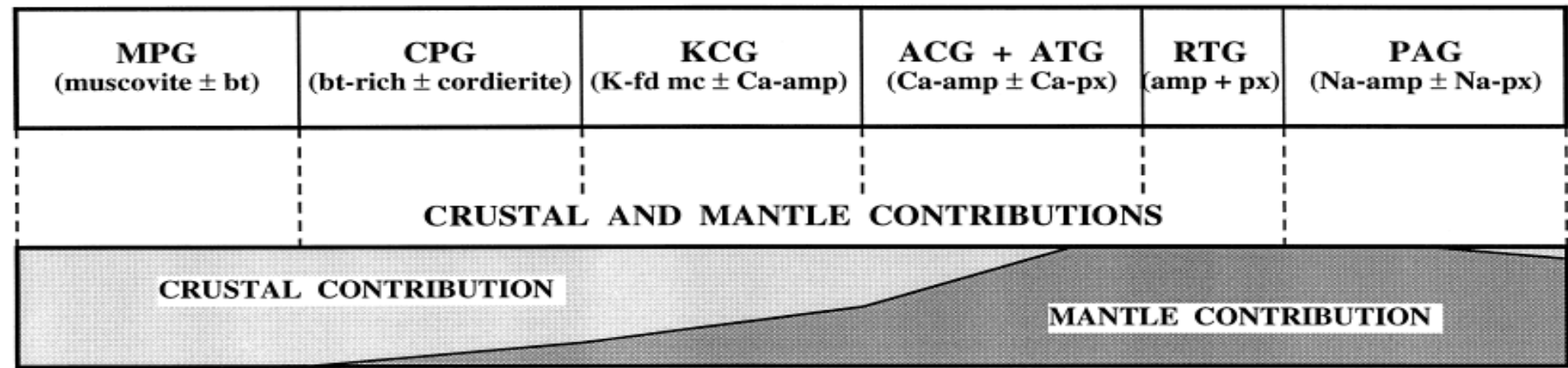
MANTLE CONTRIBUTION



Cdr-Bt granit, Nikaragua

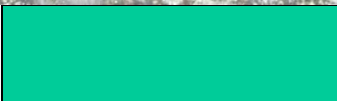


CPG- cordieritické a biotitické peraluminické granitoidy





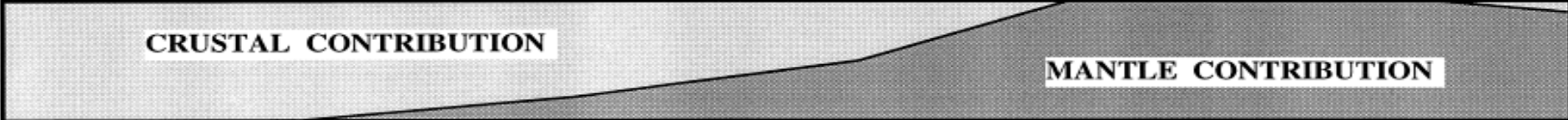
durbachit třebíčský pluton



KCG- vápenato-alkalické draslíkem bohaté granitoidy obsahující porfyrické

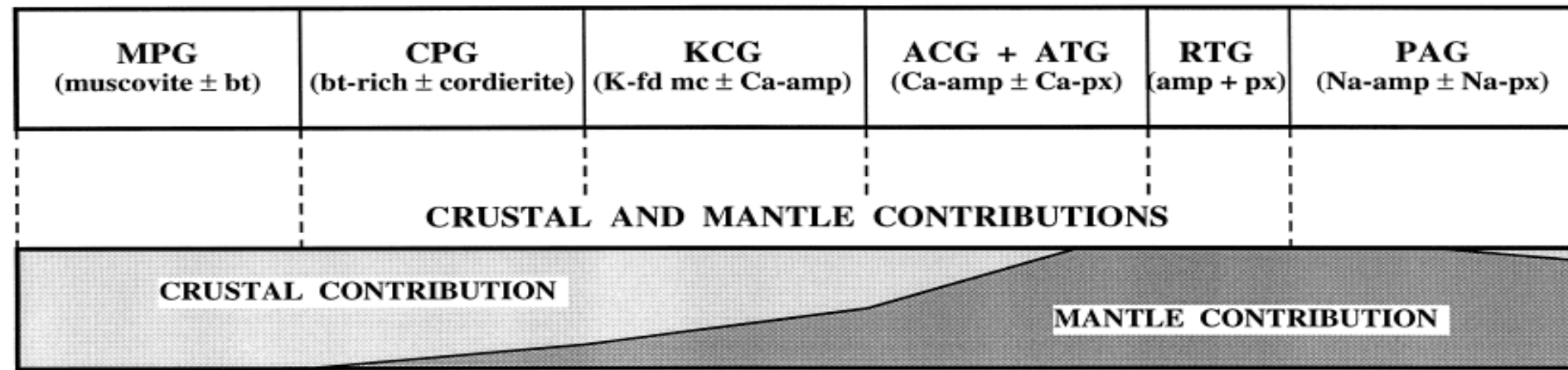
MPG (muscovite ± bt)	CPG (bt-rich ± cordierite)	KCG (K-fd mc ± Ca-amp)	ACG + ATG (Ca-amp ± Ca-px)	RTG (amp + px)	PAG (Na-amp ± Na-px)
--------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------	--------------------------------

CRUSTAL AND MANTLE CONTRIBUTIONS





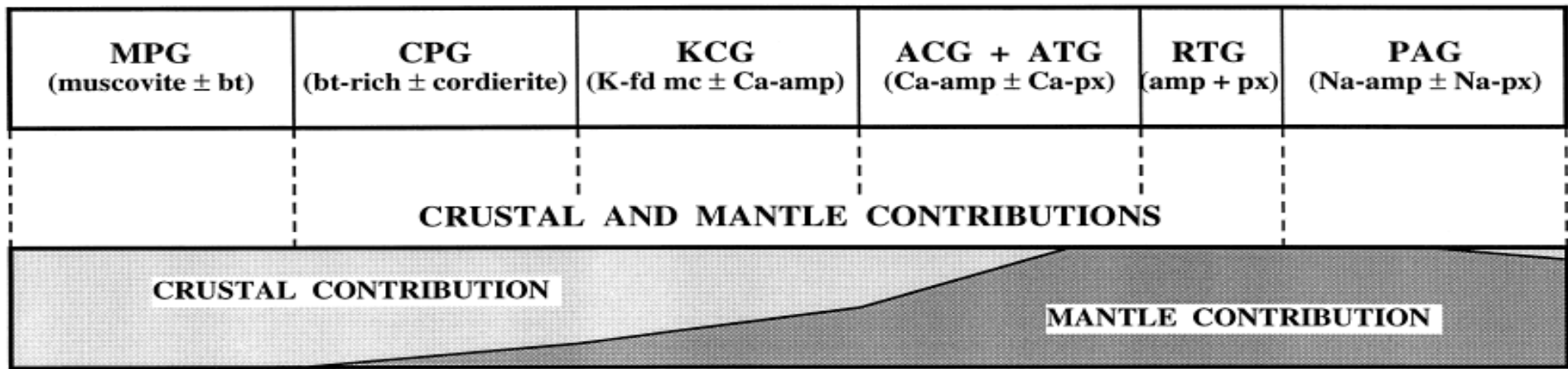
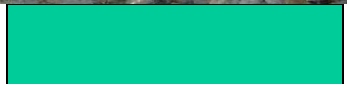
ACG- amfibolické vápenato-alkalické granitoidy Bt granodiorit, budislavský pluton





PAG-peralkalické a alkalické granitoidy

Arf. granit, Korzika



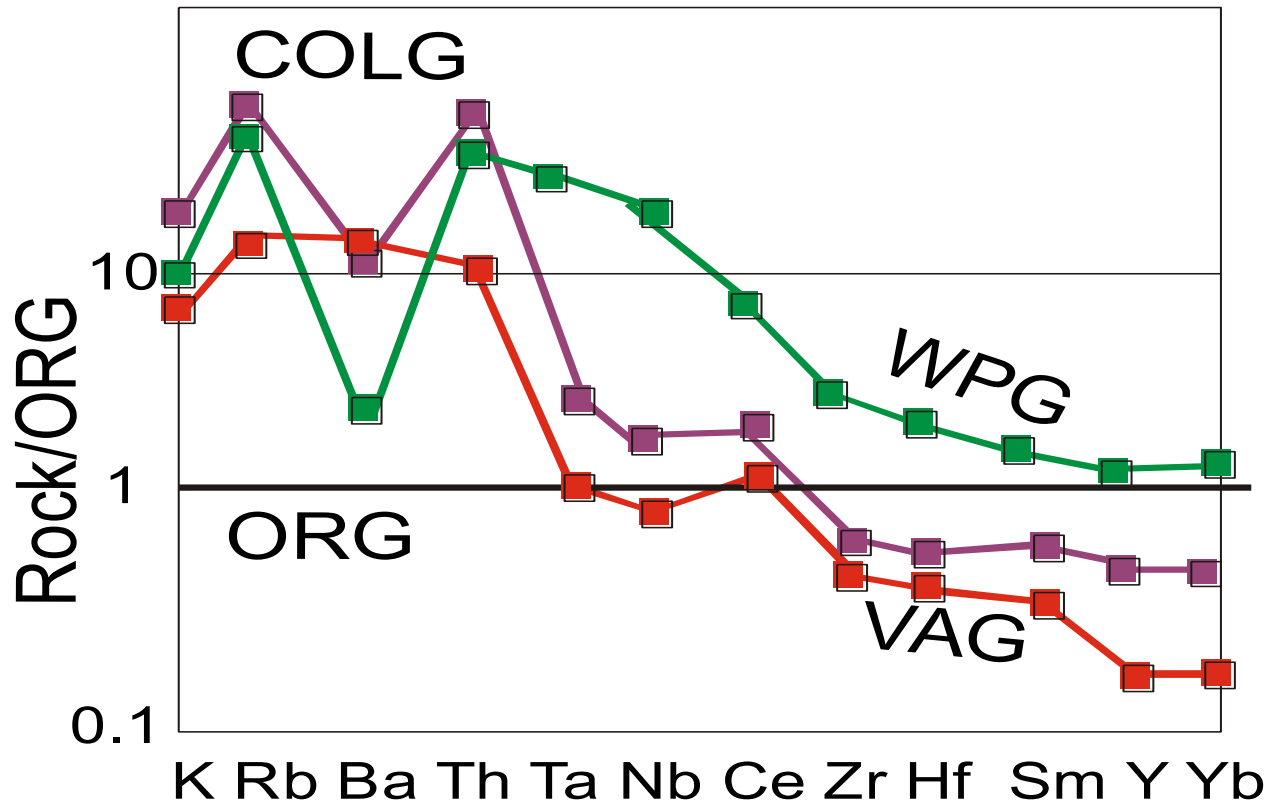
MINERALS	MPG	CPG	KCG	ACG	RTG	PAG
Biotite	x	x x x	x x x	x x	x	x x
Muscovite	x x x	x	x	o	o	x
Cordierite	o	x x	o	o	o	o
Sill.-And.	o	x	o	o	o	o
Amphibole	o	o	x	x x x	x x x	alk. amph.
Pyroxene	o	o	o	x x	x x	alk. pyr.
Apatite	x x x	x x x	x x	x x	x x	x x
Zircon	x	x x	x x x	x x x	x x x	x x x
Monazite	x	x	o	o	o	o
Garnet	x x	x	o	o	o	x
Tourmaline	x x x	x x	o	o	o	o
Allanite	o	x	x x	x x	x	x x
Titanite	o	o	x x	x x x	x	x
Ilmenite	x	x	x	x	x	x x
Magnetite	o	o	x	x x	x x	x x
Plag.-An%	0 - 20	15 - 40	15 - 30	20 - 50	20 - 50	0 - 10

(o : absent; x : rare; xx : common; xxx : abundant)

PETROGRAPHY	MPG	CPG	KCG	ACG	RTG	PAG
<u>Petrographic types</u>	Leucogranites (Granites)	(Leucogranites) Granites Granodiorites (Qz diorites)	(Leucogranites) Granites Granodiorites Qz diorites	(Granites) Granodiorites Tonalites Gabbros	Plagiogranites Trondjemites Tonalites Gabbros	Alk. granites Alk. syenites Syenites Granites (Gabbros) (Anorthosites)
<u>Associated rocks</u>						
Metamorphic	o	Migmatites Anatexites	o	o	o	o
Volcanic	o	o	Acid lavas ("Tuffs")	Andesites & Dacites	Olivine-bearing Tholeites	Alkaline lavas
Mafic	o	Qz diorites (Vaagnerites)	Qz diorites Gabbros (Appinites)	Gabbros (in large amounts)	Gabbros (in large amounts)	Gabbros (in large amounts)
<u>Enclaves</u>						
Xenoliths	x	o - x	x	x	x	x
Restites	x	x x x	x	o	o	o
Felsic M. E.	x	o - x	x	x	x	x
Mafic M. E.	o	x	x x	x x x	x x x	x
(o : absent; x : rare; xx : common; xxx : abundant)						
<u>Differentiation processes</u>	fractional crystallization	fractional crystallization or restite unmixing	fractional crystallization and magma mixing	strong fractional crystallization and magma mixing	extreme fractional crystallization	extreme fractional crystallization and subsidius interactions

I. 6. Význam chemického složení pro klasifikaci

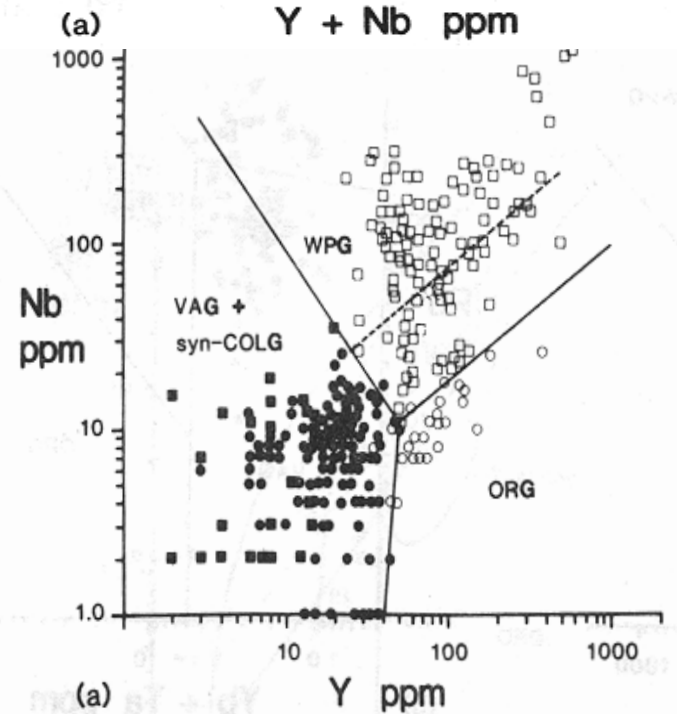
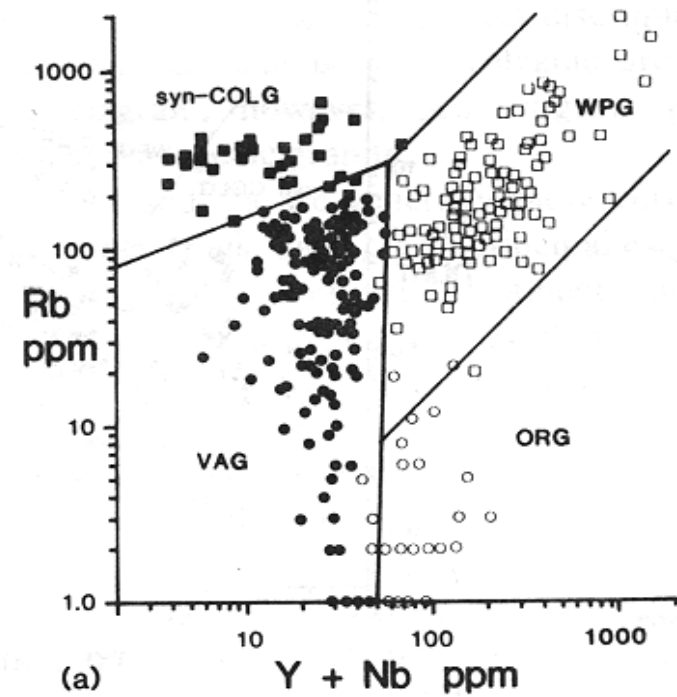
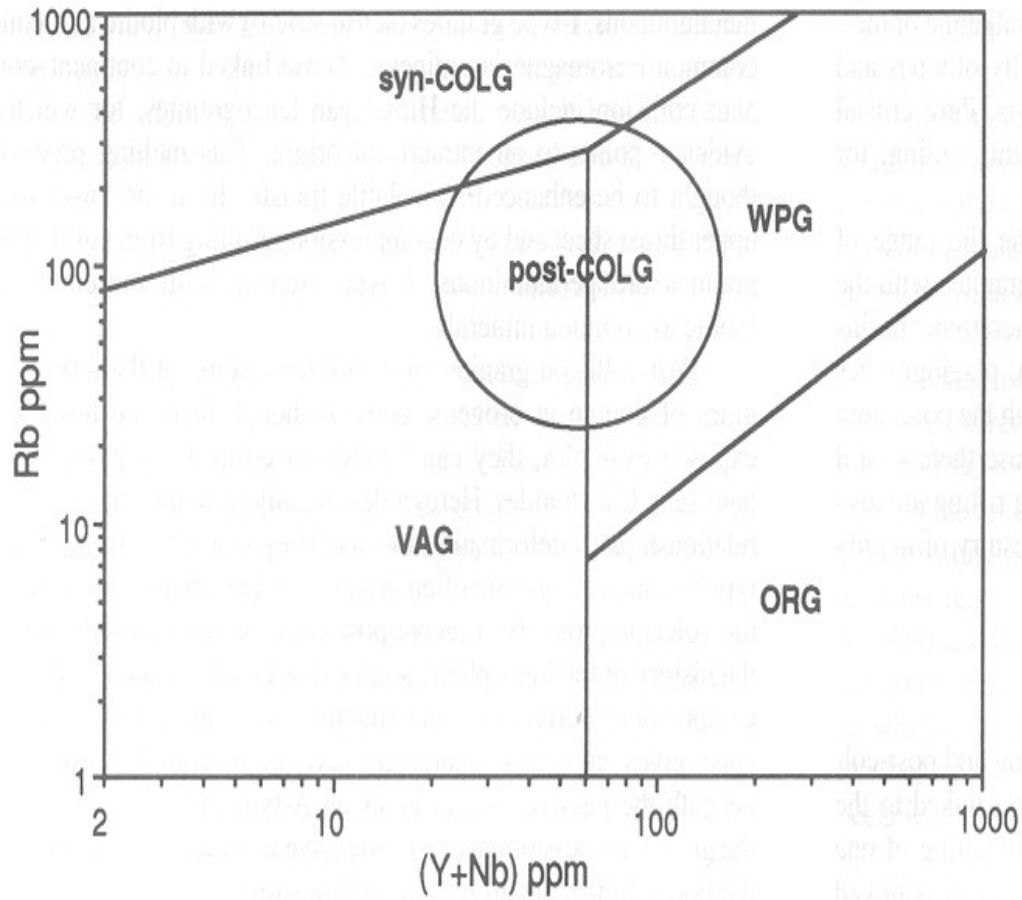
- Vysoké obsahy Rb a dalších alkalických prvků jsou typické pro kolizní, vnitrodeskové a kontinentální granity (vysoký podíl krustálního materiálu)
- Vysoký obsah HFSE (Nb, Y) jsou typické pro oceánské hřbety a vnitrodeskové granity (ve srovnání s kolizními granity a granity vulk. oblouků)



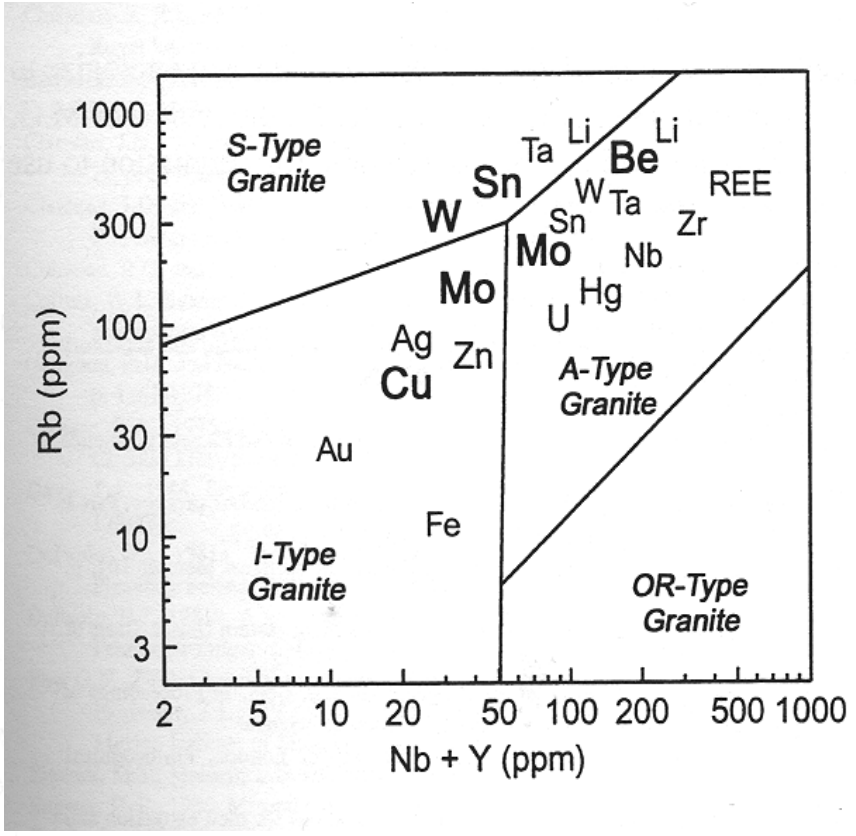
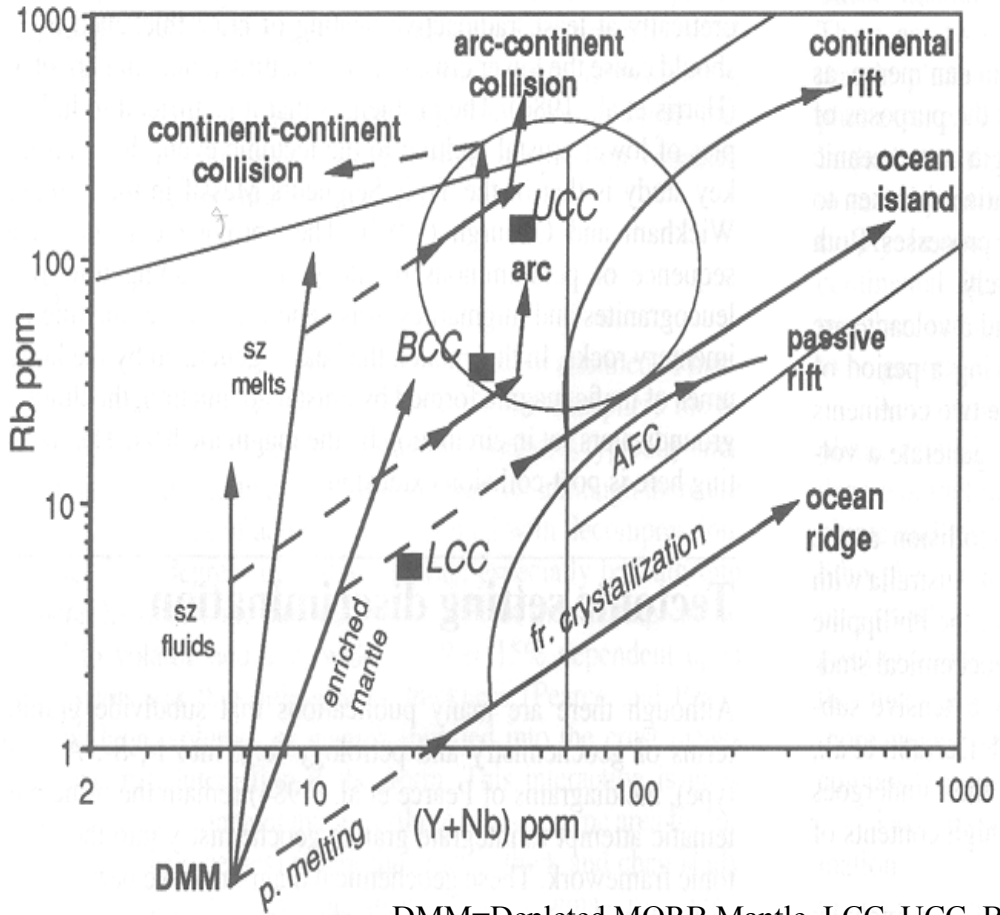
Patterns normalized to an ocean ridge granite composition highlight differences between granites

Diagramy Nb-Y a Rb-(Nb+Y)

Pearce (1996)



- V diskriminačním diagramu se projevuje alterace
- Chemické složení granitů je spíše závislé na složení protolitu než na geotektonické pozici
- Geotektonická pozice ovlivňuje i mineralizace vázané na granity



DMM=Depleted MORB Mantle, LCC, UCC, BCC = Lower, Upper and Bulk Continental Crust

PARAMETERS	AUTHORS	ORIGIN									
		CRUSTAL			MIXED			MANTLE			
FIRST CHEMICAL NOMENCLATURES	SHAND (1927 & 1943)	PERALUMINOUS rocks			METALUMINOUS rocks				PERALKALINE rocks		
	LACROIX (1933)	Roches CALCO-ALC. HYPERALUMINEUSES		Roches CALCO-ALCALINES			Roches ALCALINES				
PETROGRAPHY	CAPDEVILA & FLOOR (1970) CAPDEVILA et al. (1973)	Granites MESOCRUSTAUX		Granites MIXTES	Granites BASICRUSTAUX						
	ORSINI (1976 & 1979)			A.M. SUB-ALC. ALUMNEUX	A.M. SUB-ALC. HYOALUM.	A.M. CALCO-ALC.					
	YANG CHAOQUN (1982)		MM-TYPE	CR-TYPE	MS-TYPE					MD-TYPE	
	TISCHENDORF & PALCHEN (1985)	S _i	S _s	S _j	I _{KK}	I _{OK}	I _{MT}	I _{MA}			
ENCLAVES	DIDIER & LAMEYRE (1969) DIDIER et al. (1982)	C-TYPE (Crustal) ("Leucogranites")			M-TYPE (Mixed or Mantle) ("Monzogranites & Granodiorites")						
MINERALOGY (QAP system)	LAMEYRE (1980) LAMEYRE & BOWDEN (1982)	"LEUCOGRANITES" (Crustal fusion)		CALC-ALKALINE Series (High K, Medium K or Low K)			THOLEIITIC Series	(PER) ALKALINE Series			
MAFIC MINERALS	ROSSI & CHEVREMENT (1987)	A.M. ALUMINOPOTASSIQUE (s.s. ou composites)			A.M. MONZONITIQUE	A.M. CALCOALCALINE	A.M. THOLEITIQUE	A.M. (PER) ALKALINE			
BIOTITE COMPOSITION	NACHIT et al. (1985)	Lignées ALUMINO-POTASSIQUES			Lignées CALCOALCALINES et SUBALCALINES			Lignées ALCALINES et HYPERALCALINES			
ZIRCON MORPHOLOGY	PUPIN (1980 & 1985)	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3	TYPE 4 & 5		TYPE 7	TYPE 6			
OPAQUE OXIDES	ISHIHARA (1977) CZAMANSKE et al. (1981)	ILMENITE - Series				MAGNETITE - Series					
GEOCHEMISTRY (Major Elements)	CHAPPELL & WHITE (1974 & 1983) COLLINS et al. (1982), WHALEN et al. (1987)			S - TYPE		(I - TYPE)'		M - TYPE		(A - TYPE)'	
	LA ROCHE (1986) LA ROCHE et al. (1980)	AK-L M.A.		AK-G M.A.		SA M.A.	CA M.A.	TH M.A.	A-PA M.A.		
	DEBON & LE FORT (1983 & 1988)	ALUMINOUS M.A.			ALUMINO-CAFEMIC and CAFEMIC M.A. (Subalkaline, calc-alkaline, tholeiitic, and (per)alkaline)						
	MANIAR & PICCOLI (1989)	CCG			POG	CAG	IAG	OP	RRG	CEUG	
GEOCHEMISTRY (Trace Elements)	TAUSON & KOZLOV (1973)	PLUMASITIC LEUCOGR.	ULTRA-MM GRANITES	PALINGENIC GRANITES (Normal and Subalkalines)			PLAGIO- GRANITES		AGPAITIC LEUCOGRANITES		
	PEARCE et al. (1984)	COLG - Collision Granites (Syntectonic)			PALINGENIC GRANITES (Post-tectonic)		VAG Volcanic Arc Granites		ORG	WPG Within Plate Granites	
ASSOCIATED MINERALIZATIONS	XU KEQIN et al. (1982)	TRANSFORMATION - TYPE (Continental crust)			SYNTEMS - TYPE (Transitional crust)			MANTLE-DERIVED - TYPE			
TECTONIC ENVIRONMENT	PITCHER (1983 & 1987)	HERCYNOTYPE		CALEDONIAN - TYPE		ANDNOTYPE	W.PACIFIC TYPE	NGERA - TYPE			
SUGGESTED SYNTHETIC CLASSIFICATION		MPG		CPG		KCG	ACG	ATG	RTG	PAG	