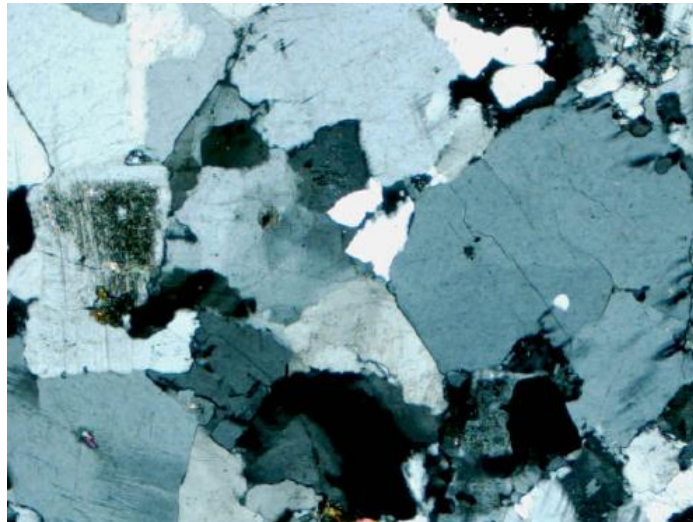


Granity a kontinentální kůra I (klasifikace granitů)

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. 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.

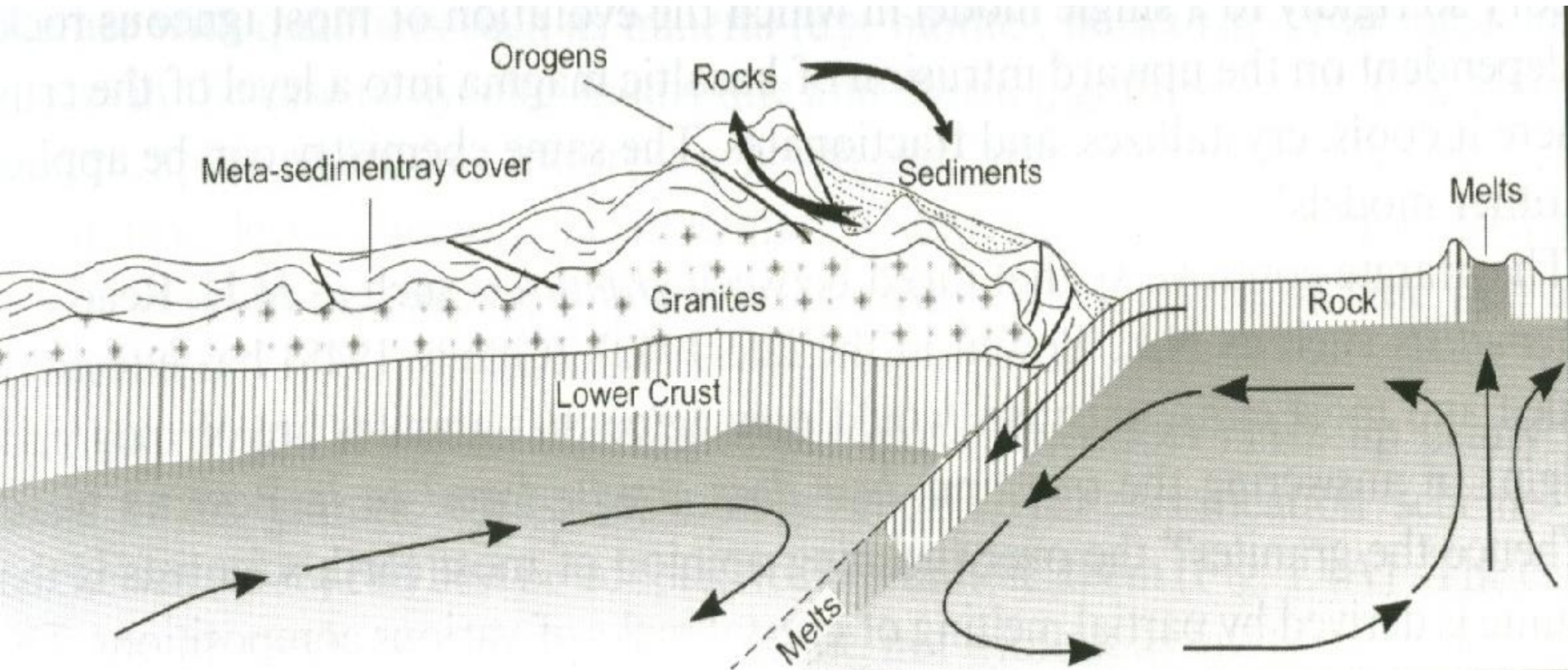


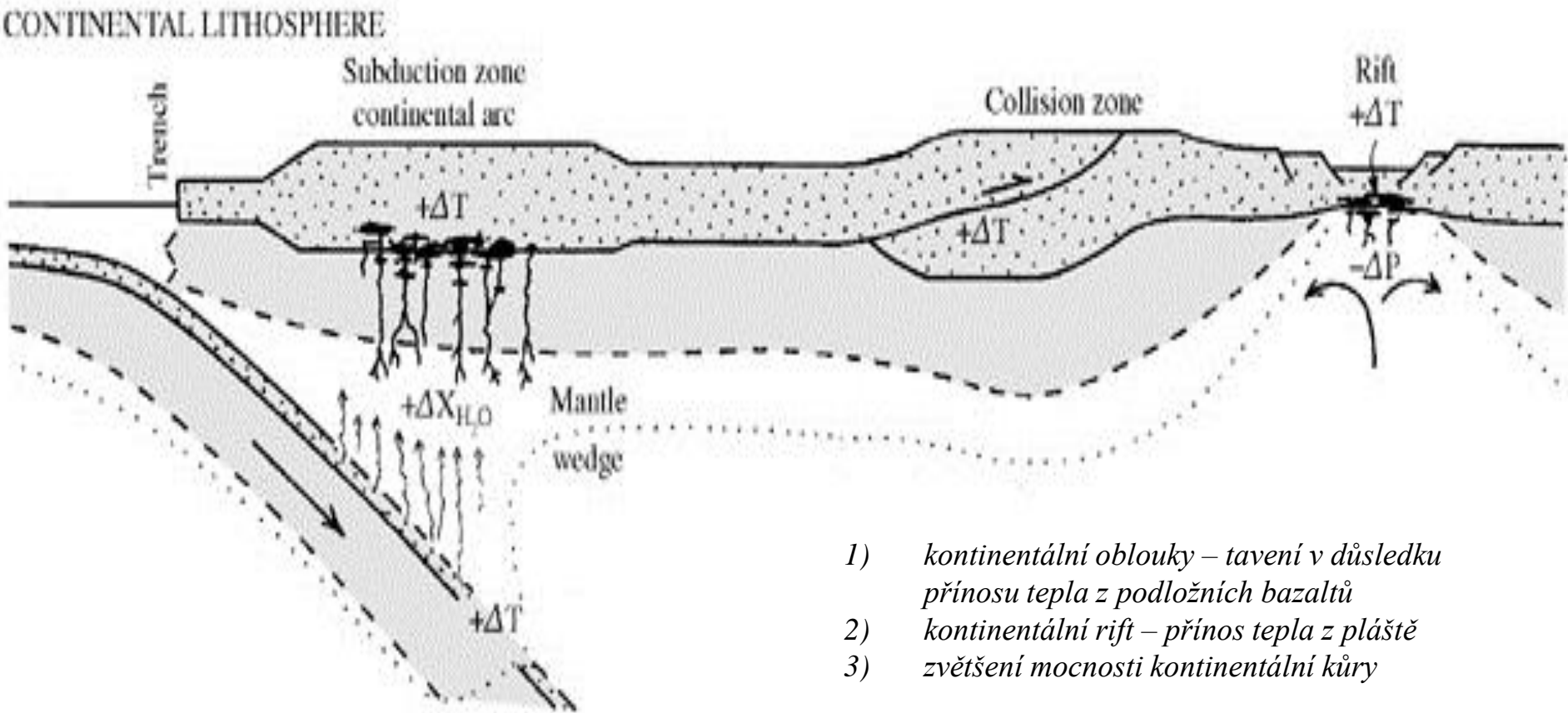


Image Landsat

Google earth

Datum snímku: 4/10/2013 45°27'54.20" S 94°36'06.77" V výš. 1815 m výška pohledu 76.37 km

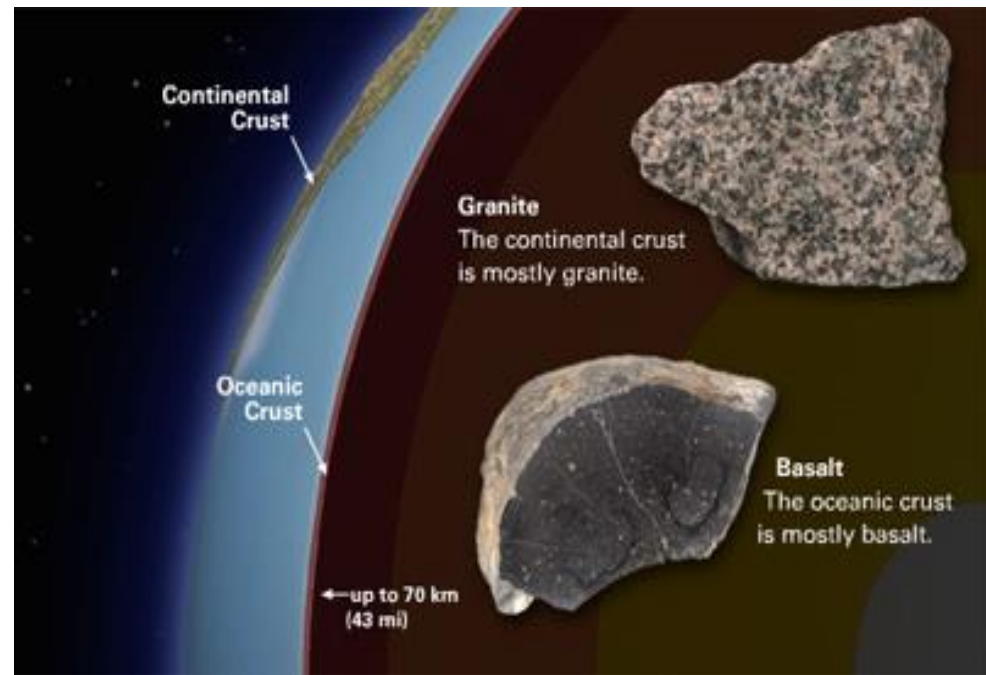
- Granitoidy jsou horniny typické pro hlavně pro kontinentální kůru.
- Velká část granitoidů je derivována parciálním tavením kůry.
- Malá část vzniká i frakcionací bazických hornin.
- Většina kontinentální kůry je za normálních podmínek v pevném stavu, aby došlo k tavení musí se odchýlit od běžné geotermie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



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

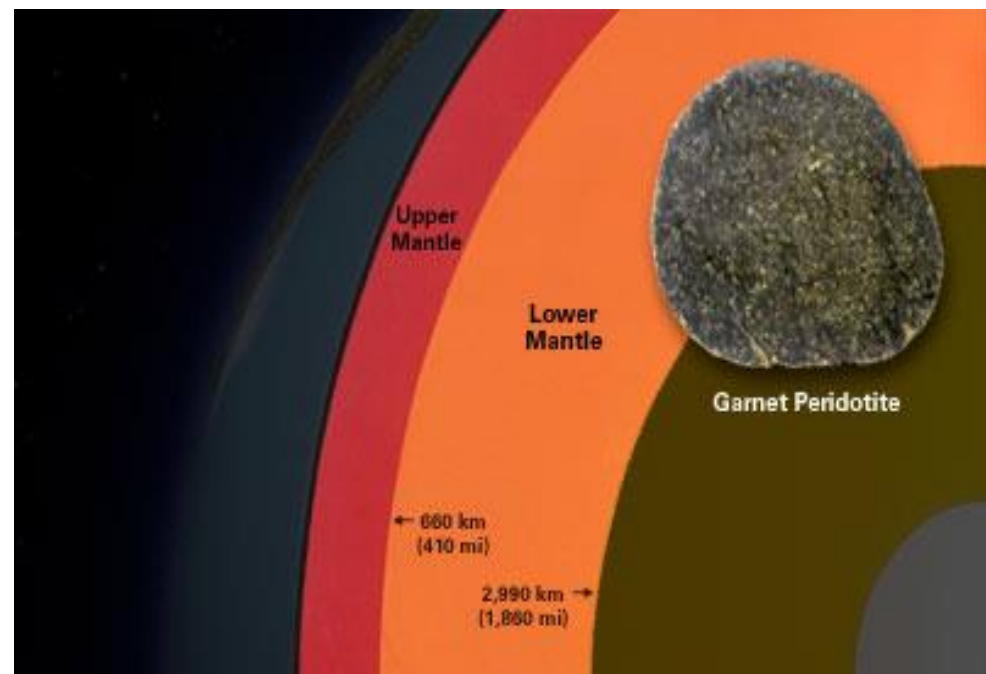
Kůra (*Crust*)

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



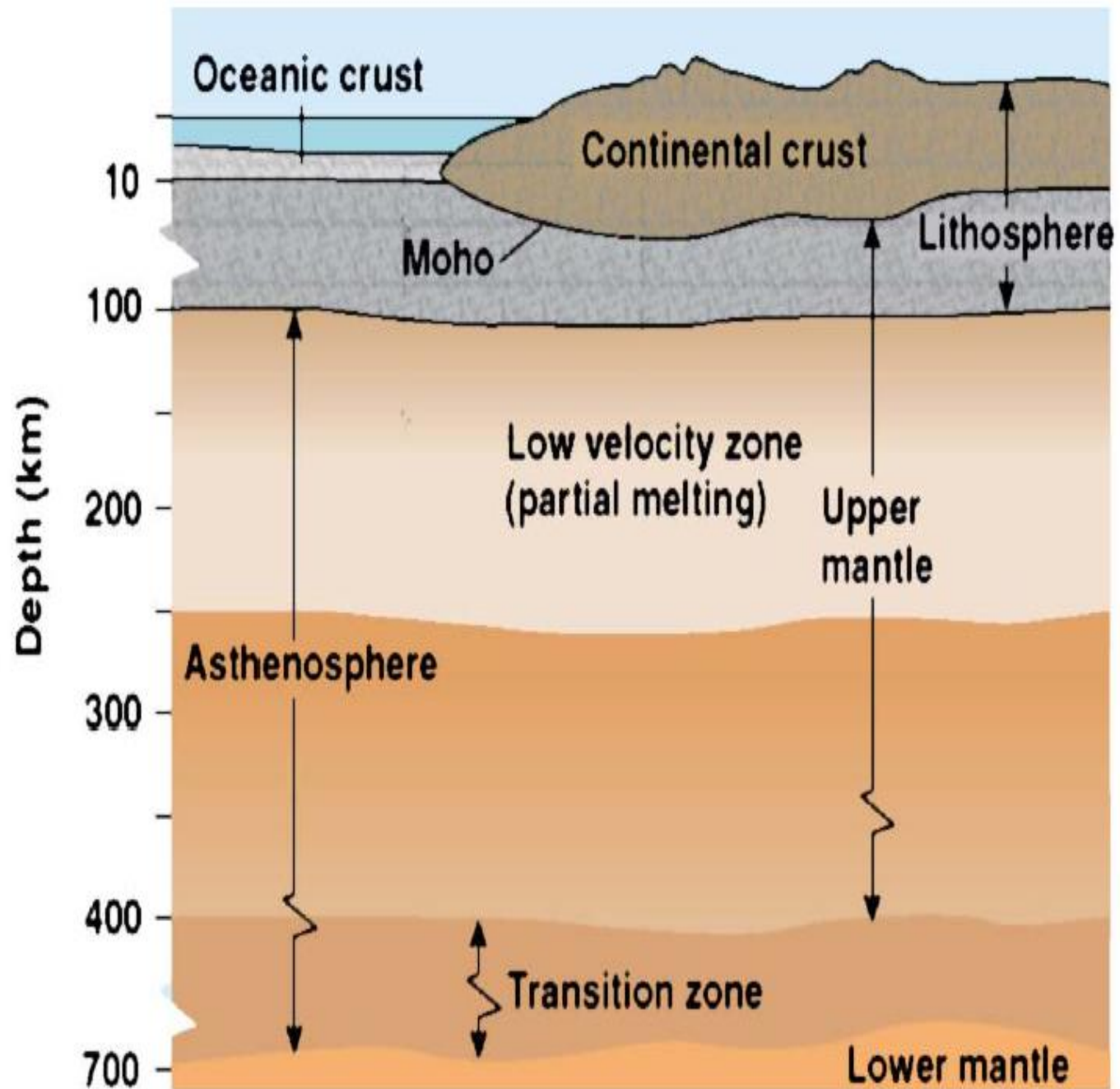
Plášť (*Mantle*)

- 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 kbar Grt.
- V hloubkách 400 km a 670 km se mění olivín a pyroxen na vysokotlaké modifikace.



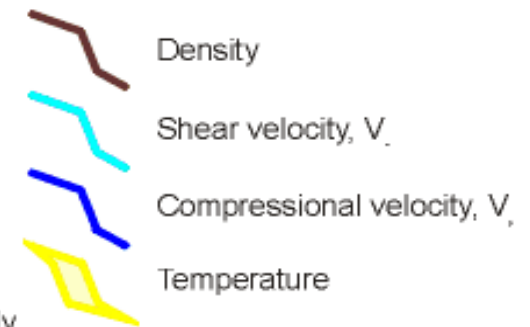
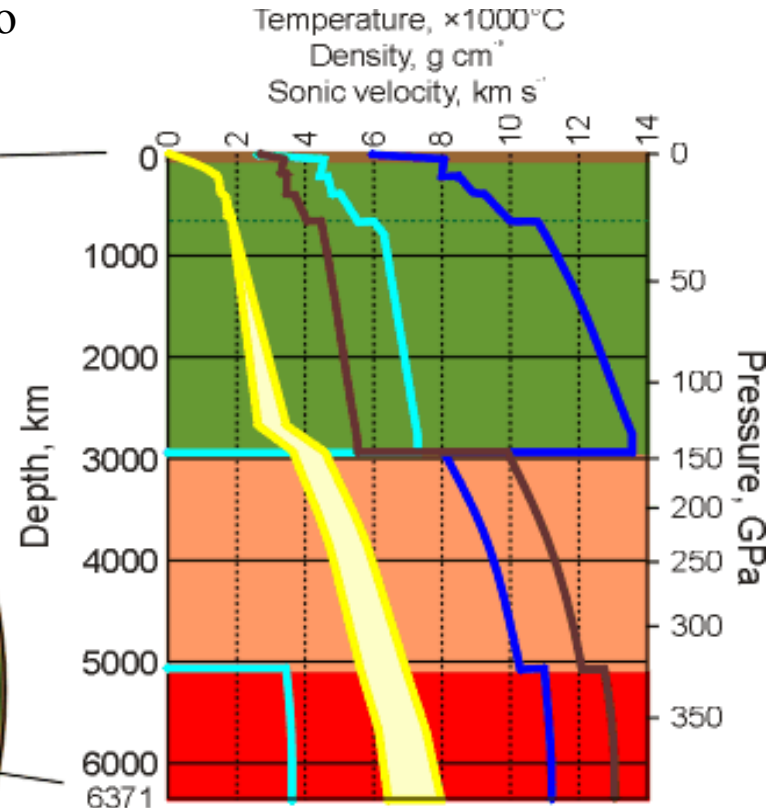
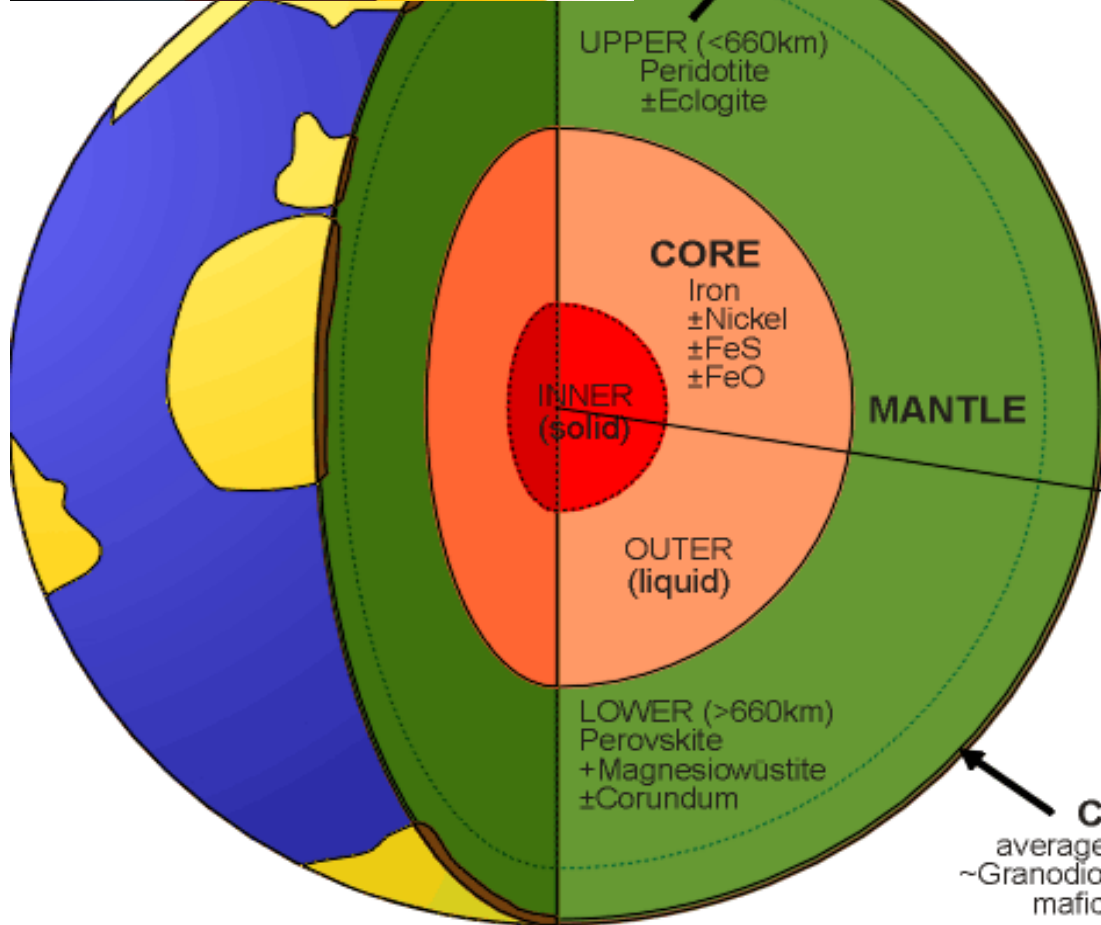
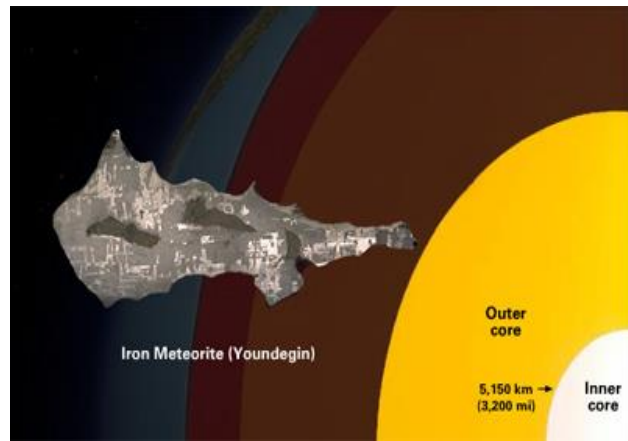
Plášť (*Mantle*)

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

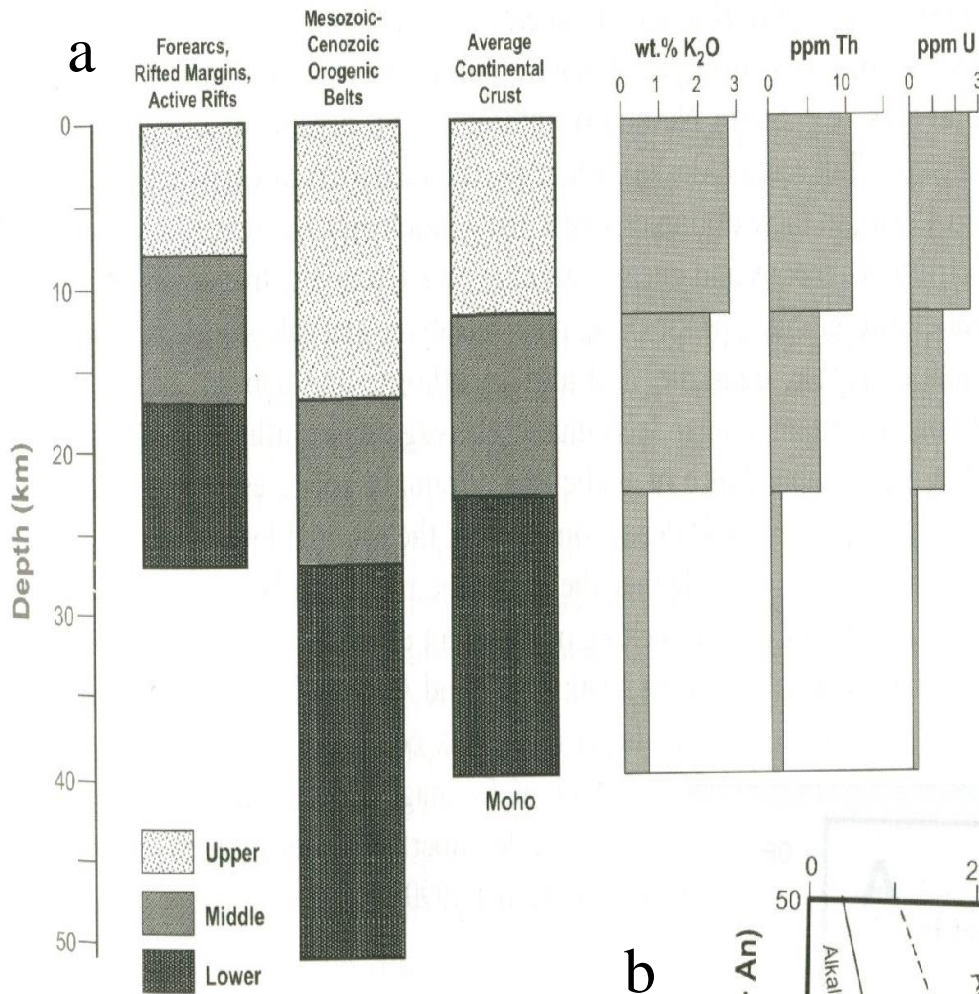


Jádro (Core)

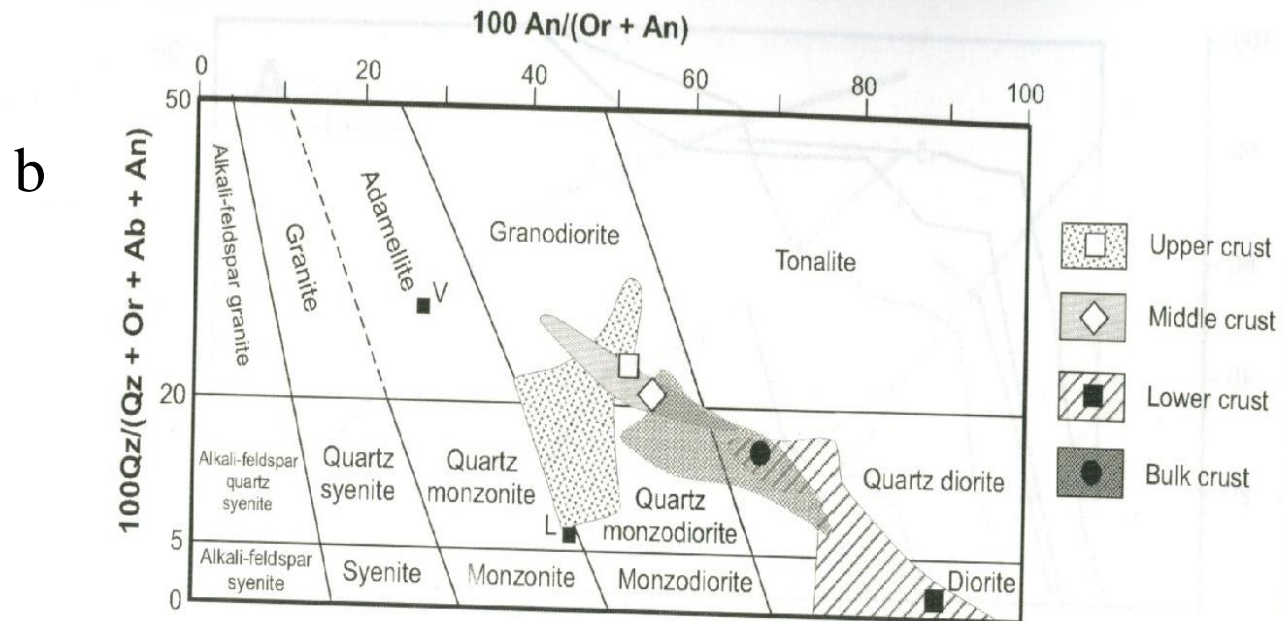
- Poloměr 2883 km složeno hlavně z Fe a malého množství Ni.



I. 2. Kontinentální kůra



- Na riftech je mocnost kontinentální kůry malá kolem 27 km.
- Mocnost v orogenních pásmech kolem 50 km.
- Průměrná kůra odpovídá Qtz dioritu.
- Svrchní kontinentální kůra odpovídá granodioritu



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).

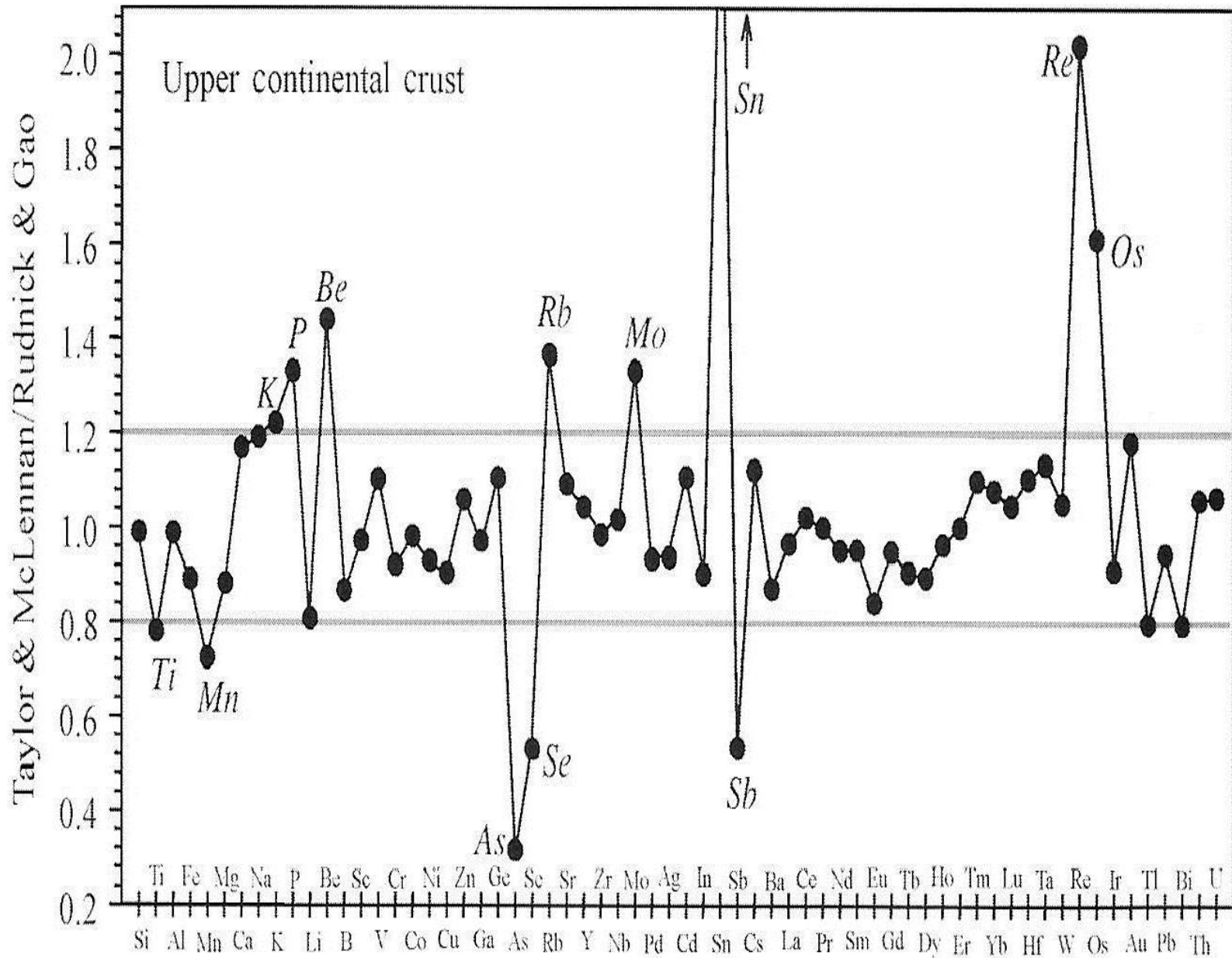
Obsahy hlavních prvků v UCC Rudnick a Gao (2004)

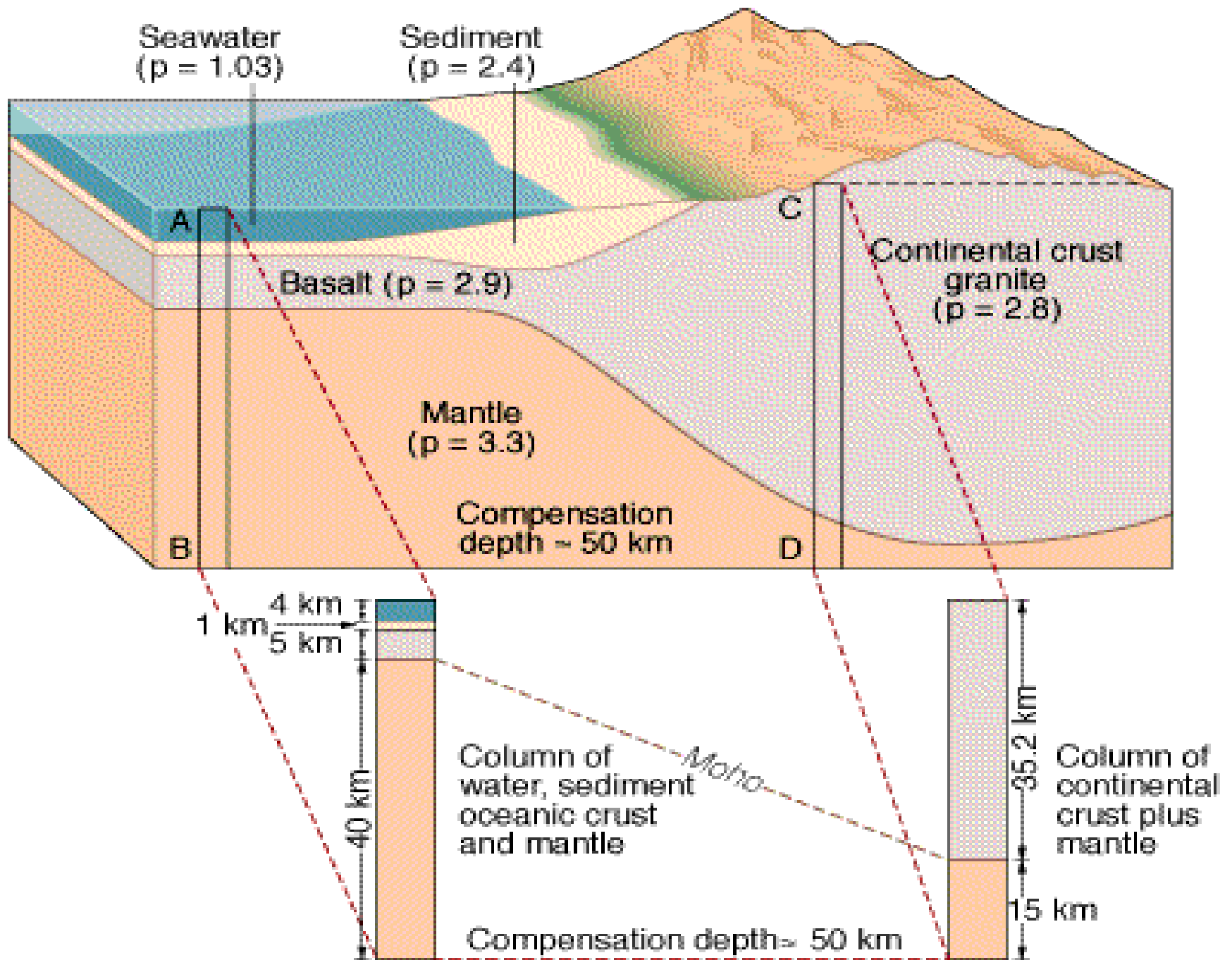
Table 1 Major element composition^a (in weight percent oxide) of the upper continental crust. Columns 1–9 represent averages of surface exposures and glacial clays. Columns 10–11 are derivative compositions from these data. Column 12 shows our recommended values.

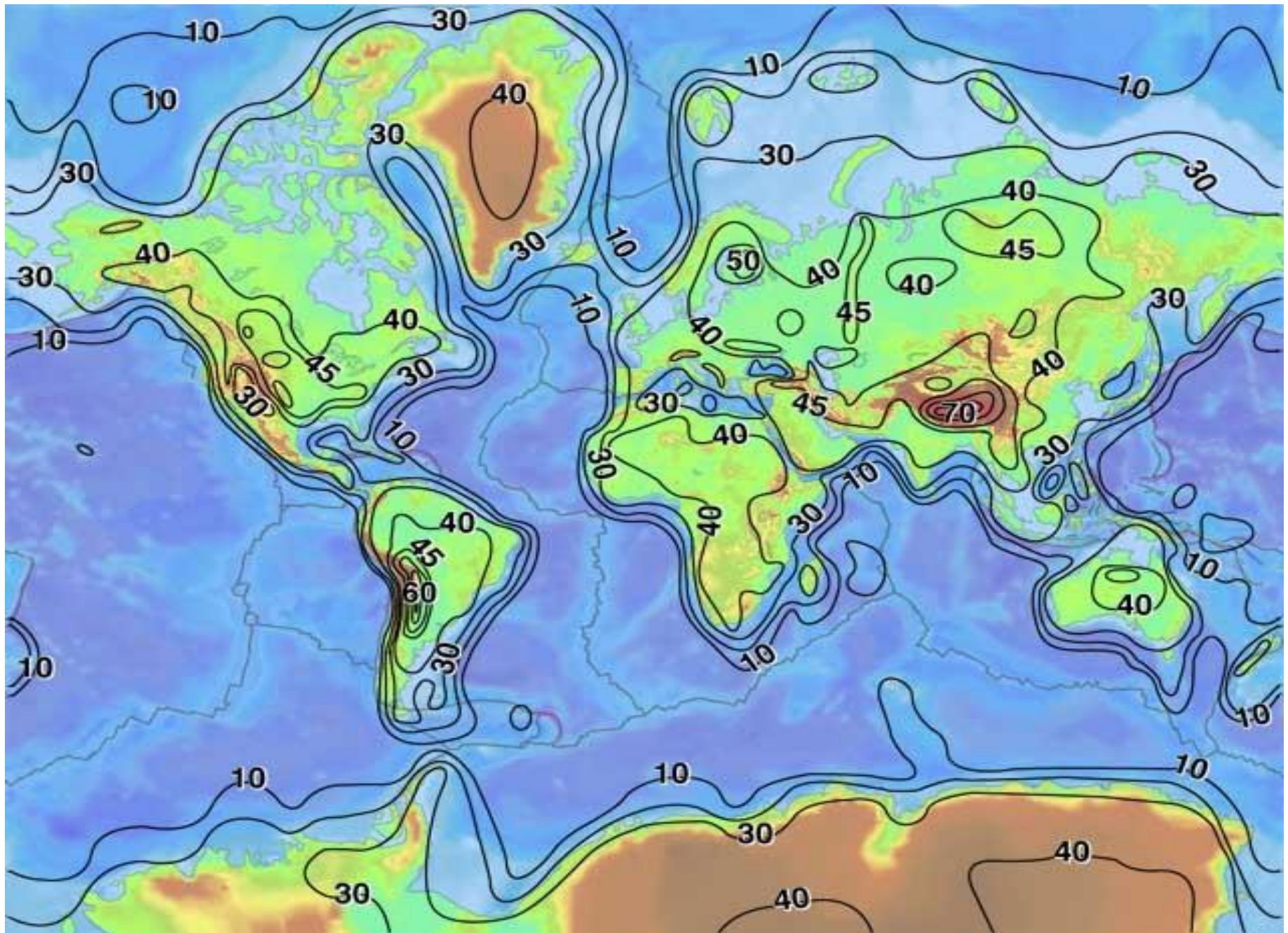
Element	1 Clarke (1889)	2 Clarke and Washington (1924)	3 Goldschmidt (1933)	4 Shaw et al. (1967)	5 Fahrig and Eade (1968)	6 Ronov and Yaroshevskiy (1976)	7 Condie (1993)	8 Gao et al. (1998a)	9 Borodin (1998)	10 Taylor and McLennan (1985)	11 Wedepohl (1995)	12 This Study ^b
SiO ₂	60.2	60.30	62.22	66.8	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	0.10	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.

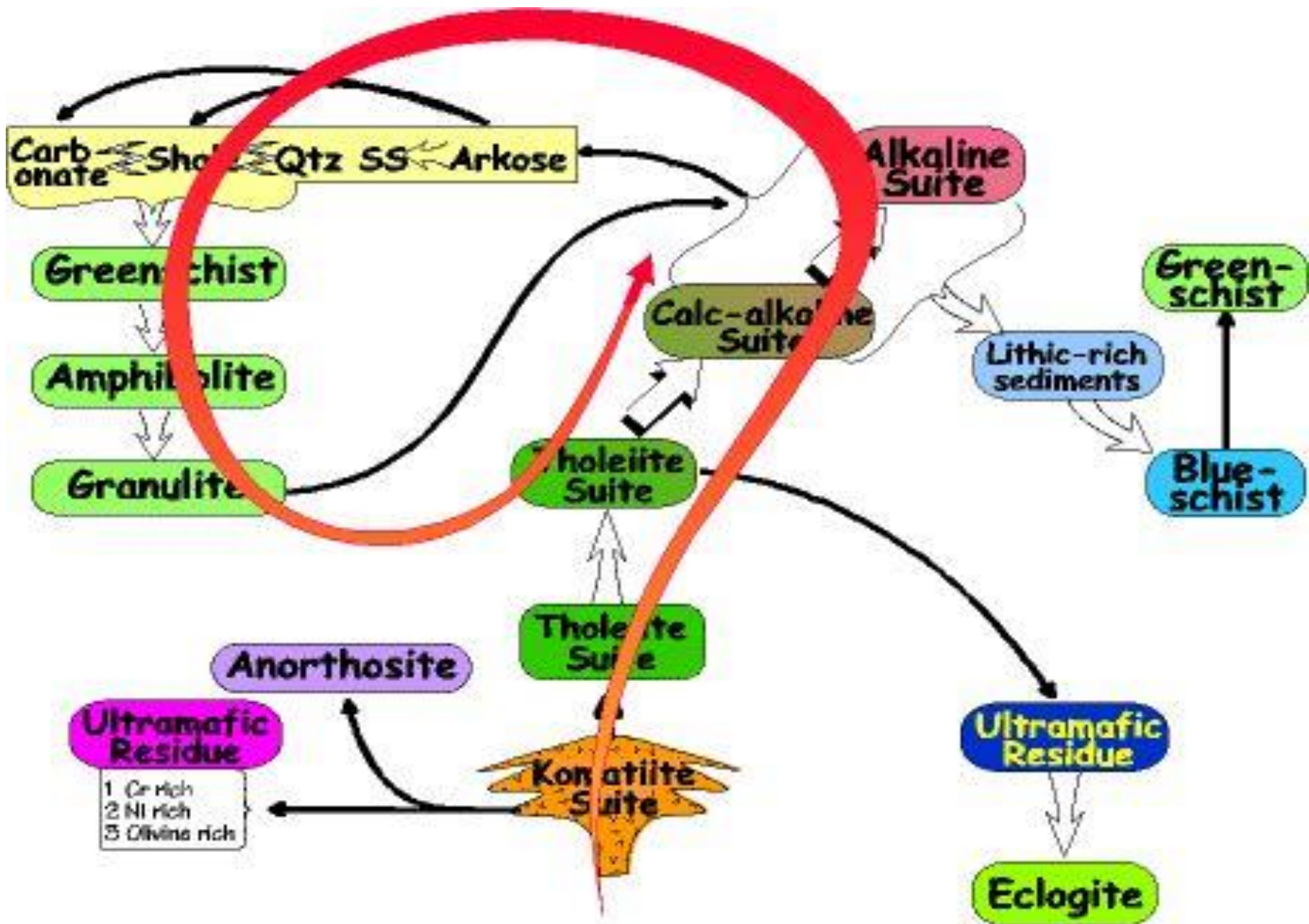


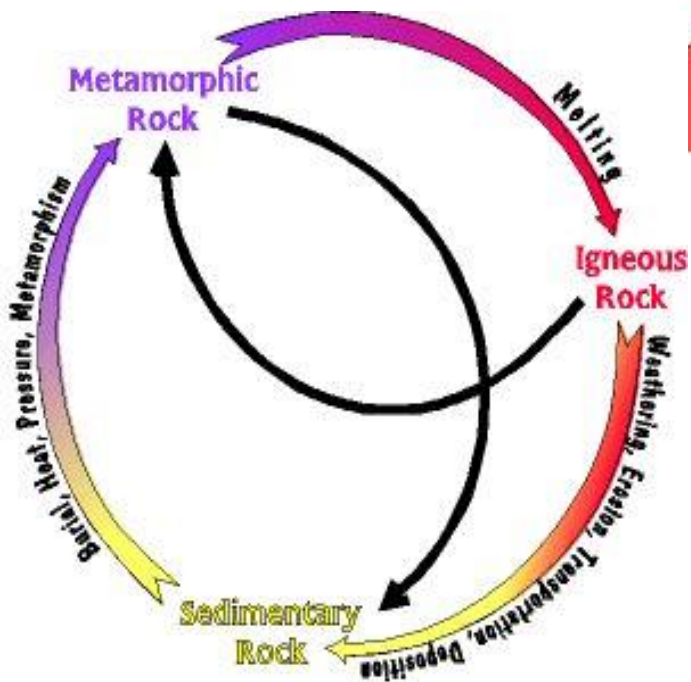
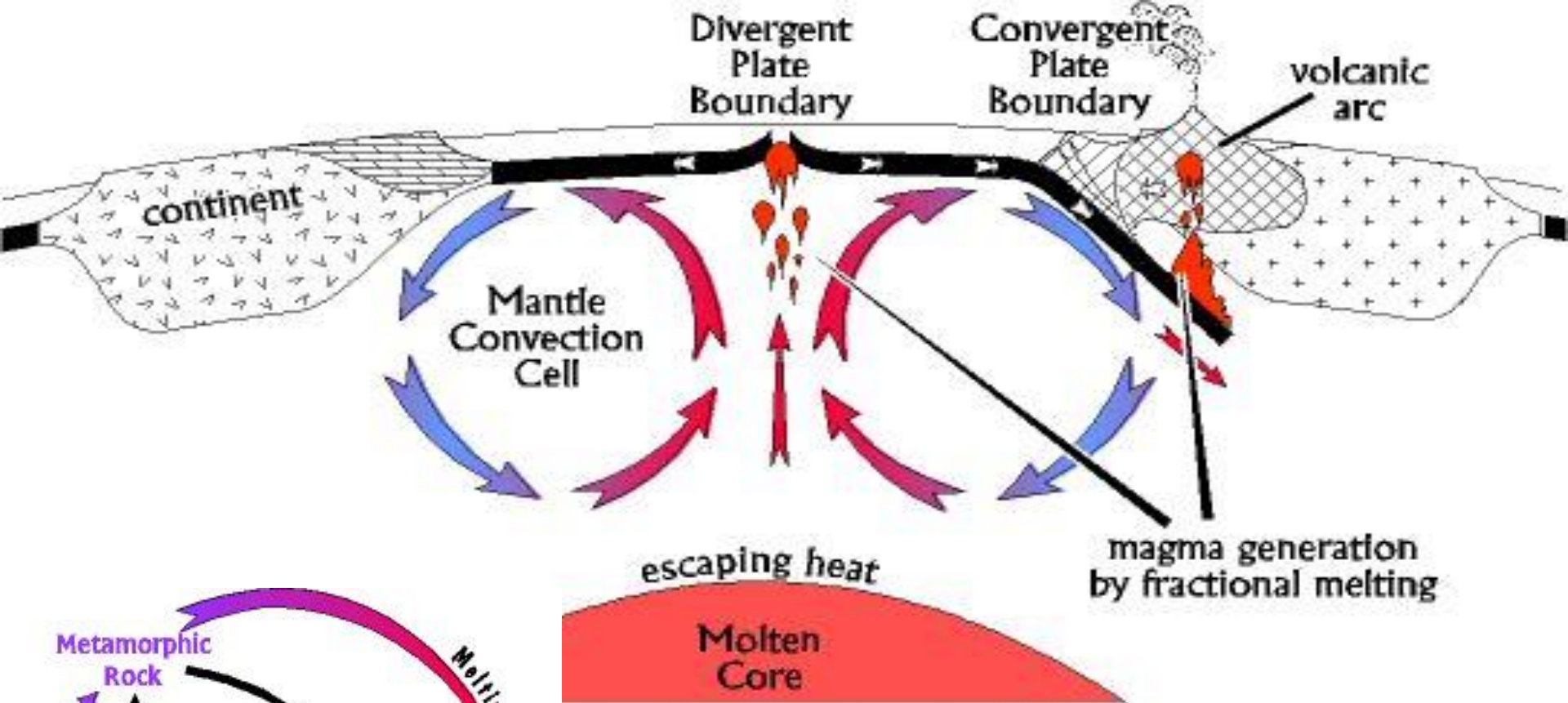




Mocnost kúry (<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Topo.jpg>)

- 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).

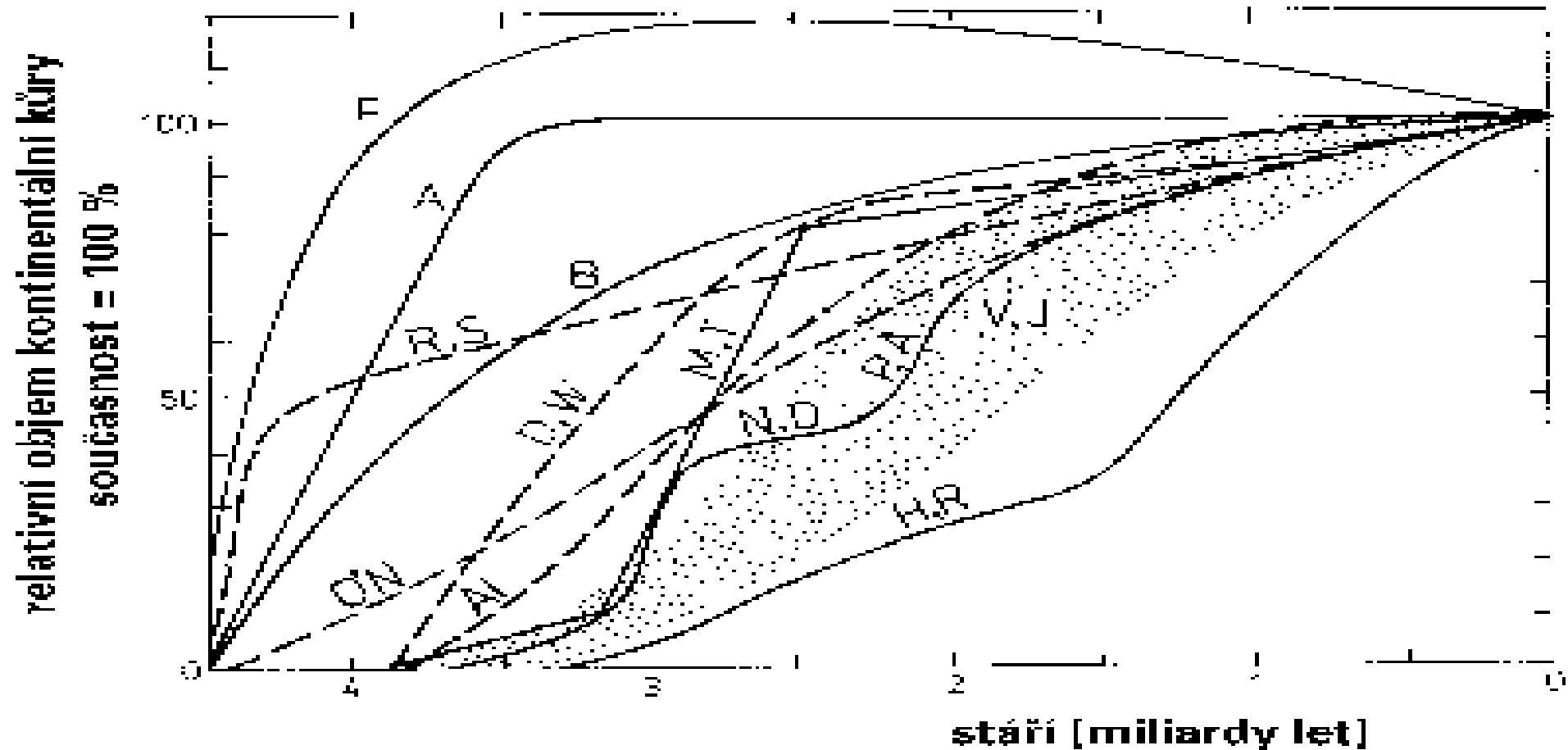




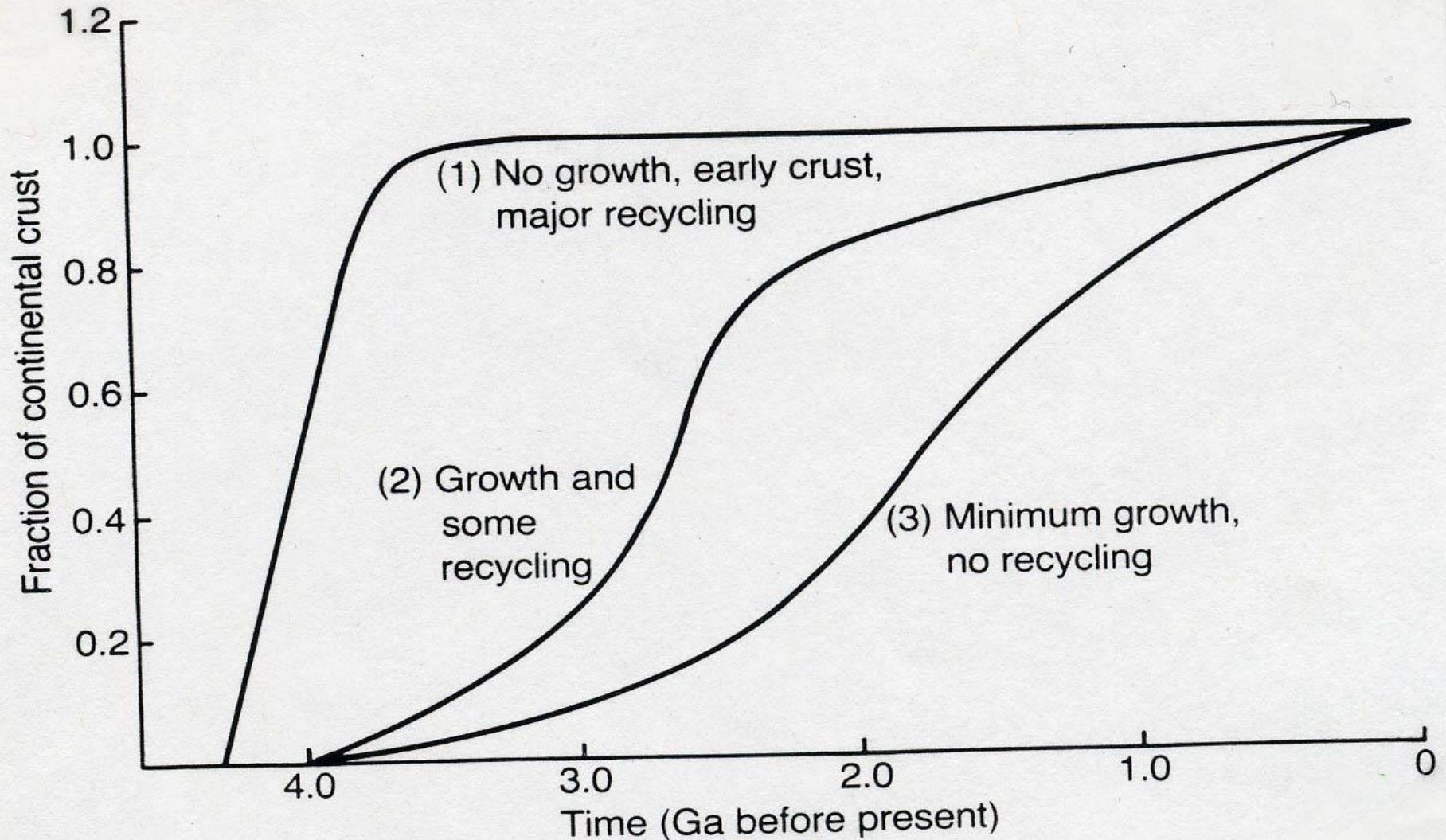
- Voda umožňuje komunikaci mezi svrchním pláštěm, oceánskou a kontinentální kůrou.
- Termín růst kontinentální kůry znamená akreci (nahloučení, shluknutí menších součástek k vytvoření tělesa většího) "kontinentální kůry" (obvyčně ostrovního oblouku) k existujícímu kontinentálnímu jádru.
- Kontinenty obsahují 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).

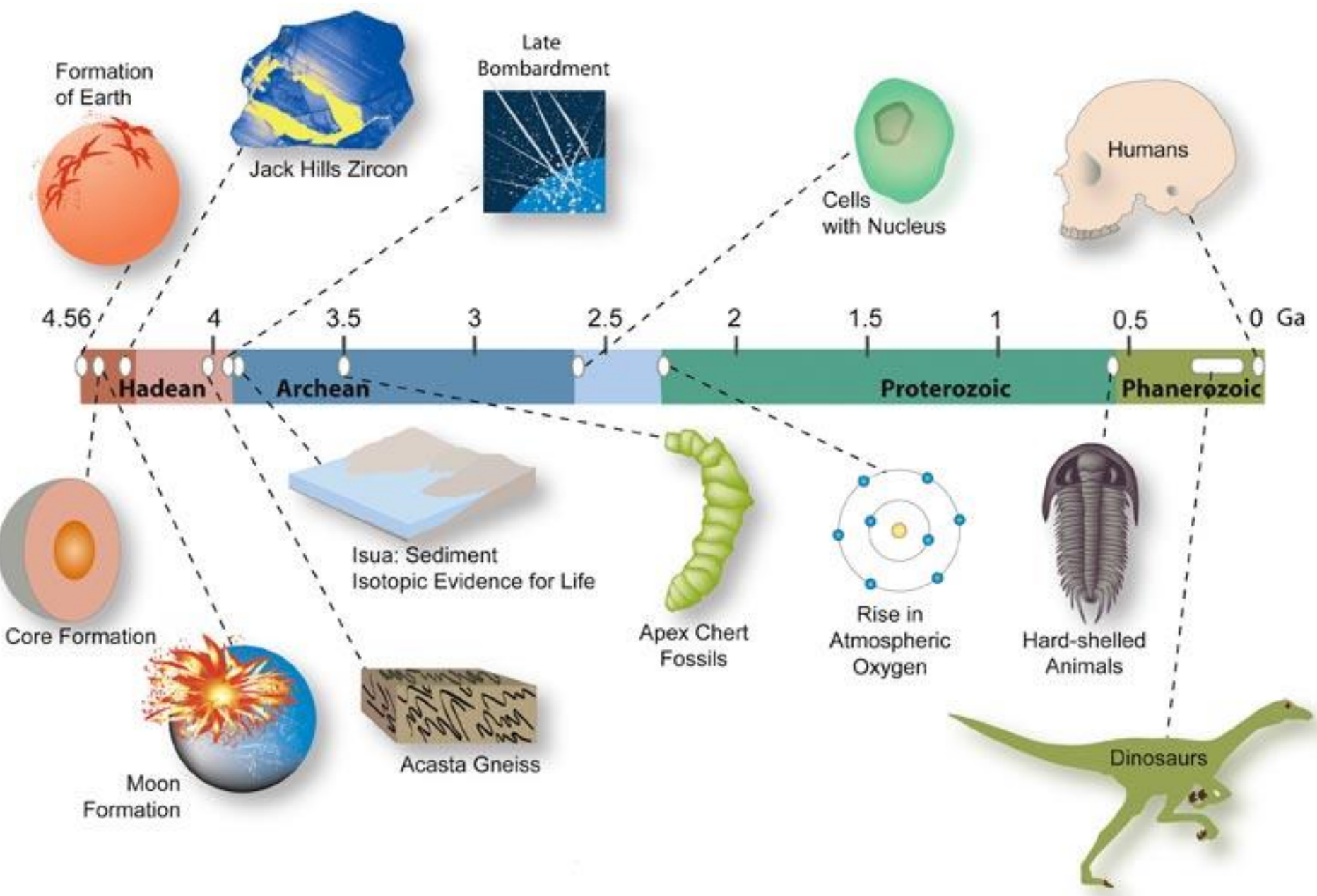
- Křivky typu F (W. Fyfe) reprezentují náhlý vznik velkého množství kůry a vlastně i atmosféry.
- Křivky H, R (Hurley a Rand) anebo V, J (Veizer a Janssen) reprezentují víceméně kontinuální přirůstání.
- Epizodické přirůstání s maximem přírůstku v pozdním archaiku reprezentuje křivka M, T (McLennan a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



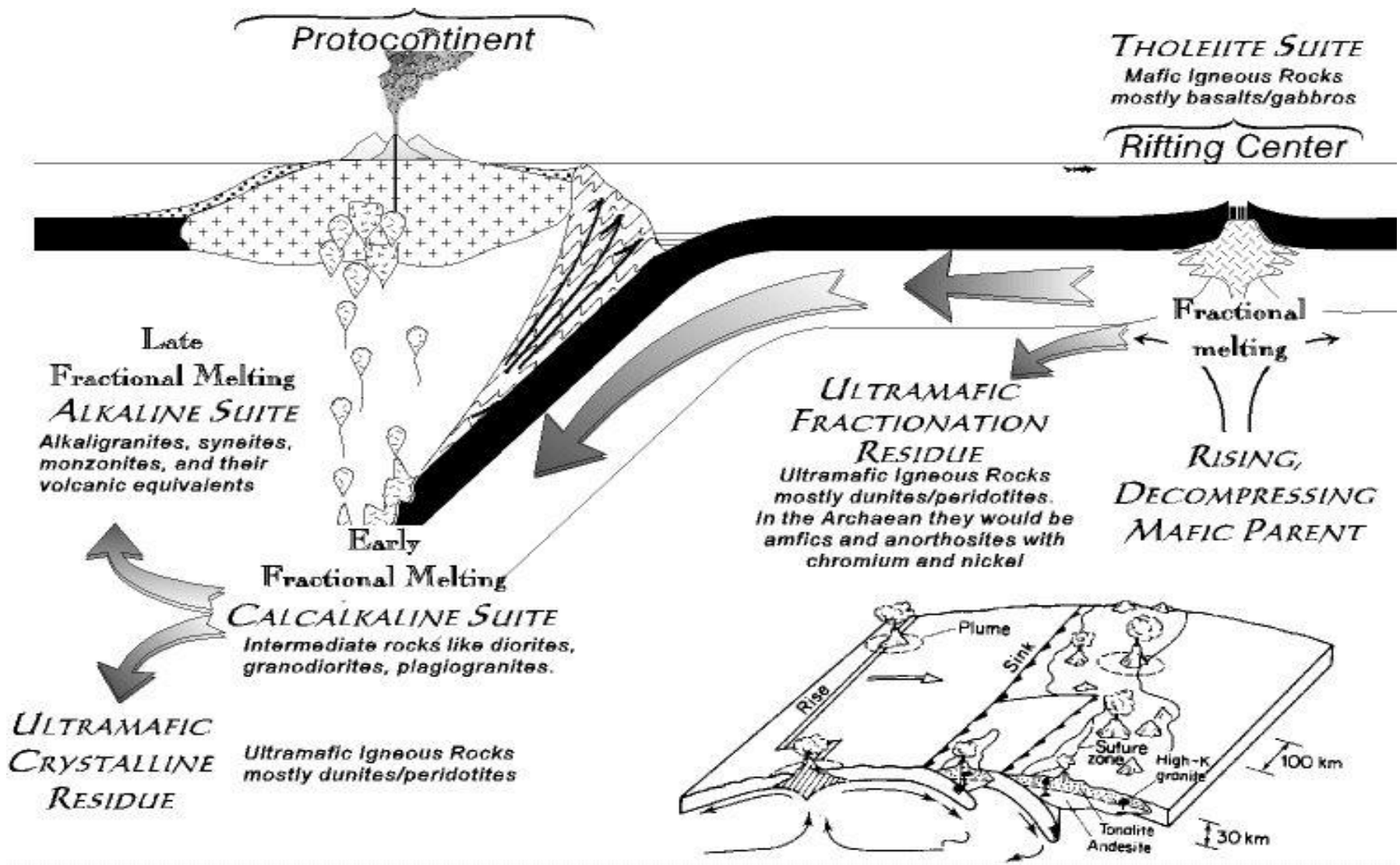
- Kůra se mohla vytvořit jako následek jednorázového diferenciačního procesu v prvopočátku Země a od té doby se její rozsah nemění (jen se recykluje).
- Distribuční koeficienty prvků mezi taveninou a krystaly a mineralogie svrchního pláště indikují, že tvorba kontinentální kůry nemůže být jednorázovým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



• Gravity jsou v zemské kůře běžné až v posledních 2,5 miliardách let.



- Archaická kůra obsahovala granodiority, tonality a trnhjemity blízké svým složením horninám vulkanických oblouků.
- Dominantním procesem byla frakční krystalizace bazických hornin.
- Typické granity ale vznikají parciálním tavením metapelitů.



- Archaická kůra měla poněkud jiný geotermální gradient.

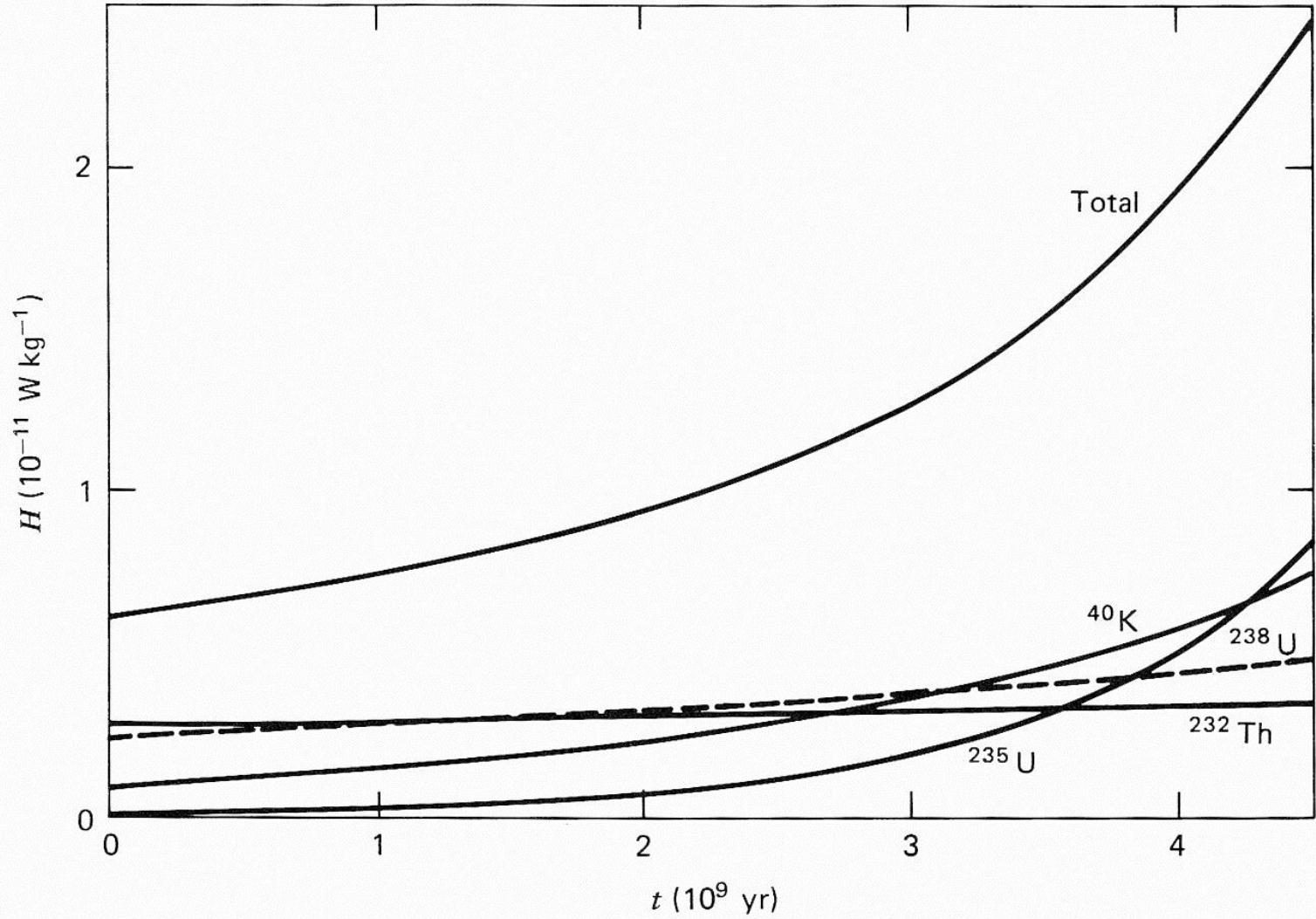
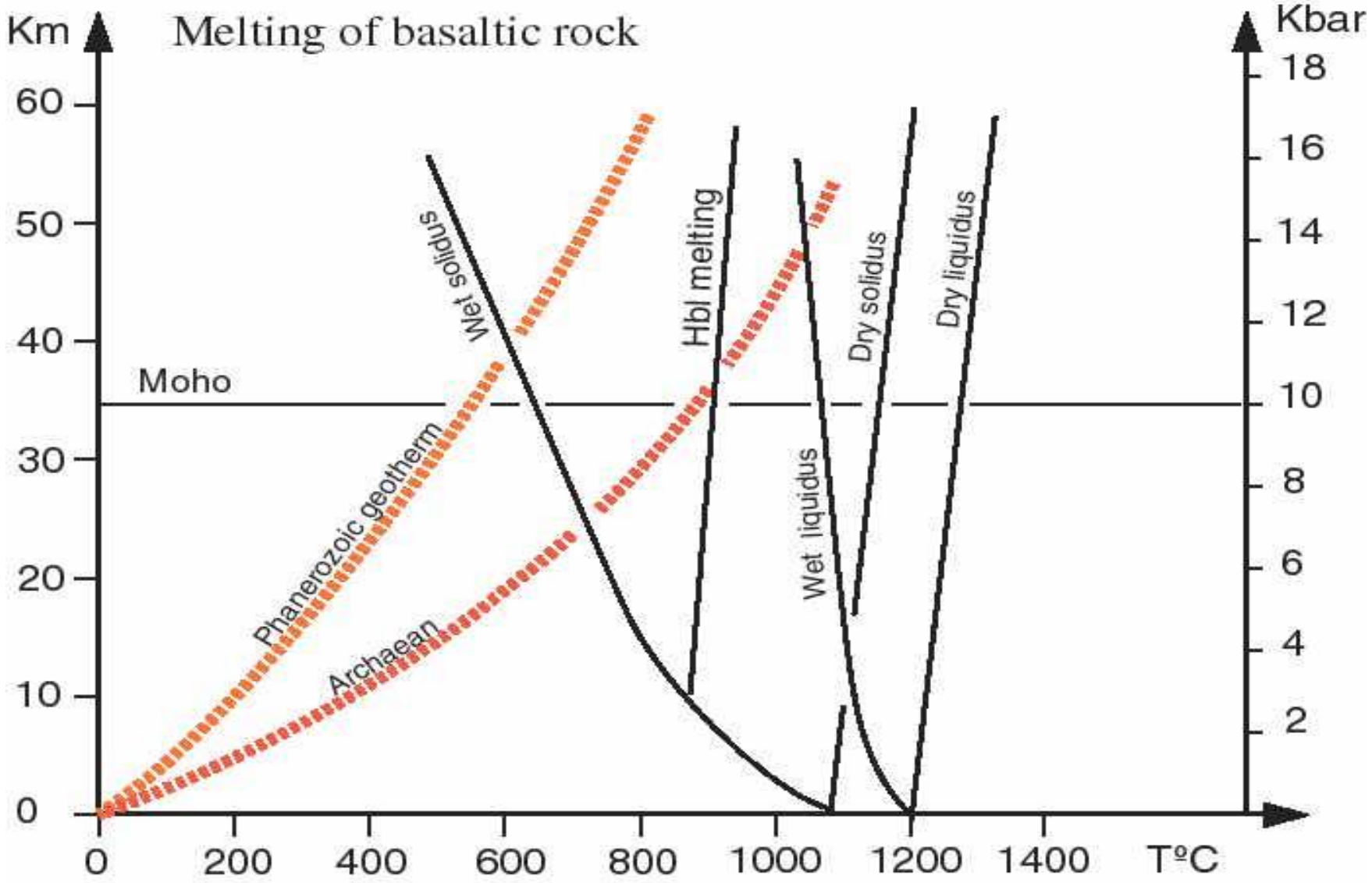


Figure 4-4 Mean mantle heat production rates due to the decay of the radioactive isotopes ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , and ^{40}K as functions of time measured back from the present.

- 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

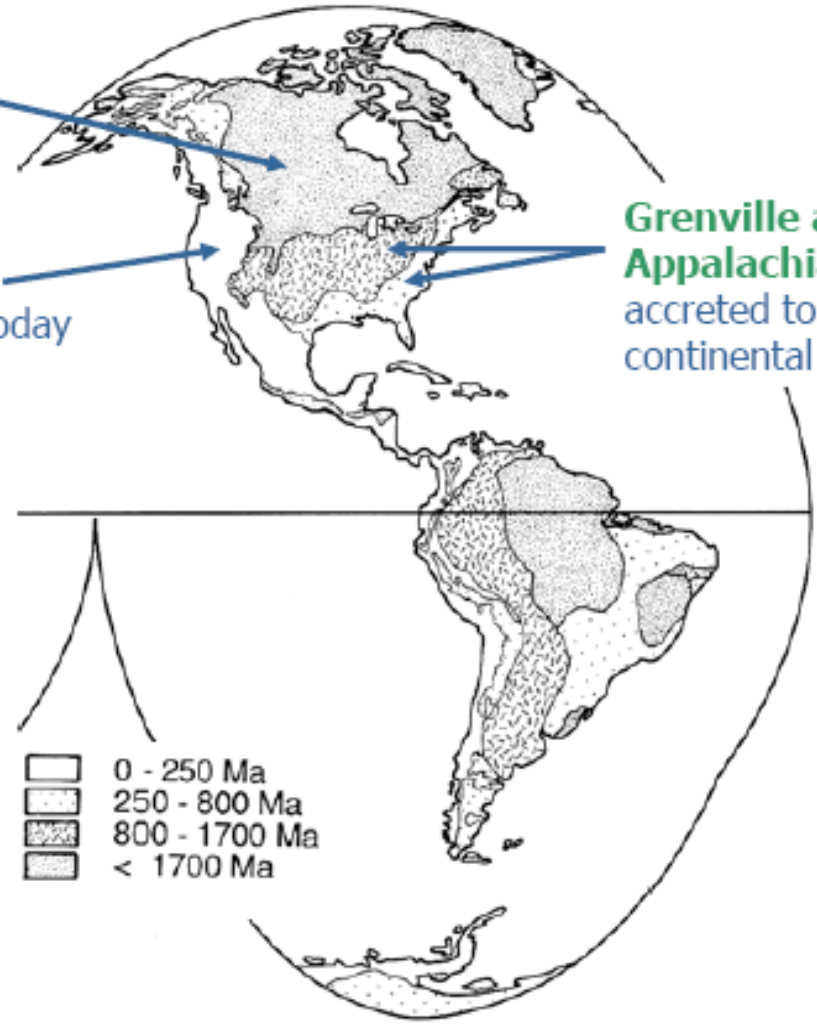


Figure 94. The age of the continents. (After Sclater et al. 1981.)

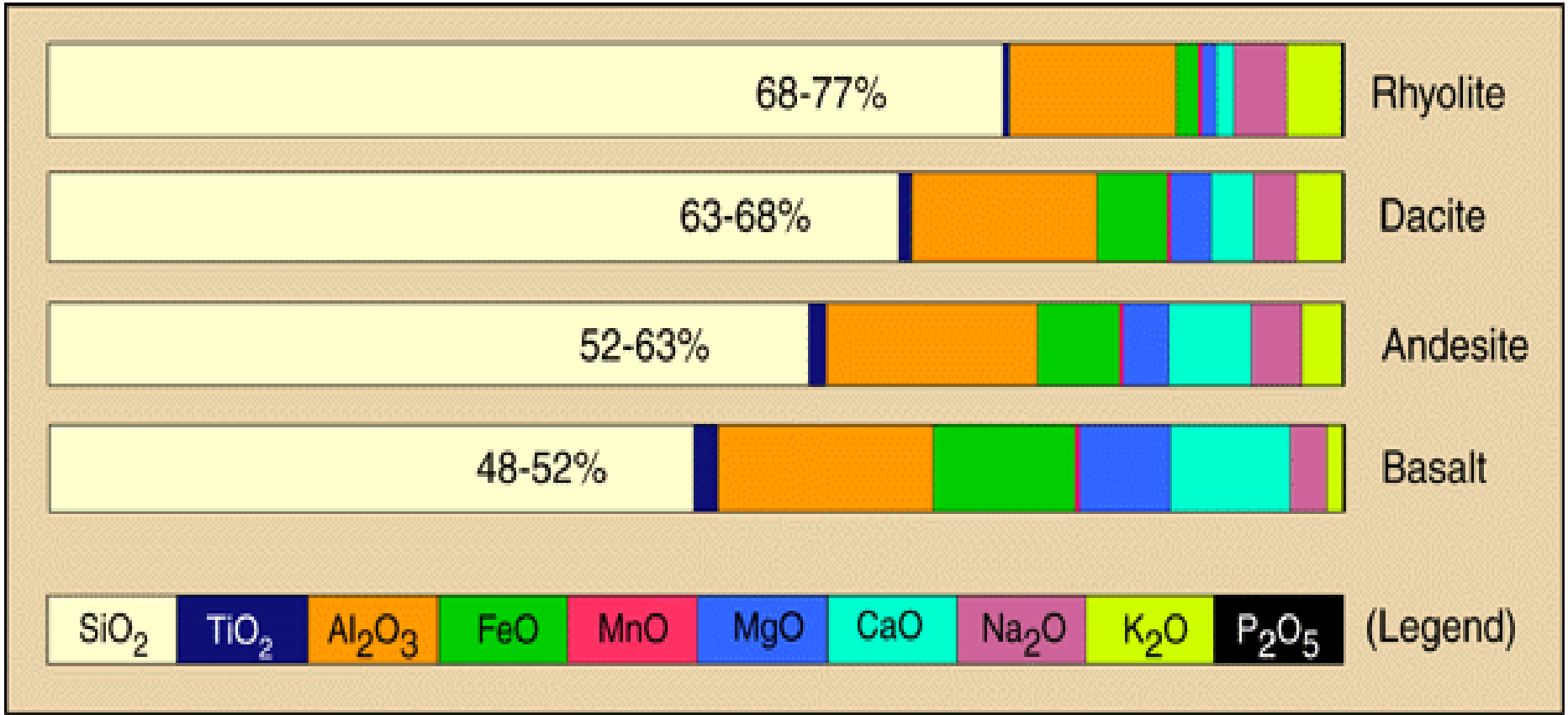
MAGMA

- 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.

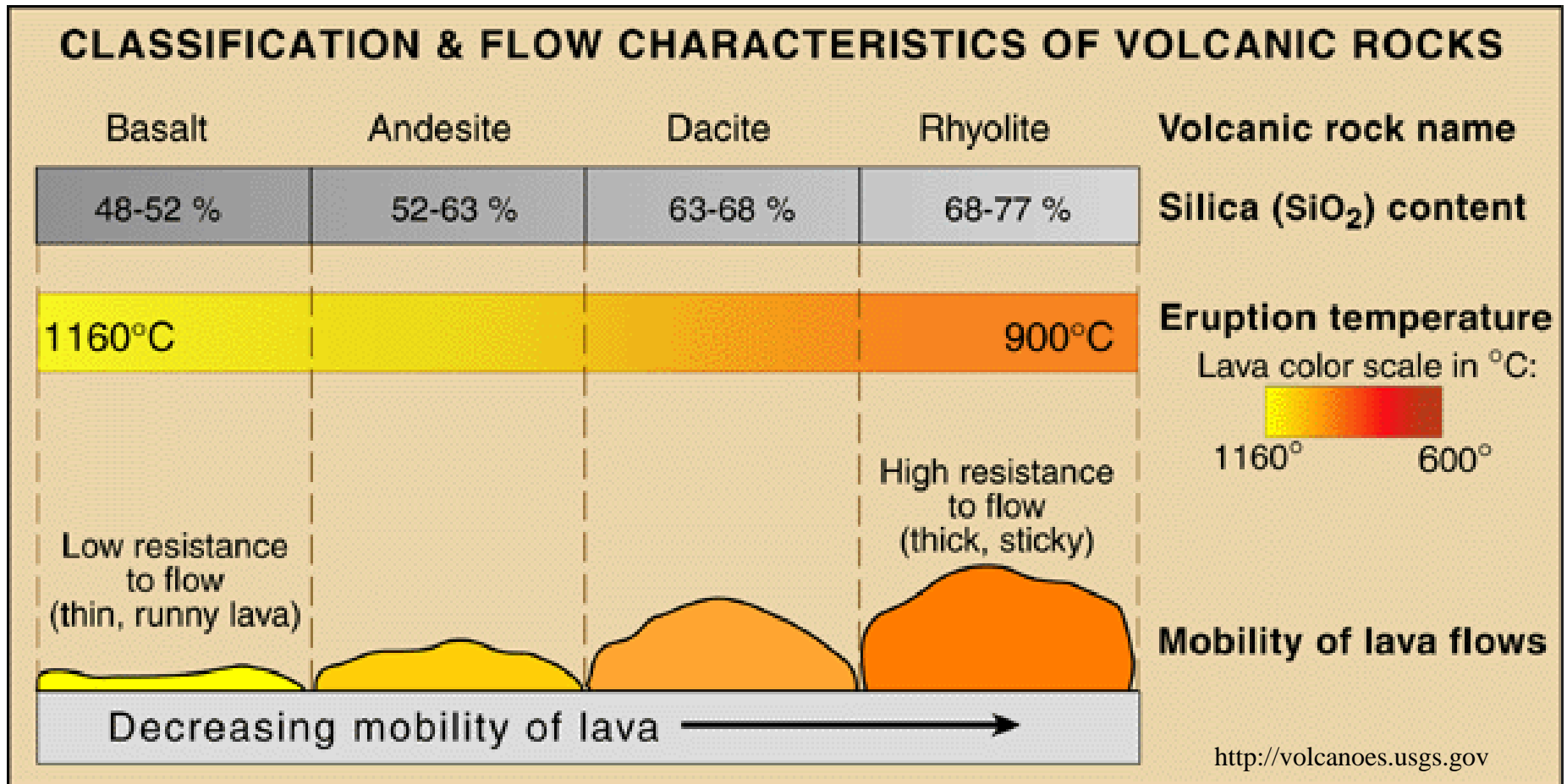
Plynná fáze - plyn rozpuštěný v tavenině H_2O , CO_2 , H_2S , CH_4 (metan), NH_3 (amoniak).

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.

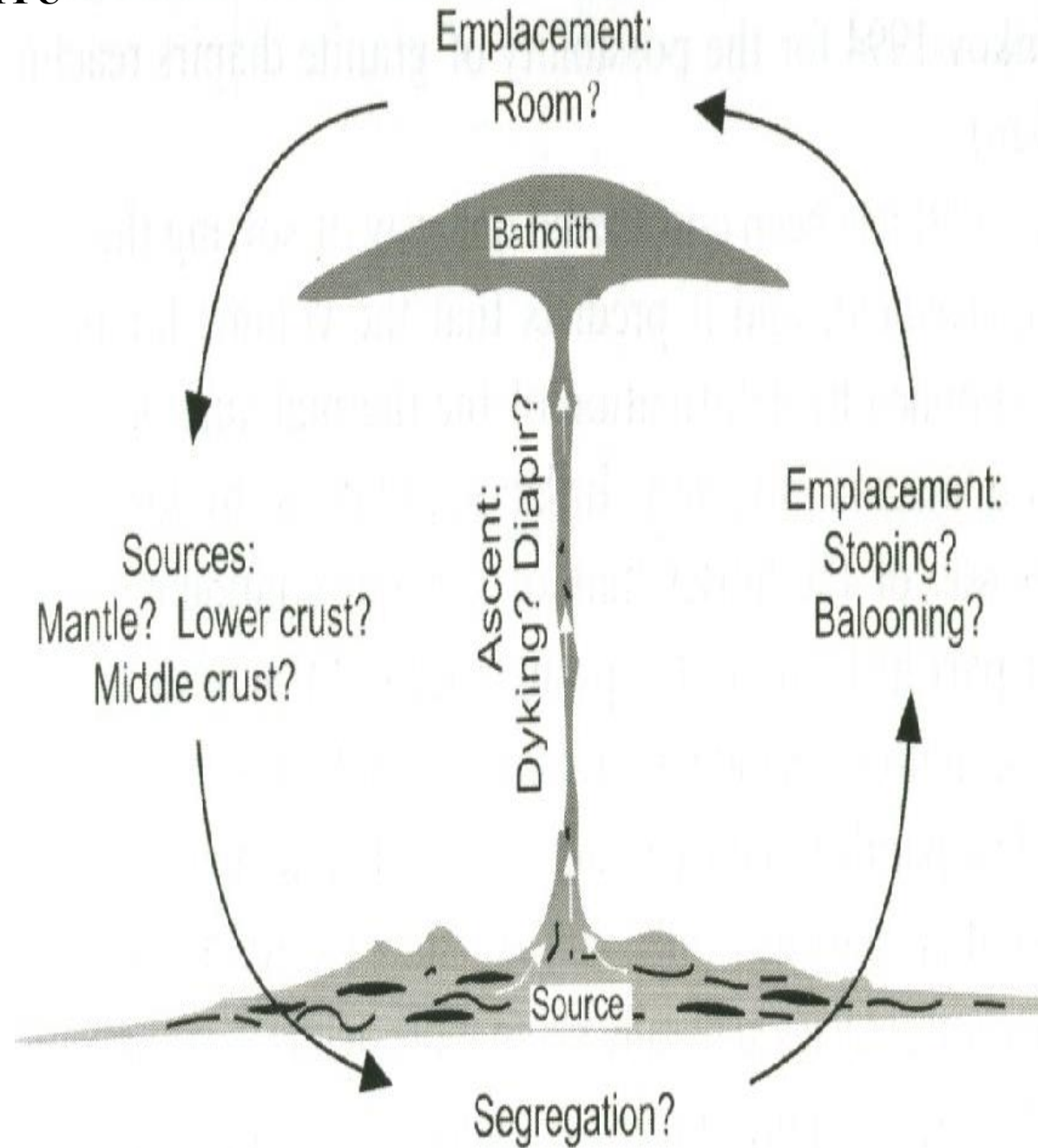


DŮLEŽITÉ PROBLÉMY GRANITŮ

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

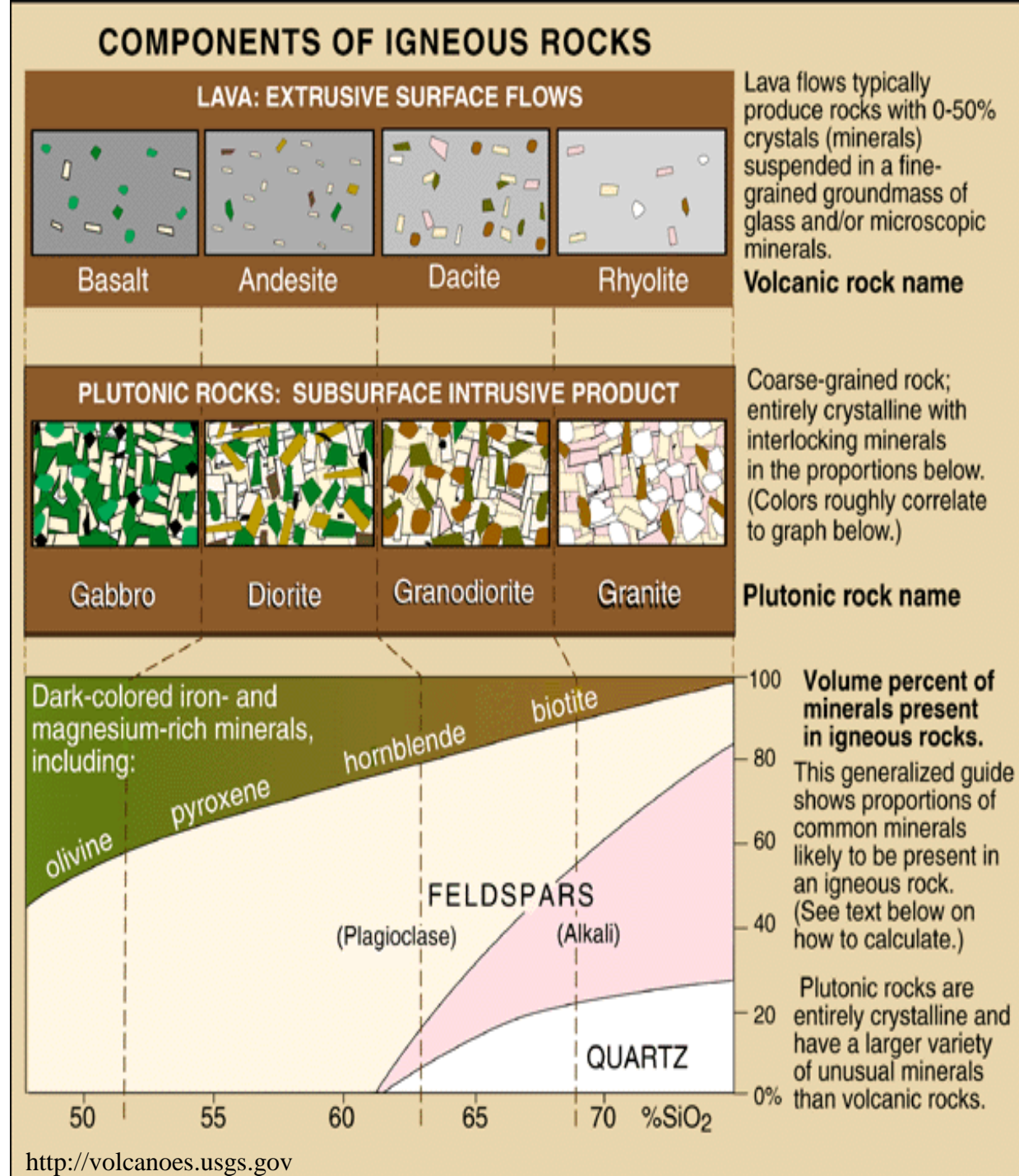
CHLADNUTÍ

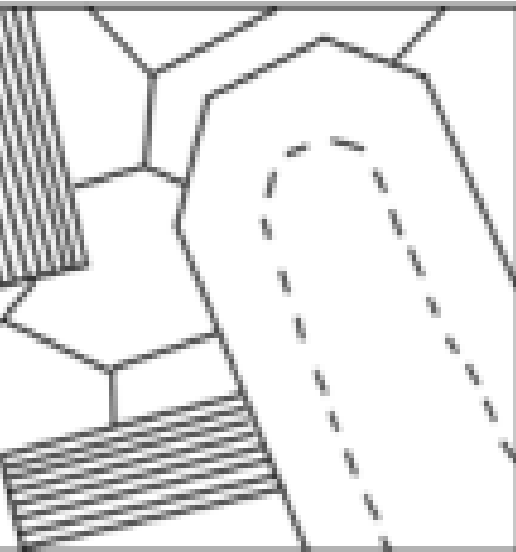
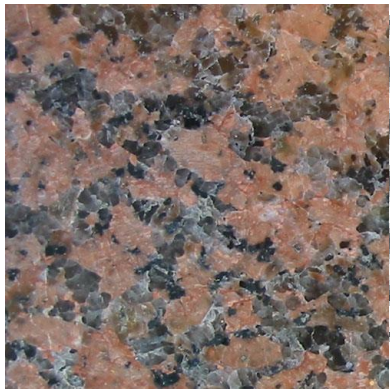
- Krystalizace magmatu probíhá v teplotním intervalu u většiny granitů to je 1000-600°C.
- Rychlost chladnutí závisí na hloubce, tvaru magmatického krbu, a krystalujících fázích.
- Magma chladne exotermicky a uvolňuje teplo do okolních hornin či atmosféry.
- Magma je otevřený systém, který uvolňuje do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



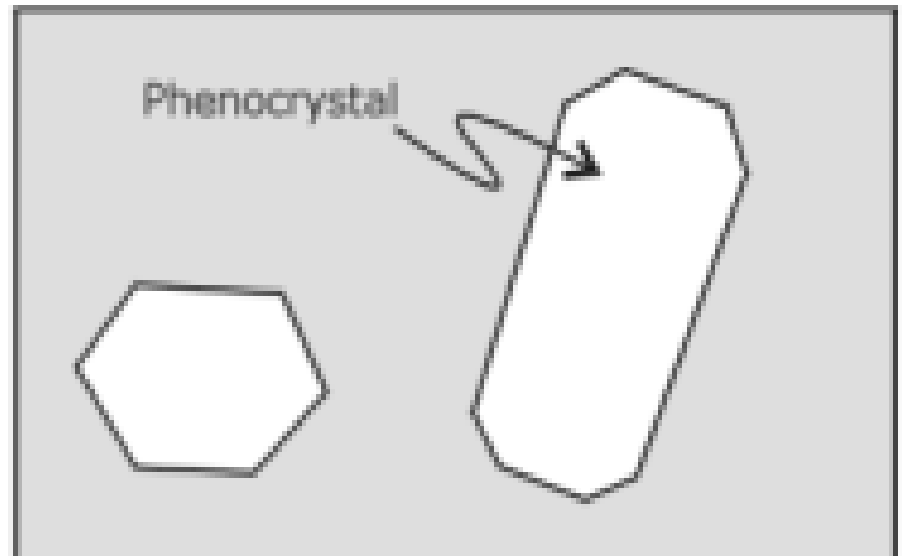
RYCHLOST VÝSTUPU A CHLADNUTÍ

- 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.





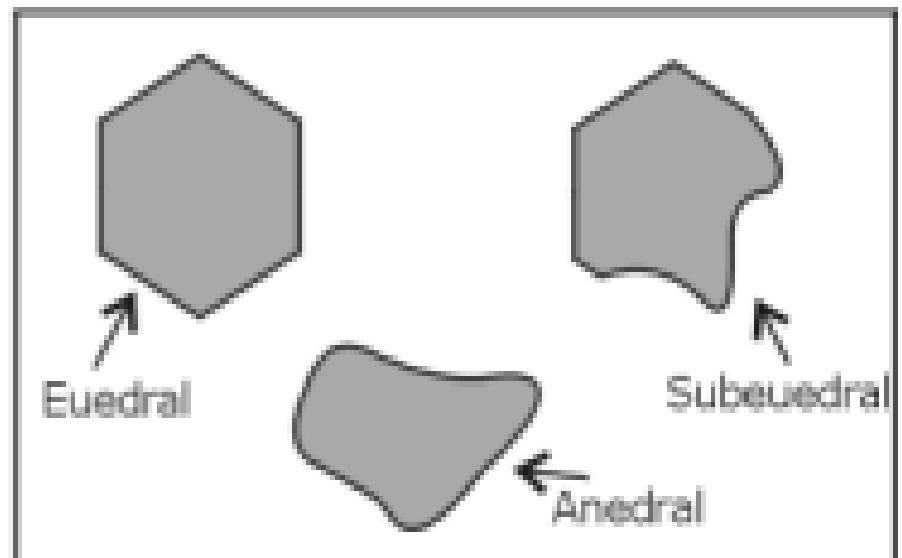
Phaneritic texture



Porphyritic texture



Aphanitic texture



Crystal textures



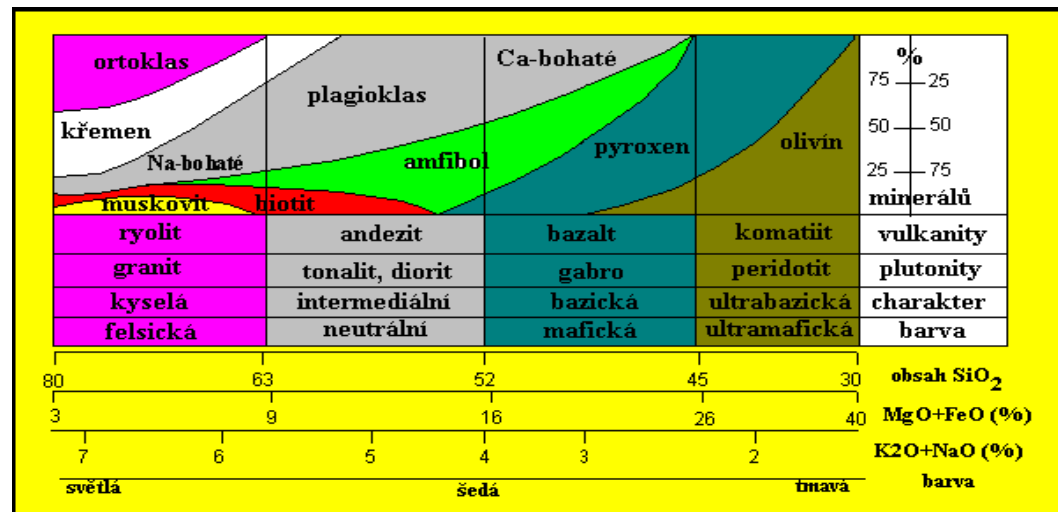
Vyrostlice Kfs v granitu (Pirin)

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.

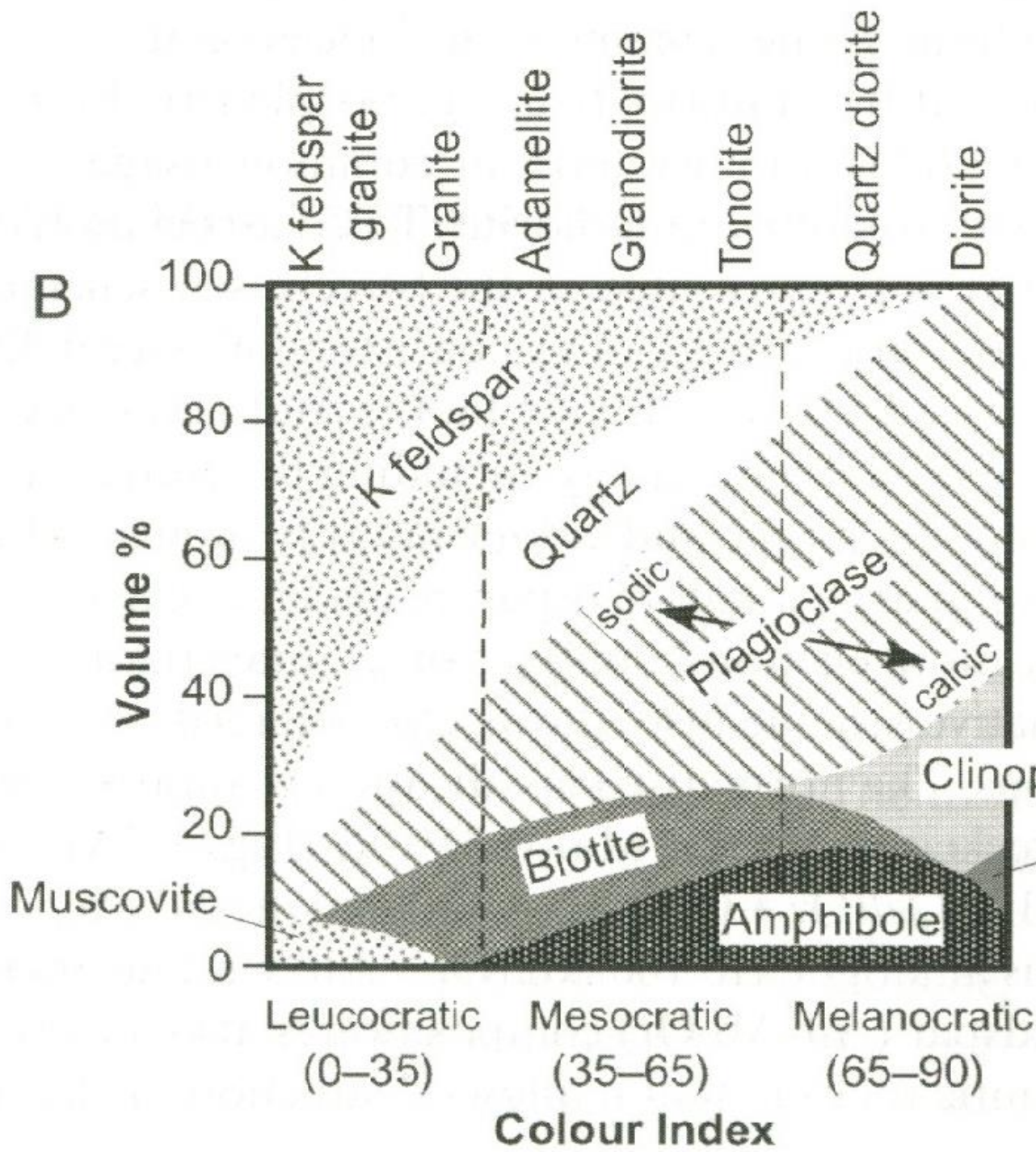
Podle SiO₂ na vyvřeliny:

- kyselé (nad 65% SiO₂)
- intermediární (65-52% SiO₂)
- bazické (52- 44% SiO₂)
- ultrabazické (pod 44% SiO₂)



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. Nenasyčené minerály by v přítomnosti SiO₂ reagovaly na nasycené:
 - $2\text{SiO}_2 + \text{NaAlSiO}_4 \implies \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
 - $\text{Qtz} + \text{Ne} \implies \text{Albit}$
 - $\text{SiO}_2 + \text{Mg}_2\text{SiO}_4 \implies 2\text{MgSiO}_3$
 - $\text{Qtz} + \text{Ol} \implies \text{En}$
- 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)

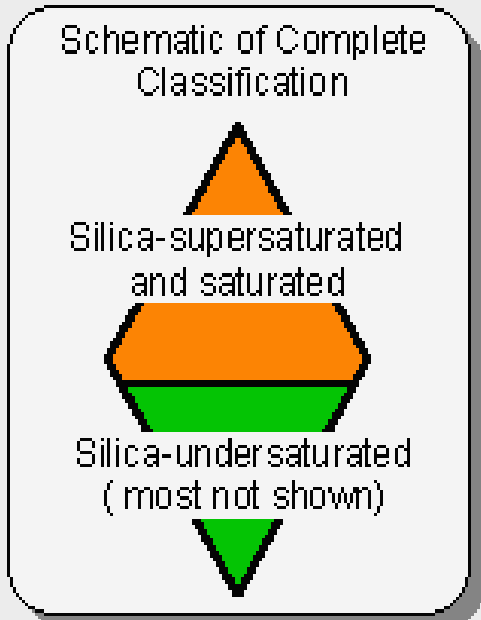
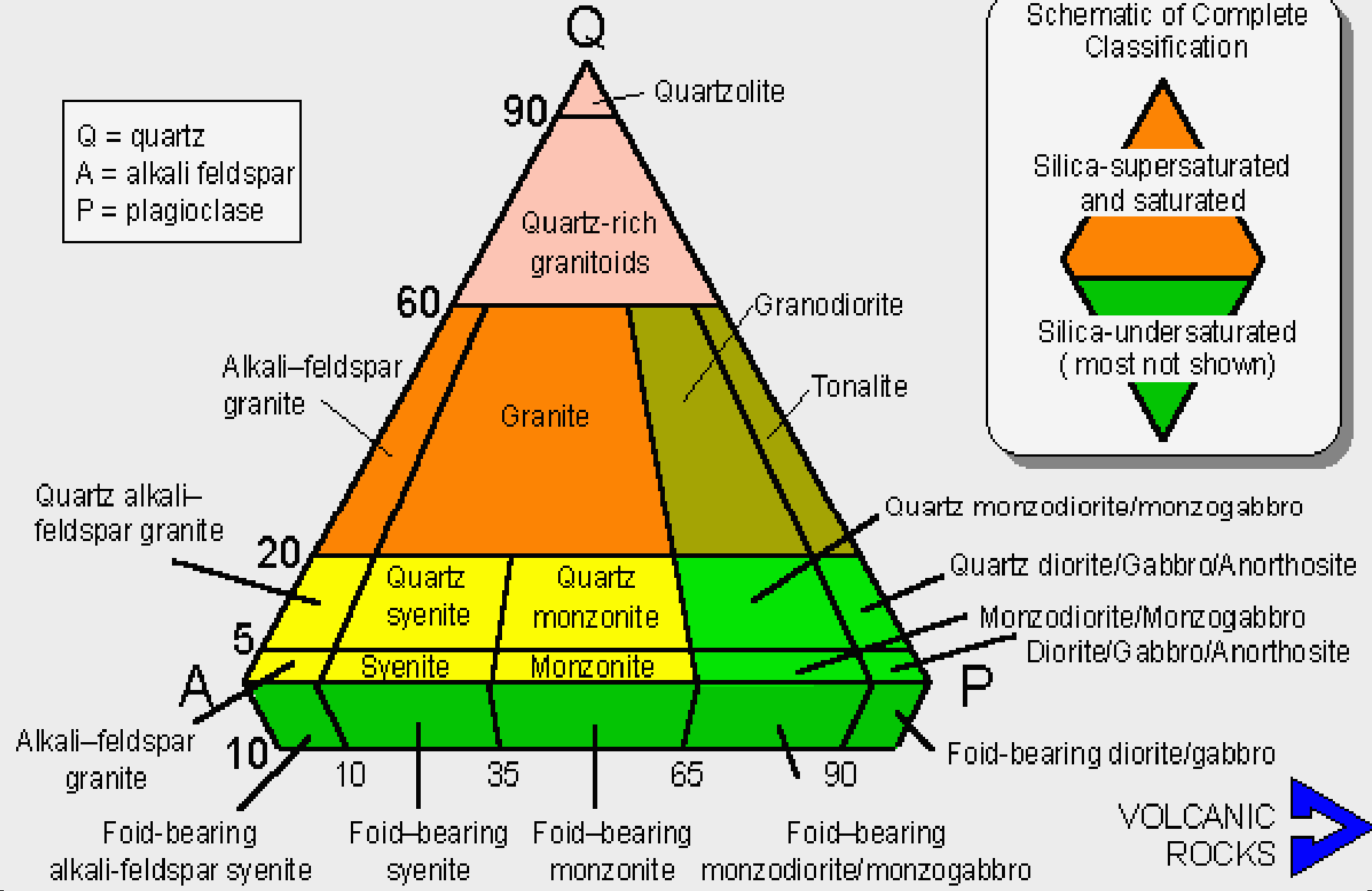
Celkový obsah mafických minerálů (v objem. %).

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

10% amfibolu + 12% biotitu
= index tmavosti 22

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

Q = quartz
A = alkali feldspar
P = plagioclase



VOLCANIC ROCKS

I. 3. Voda v kontinentální kůře

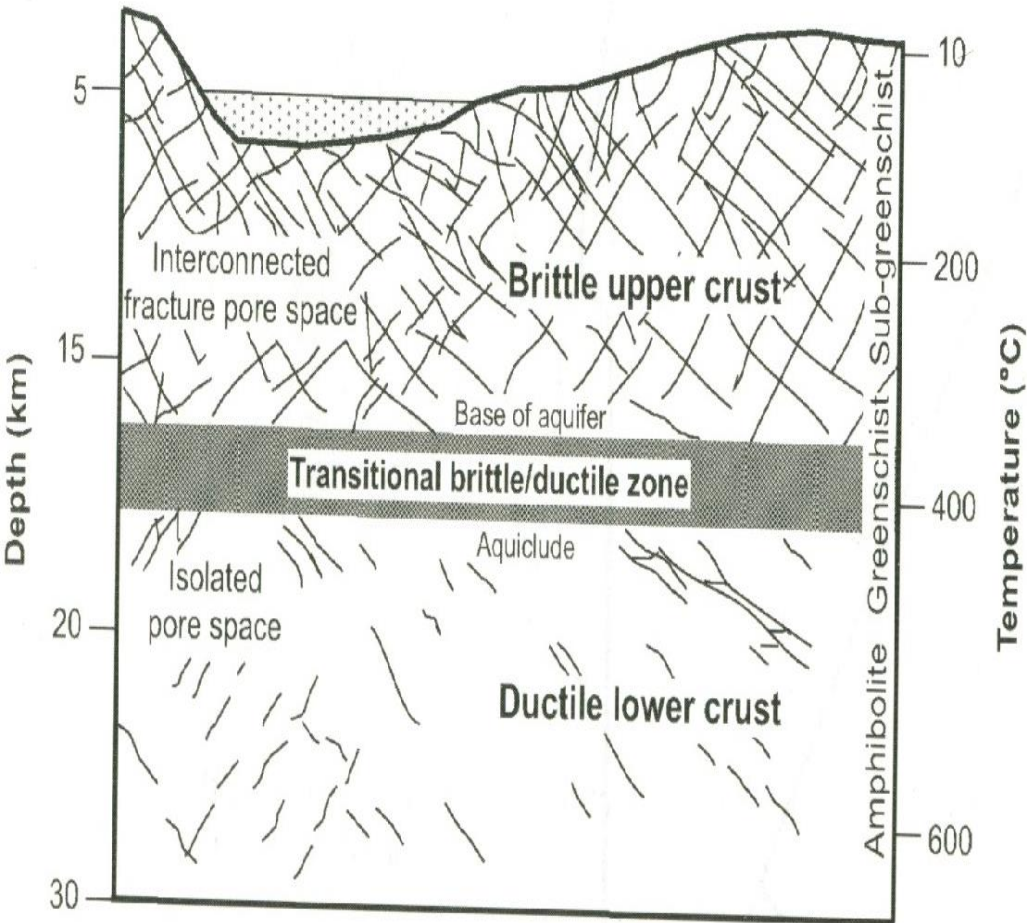
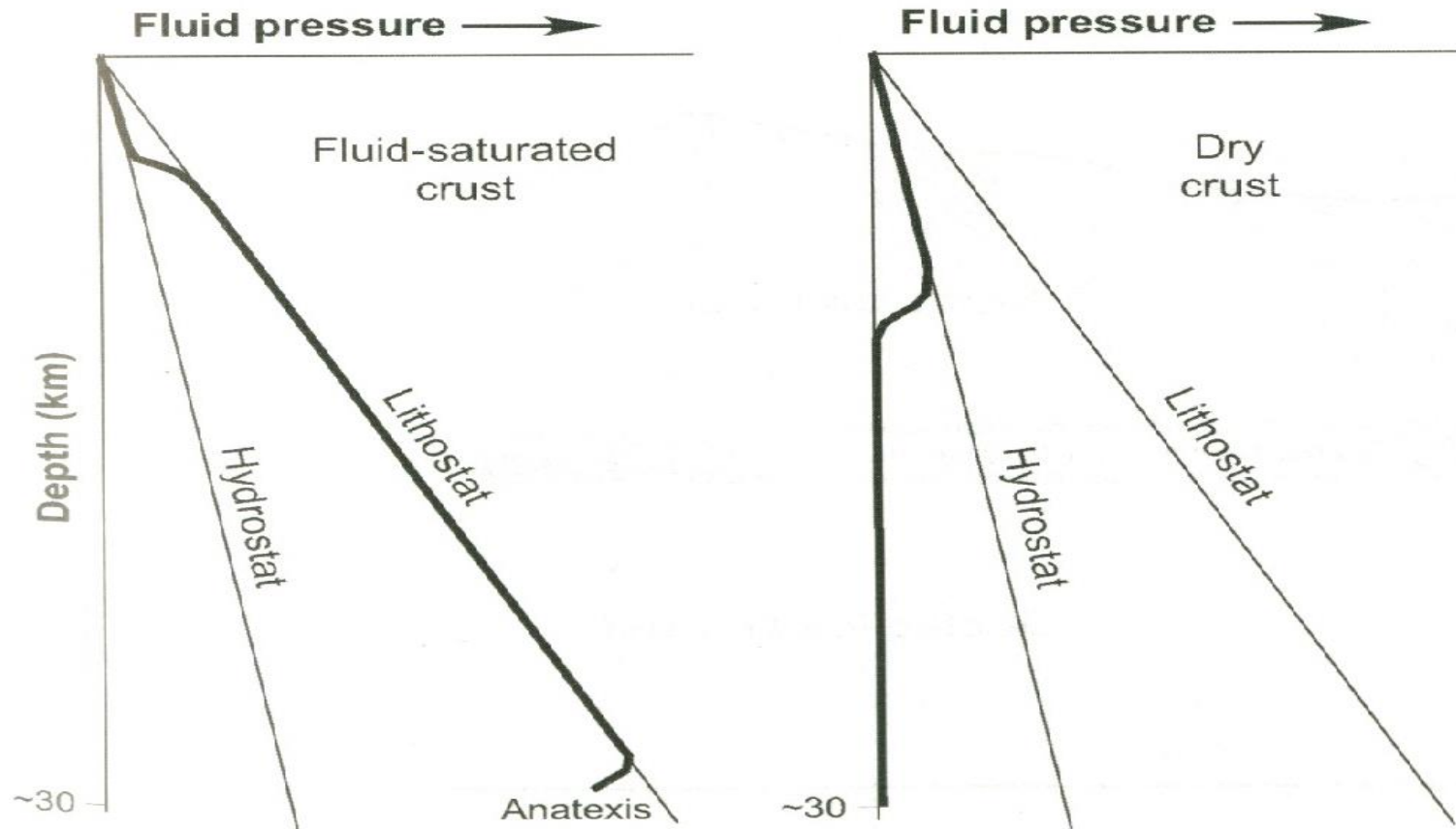


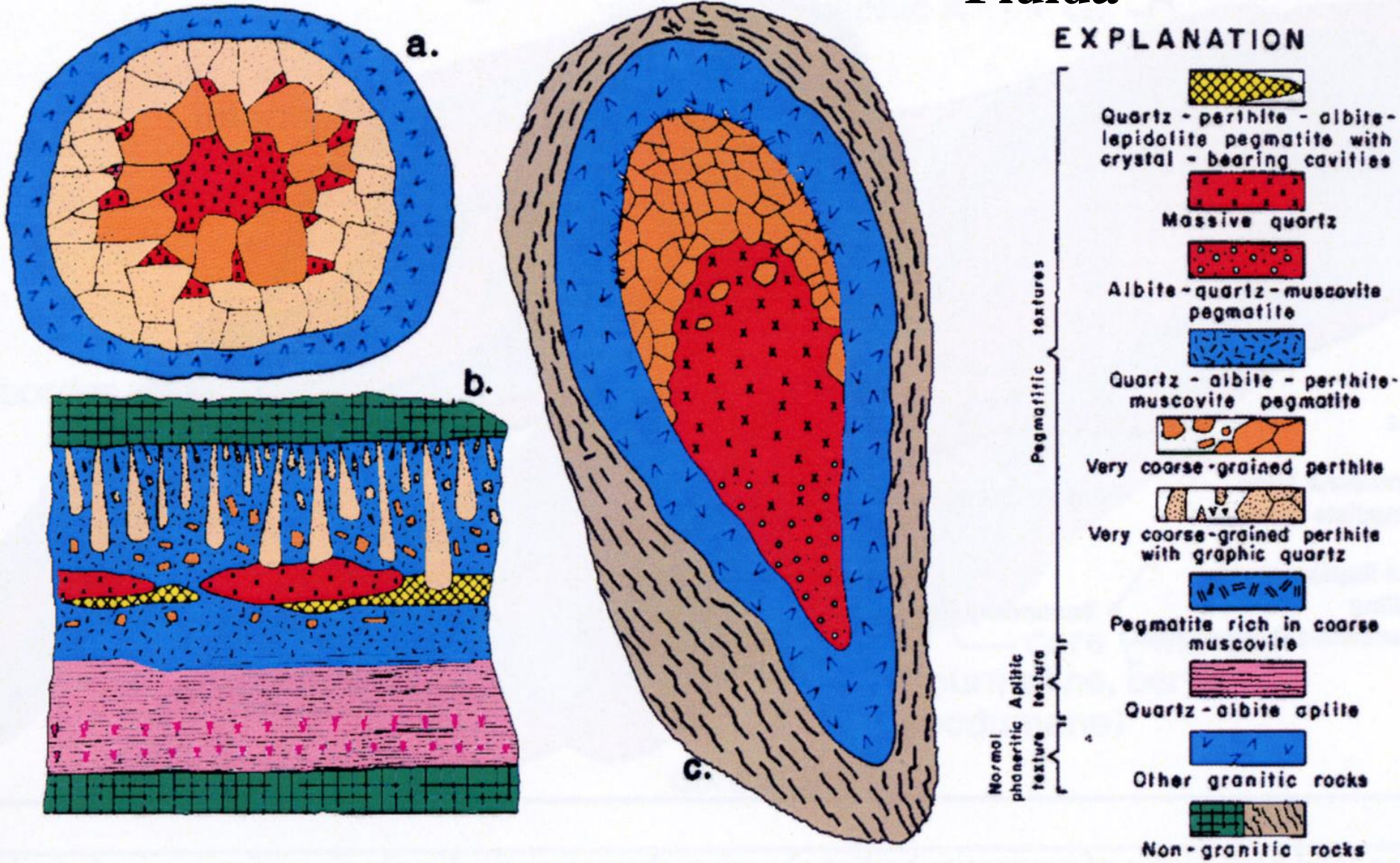
Figure 2.23. Diagram showing fracture system within the SW German (Black Forest) continental crust (redrawn from Fig. 1 of Stober and Bucher 2004). The brittle upper crust is characterised by an interconnected fracture/pore space (aquifer) and the ductile lower crust is characterised by isolated fractures 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 kontinentální kůře se voda jako fluidní fáze vyskytuje běžně do hloubek 4-5 km kde je teplota kolem 100-200 °C.
- 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 fluid 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, díky minerálním reakcím je v kůře spodní velmi nízký (Chen a Grapes, 2007)



Fluida



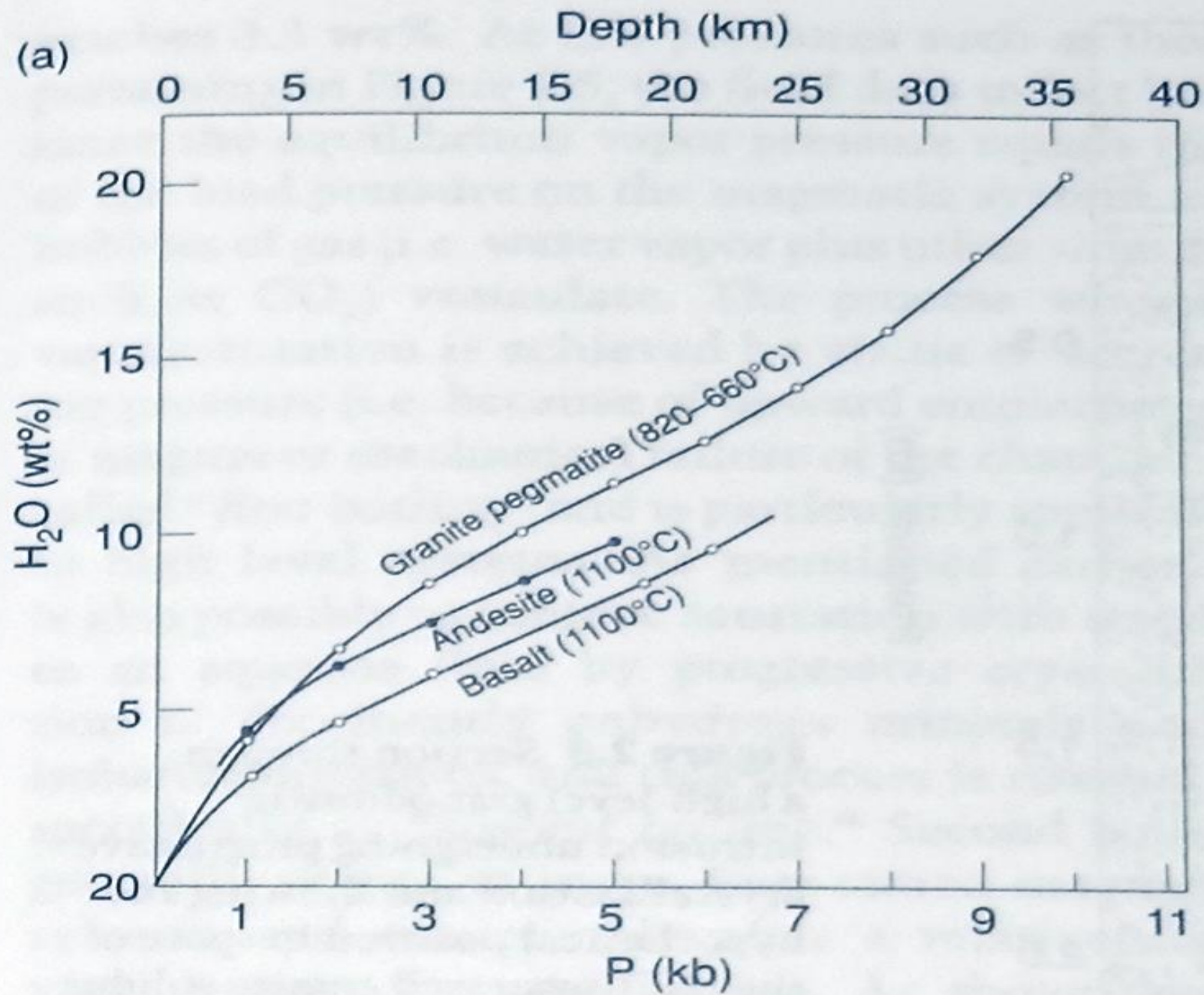
- Místa kde se koncentrují fluida. a. Miarolitická dutina v granitu (několik cm). b. Asymetricky zonální pegmatitová žíla ve spodní části je aplit (několik desítek cm mocné). c. Asymetricky zonální pegmatitová žíla (několik m mocné). Jahns and Burnham (1969). Econ. Geol., 64, 843-864.



- Pegmatitová žíla (Mongolsko)



- Pegmatitová žíla (Mongolsko)



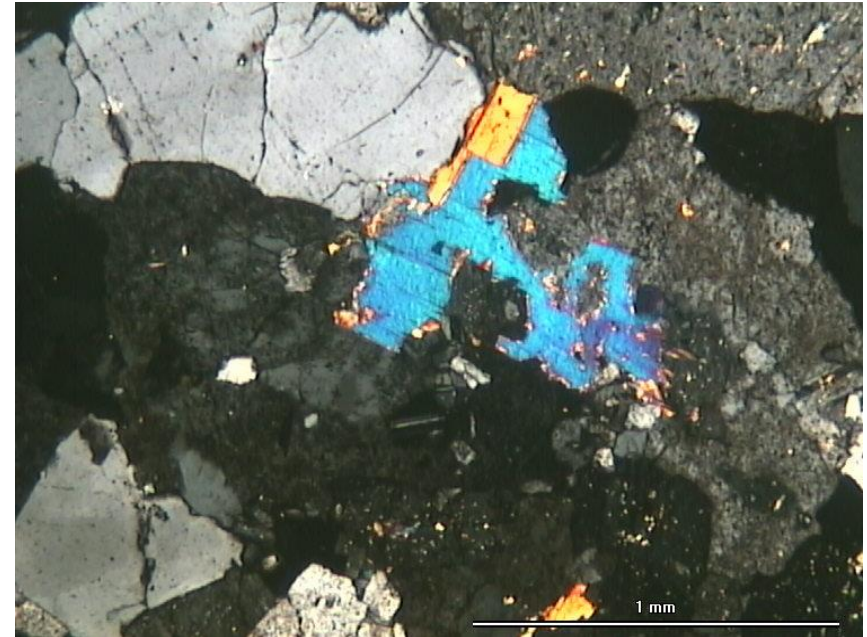
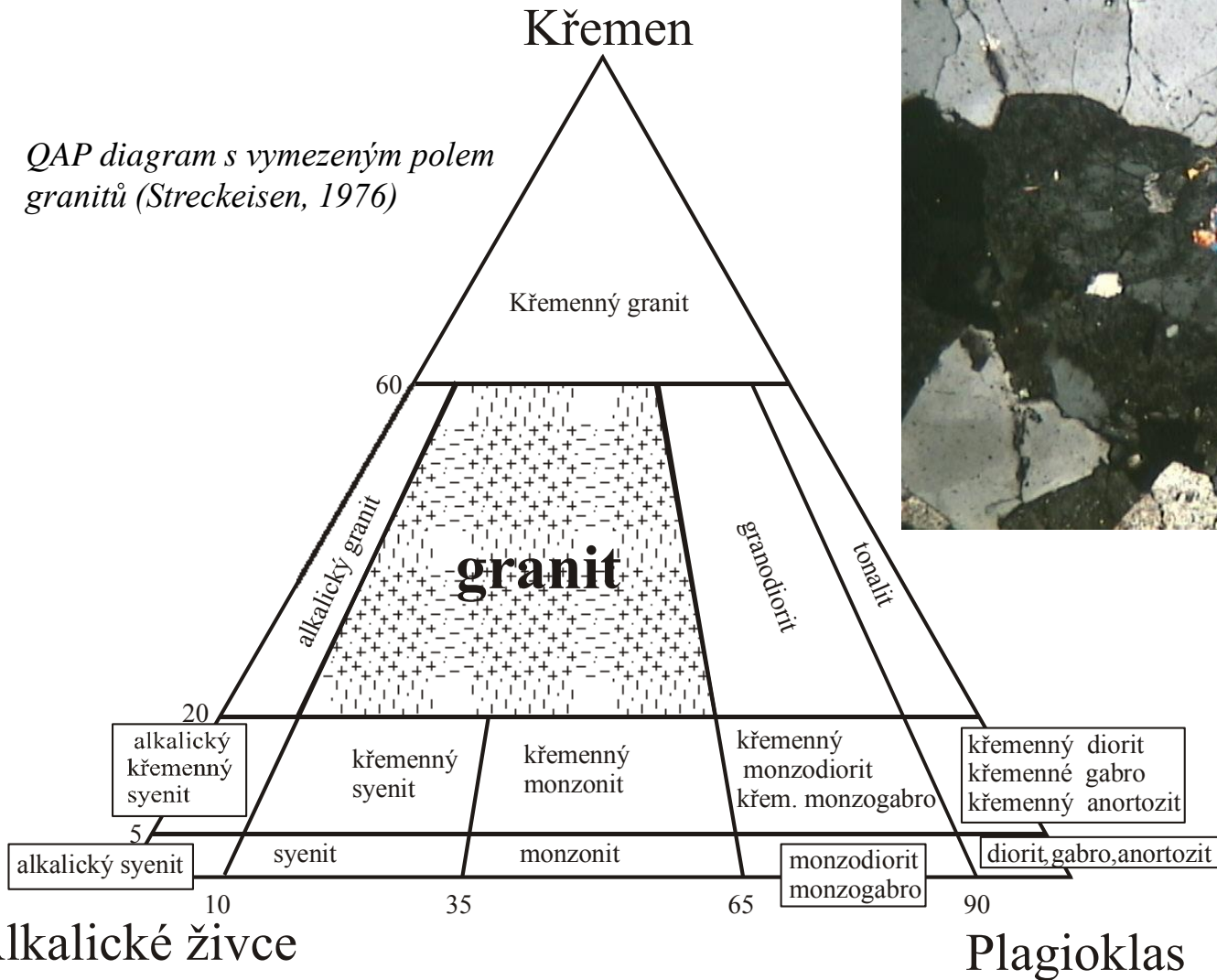


- Pegmatitová žíla (Mongolsko)

I. 4. Granity-definice

- Dnes jsou granity většinou chápány ve smyslu klasifikace komise IUGS, tedy jako hrubě až středně zrnité horniny s obsahem křemene 20 - 60% a poměrem plagioklasy/alkalické živce 0,1 až 0,65 (Streckeisen, 1976).

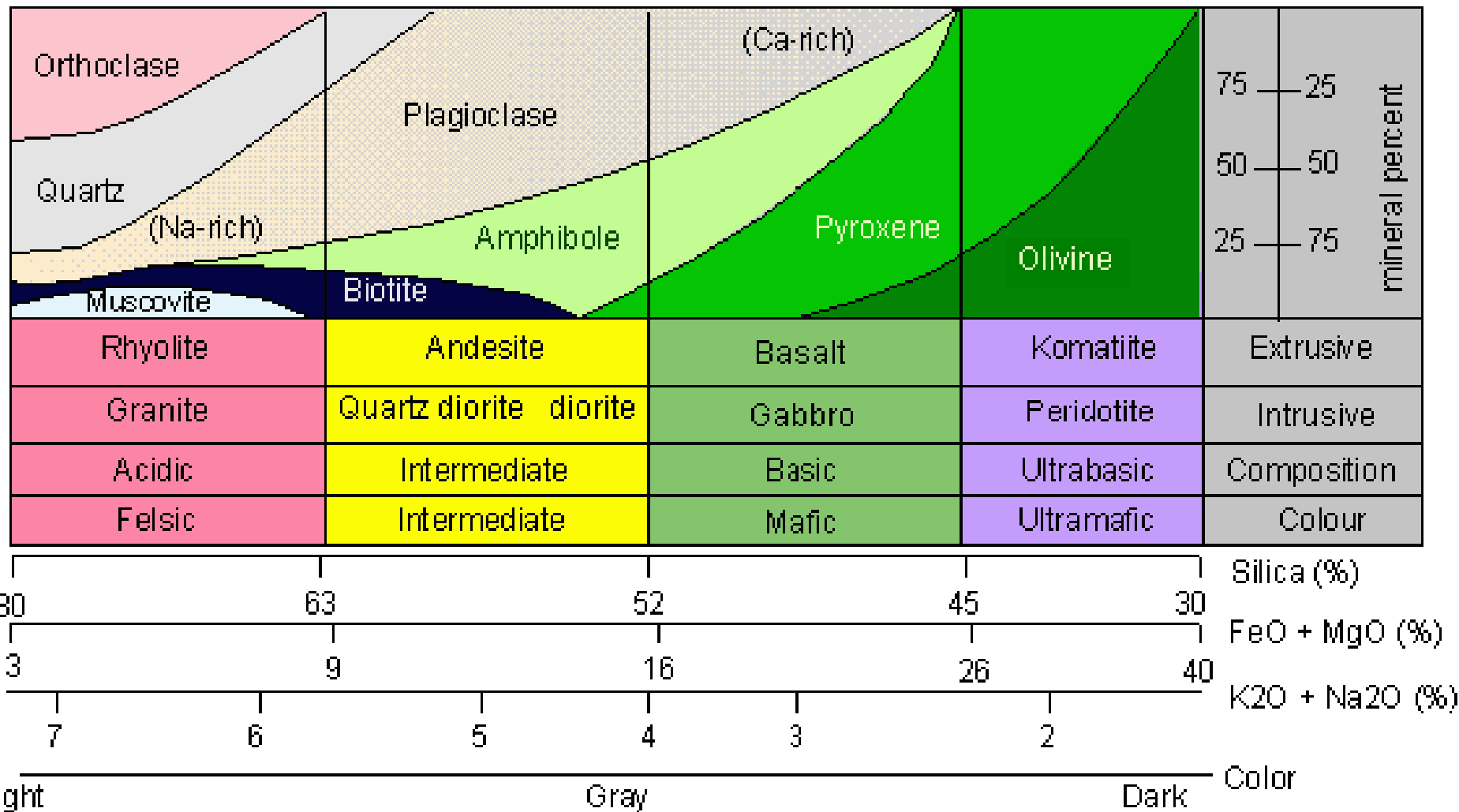
QAP diagram s vymezeným polem granitů (Streckeisen, 1976)



	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 ..		
0	Alkali- feldspar	Leuco-	Leuco-	Leuco-	Alkali- feldspar	Leuco-	Leuco-	Leuco	Quartz anortho- site		
10											
20	granite	Granite	Grano- diorite	Tonalite	quartz	Quartz	Quartz	Leuco monzodiorite	Leuco	Leuco	Leuco
30	(biotite)	(biotite ± hornblende)	(biotite or hornblende)		monzo- nite	syenite	syenite		monzo- nite	monzogabbro	Leuco diorite
35											
40								Quartz	Quartz	gabbro	
50	Mela-	Mela-	Mela-	(biotite- hornblende) Mela-	Mela-	Mela-	(biotite)	Quartz	Quartz (hornblende ± biotite)	Quartz	
60							Mela-	Mela-		Mela-	
65								Mela-	Mela-	Mela-	
70									Mela-	Mela-	

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.
- **Hypermelanokrátní (Hypermelanitic):** 90-100 % tmavých minerálů.



Na₂O + K₂O (wt.%)

16
14
12
10
8
6
4
2
0

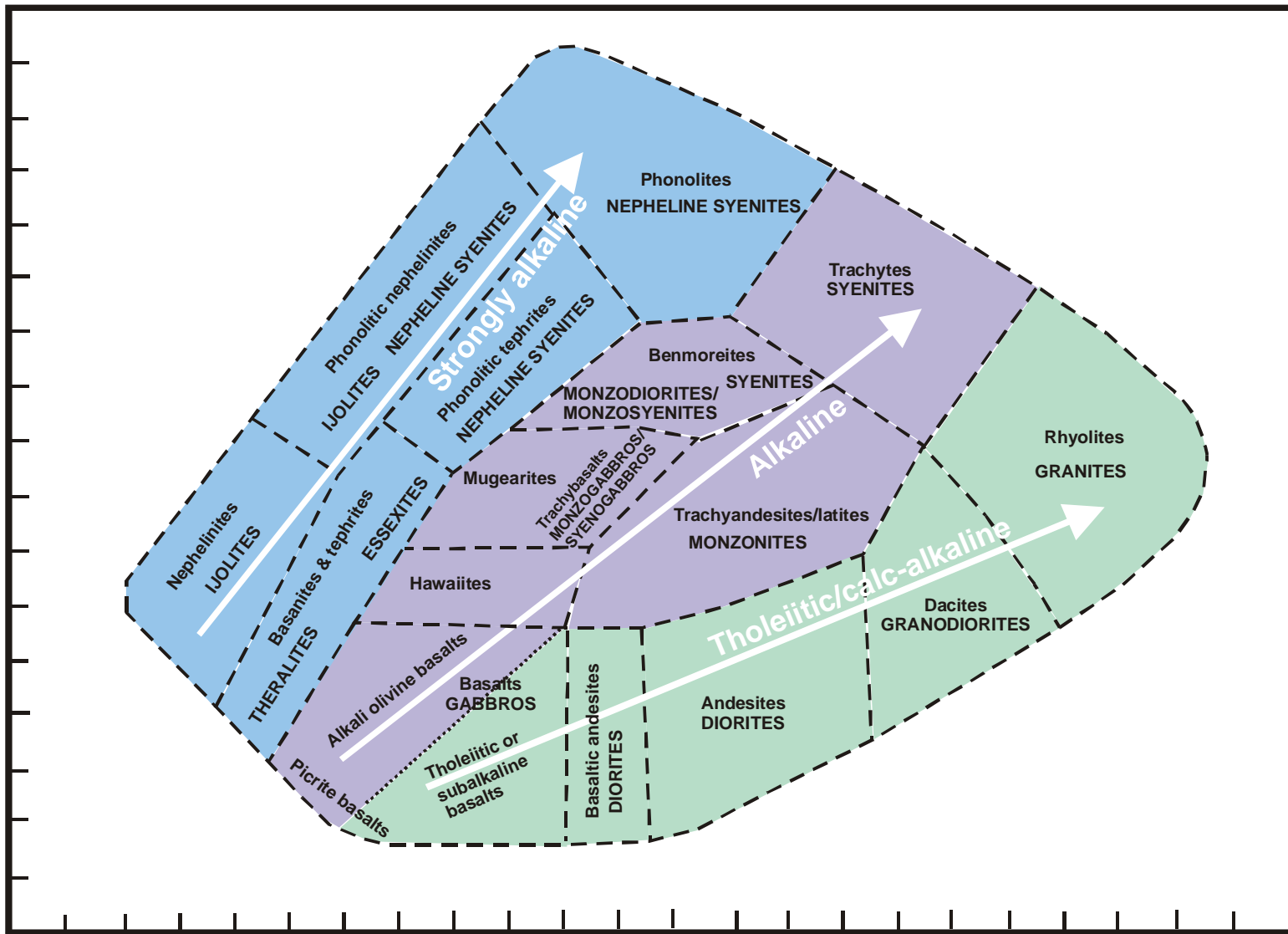
40

50

60

70

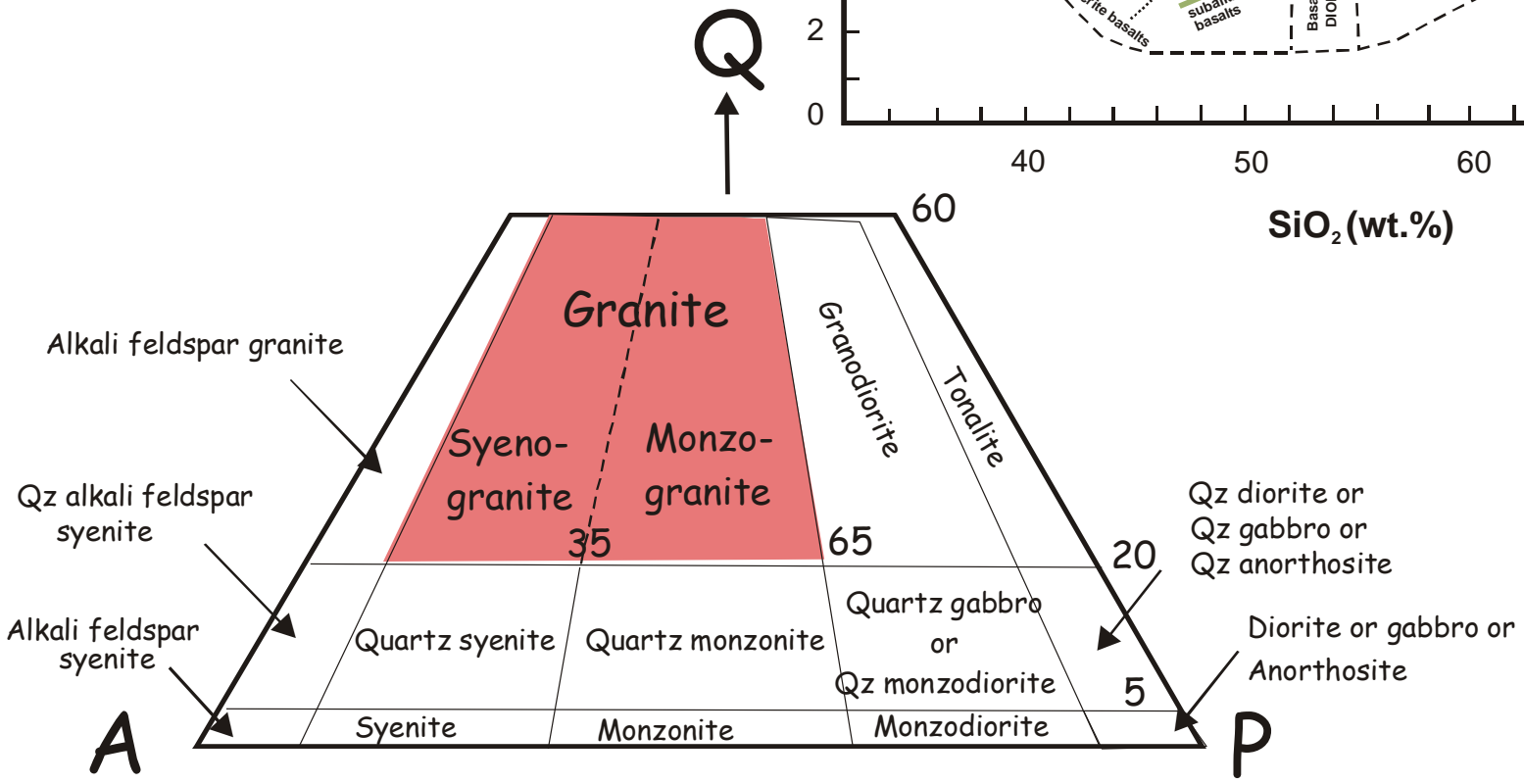
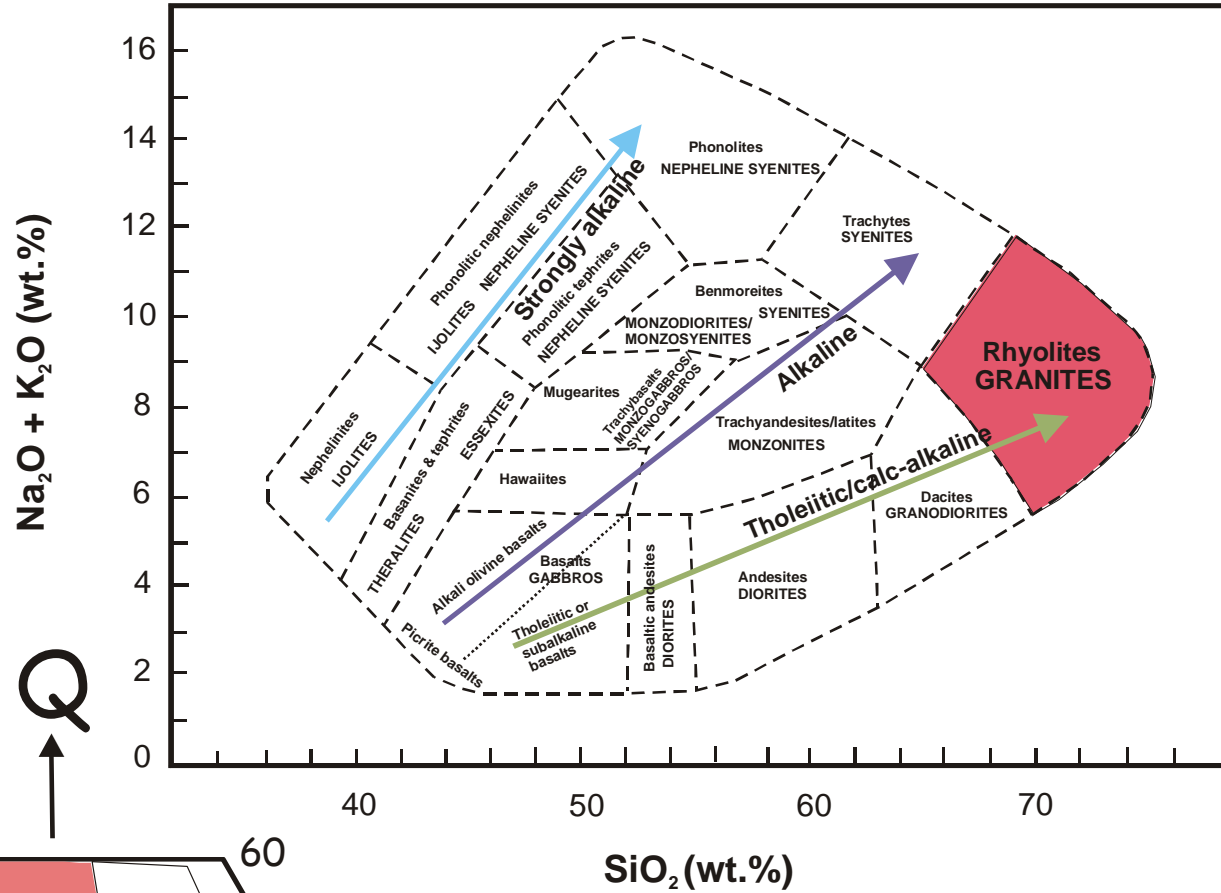
SiO₂ (wt.%)



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.

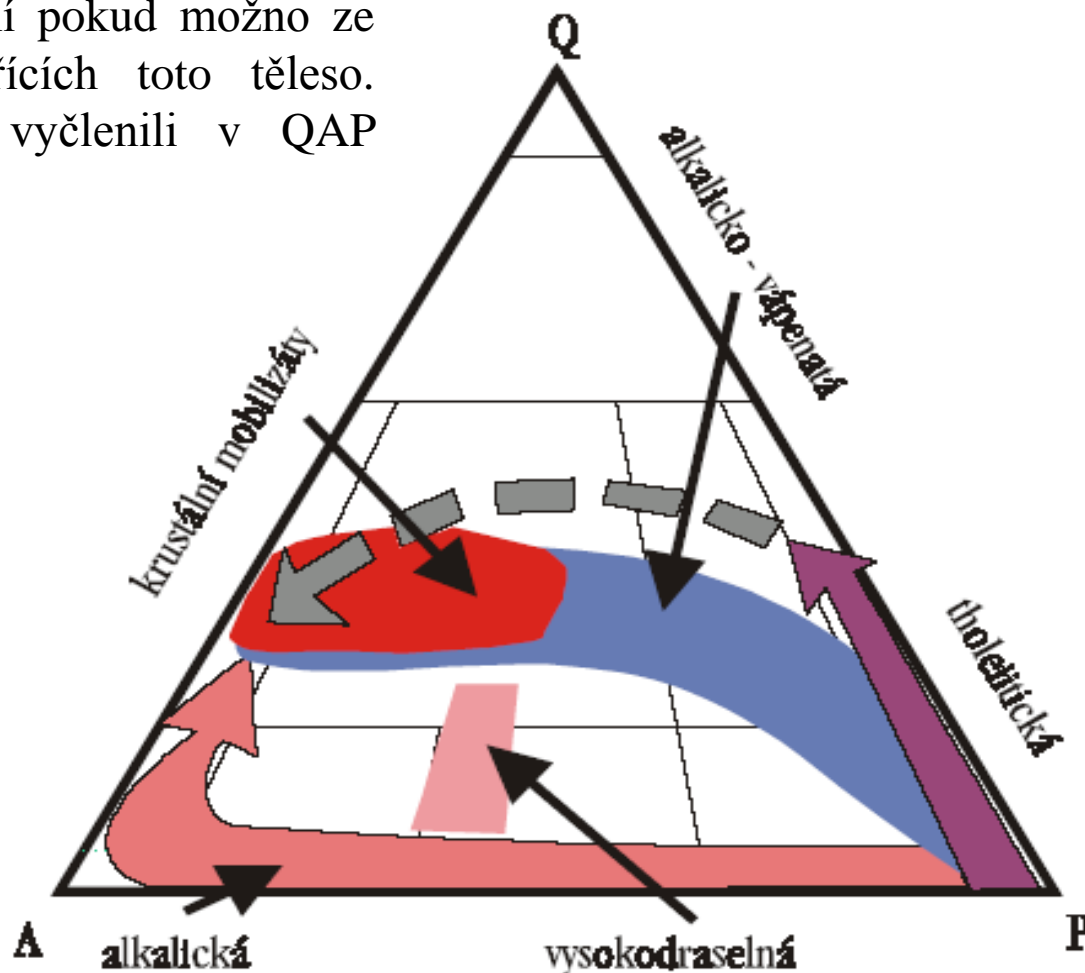
%SiO ₂	Designation	% Dark minerals	Designation	Example rock
> 66	Acid	< 40	Felsic	Granite, rhyolite
52–66	Intermediate	40–70	Intermediate	Diorite, gabbro
45–52	Basic	70–90	Mafic	Gabbro, basalt
< 45	Ultrabasic	> 90	Ultramafic	Dunite, peridotite



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:
 1. vápenato-alkalická serie
 2. alkalická serie
 3. tholeiitická serie
 4. krustální mobilizáty

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



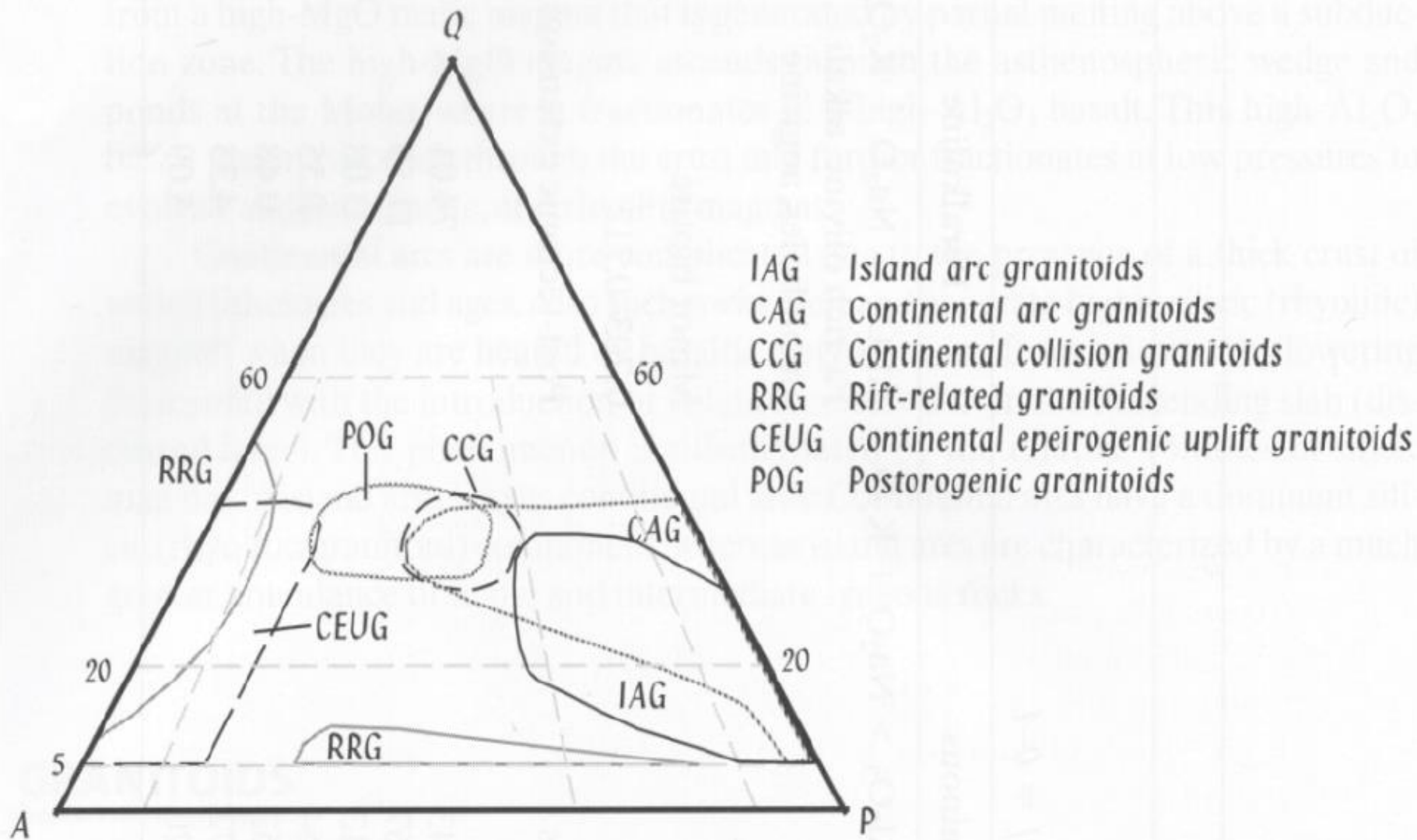


FIGURE 12.18 Plate tectonic environments and granitoid compositions. (Redrawn from Maniar and Piccoli, 1989)

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

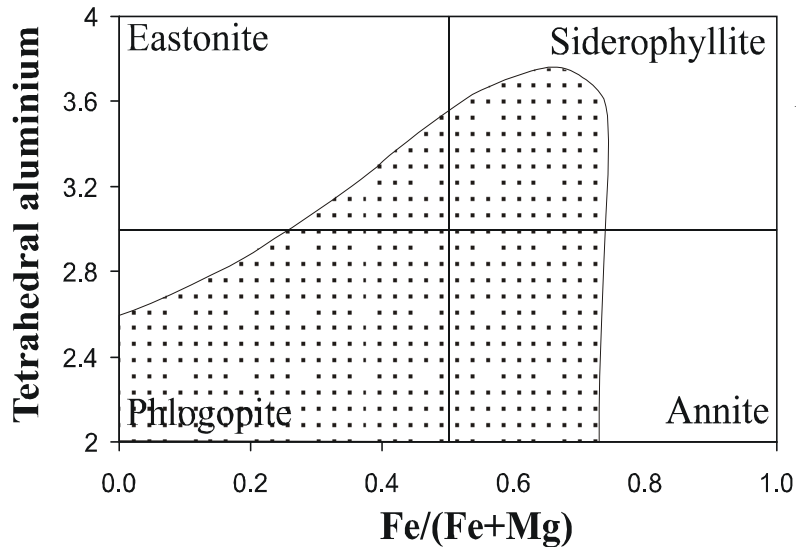
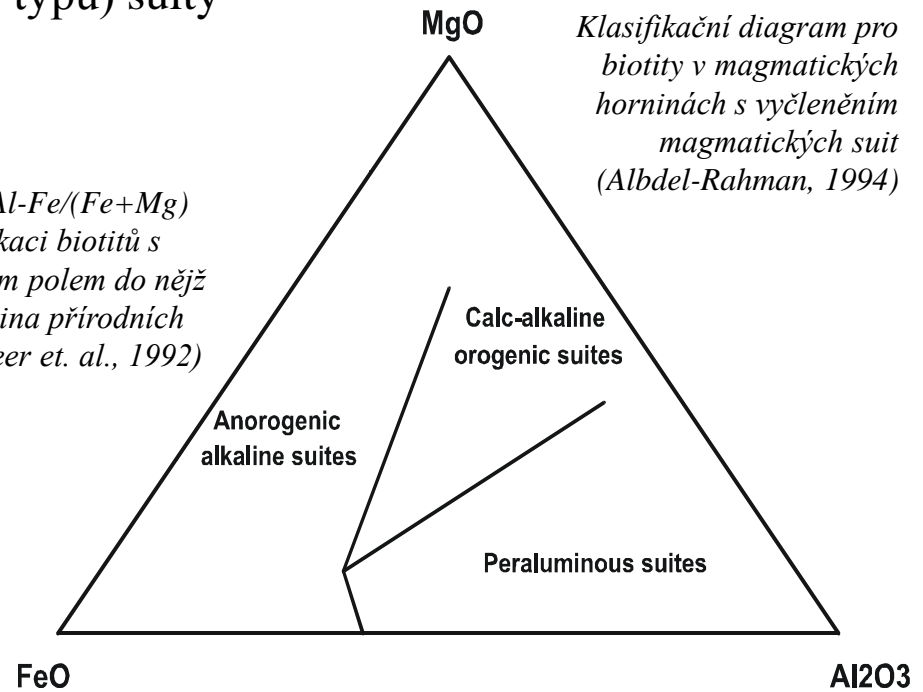


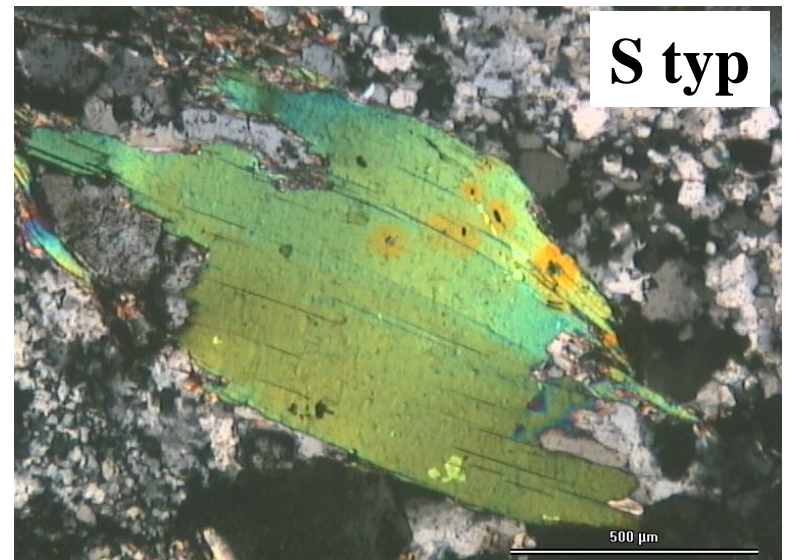
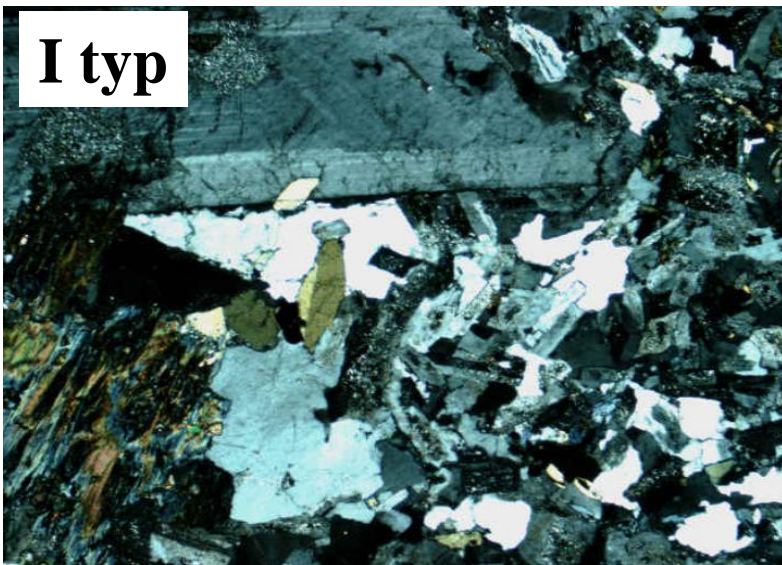
Diagram Al-Fe/(Fe+Mg) pro klasifikaci biotitů s vyznačeným polem do nějž spadá většina přírodních biotitů (Deer et. al., 1992)



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

Ilmenit-magnetit

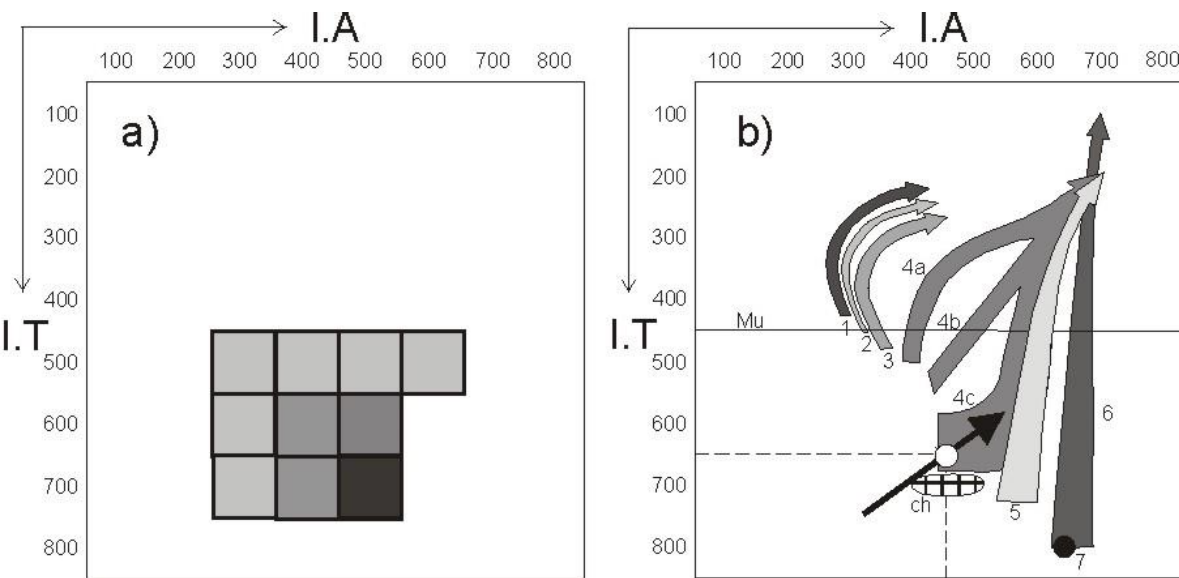
- Na základě studia opákných minerálů japonských granitoidů vyčlenil Ishihara (1977) magnetitovou a ilmenitovou serii.
- Také Whalen a Chappell (1988) zjistili v australských granitech I-typu asociaci magnetit+ilmenit, zatímco v S-typech asociaci ilmenit+sulfidy.
- Asociaci v S-typech vysvětlují redukčními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



Zirkon

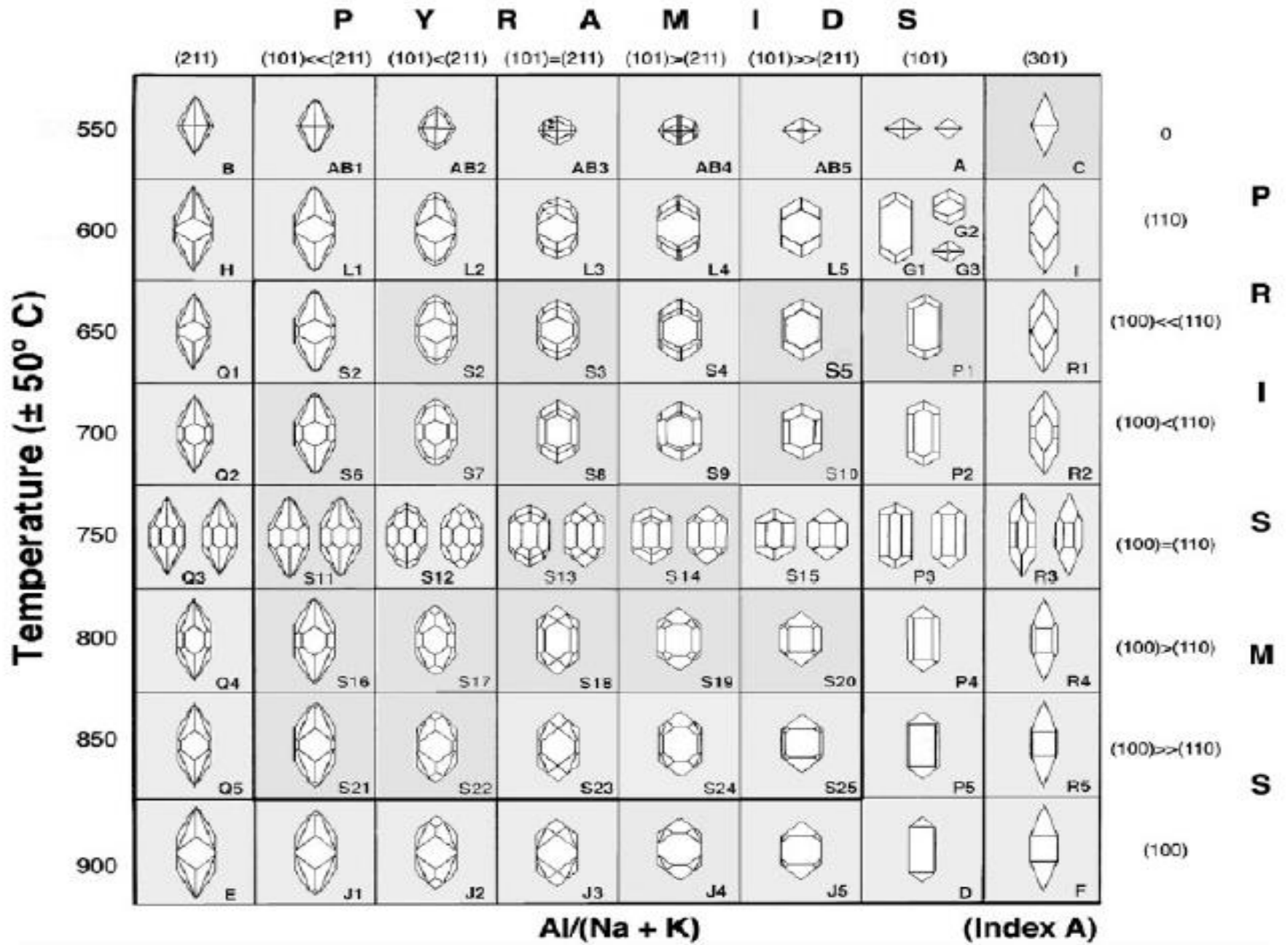
- Typologie zirkonů (Pupin, 1985). Diagram vytvořený tímto autorem umožňuje odhadnout interval teploty krystalizace zirkonu a stupeň alkalinity mateřské taveniny. Navíc na základě tvarové diverzity zirkonu v hornině je možné zařadit tuto horninu do magmatické suity. V diagramu je vyčleněno několik hlavních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

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

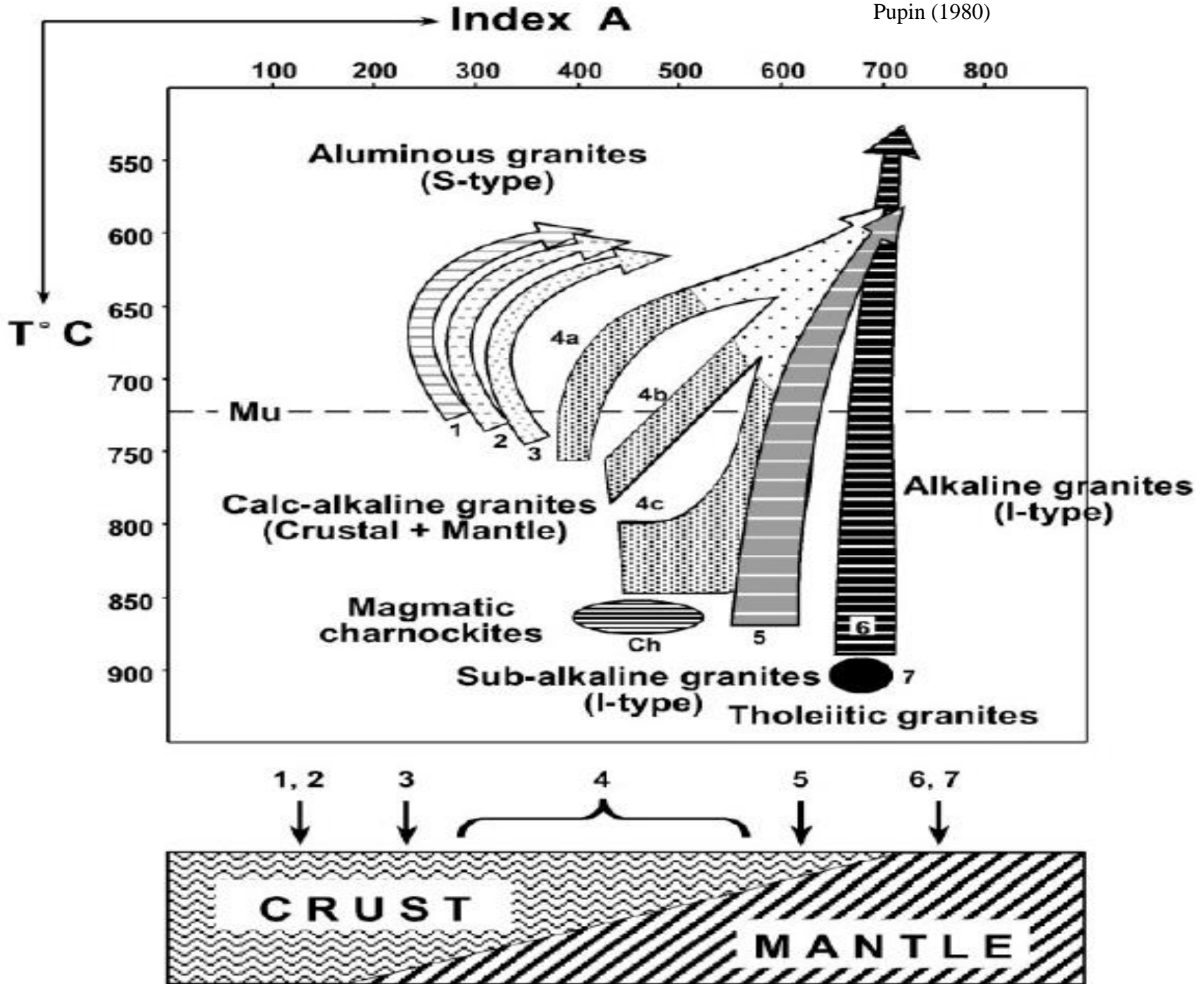


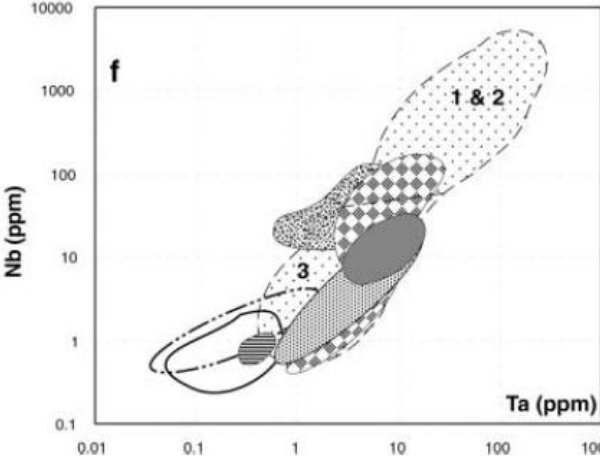
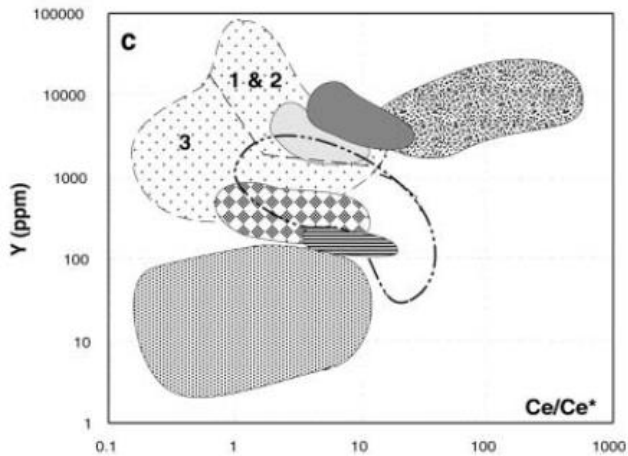
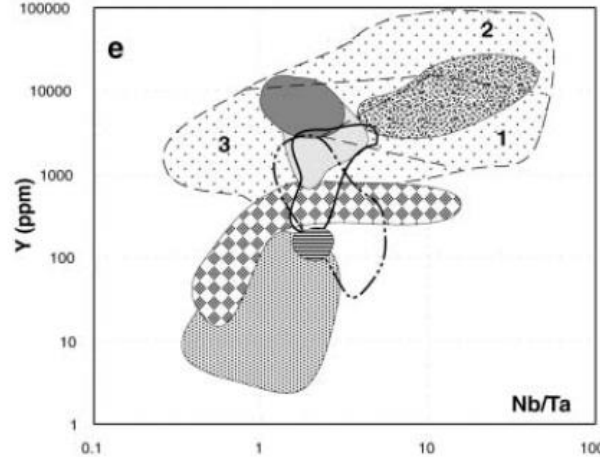
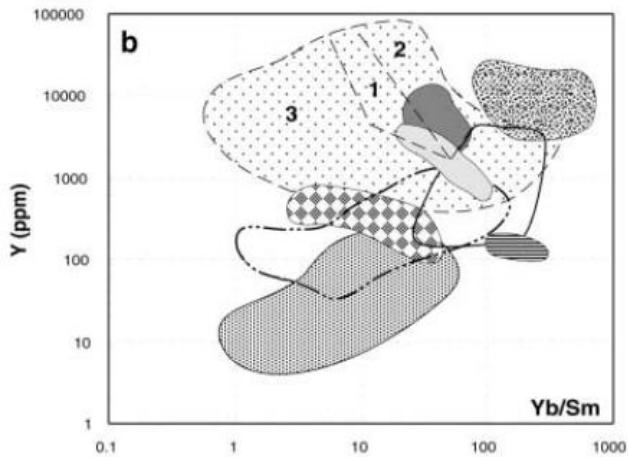
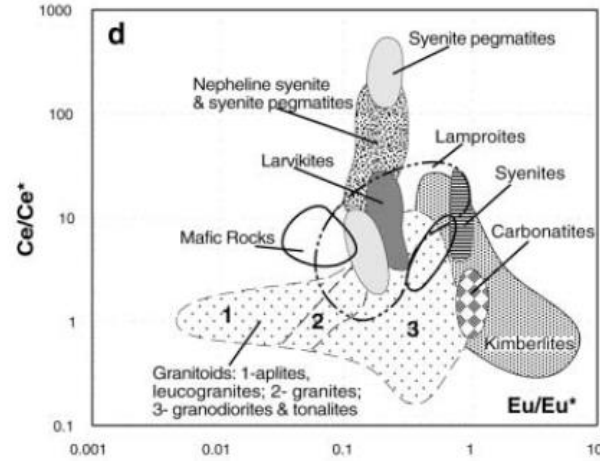
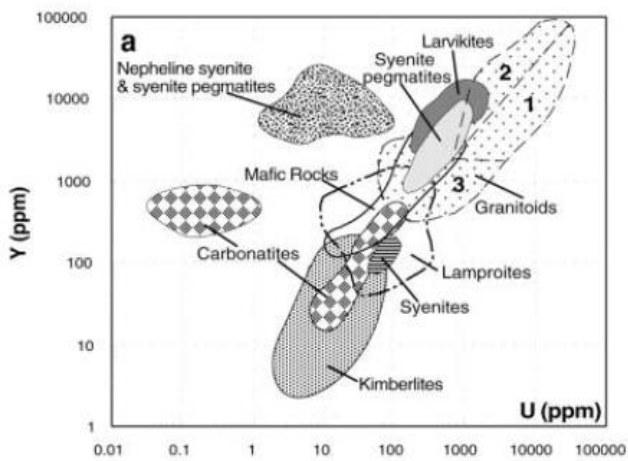
a) Četnost zirkonů (vzrůstá se sytostí); b) T.E.T. je označen šipkou. Bílé kolečko představuje tzv. střední bod zirkonové populace (Dozhaba, 2003).

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).



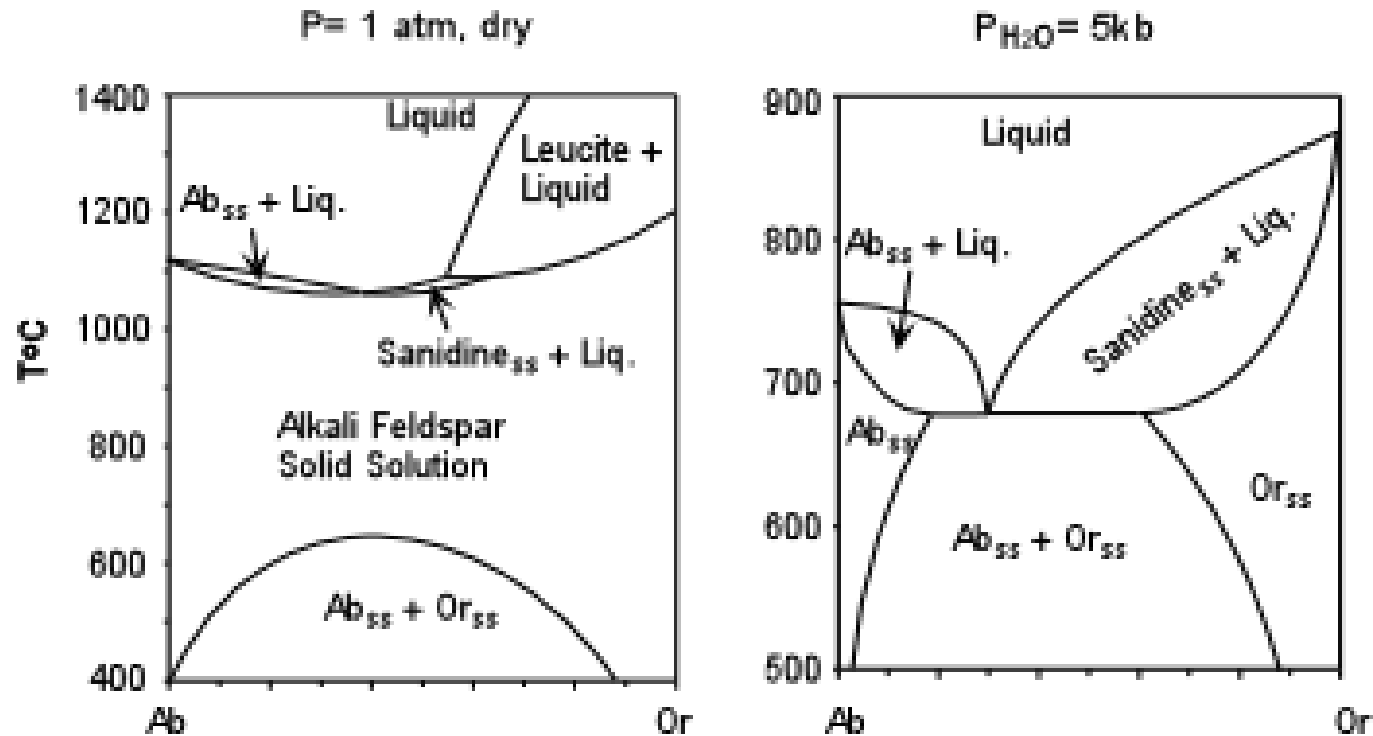
Zircon typological classification and corresponding geothermometric scale proposed by Pupin (1980). Index A reflects the Al/alkali ratio, controlling the development of zircon pyramids, whereas temperature affects the development of different zircon prisms.





- 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 vzniká jeden alkalický živec za vysokých teplot a vyznačuje se úplnou mísivostí. Při chladnutí pak zůstane jeden perthitický draselný živec (*hypersolvus granites*).
- **Subsolvní** (*subsolvus granites*) za vyšších tlaků vznikají na dva minerály (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*)

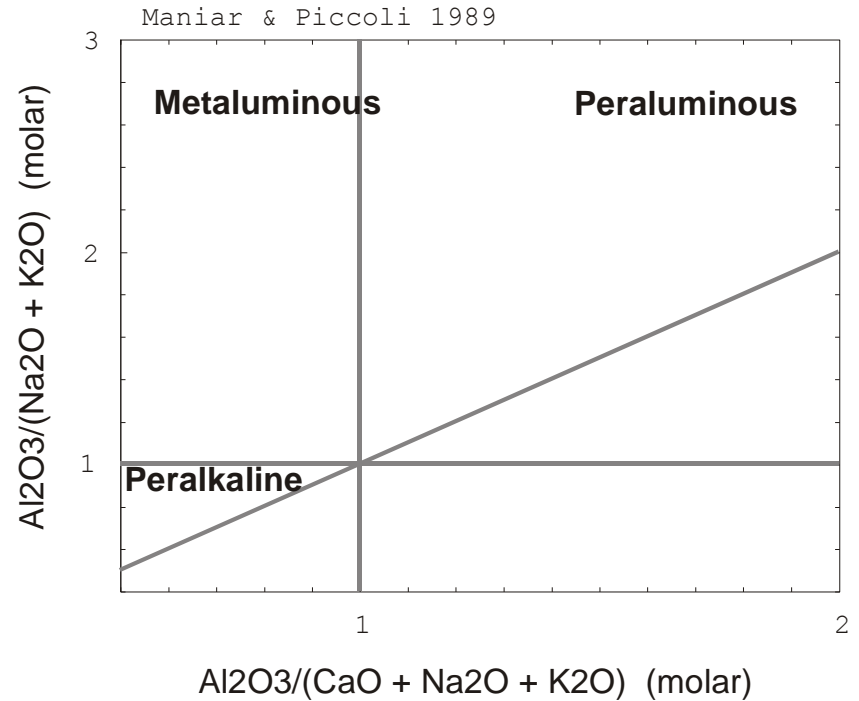
- $Al_2O_3 > (CaO + Na_2O + K_2O)$
- Al_2O_3 bohaté minerály jako muskovit $[KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2]$, korund $[Al_2O_3]$, topaz $[Al_2SiO_4(OH,F)_2]$, nebo $Al_2SiO_5^-$ (kyanit, andalusit nebo sillimanit)

Metaluminické (*metaluminous*)

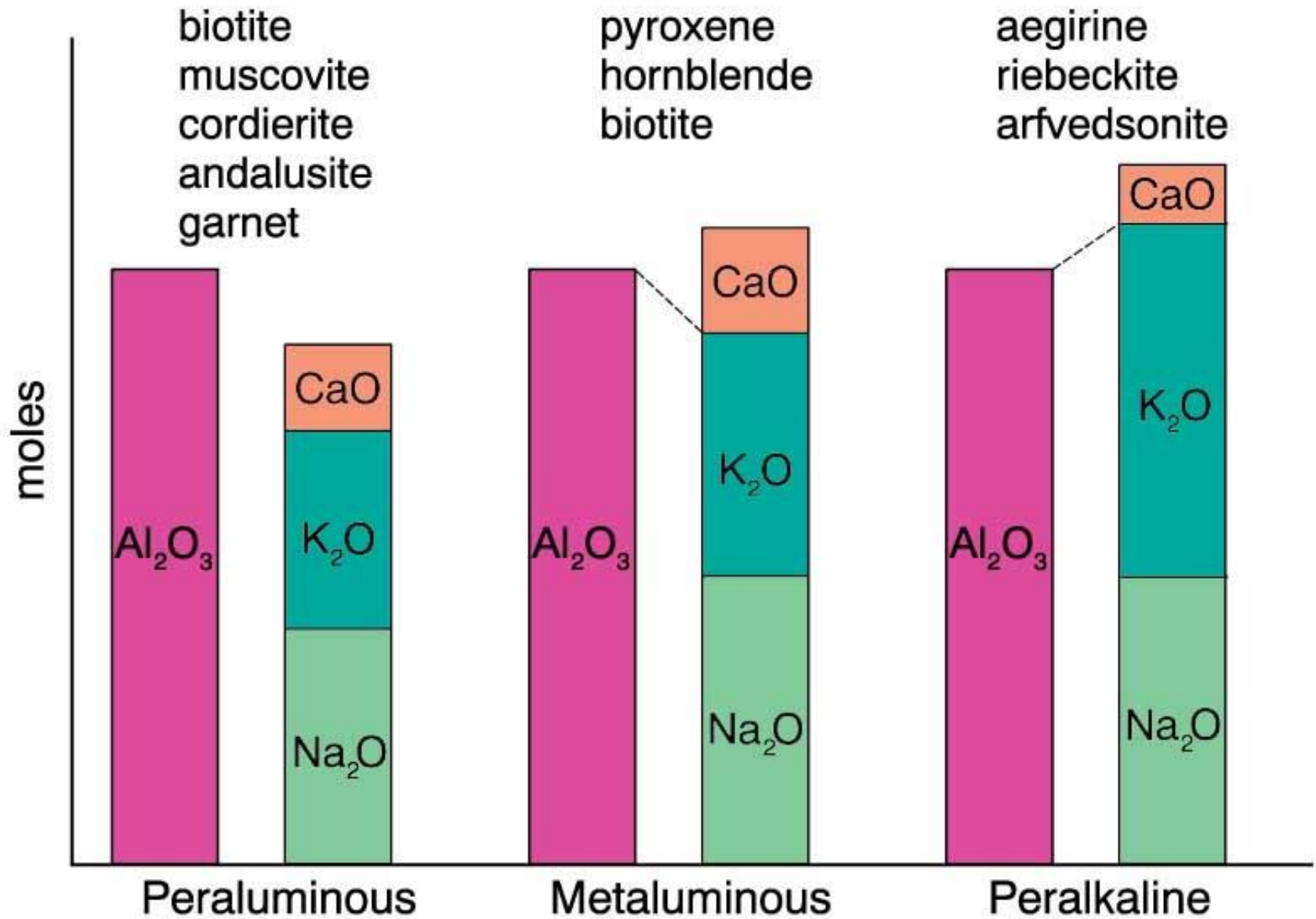
- $Al_2O_3 < (CaO + Na_2O + K_2O)$ a $Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O)$
- tyto granity jsou nejběžnější
- pyroxeny a amfiboly

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 $[Na_3Fe_4^{+2}(Al,Fe^{+3})Si_8O_{22}(OH)_2]$



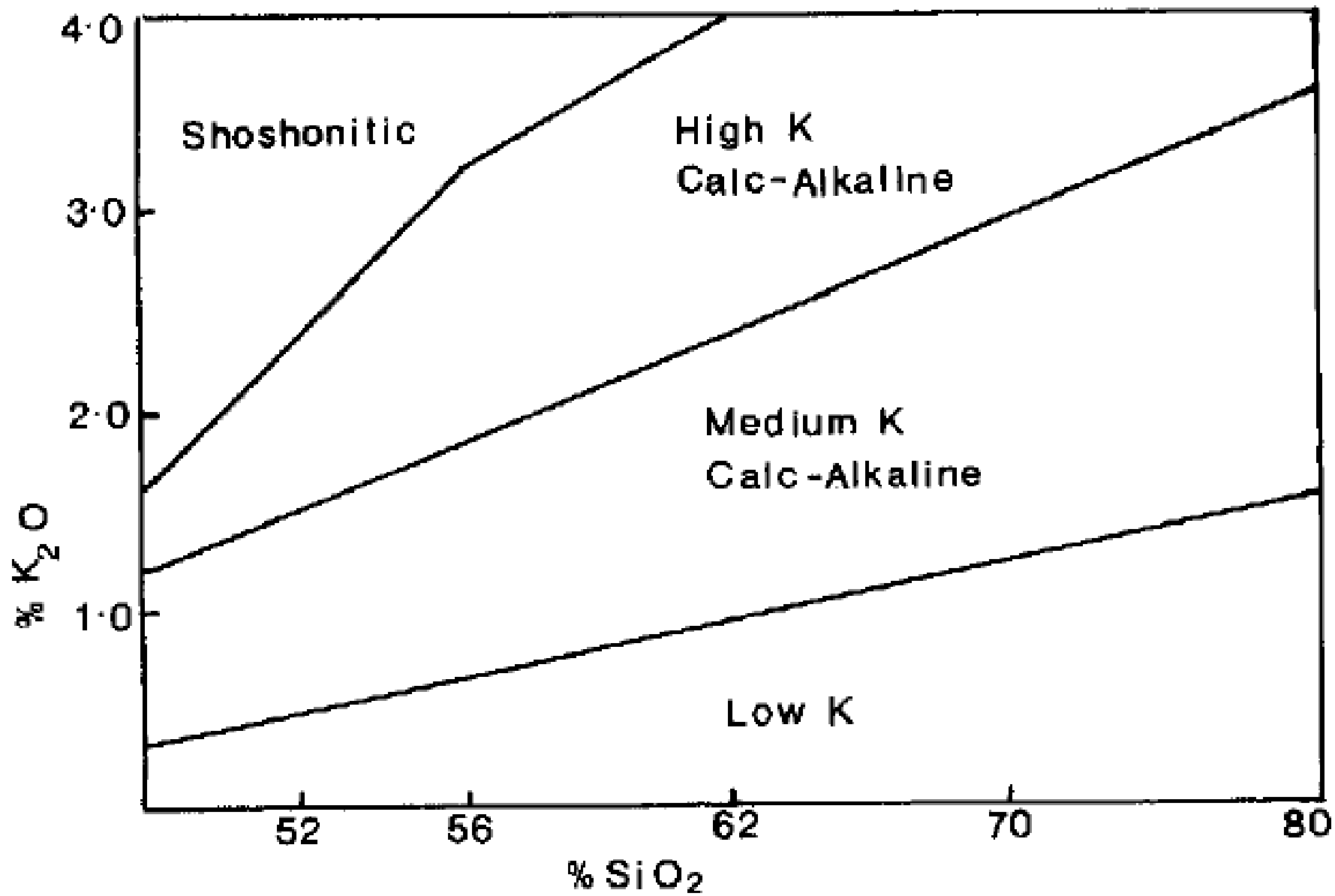
Diskriminační diagram A/NK a A/CNK (Maniar-Piccoli, 1989) založený na rozdělení granitů podle Shanda (1947)



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

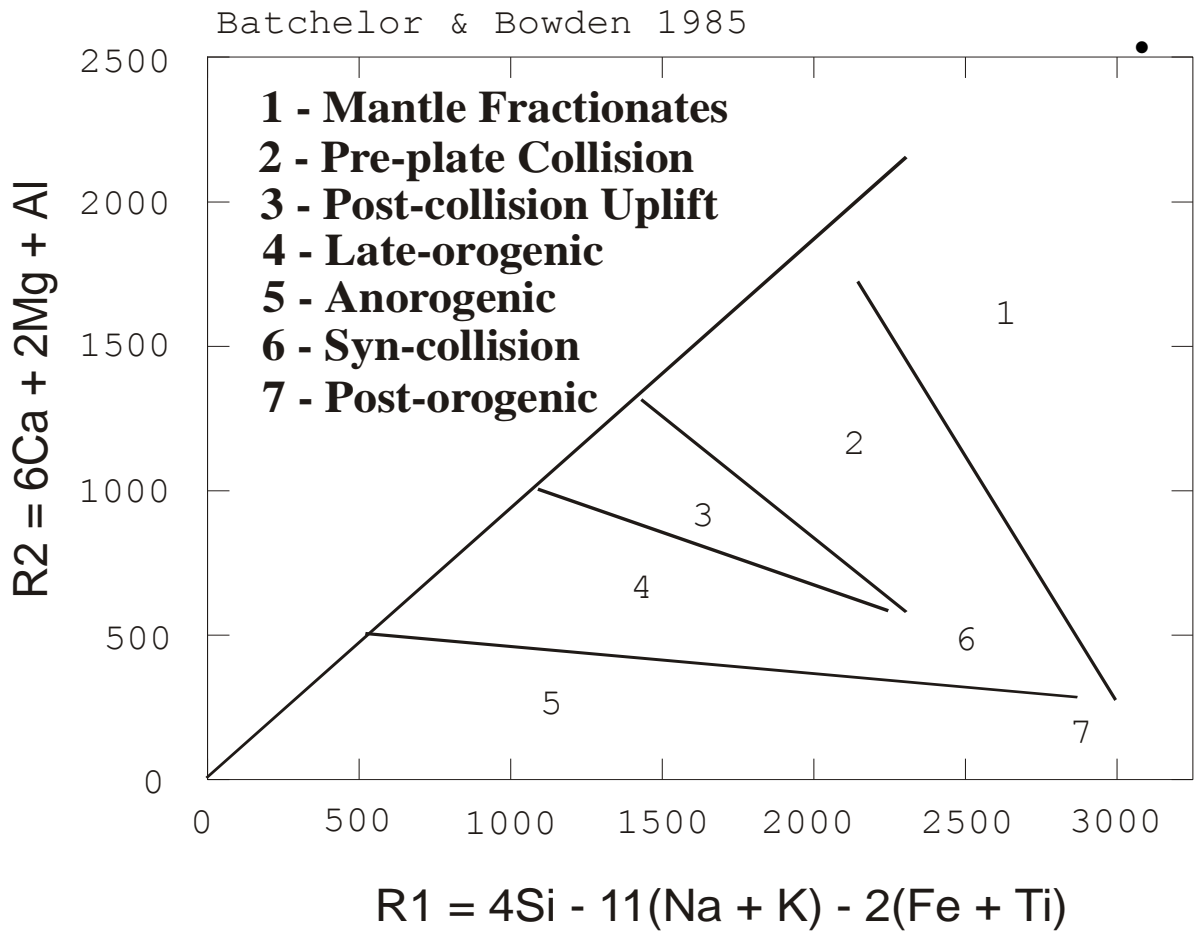
	<i>peraluminická</i>	<i>metaaluminická</i>	<i>peralkalická</i>
definice	A > CNK	CNK > A > NK	A < NK
typické minerály	cordierit, granát, topaz, turmalín, spinel, korund	pyroxeny, cumingtonit, amfibol, epidot	fayalitický olivín, egirín, arfvedsonit, riebeckit
další běžné minerály	biotit, muskovit	biotit, 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)



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

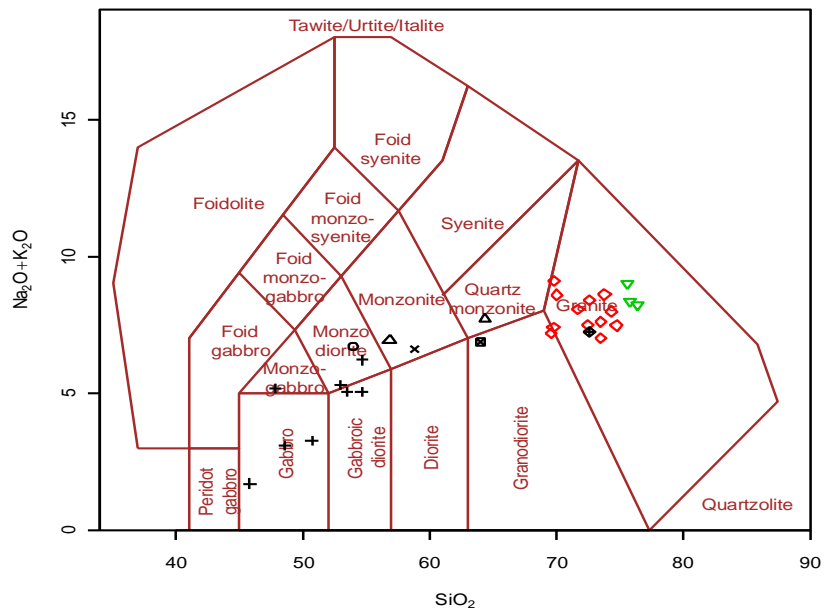
- Na poměru hlavních prvků spočívá princip klasifikace Debona a Le-Fora (1983).
- Autoři na základě parametrů, použitých La Roche (1978) A, B, F.
- $A = Al - (K + Na + 2Ca)$,
- $B = Fe + Mg + Ti$,
- $F = 555 - (Q - B)$,
- $Q = Si/3 - (K + Na + 2Ca/3)$



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.

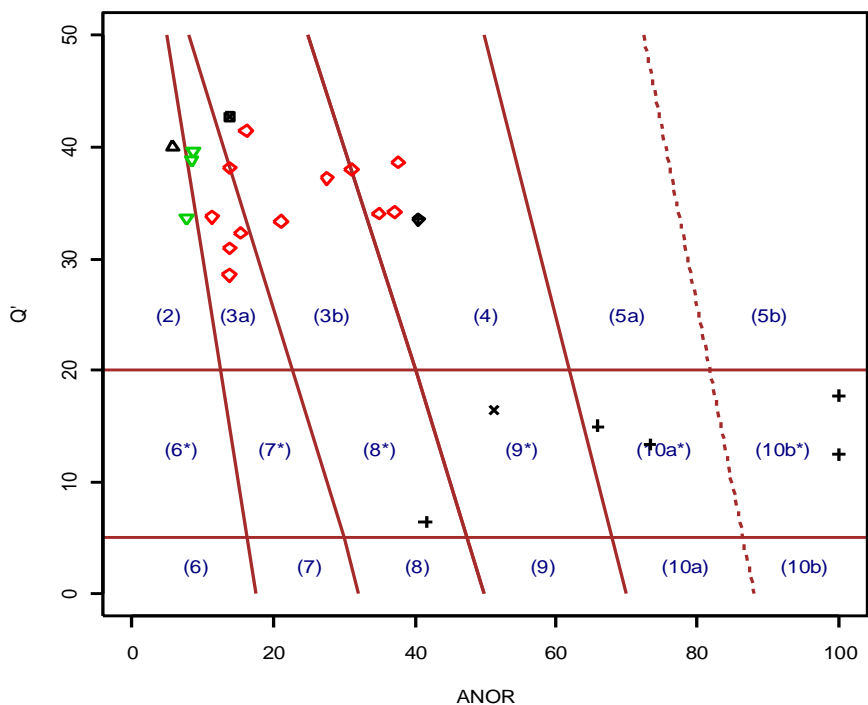
Diskriminační diagram R1-R2 (Batchelor-Bowden, 1985):
 1) plášťové plagiogranity,
 2) předdesková kolize,
 3) postkolizní výzdvih,
 4) pozdně orogenní,
 5) anorogenní,
 6) synkolizní,
 7) postorogenní.

Middlemost (1985)



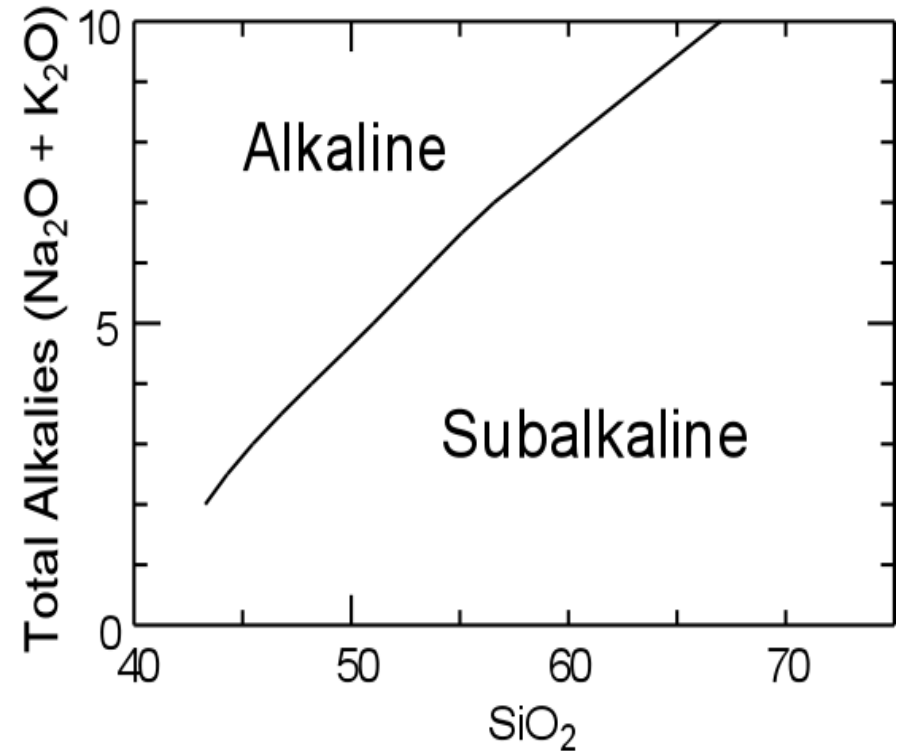
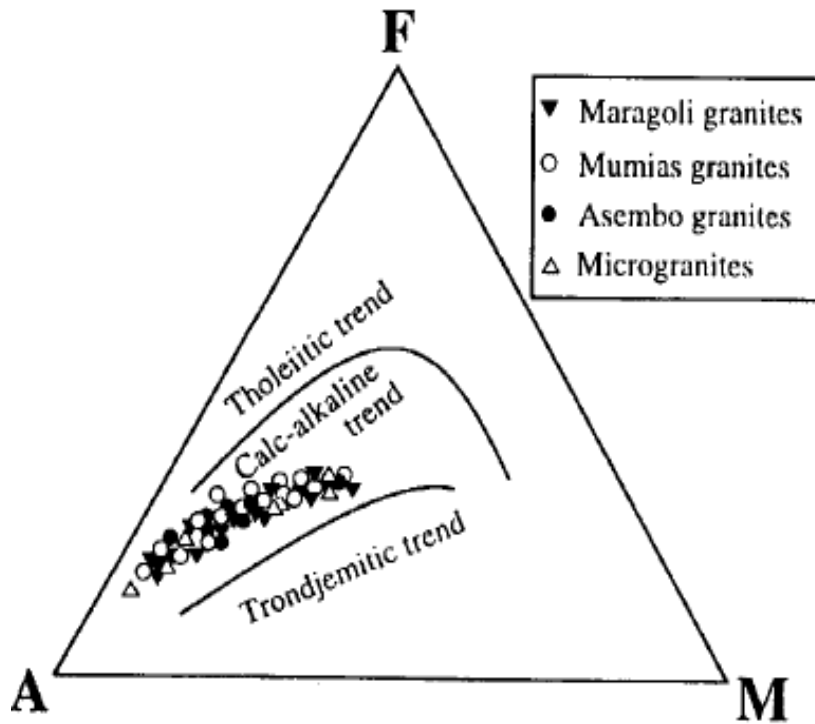
Q'-ANOR diagram (Streckeisen & Le Maitre 1979)

- 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



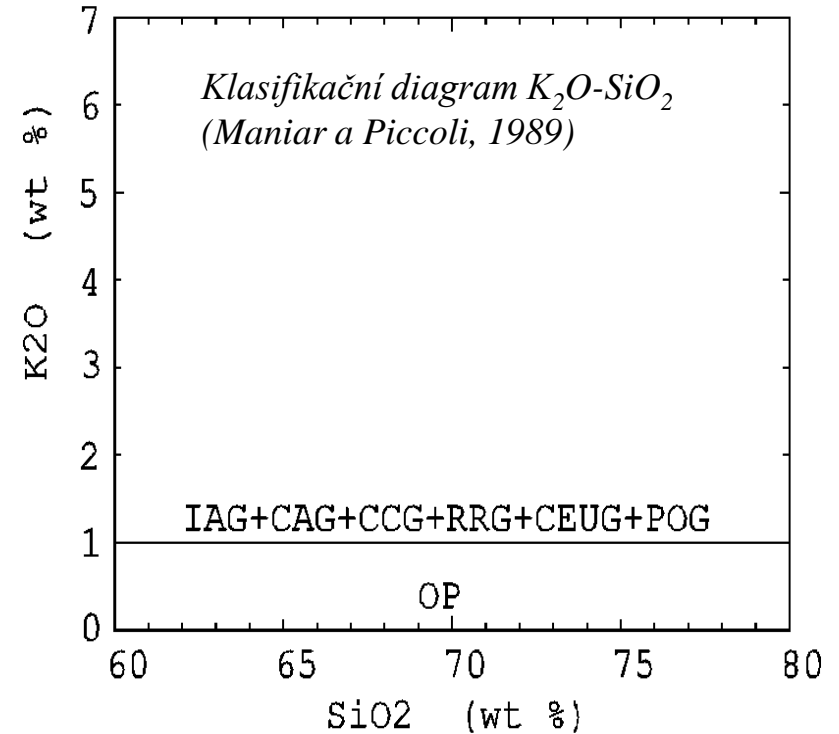
- Základní dělení je na vyvřeliny alkalické a subalkalické série
- Subalkalické se dělí na sérii tholeiitické nebo sérii alkalickovápenaté.
- Tholeiity a alkalickovápenatoalkalcké vyvřelin jsou dobře oddělitelné v diagramu AFM.

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 granity)
- OTG (nefrakcionované S, I a M-typy)

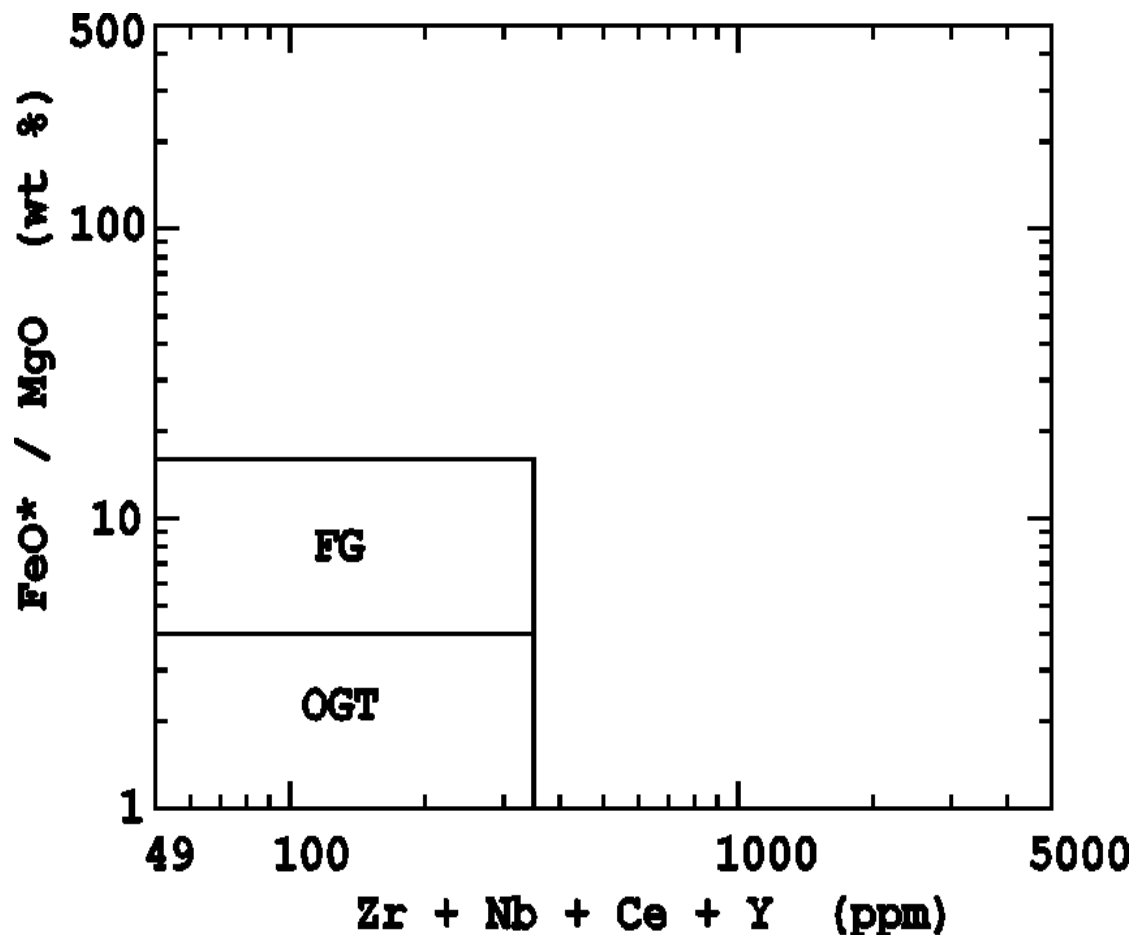


Diagram pro odlišení FG a OTG granitů (Whalen et al., 1987)

- 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).

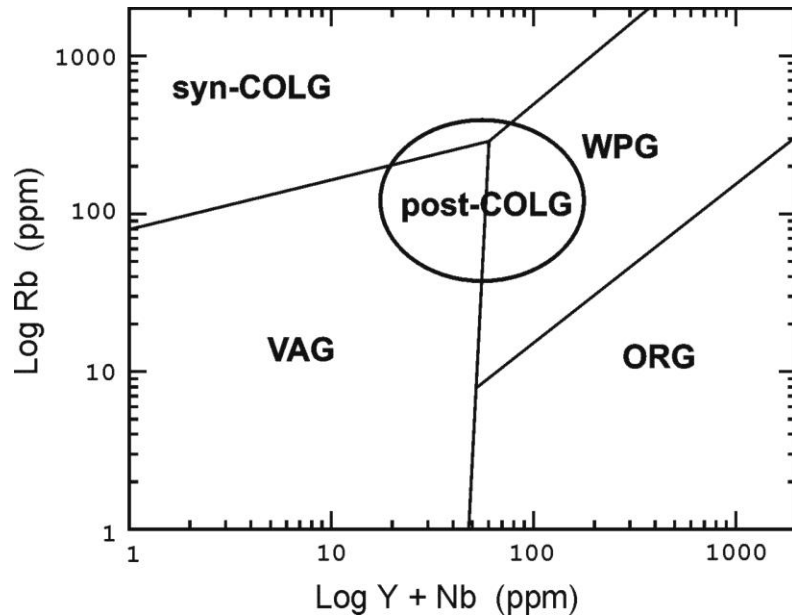


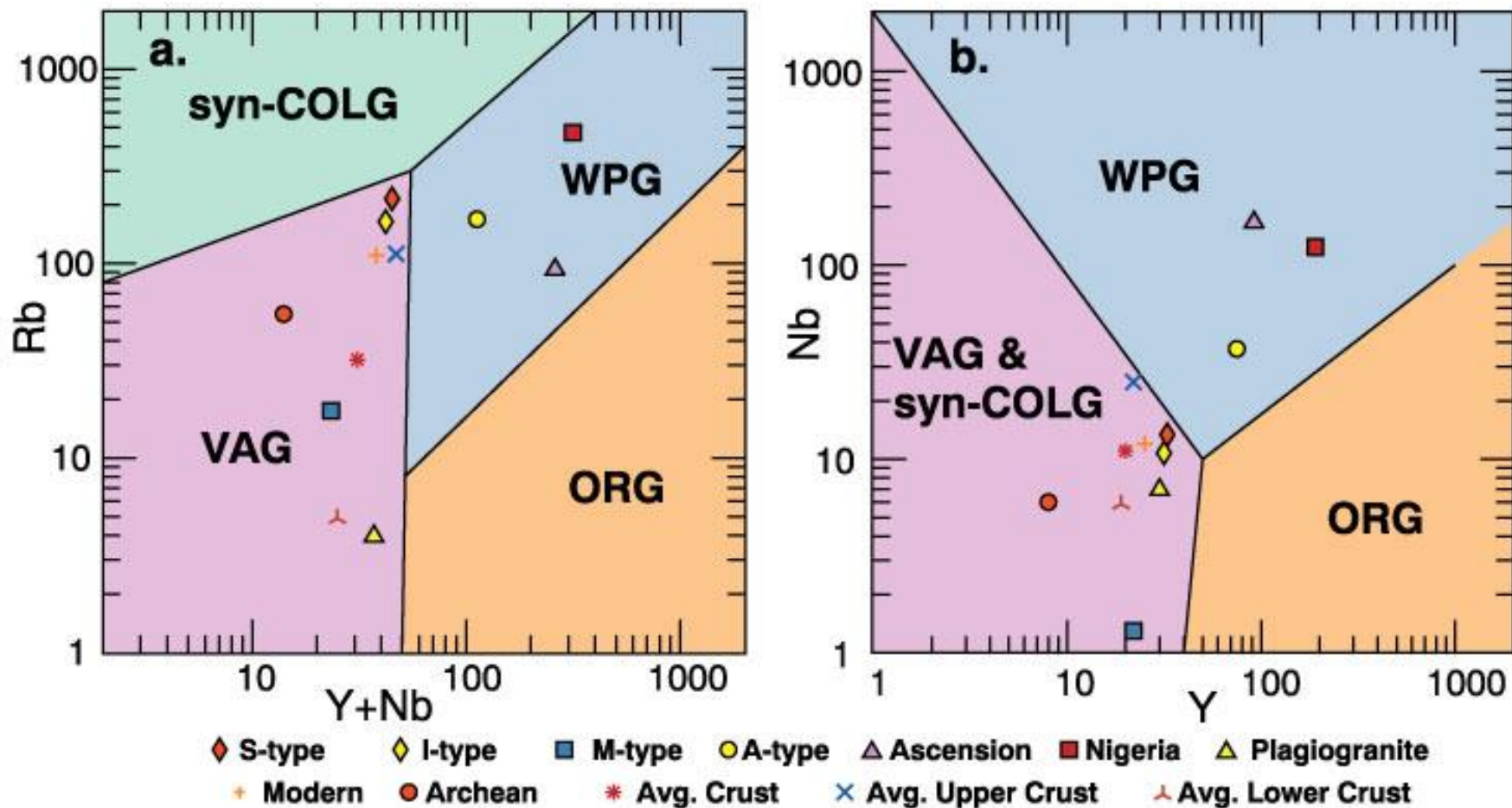
Diagram Rb-(Y+Nb) Pearce (1996)

V diagramech byly vyčleněny tyto typy granitů:

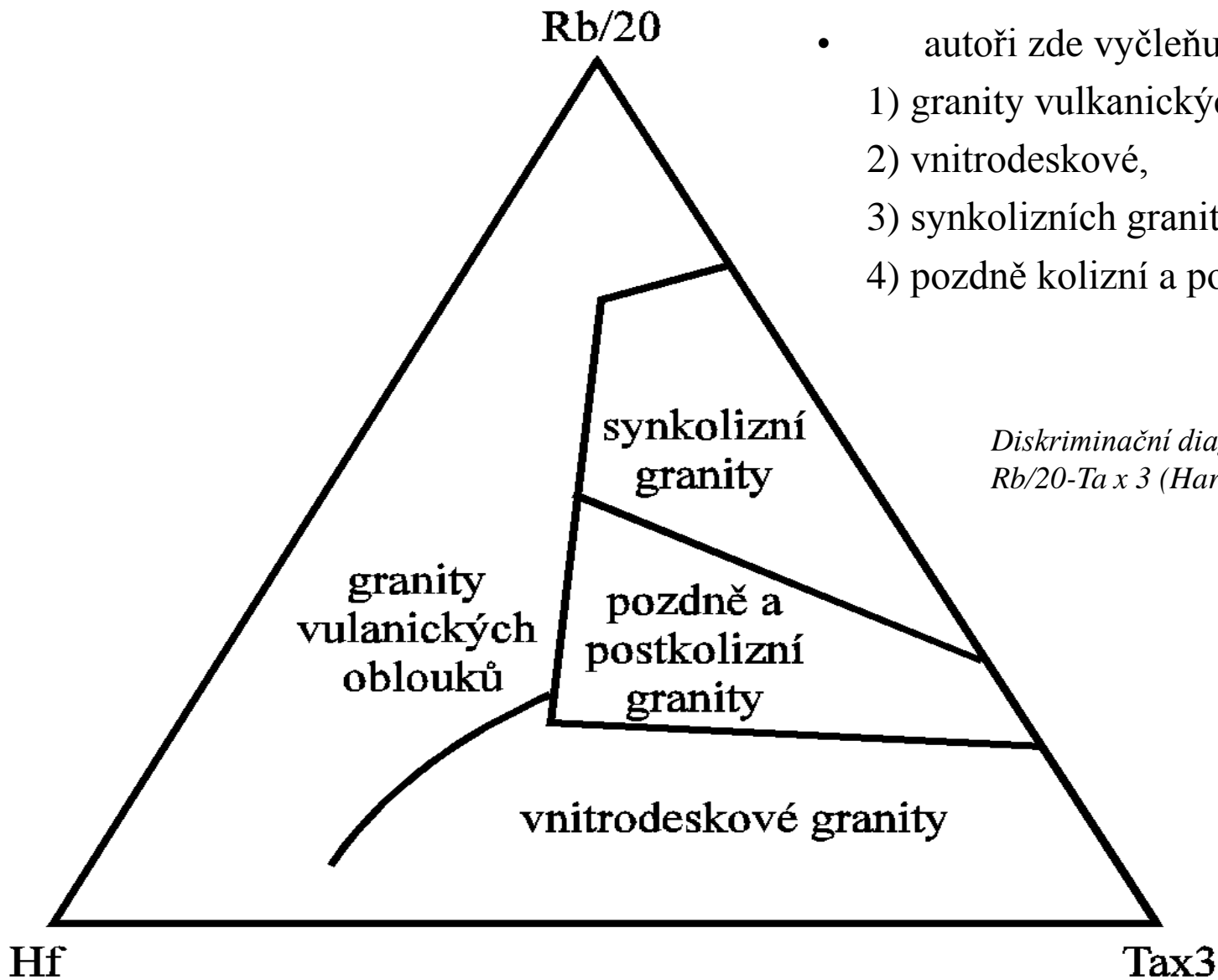
1. ORG-granity oceánských hřbetů
2. WPG-granity vnitrodeskové
3. VAG-granity ostrovních oblouků
4. COLG-kolizní granity
5. Post-COLG-postkolizní granity

- 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 zkratk

- 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

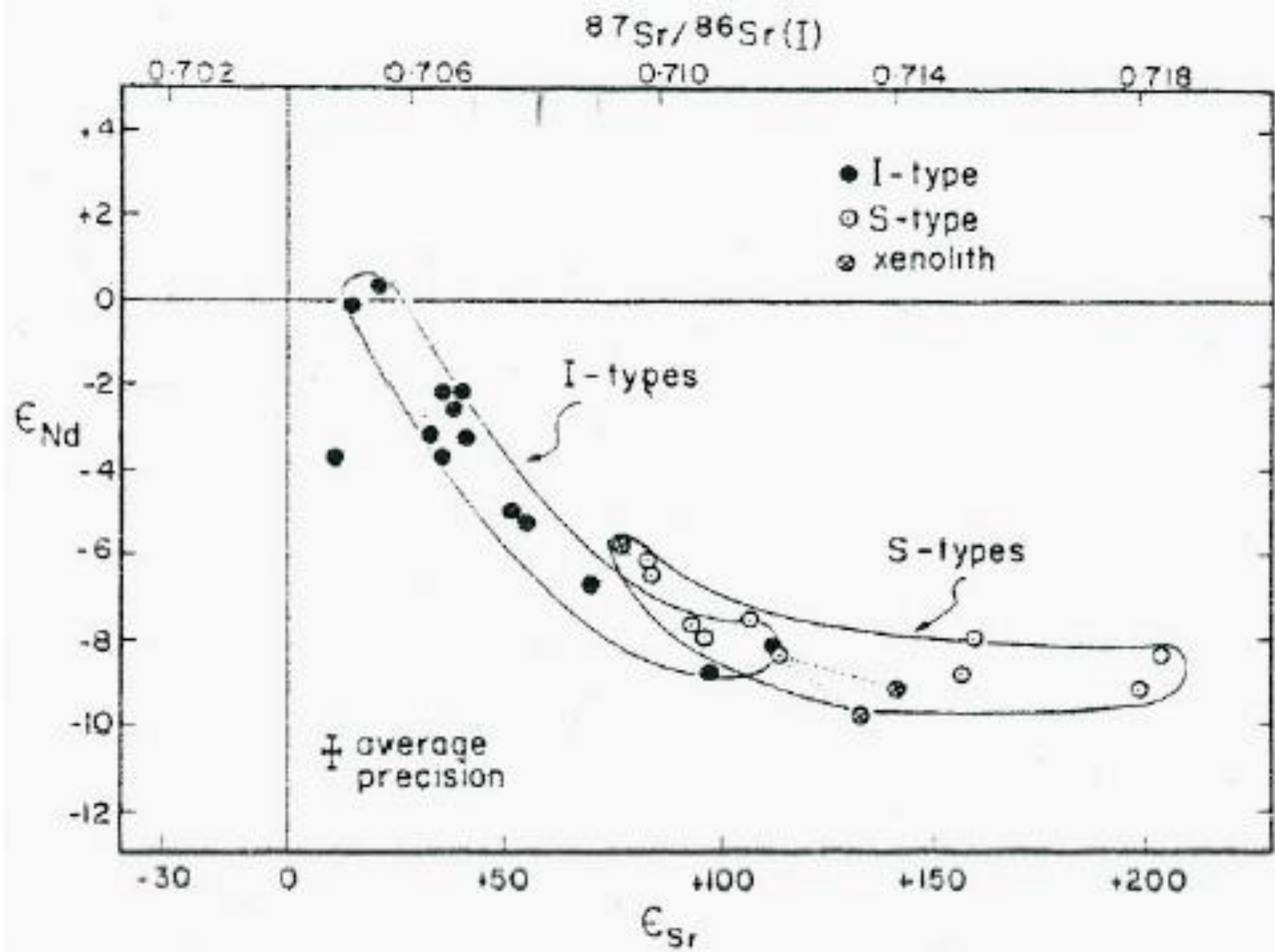
D. Klasifikace spojující více kritérií

- 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

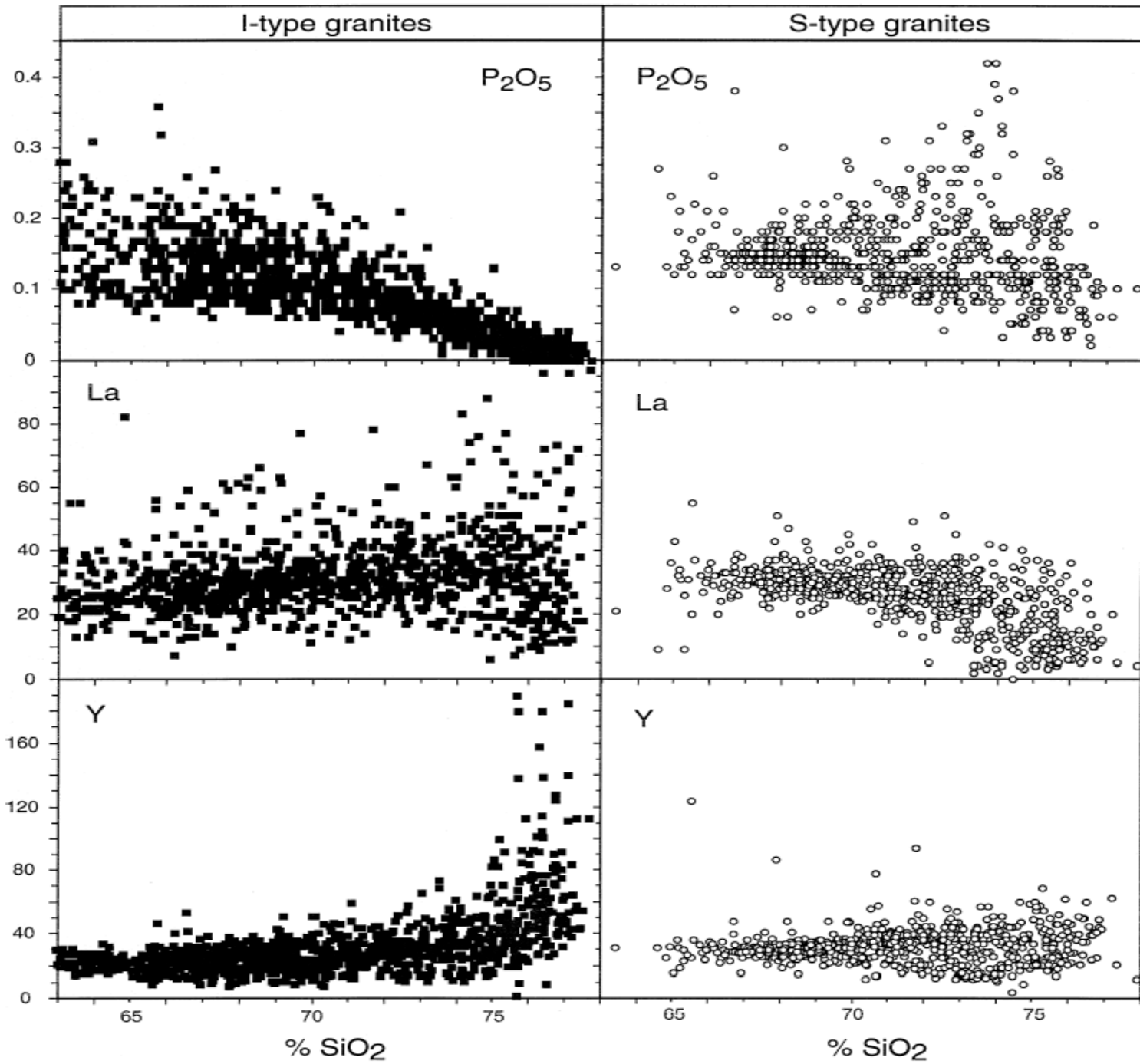
Type	SiO ₂	K ₂ O/Na ₂ O	Ca, Sr	A/(C+N+K)*	Fe ³⁺ /Fe ²⁺	Cr, Ni	δ ¹⁸ O	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Misc	Petrogenesis
M	46-70%	low	high	low	low	low	< 9‰	< 0.705	Low Rb, Th, U Low LIL and HFS	Subduction zone or ocean-intraplate Mantle-derived
I	53-76%	low	high in mafic rocks	low: metaluminous to peraluminous	moderate	low	< 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)

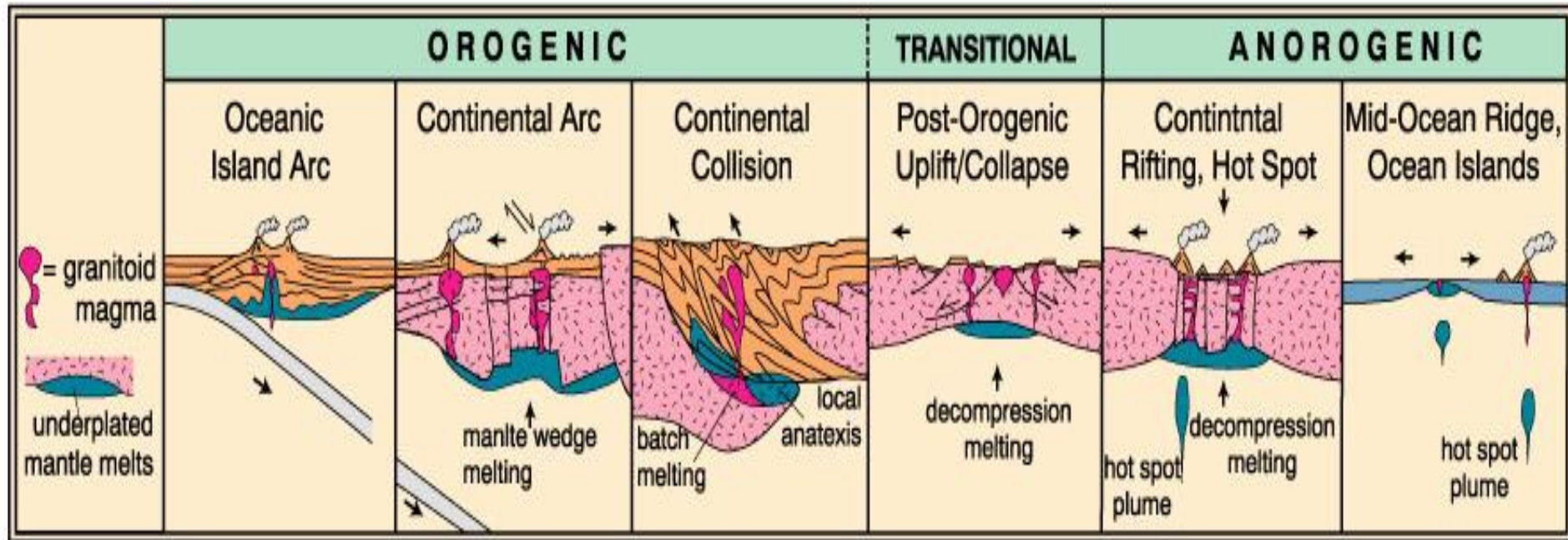


Sr a Nd isotopické složení I- a S-typových granitů Lachlan Fold Belt, rozdíly vychází z rozdílných zdrojových hornin (McCulloch a Chappell 1982) *Earth Planet Sci Lett* 58, 51-64.



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.

