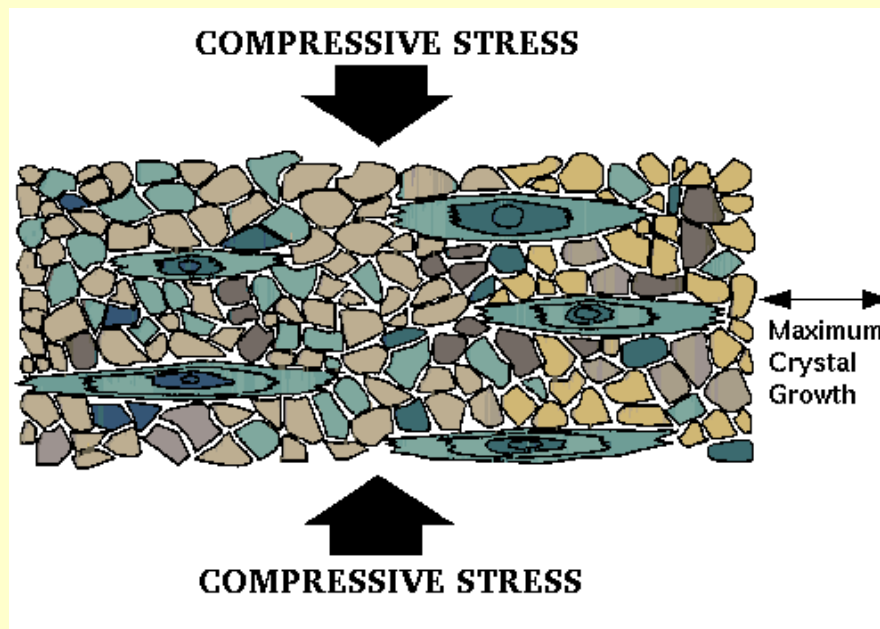


Petrologie G3021

1. Úvod do metamorfních procesů



1. Úvod do metamorfních procesů

Osnova:

- Horniny - odraz geologických procesů
- Přeměny při metamorfóze
- Hlavní činitelé metamorfózy
- Typy metamorfózy
- Stavební znaky typické pro jednotlivé typy metamorfóz

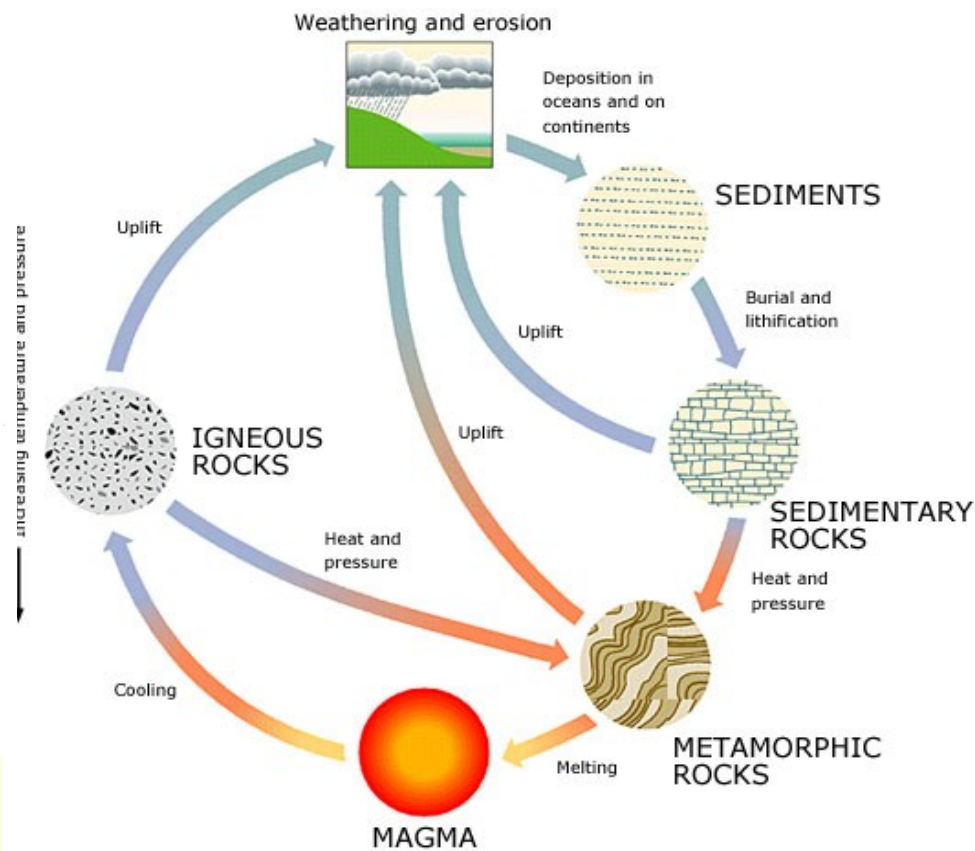
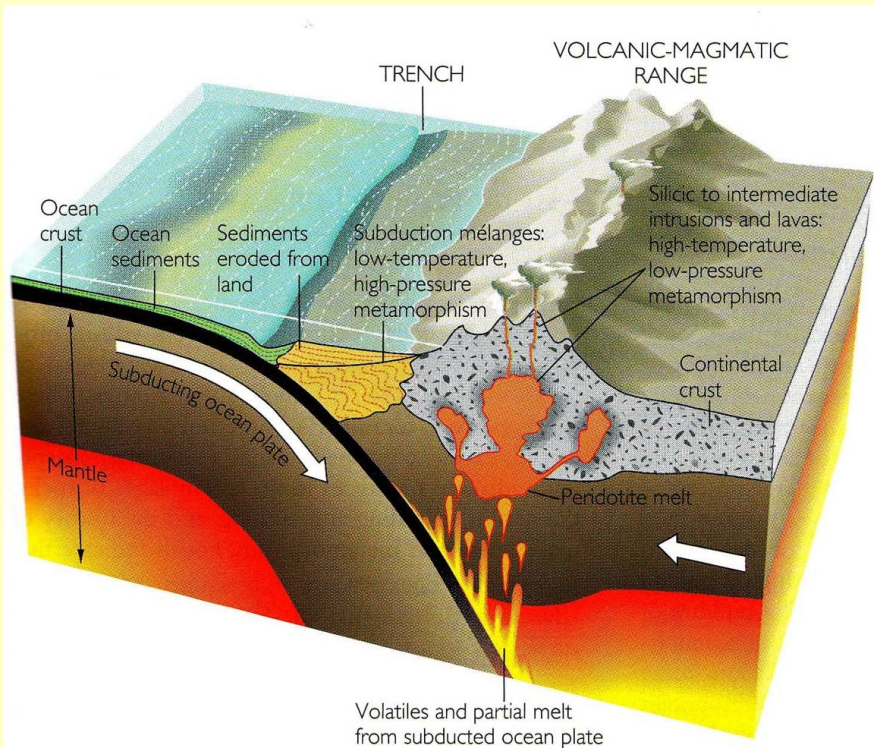


Horniny - odraz geologických procesů

➤ sedimentární horniny = větrání+eroze, uložení, pohřbení a litifikace

➤ **metamorfované horniny = vyšší P a T, rekrystalizace minerálů v pevném stavu**

➤ magmatické horniny = tavení hornin v kůře/svr. plášti – krystalizace z taveniny



Horninový cyklus (Hutton 1785, 1795)

hornina - odráží **geologické procesy**

- chemické složení
- minerály
- struktura

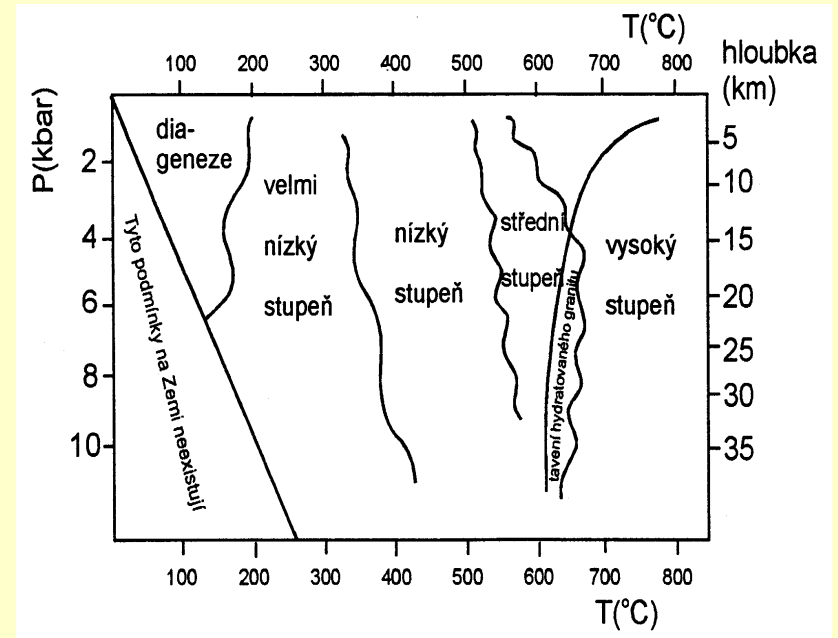
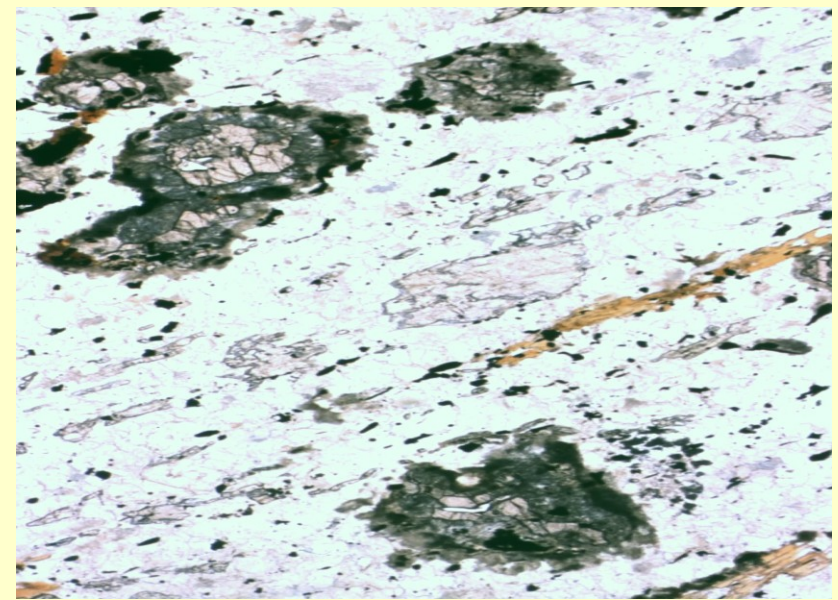
metamorfóza z řec. slova „metamorphosis“ (přeměna)

Hranice:

diagenese (asi 200 °C)



tavení (asi 650 °C – 1100 °C)



Schematický PT diagram s vyznačením polí pro různý stupeň metamorfózy (Konopásek et al. 1998).

METAMORFÓZA

- postihuje horniny sedimentární, vyvřelé či již přeměněné
- k přeměnám dochází v důsledku změny fyzikálních podmínek (teplota, tlak atd.)
- hornina se přizpůsobuje novým fyzikálně-chemickým podmínkám
- od zvětrávání a diagenese se liší vyššími T a P a vznikem nových met. minerálů
- horninový materiál zůstává v průběhu metamorfózy v pevném stavu
- tím se liší od magmatických procesů kde je tavenina
- hornina se tedy nezmění na taveninu avšak může docházet k parciálnímu tavení
- při metamorfóze horniny vznikají metamorfní minerály = blastéza



protolit (původní hornina před metamorfózou)



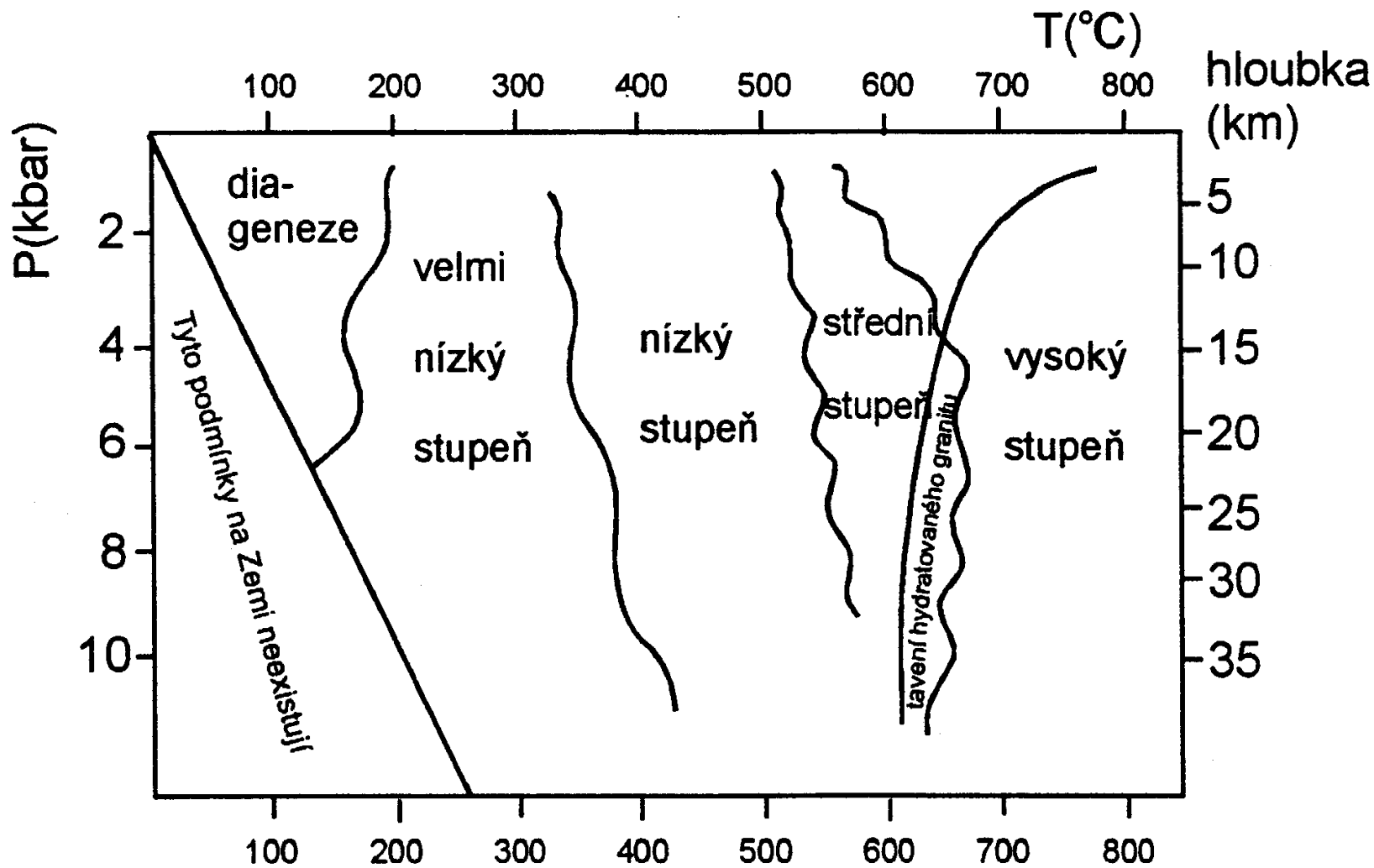


Problém spodní hranice metamorfóz u metapelitů

- kaolinit a smektit vznikají alterací živců v důsledku přínosu H_2O
- tyto jílové minerály tvoří důležitou součást pelitů
- při růstu T se jílové minerály mění na illit ($<100^\circ C$) a při $300^\circ C$ na chlorit a sericit
- vznikají tak fylity







➔ velmi nízký stupeň (200 - 350°C)

➔ nízký stupeň (350 - 550°C)

➔ střední stupeň (550 - 650°C)

➔ vysoký stupeň (nad 650°C)

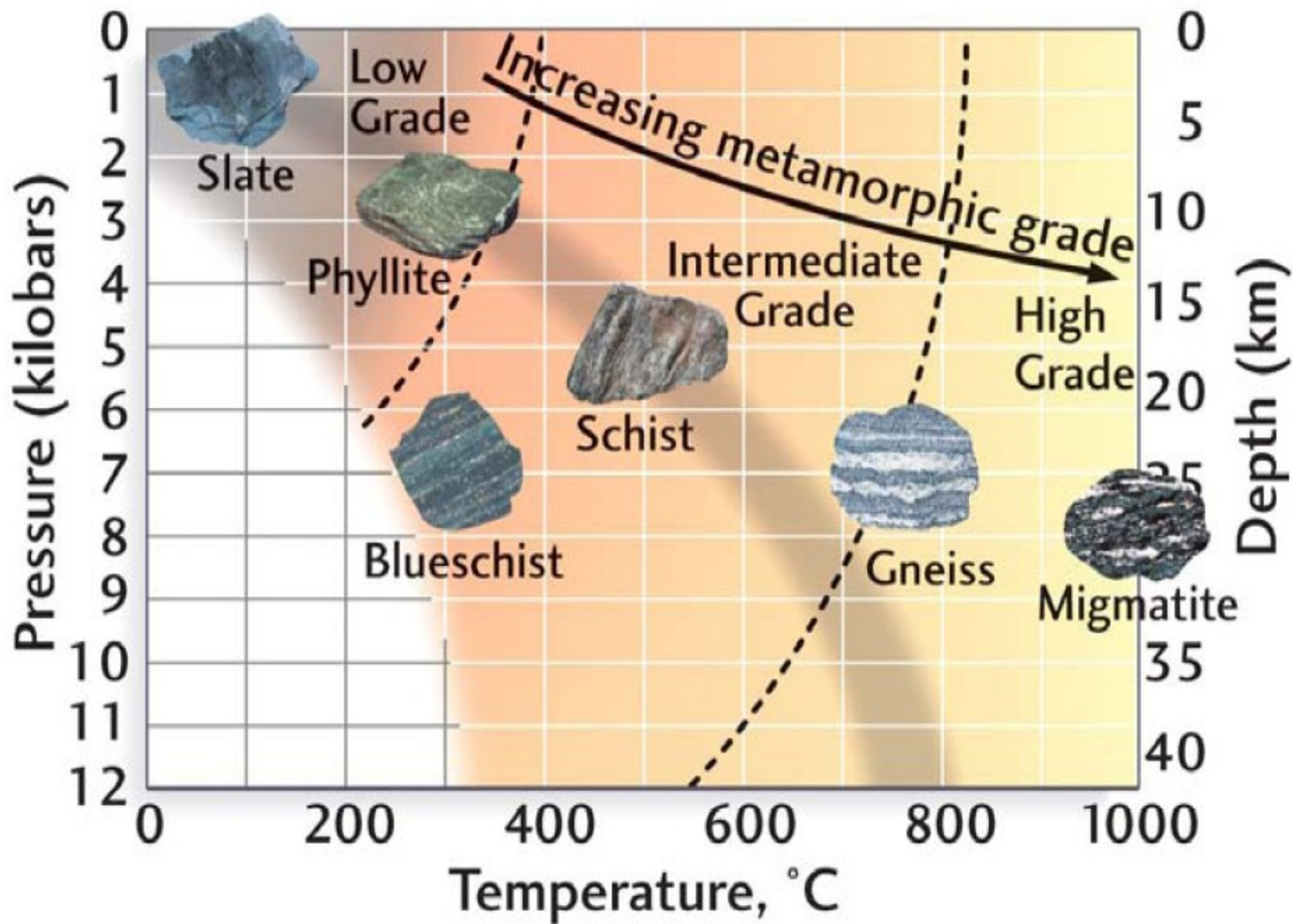
The IUGS-SCMR has proposed the following definition of metamorphism:

Metamorphism is a subsolidus process leading to changes in mineralogy and/or texture (for example grain size) and often in chemical composition in a rock.

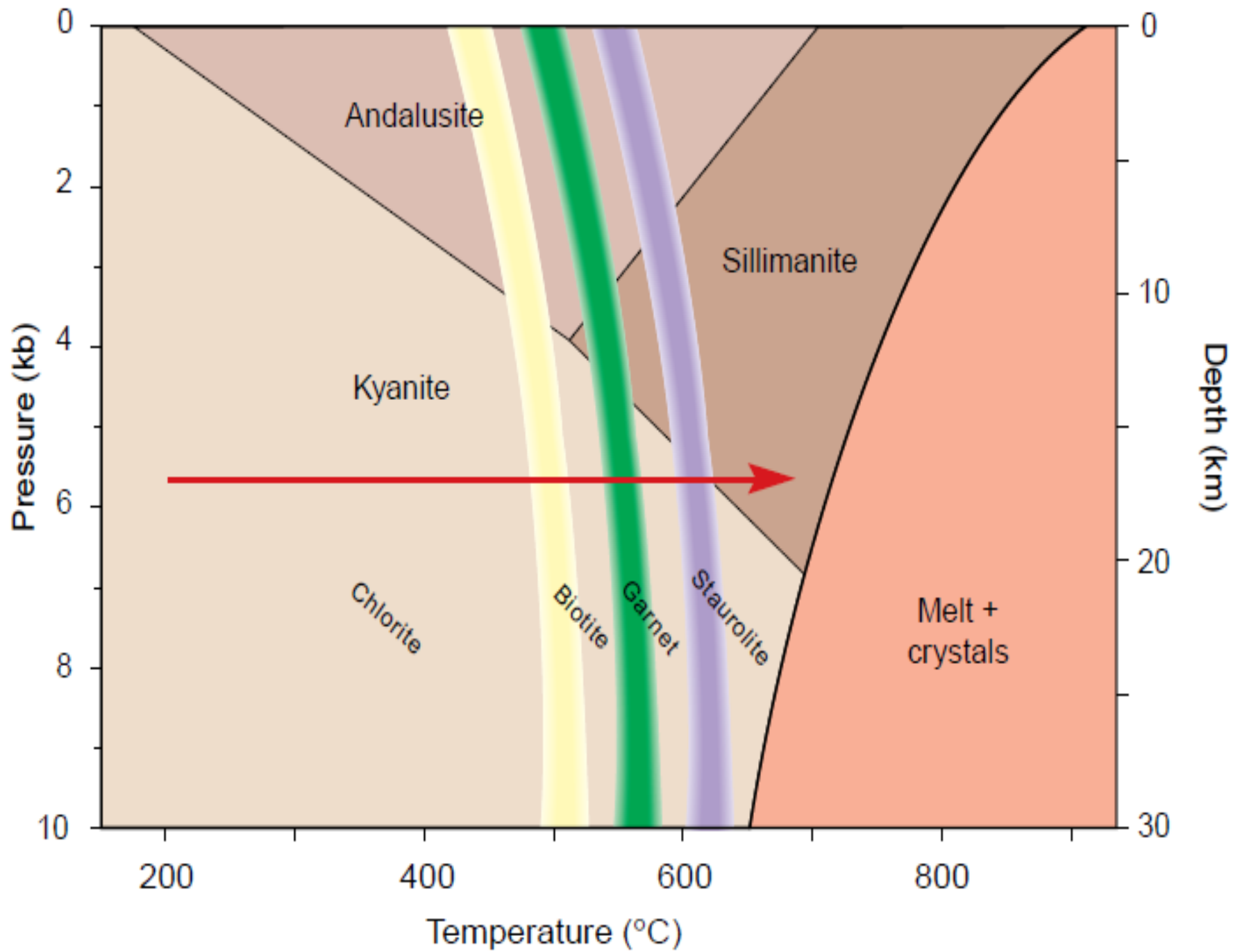
These changes are due to physical and/or chemical conditions that differ from those normally occurring at the surface of planets and in zones of cementation and diagenesis below this surface.

They may coexist with partial melting.

		TEXTURE	ROCK NAME	MINERALS PRESENT	
FOLIATED	fine grained	smooth layers	SLATE	CLAY FAMILY	
		shiny layers	PHYLLITE	CLAY FAMILY	
	coarse grained	micaceous	SCHIST	MICA FAMILY	
		banded	GNEISS	QUARTZ	AUGITE/HORNBLende FAMILY FELDSPAR FAMILY
NONFOLIATED	very fine grained		HORNFELS		
	coars-fine grained	scratches steel	QUARTZITE		
		reaction with HCL	MARBLE		CALCITE
	fibrous-coarse greasy feel		SERPENTINITE		SERPENTINE







Přeměny při metamorfóze

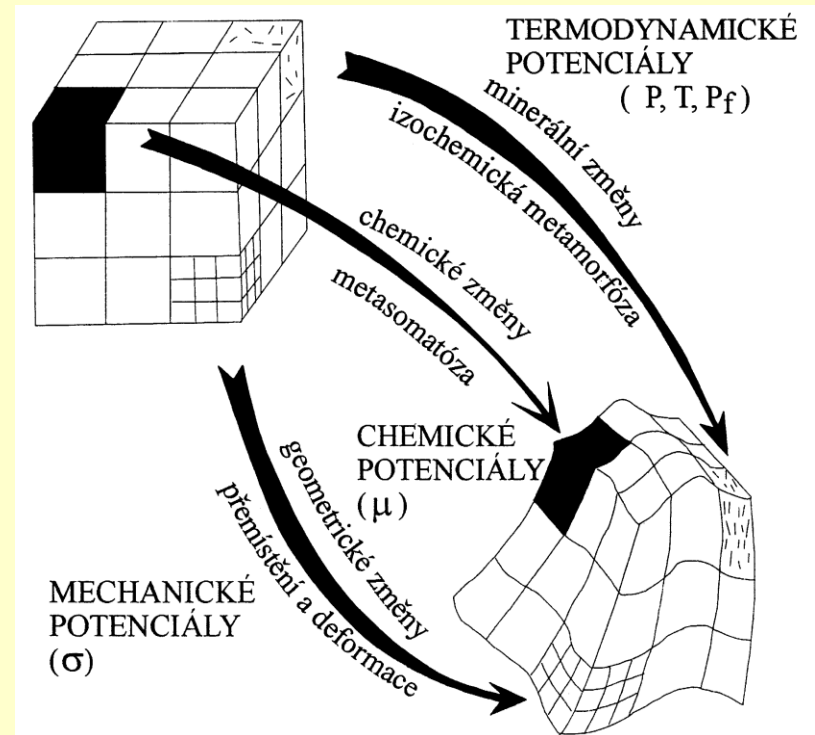
minerály a horniny jsou stabilní jen za podmínek za nichž vznikly

změna podmínek – **přeměna** horniny

→ krystalizace nových minerálů
(chemické reakce – fázové změny)

→ změny v chemismu

→ texturní změny
(velikost zrna, deformace)



Metamorfované horniny na povrchu země mají metastabilní minerální asociace.

➔ krystalizace nových minerálů

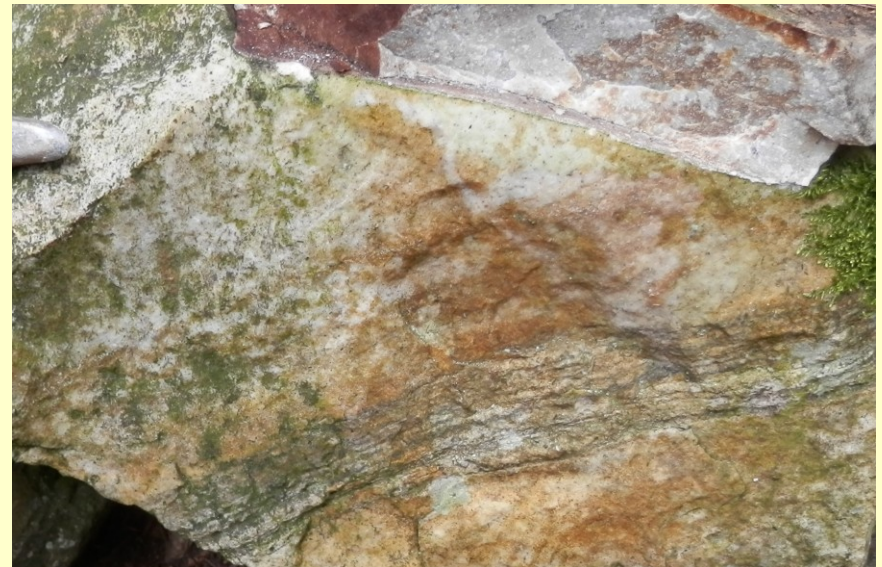
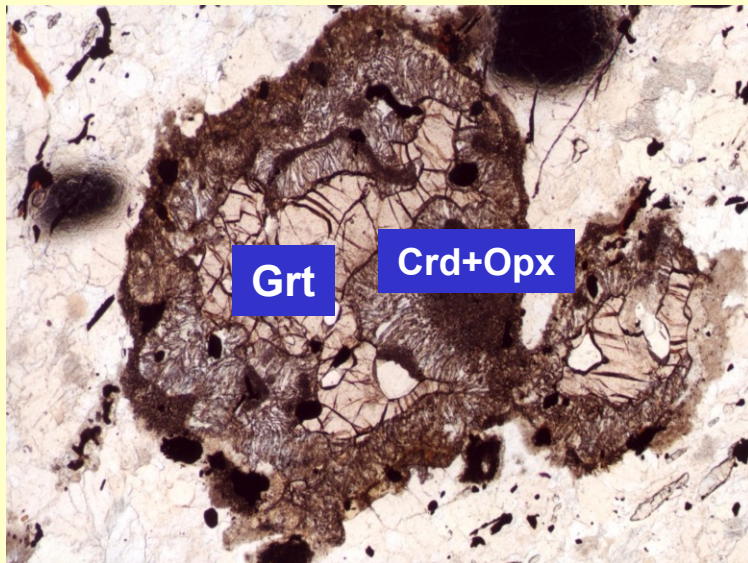
Metamorfnní reakce (fázové změny a chemické reakce):

1) progradní (dehydratační) – $\uparrow T$:

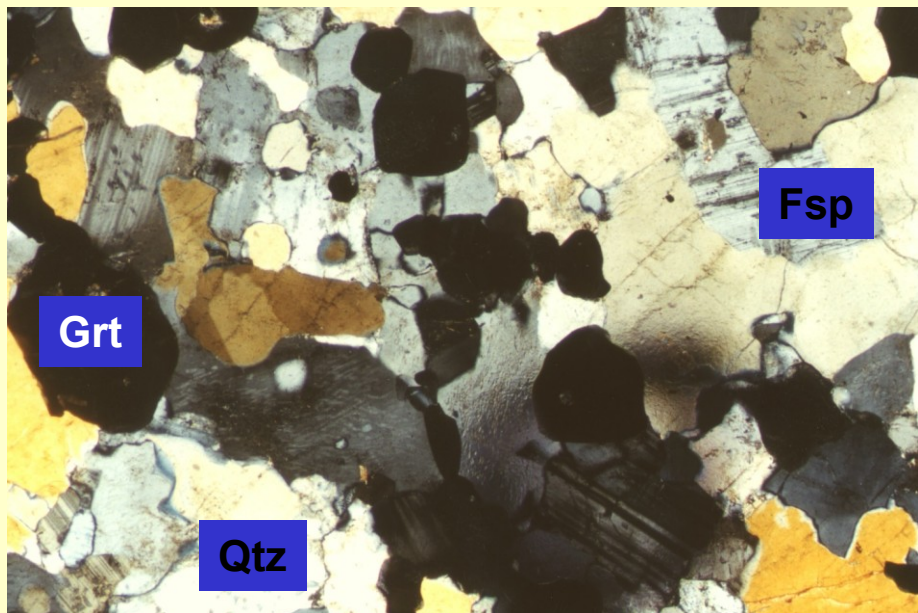
- probíhají snadno a vesměs kompletně (s rostoucí teplotou roste rychlost reakcí),
- často uvolňují vodu – dehydratační

2) retrogradní (hydratační) – $\downarrow T$:

- málokdy proběhnou úplně,
- často konzumují vodu – hydratační
- tam kde není fluidní fáze přítomna nemusí proběhnout vůbec – metastabilní asociace



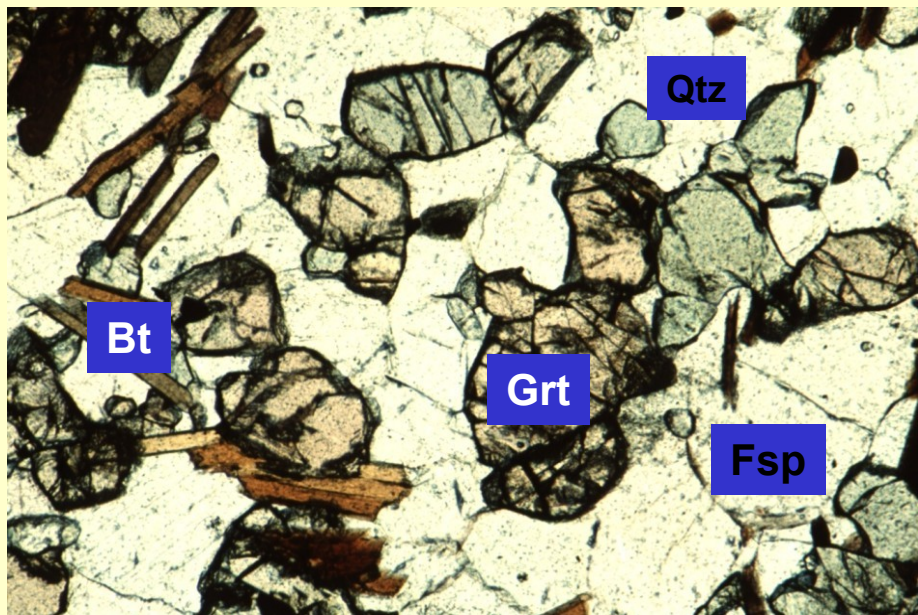
minerální asociace



- minerály vznikly společně
- jsou produktem jedné metamorfózy
- jsou v rovnováze



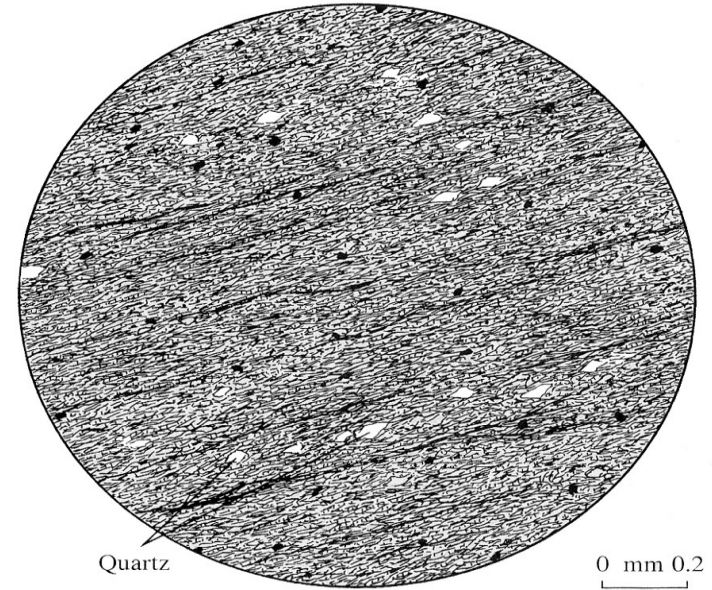
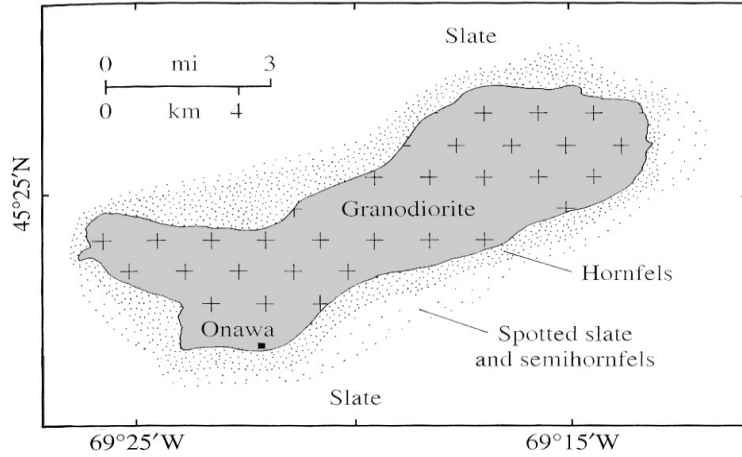
minerální parageneze



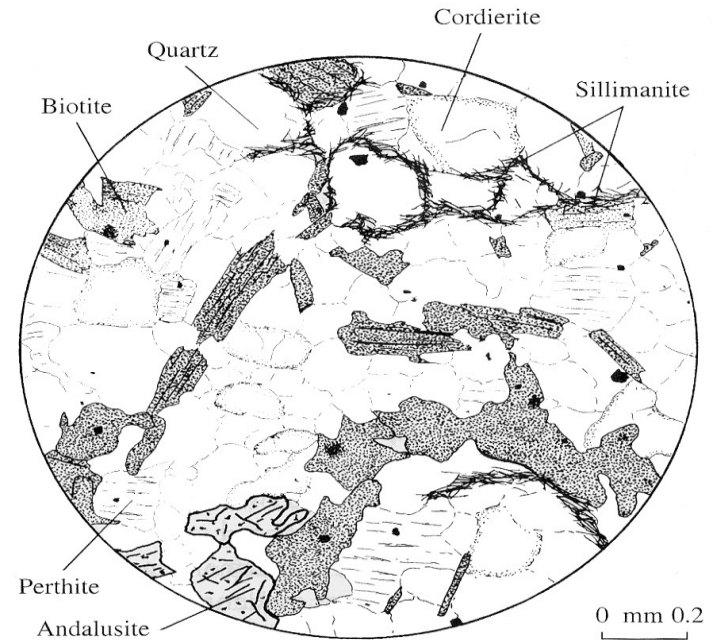
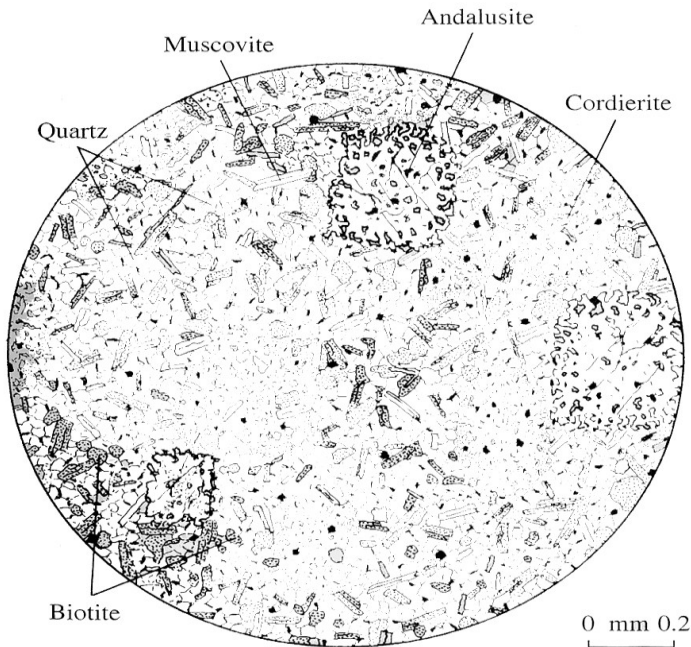
- minerály se vyskytují v hornině společně
- vznikly v různých obdobách vývoje horniny
- granát vs. biotit
- sillimanit vs. andalusit

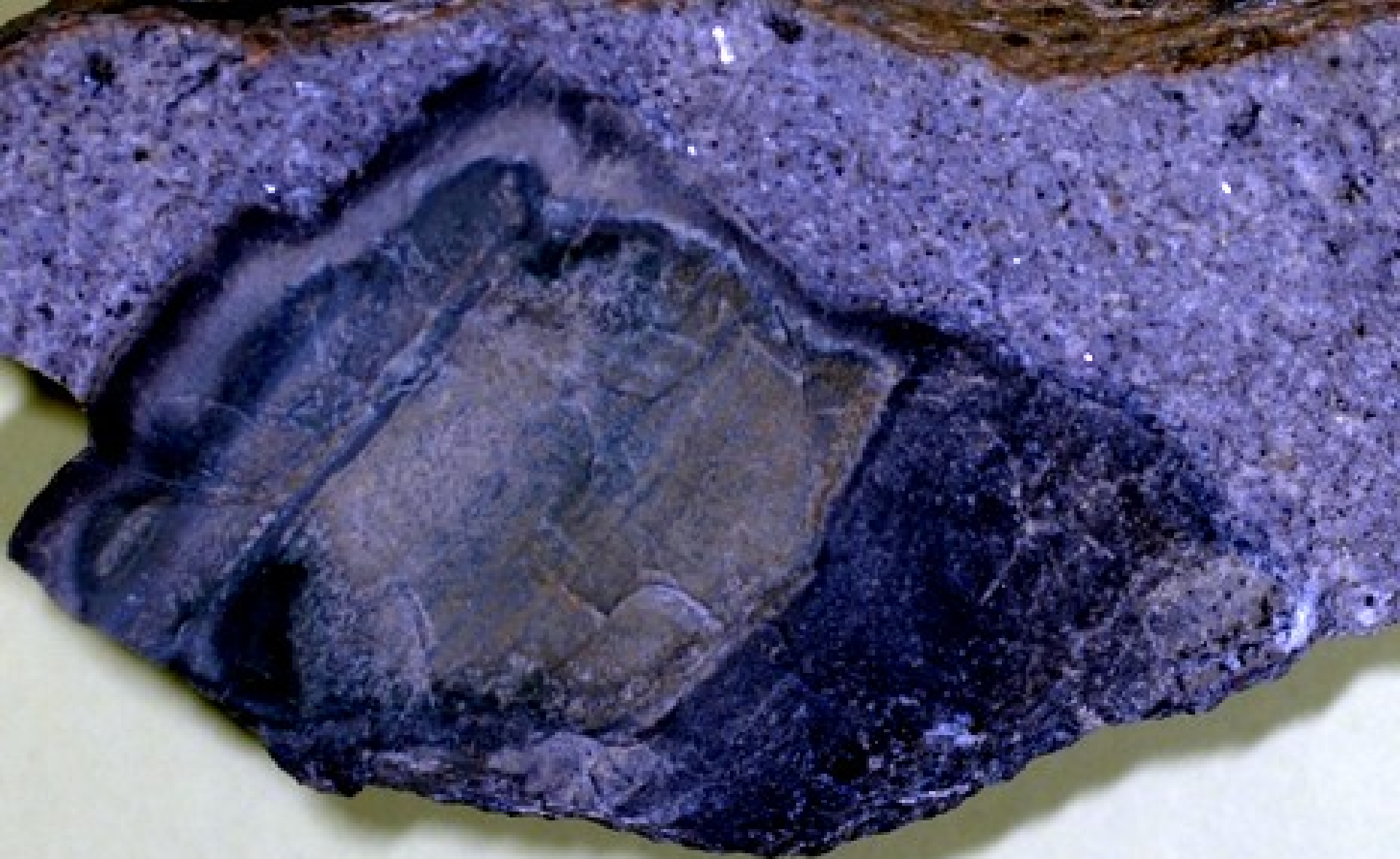


Prográdní metamorfóza

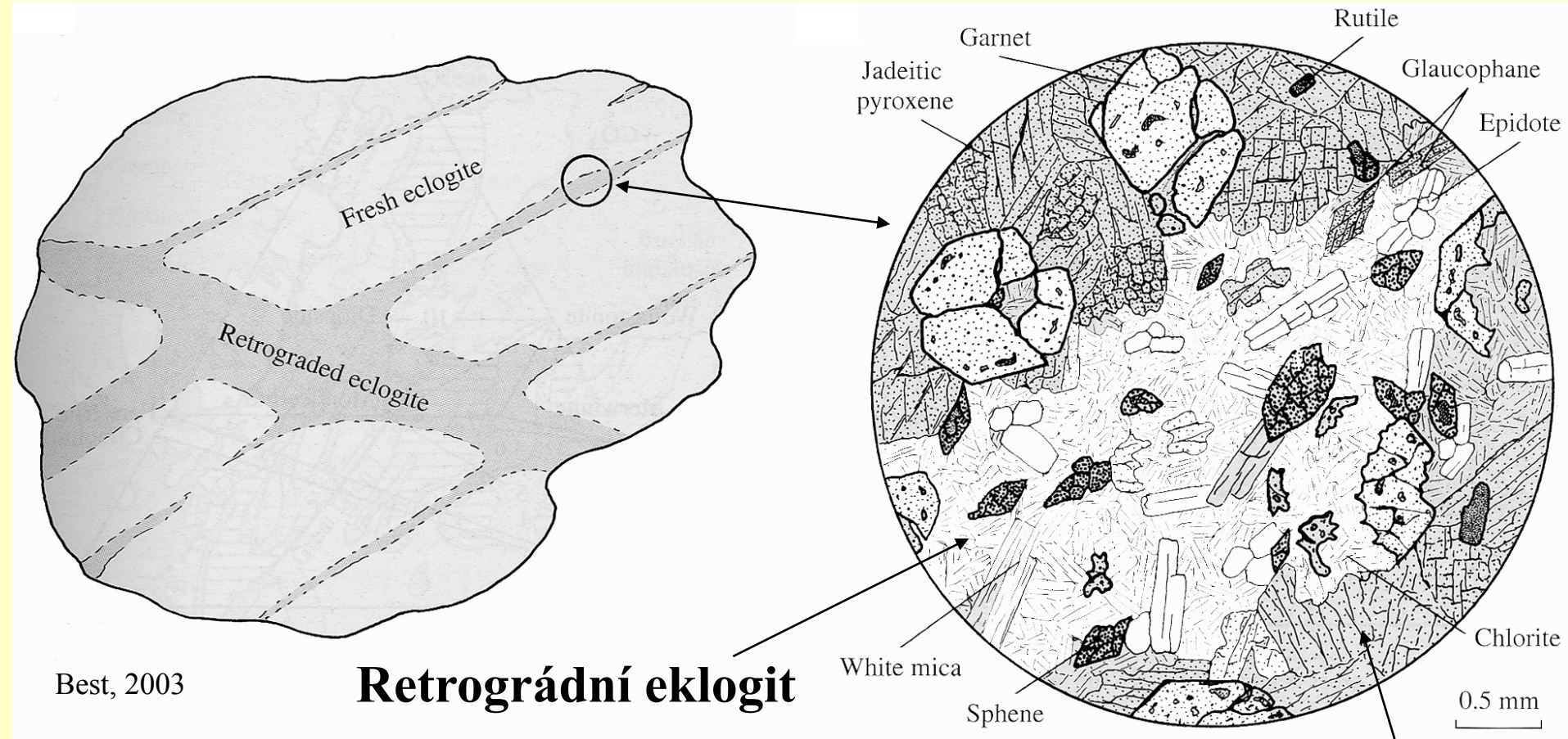


Best, 2003

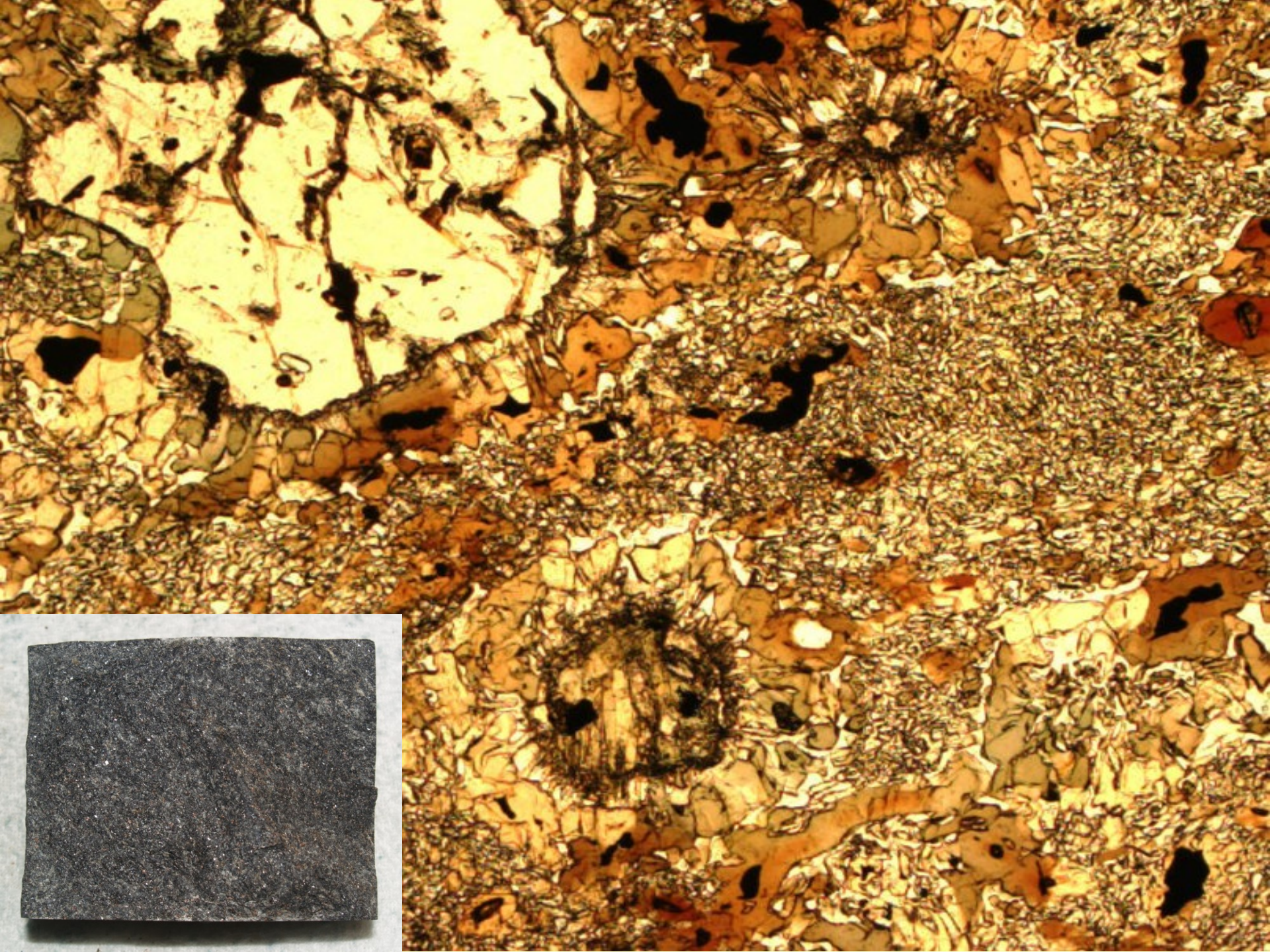




Retrográdní metamorfóza



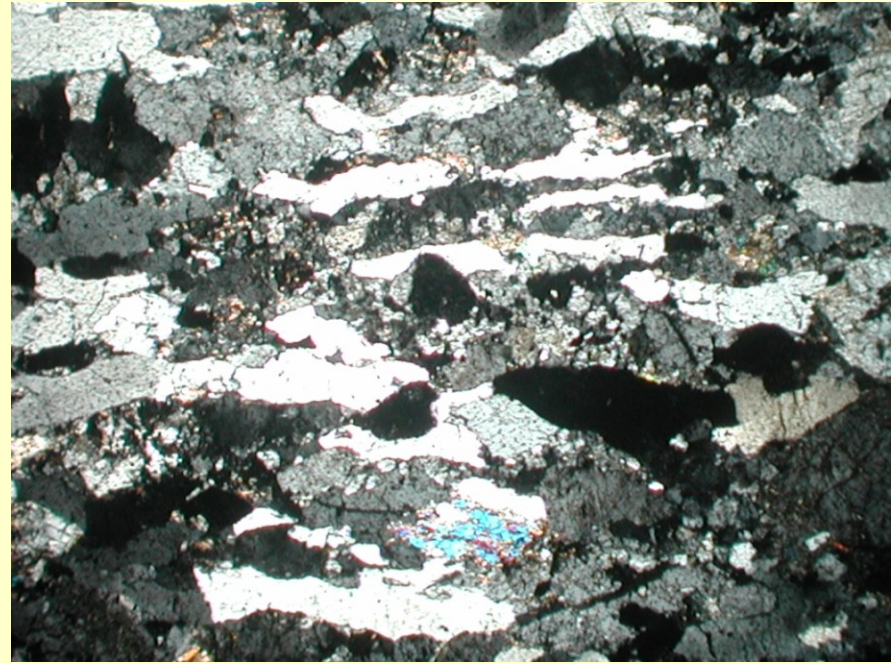
- podél puklin pronikají do eklogitu fluida
- původní minerální asociace Grt+Cpx+Rt
- mění na Chl+Ep+Amp+světlá slída



Přeměny při metamorfóze

➔ texturní (strukturní) změny

- změna velikosti zrna,
- deformace tvaru zrna,
- změny uspořádání minerálů
(makrostavby – mikromikrostavby)



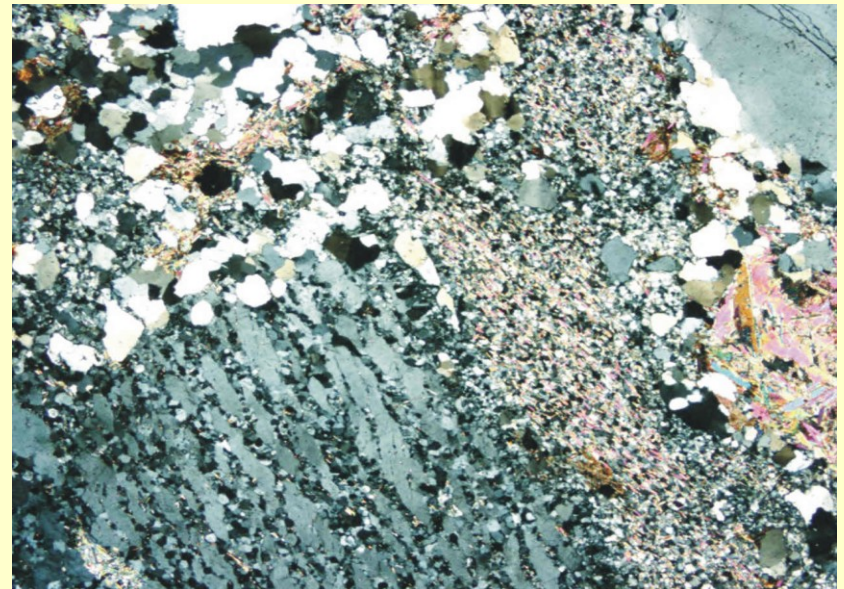
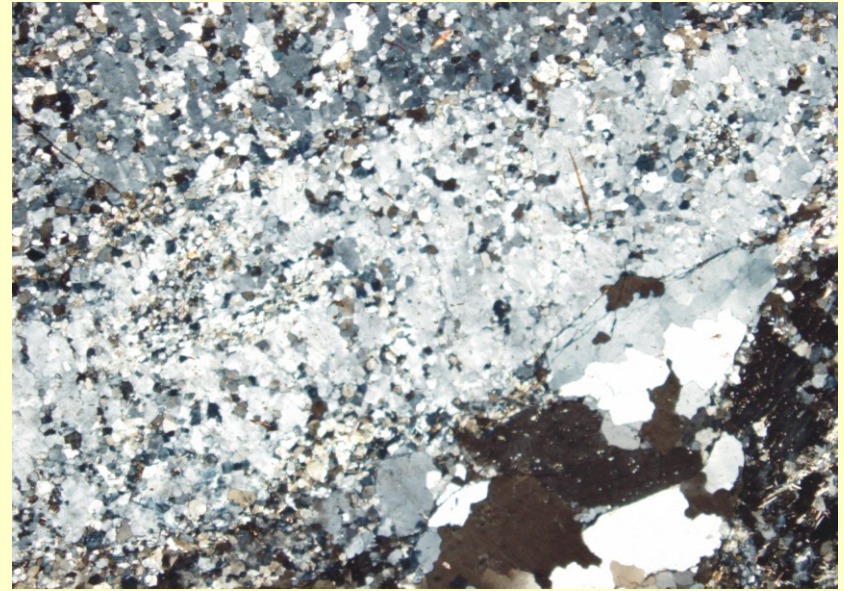
textura, struktura, stavba

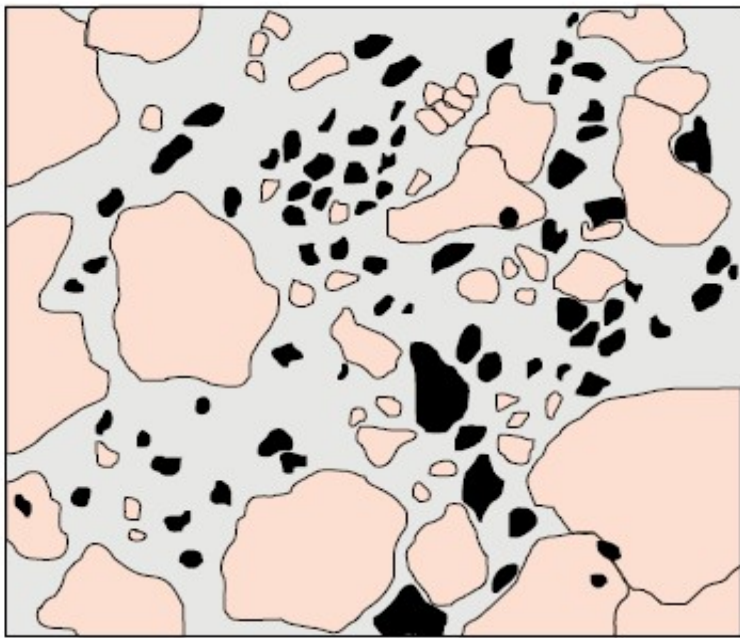
Důležité pojmy

foliace (schistosity) – plošný strukturní prvek
lineace – lineární strukturní prvek

Přeměny při metamorfóze

texturní (strukturní) změny změna velikosti zrna, deformace, změny uspořádání minerálů

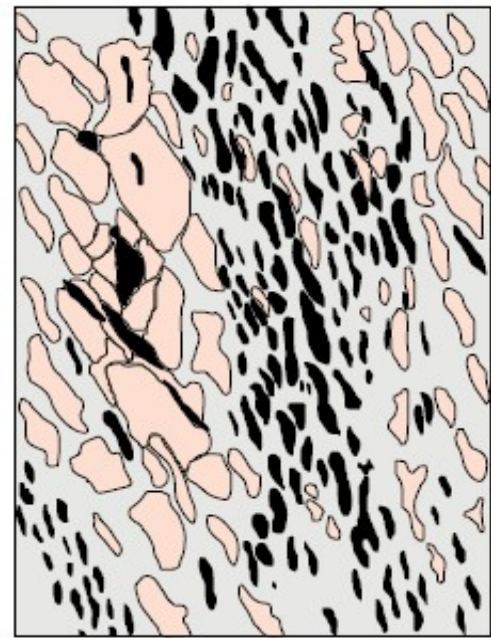




Granite



Stress
→



←
Stress

Gneiss



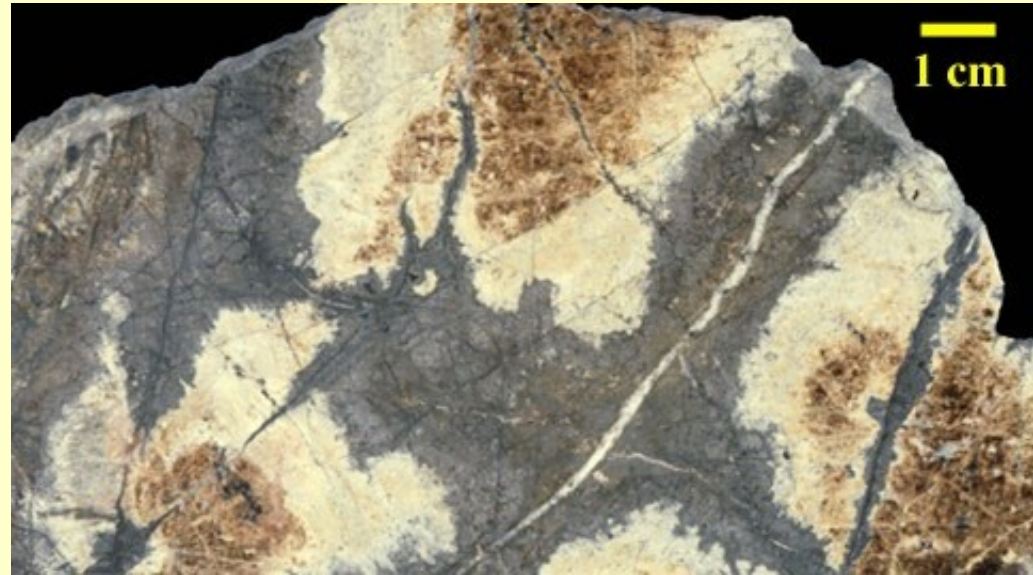
Přeměny při metamorfóze

→ změny v chemismu

- isochemická metamorfóza

- metasomatóza

skarn



→ natavení (anatexe)

- magmatické horniny

migmatit



Hlavní činitele metamorfózy

A) teplota

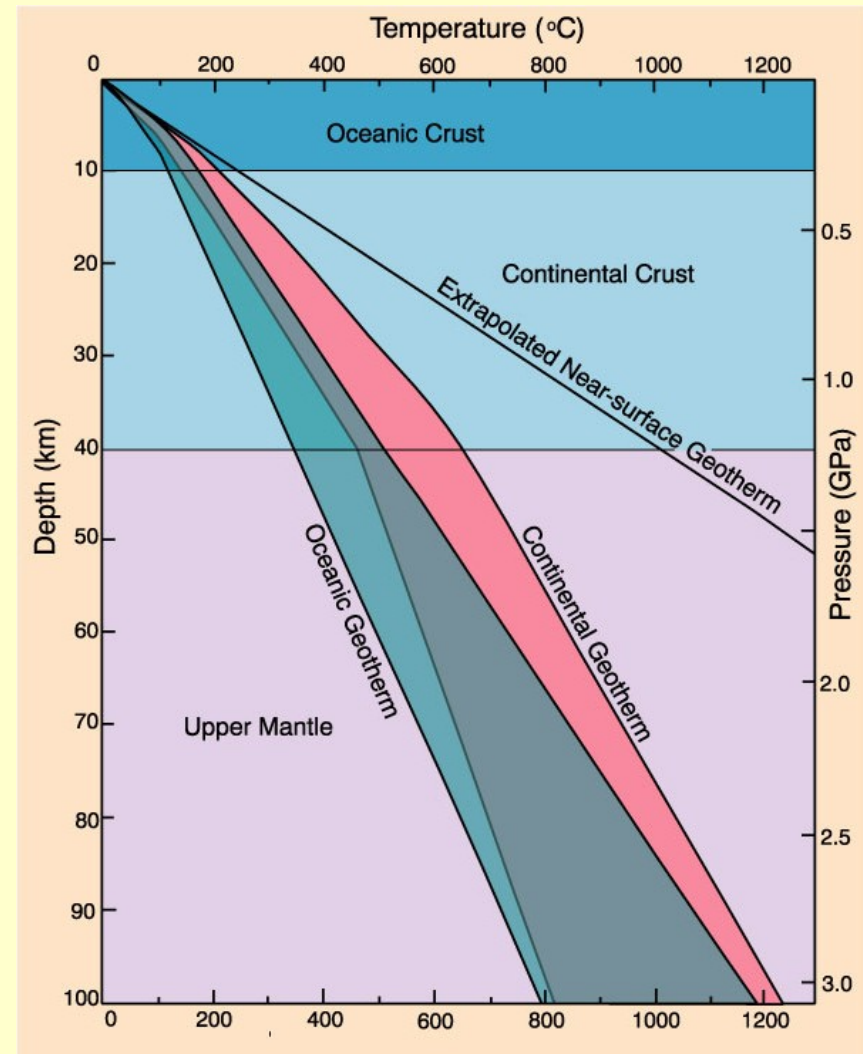
geotermální gradient (gg)

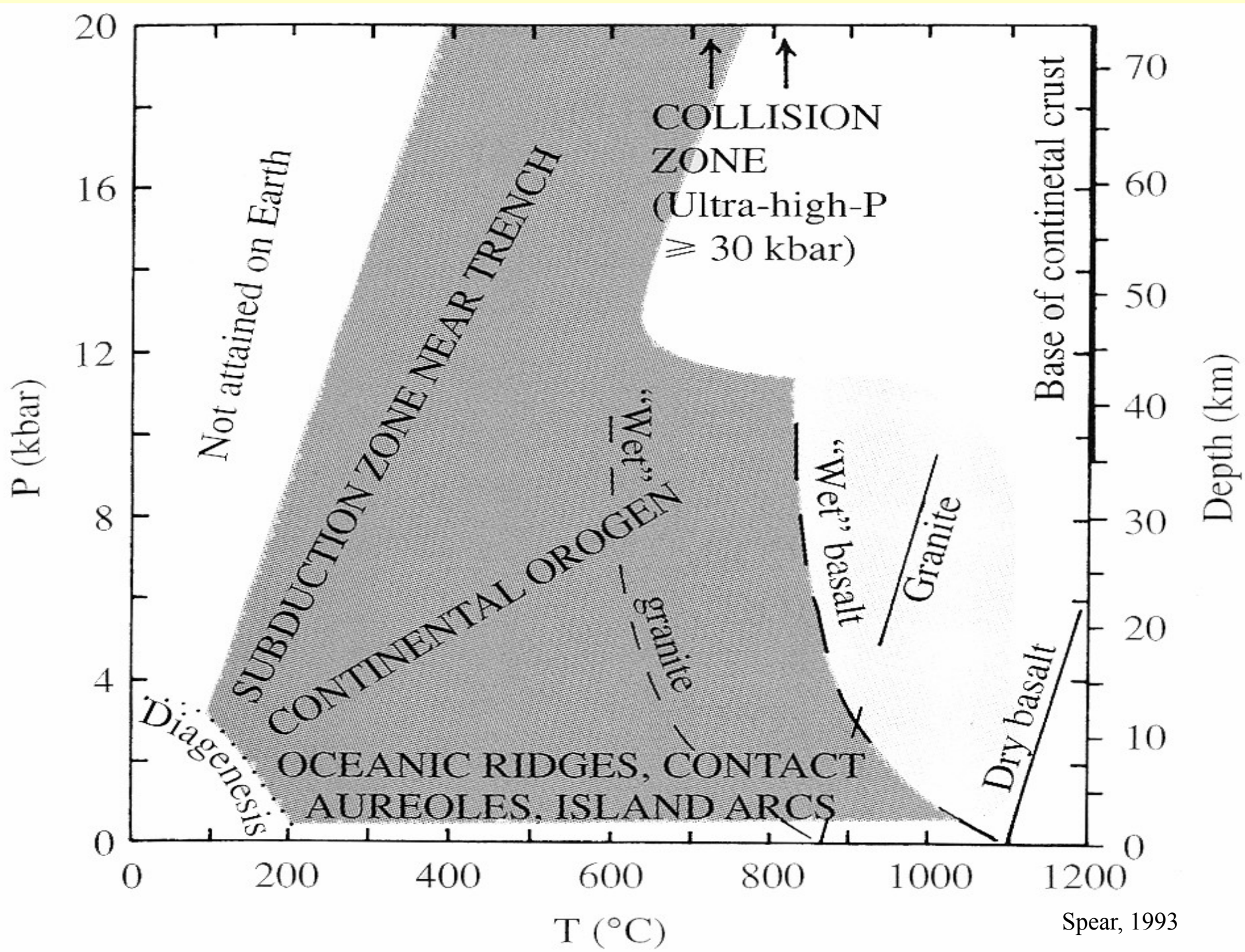
- nárůst T na 1 km hloubky
- obv. 15-30 C/km
- max. 60 C/km

geoterma

- indikuje dT s hloubko
- v různých částech kůry odlišný průběh

Odhadovaný rozsah oceánské a kontinentální geotermy After Sclater *et al.* (1980), *Earth. Rev. Geophys. Space Sci.*, 18, 269-311.



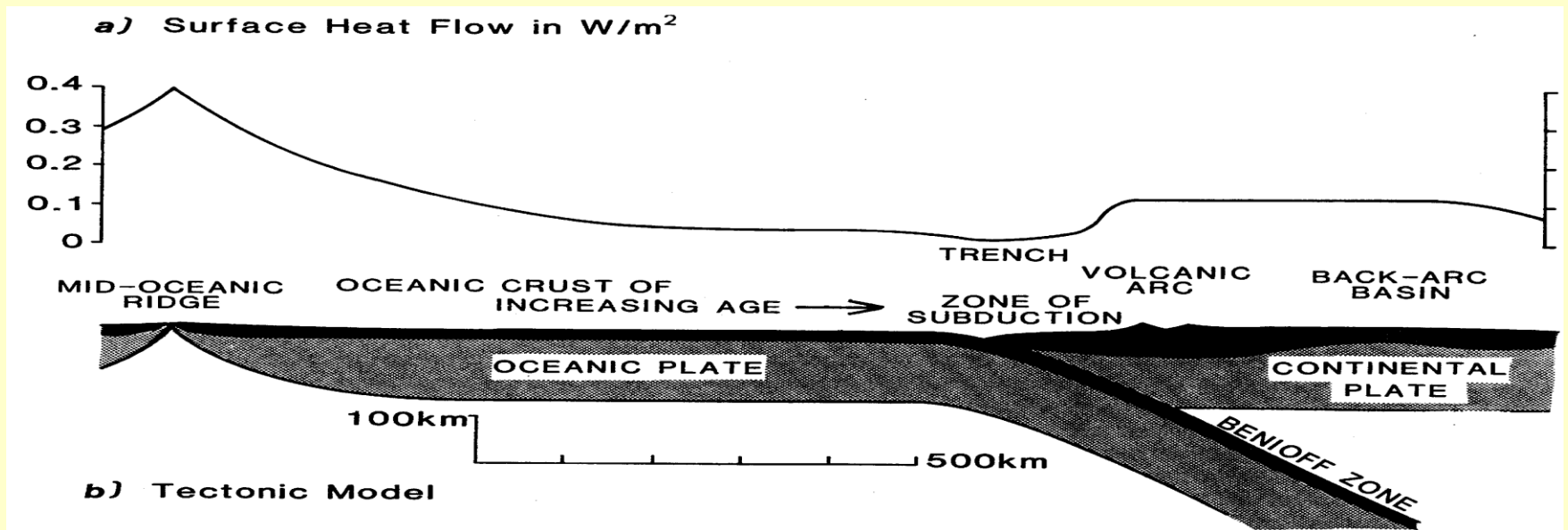


Hlavní činitelé metamorfózy

A) teplota

zdroje tepla

- tok tepla ze zemského pláště
- teplo uvolněné při radioaktivním rozpadu v kůře (U, Th)
- teplo přinesené magmatickými horninami
- exotermní metamorfní reakce (řada hydratačních reakcí)



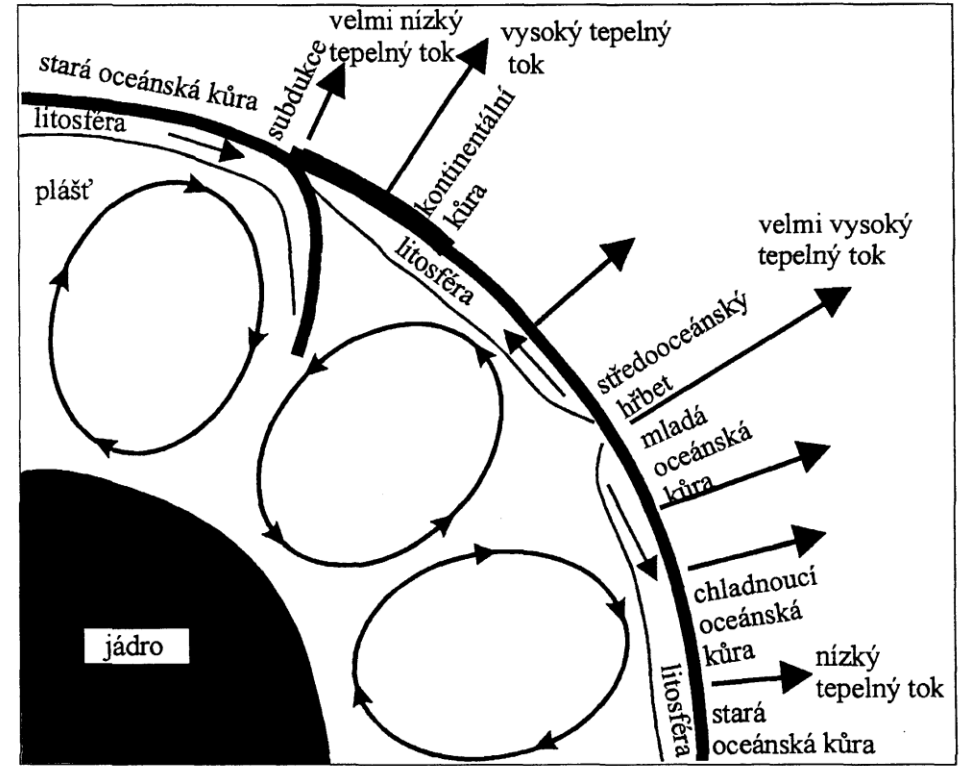
Variace povrchového tepelného toku měřeného v různých částech Země (a) ve vztahu k deskové tektonice (b). Podle Yardley (1989)

Přenos tepla:

a) kondukce - tepelná energie je transportována jako kinetická energie z jednoho atomu na další, bez pohybu geologických těles

b) konvekce - tepelná energie je transportována pohybem teplejšího materiálu (tavenina, fluida) do studenějších částí systému

c) advekce - pohyb určitého bodu v hornině přes tepelný gradient



Rozdíly tepelného toku v různých geotektonických kontextech (Konopásek et al. 1998)

q = konduktivní tepelný tok [Wm^{-2}]

$q = 40 \text{ mWm}^{-2}$ kratony;

$q = 60 - 150 \text{ mWm}^{-2}$ vulkanických oblouků

$$q = C_p \cdot \delta \cdot dT/dh,$$

C_p = tepelná kapacita, δ = hustota látky, T = teplota, h = hloubka

Hlavní činitelé metamorfózy

B) tlak

1) **litostatický tlak** (confining pressure, všesměrný)

důsledek zatížení horniny sloupcem hornin v jejím nadloží

$$P = \rho gh$$

ρ - hustota hornin nadložního sloupce

ρ = granity 2,7; bazalty 3,0; peridotit 3,3 g*cm⁻³

g – tíhové zrychlení (9,8 ms⁻²)

h - hloubka

tj. nárůst s hloubkou 0,25-0,3 kbar na 1 km hloubky = cca 1 kbar/3-4 km

používané jednotky: 1 bar = 10⁵ Pa = 0,1 MPa

1 kbar = 0.1 GPa

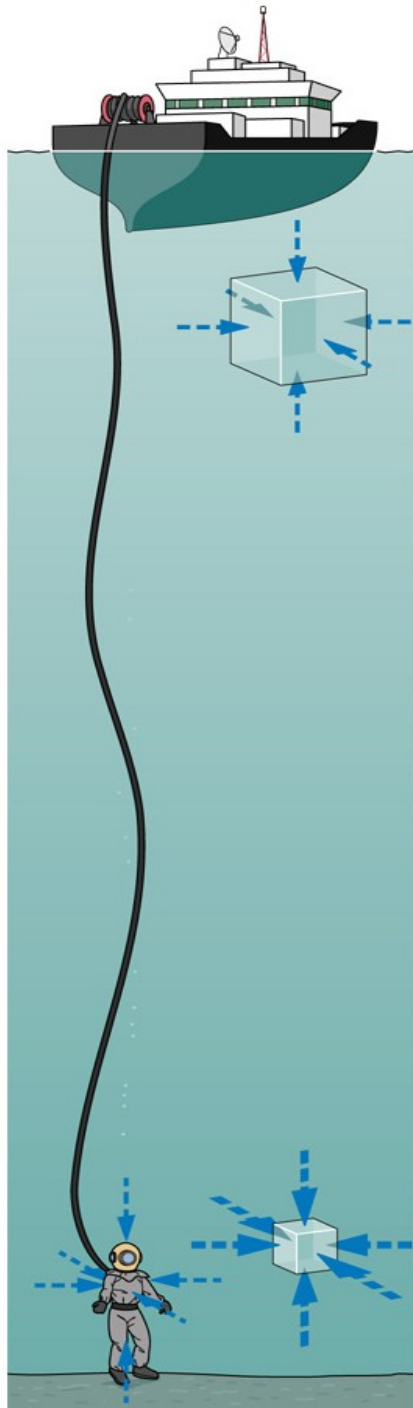
mocnosti zemské kůry v km:

oceanická – 5-10

kontinentální kratony – 35-40 (10 kbar)

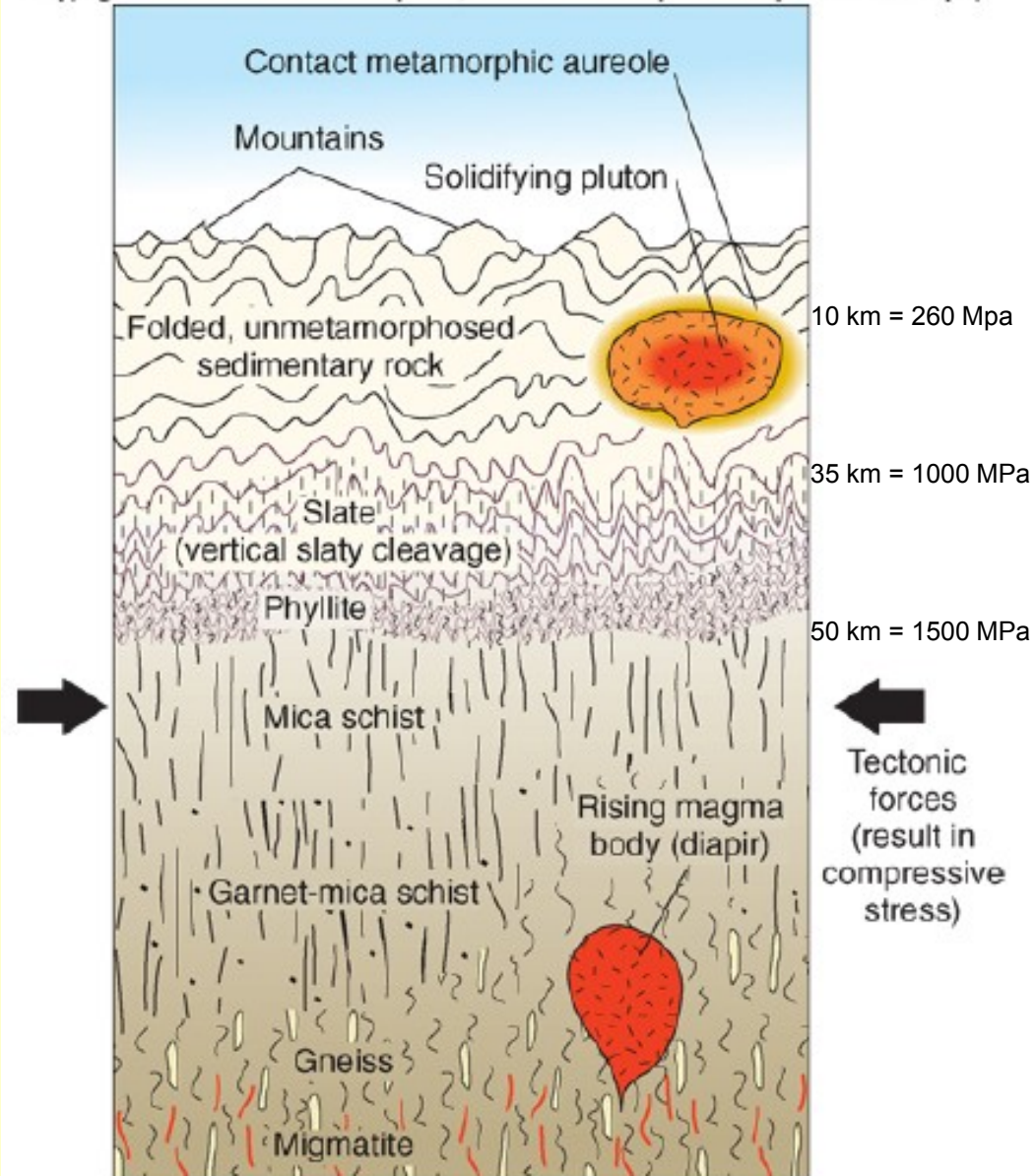
kontinentální orogenní oblasti – 70-80 (20 kbar)

subdukční zóna - 100 (30 kbar)



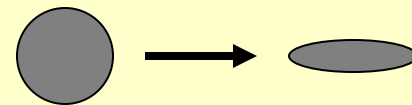
S hloubkou roste tlak a zmenšuje se objem

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



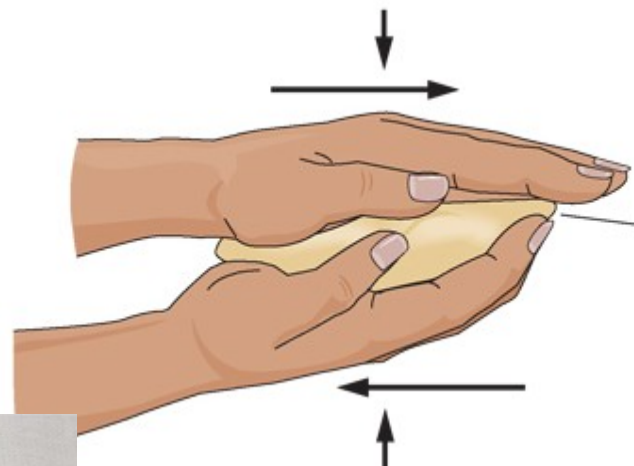


Zuhelnatělé kmeny stromů v permských sedimentech (Vrchlabí)



2) orientovaný tlak (stress)

- neovlivňuje fázové rovnováhy
- vznik orientované stavby v horninách
- kolem 10-150 Mpa, max. 700 Mpa



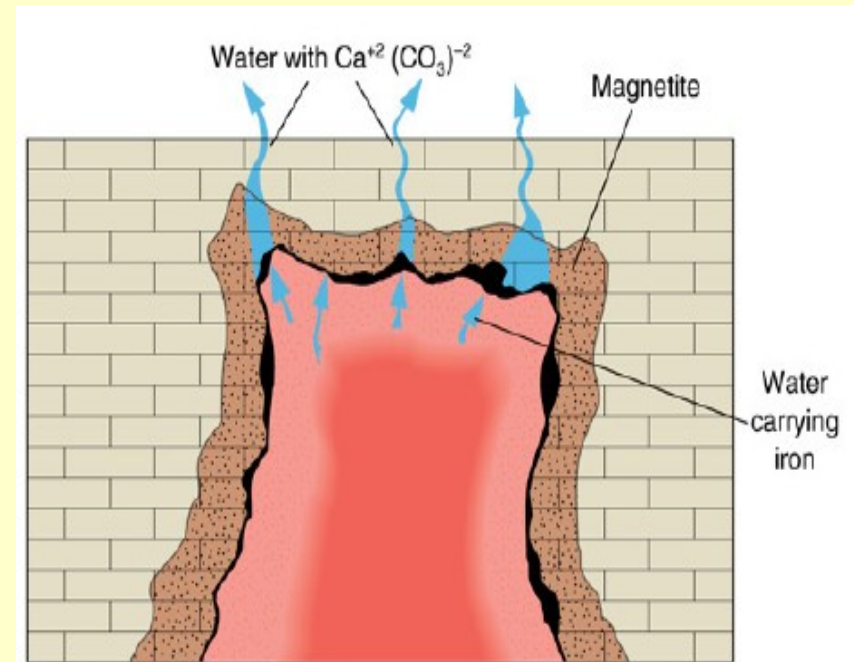
C) fluida

H_2O , CO_2 , O_2 , H_2 , F_2 , N_2 , CH_4 a S

- součást minerálů (slídy, amfiboly, karbonáty, sulfidy)
- v pórech mezi jednotlivými zrny, popř. v inkluzích

prográdní met. – uvolňovány (dekarbonizace, dehydratace)

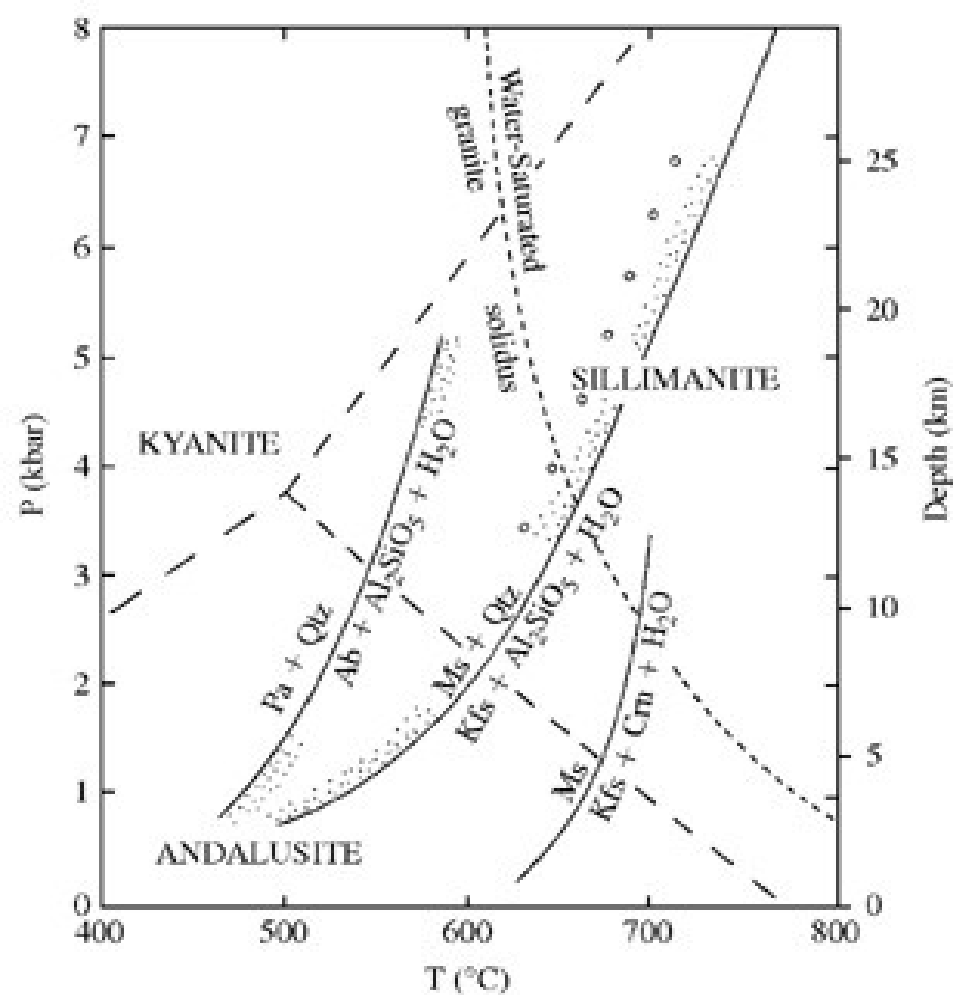
- ovlivňují fázové rovnováhy
- přenášejí teplo
- způsobují přenos hmoty a mohou měnit izotopické i chemické složení horniny



Turmalinizace v okolí Qtz žíly (Jeřmanice)



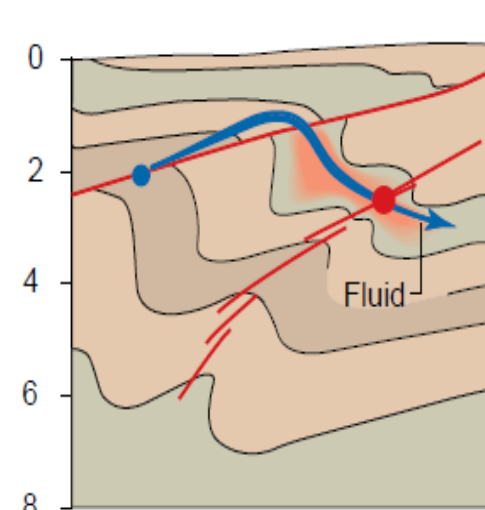
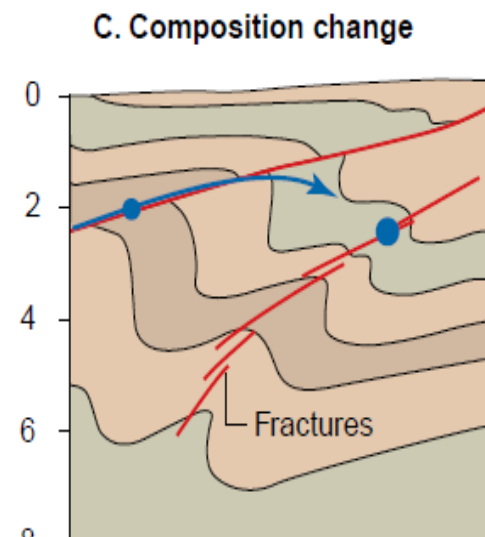
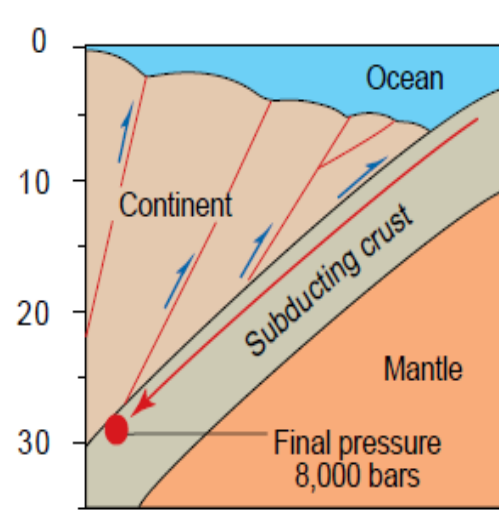
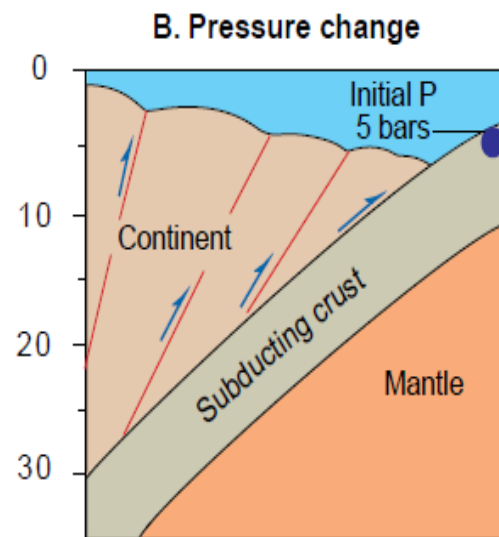
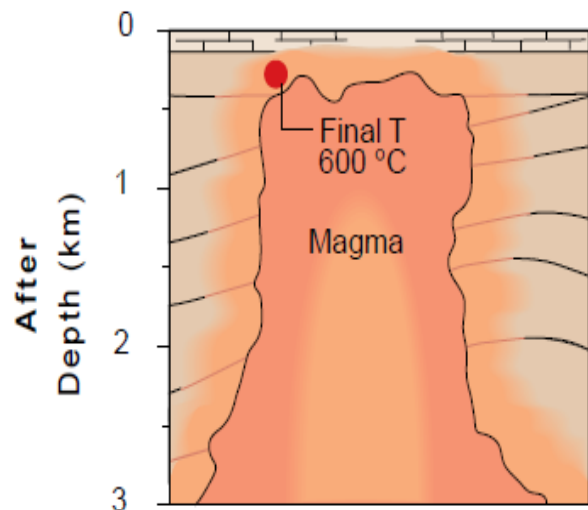
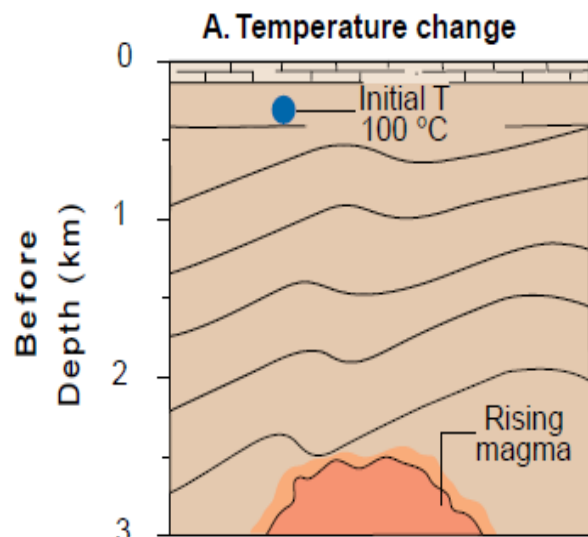
Turmalinizace v okolí Qtz žíly (Mongolsko)



Voda umožňuje průběh řady metamorfních reakcí:

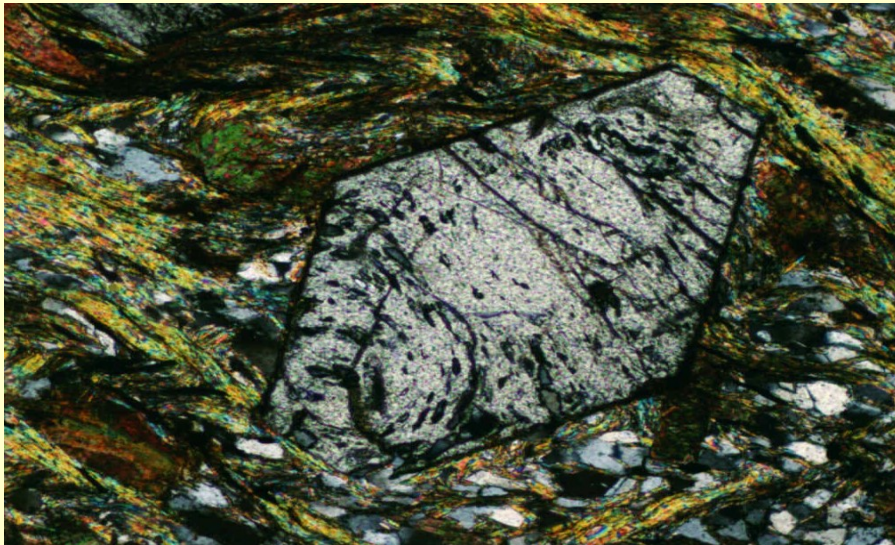
- $Bt + H_2O \rightarrow Chl + Rt$
- $Amp + H_2O \rightarrow Chl + Rt$
- $Cpx + H_2O \rightarrow Act + Ep$
- $Ol/Opx + H_2O \rightarrow Serp + Fe\text{-oxidy}$
- $Pl + Ca + Fe + H_2O \rightarrow \text{epidot}$
- $Fsp + H_2O \rightarrow Ms + Si + K \text{ (high T)}$
- $Fsp + H_2O \rightarrow \text{jílové minerály} + Si + Ca + Na$

Hlavní činitelé metamorfózy

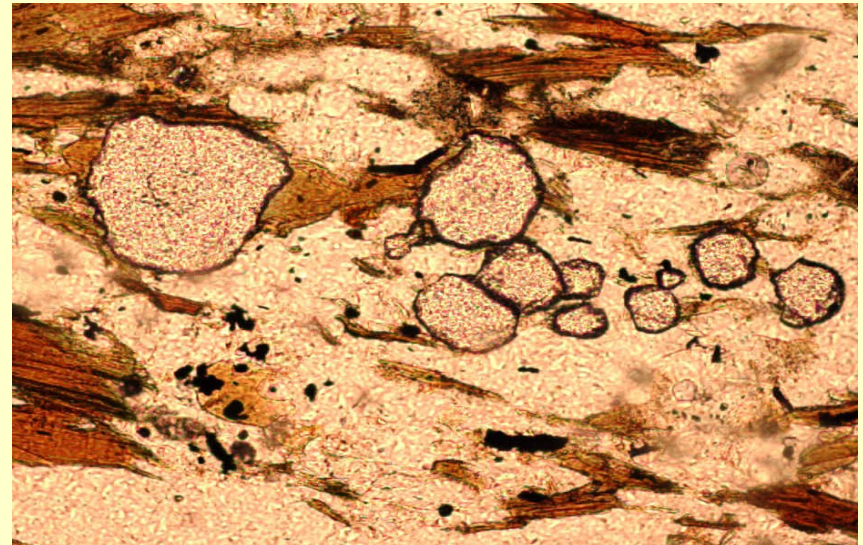


Základní termíny používané pro popis metamorfózy

- metamorfní stupeň (grade) – intenzita metamorfózy (T) – vysoký, nízký
- metamorfní zóna – oblast výskytu indexového minerálu
- metamorfní izograda – hranice metamorfní zóny
- metamorfní facie – charakteristická minerální asociace (rozmezí P a T, chemické rovnováhy)
- metamorfní P-T dráha – vývoj hornin v poli P-T



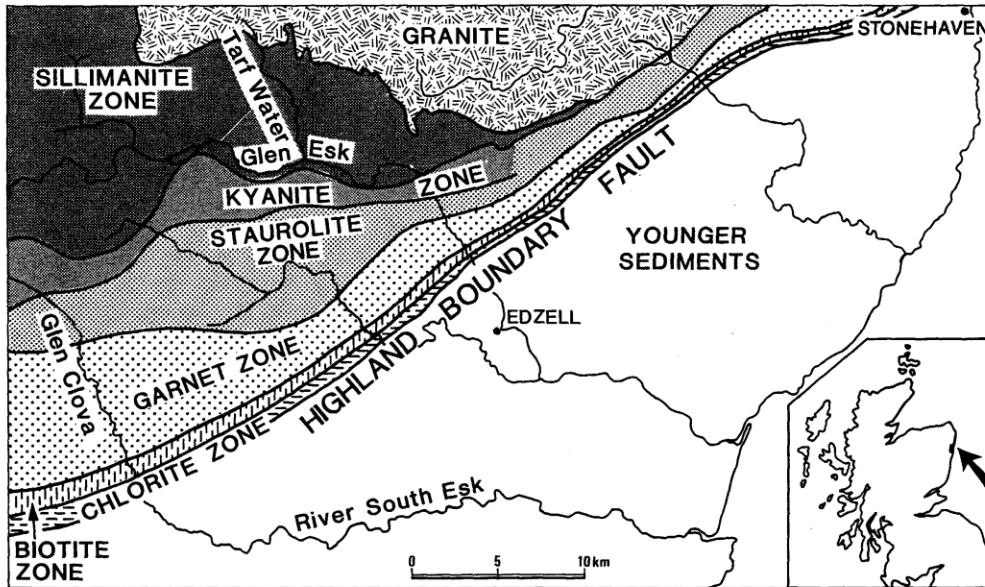
Staurolitová zóna



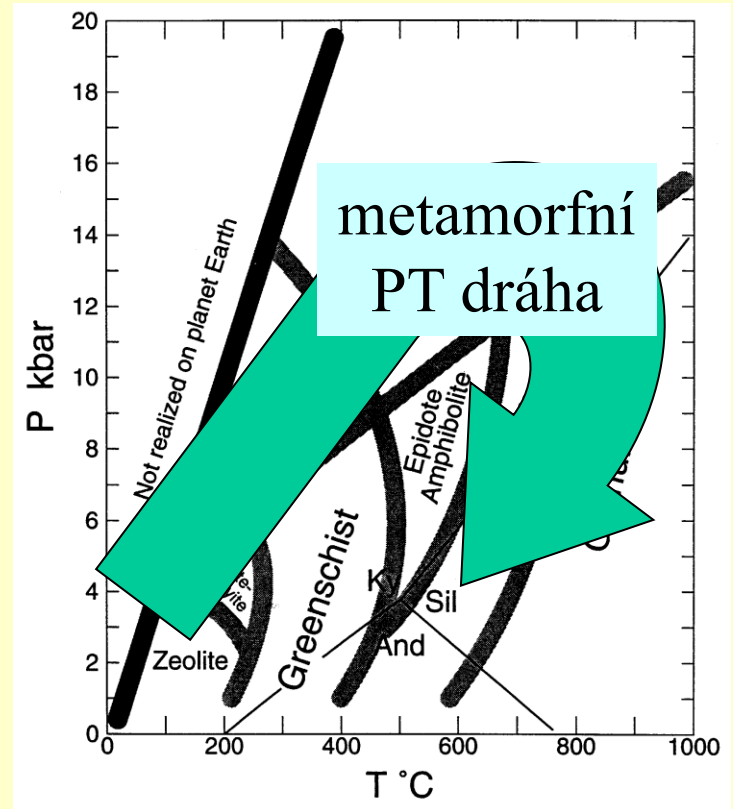
Granátová zóna

metamorfnní zóny a izogrády

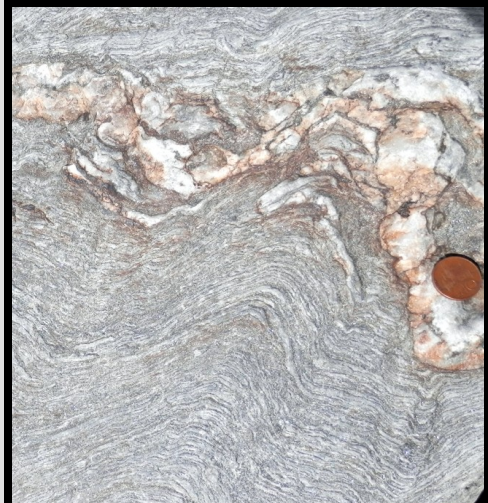
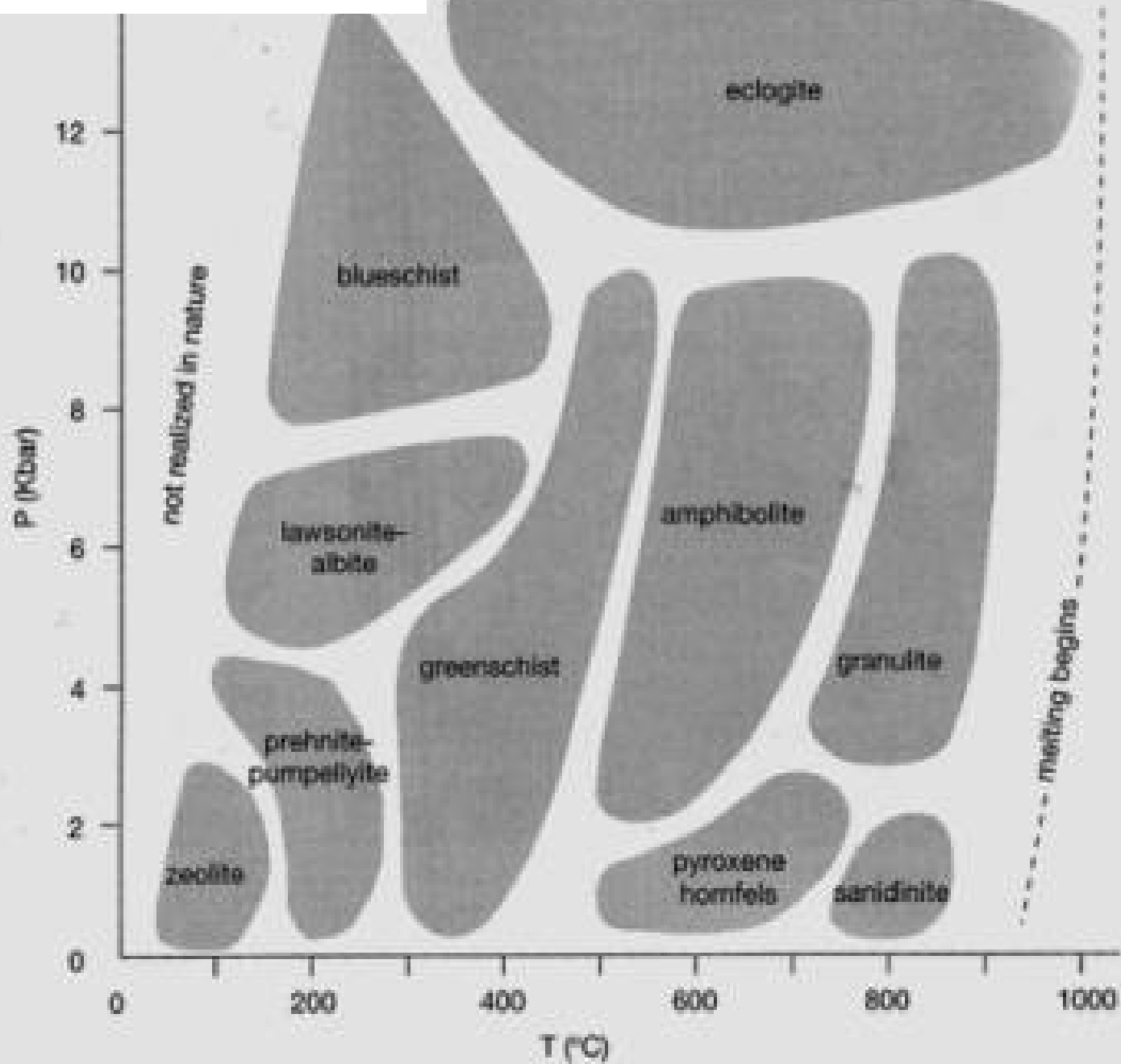
- metamorfnní zóna – oblast výskytu IM
- metamorfnní izograda – hranice MZ



metamorfnní facie



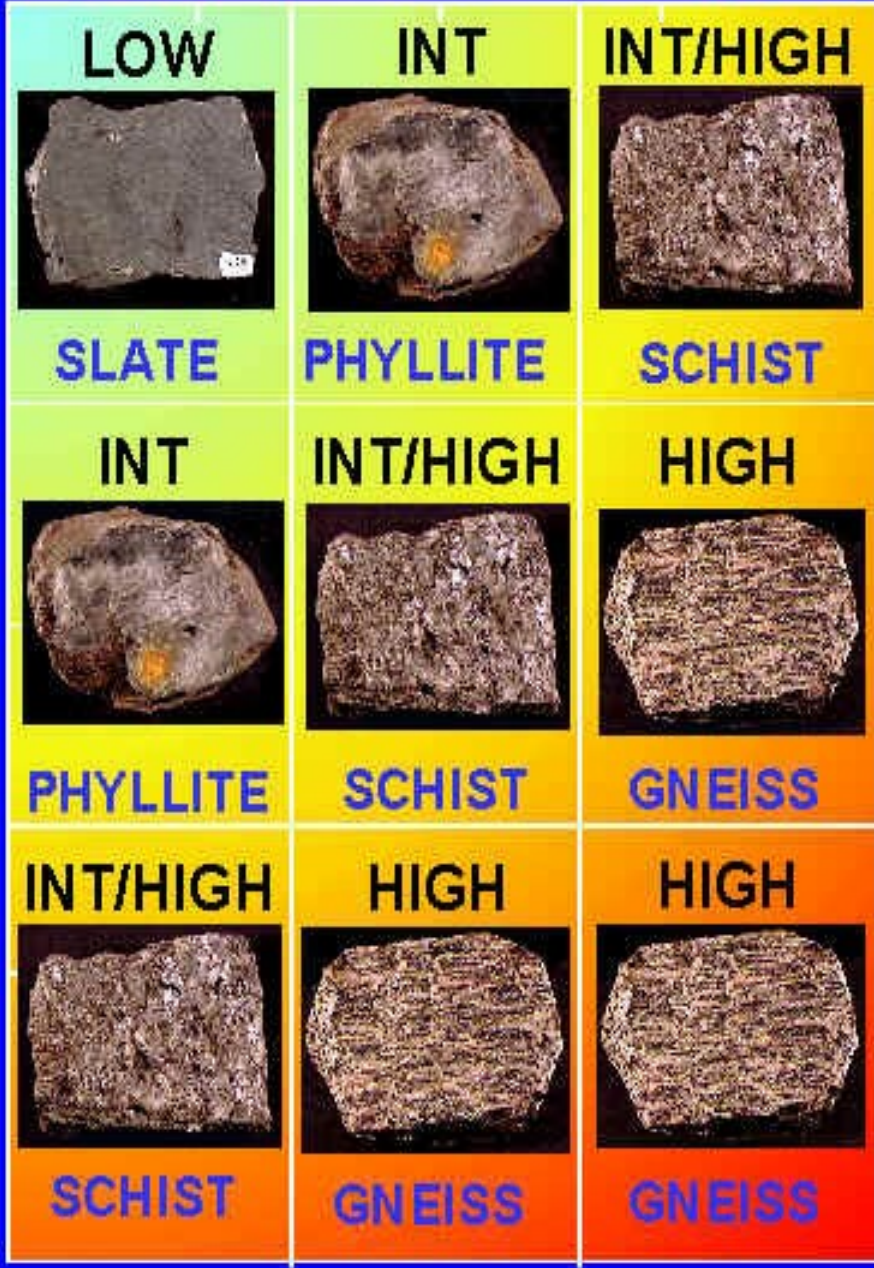
metamorfni facie



TEMPERATURE (°C)

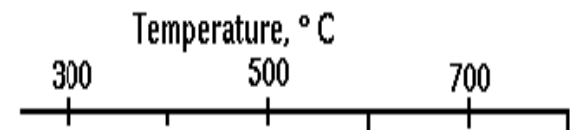
0 200 400 600 800

PRESSURE (kb)
5



DEPTH (km)

Metamorfni zóna



Chlorite



Epidote



Muscovite



Biotite



Hornblende



Staurolite

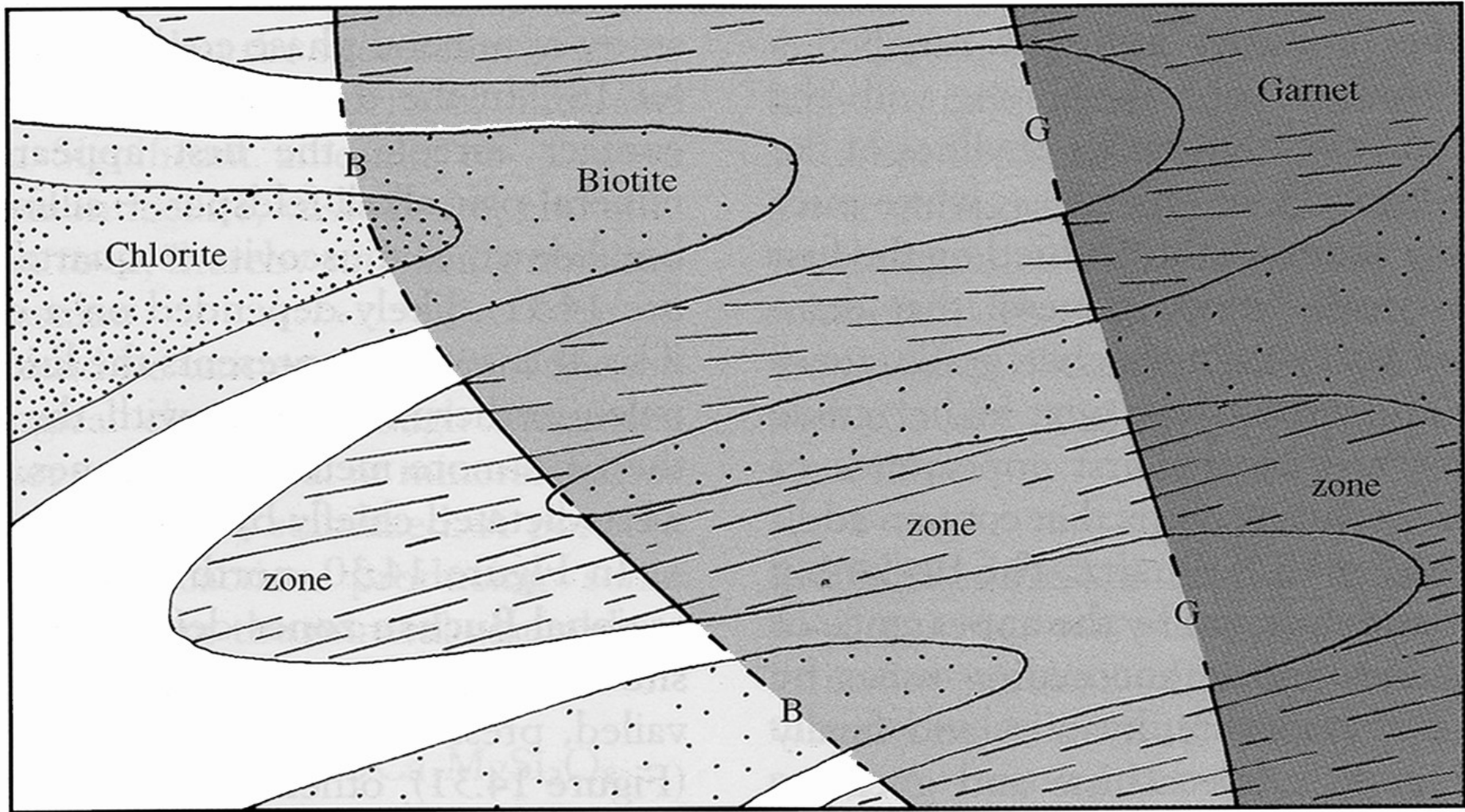


Garnet



Pyroxene



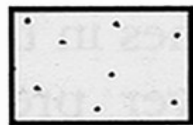


B Biotite isograd

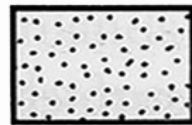
G Garnet isograd



Pelitic
rocks



Quartzo-feldspathic
rocks

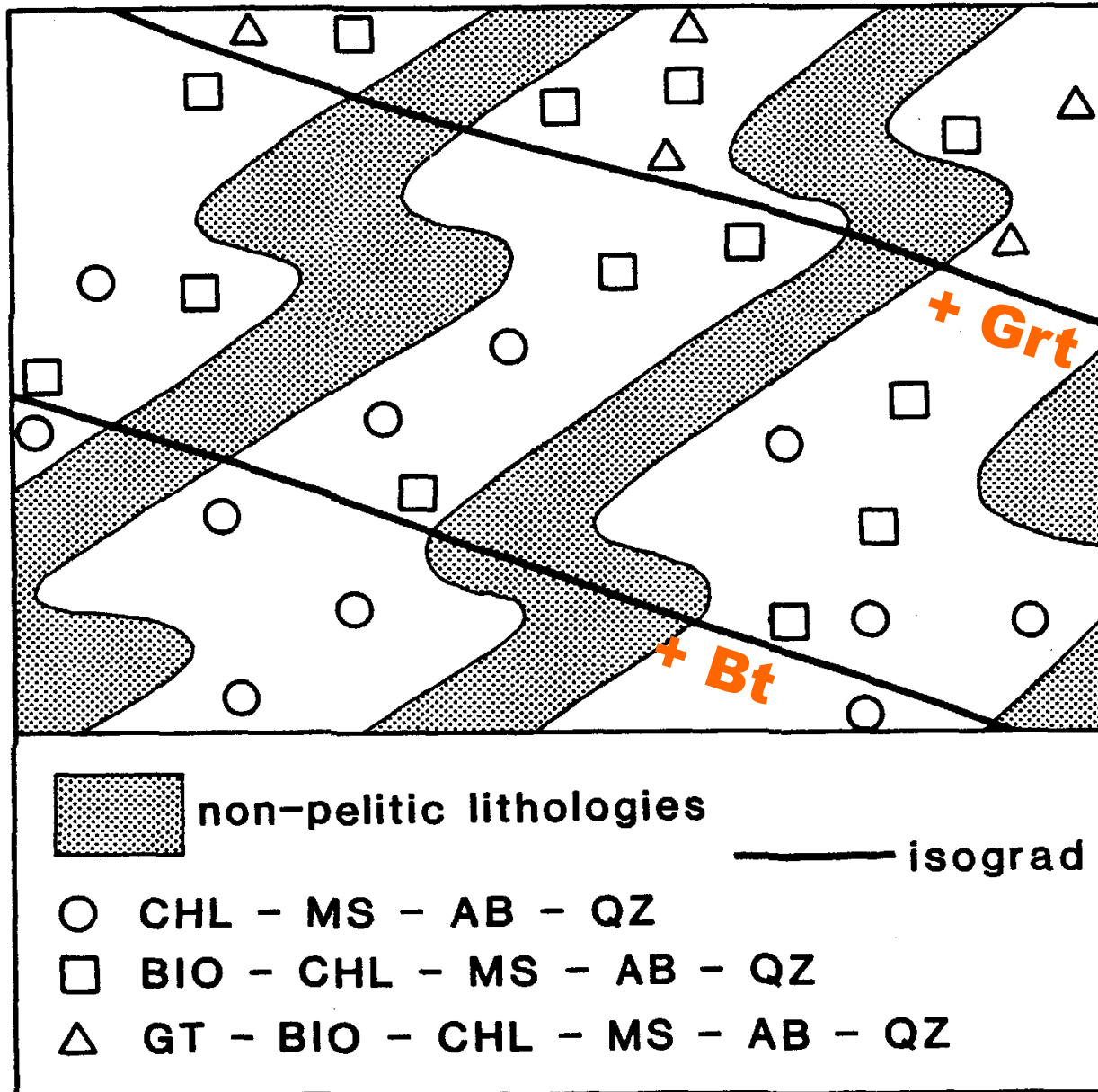


Mafic
rocks

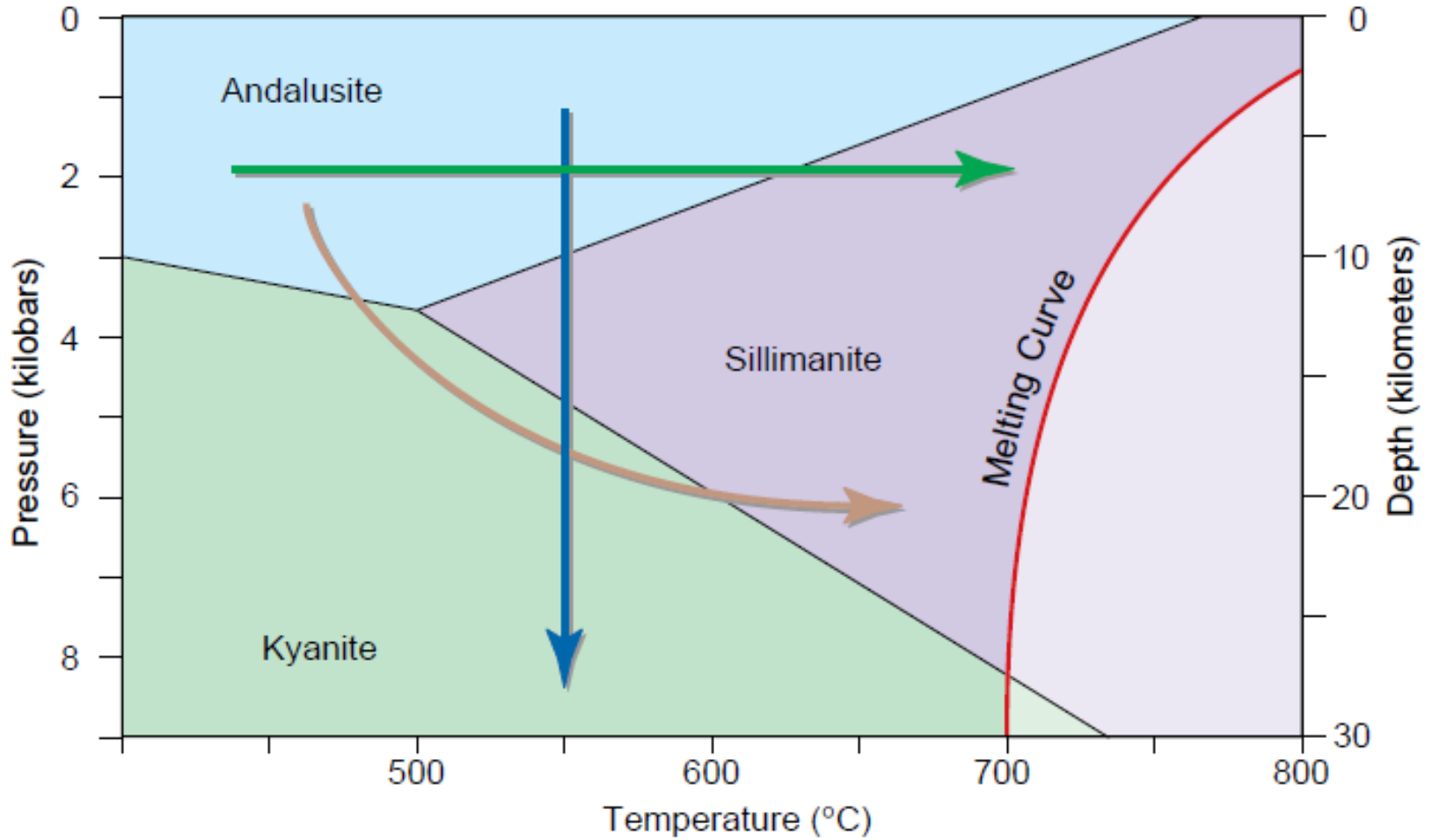


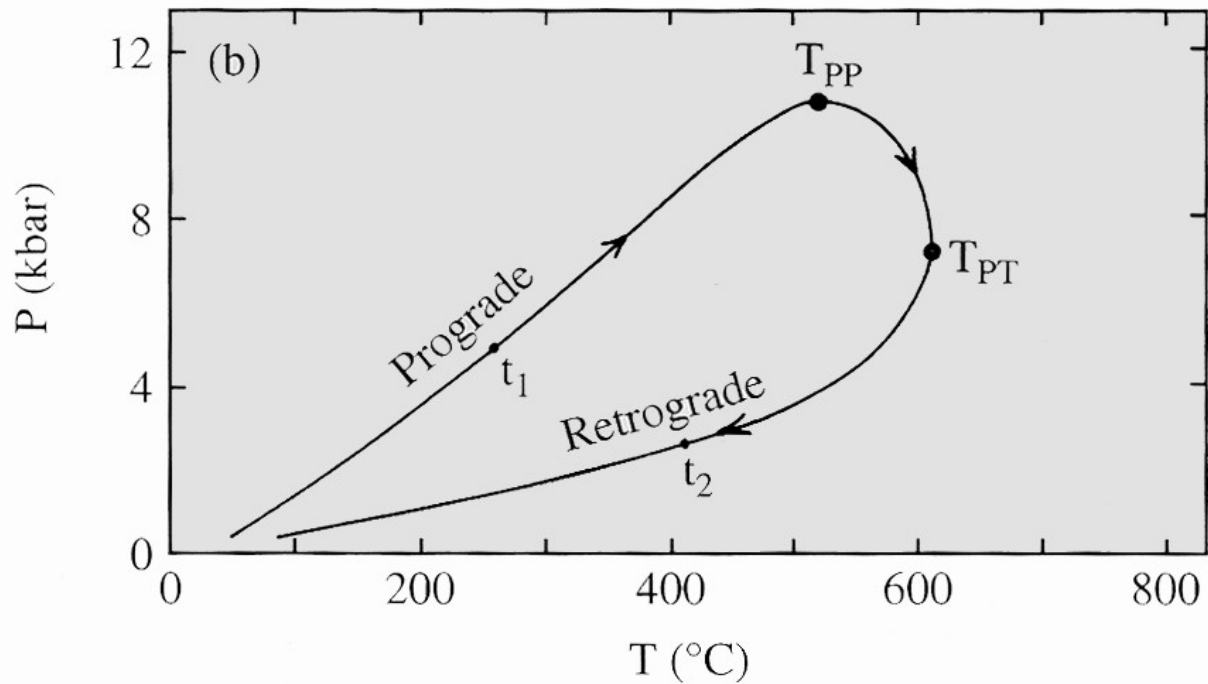
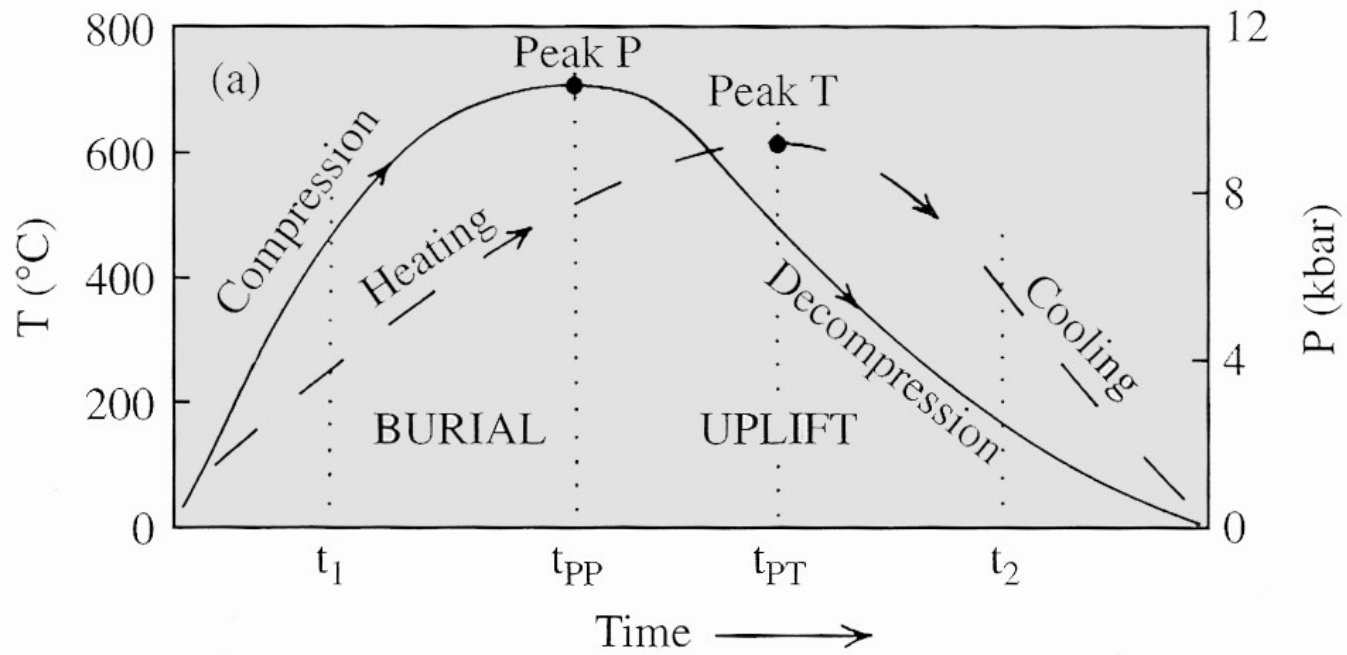
Calcareous
rocks

Metamorfní izograda



Metamorfni P-T dráha





metamorfni
PT dráha

Literatura

- Dudek, A. - Fediuk F. - Palivcová M. (1962): Petrografické tabulky
- Hejtman, B. (1962): Petrografie metamorfovaných hornin
- Konopásek, J. – Štípská P. – Kláková H. – Schulmann K. (1998): Metamorfnní petrologie
- Naprostá většina obrazového materiálu pochází z celé řady internetových stránek věnujících se metamorfnní petrologii