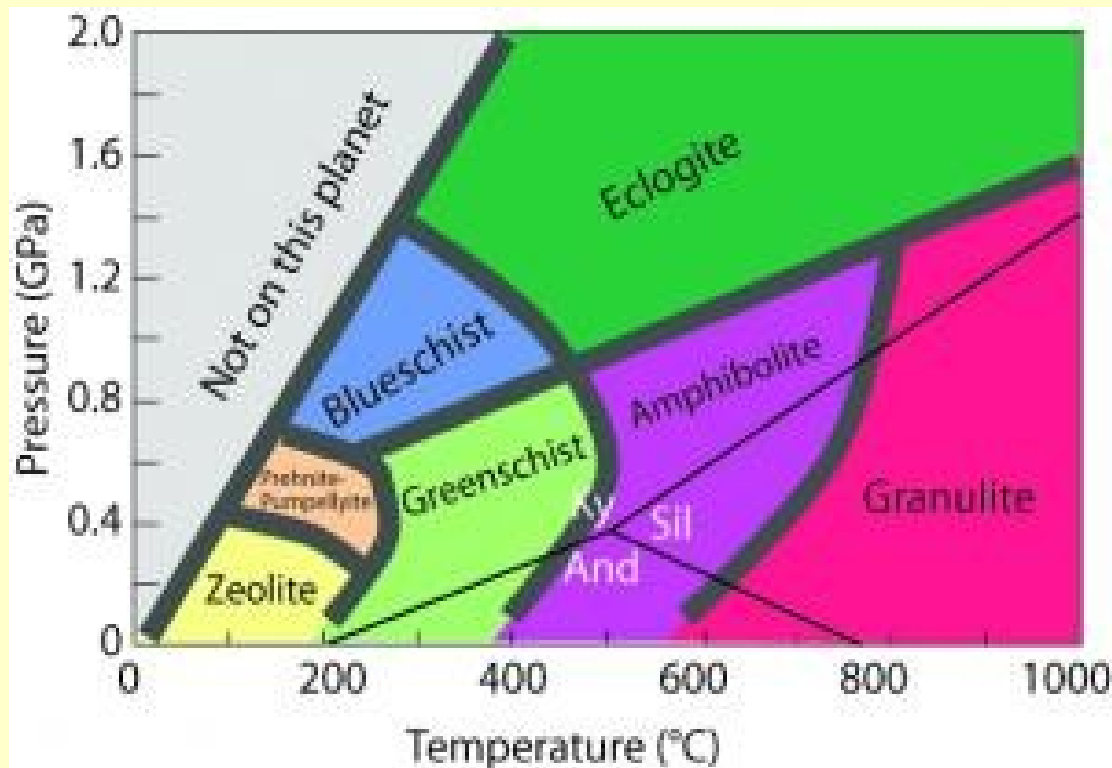


Petrologie G3021

14. Metamorfóza a metamorfní facie



3. Metamorfóza a metamorfní facie

Osnova:

- *Metamorfní zóny, indexové minerály izogrady*
- *Metamorfní facie*
- *Geotektonická pozice metamorfózy*

1. *Metamorfnní zóny, indexové minerály izogrady*

Diagnostické minerály

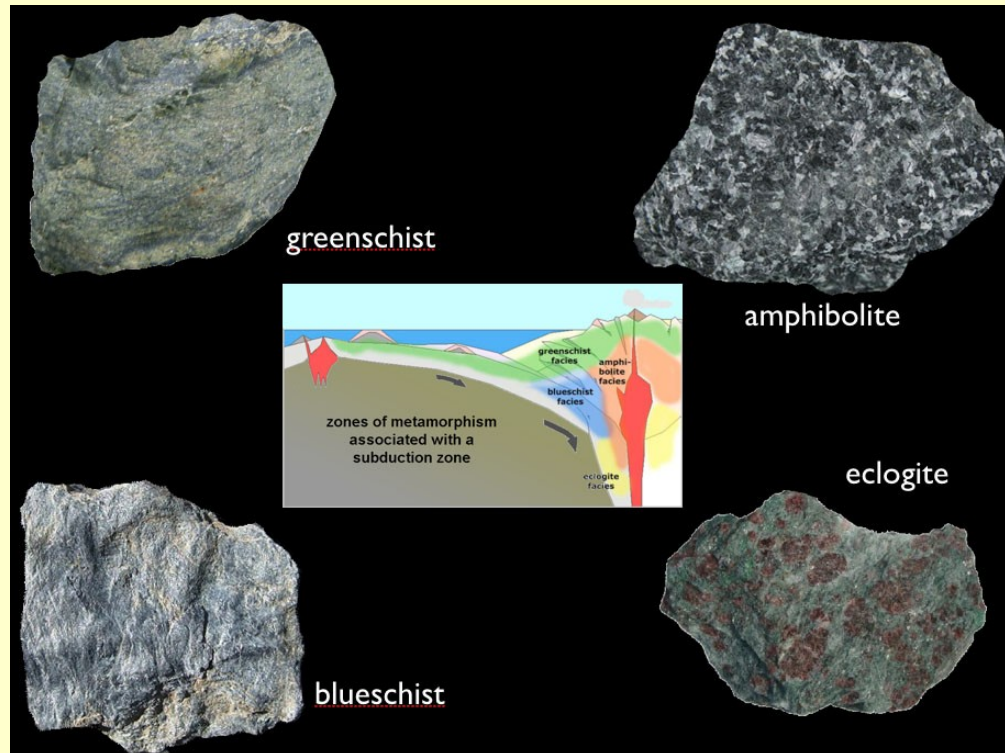
- přítomnost těchto minerálů může indikovat:
 - metamorfnní podmínky
 - specifické chemické složení
- jejich použití v názvu horniny nám může rychle poskytnout důležitou informaci
- například staurolitický svor dosáhl teplotních podmínek nejméně 550 C

- termín **metamorfnní zóna** byl zaveden Barrowem (1893) v metapelitech oblasti Dalradian ve Skotsku
- **podle zvyšujícího metamorfnního stupně vstupují další (indexový) minerál:**
 - chlorit – biotit – granát – staurolit – kyanit – sillimanit
 - střednětlaká metamorfóza
- **později byla zjištěna v oblasti Buchan ve Skotsku jiná posloupnost minerálů:**
 - biotit – cordierit – andalusit – sillimanit
 - nízkotlaká metamorfóza

- George Barrow (1893, 1912): Scottish Highlands, mapoval první výskyty porfyroblastů minerálů v metapelitech jako zóny: chlorit, biotit, granát, staurolit, kyanit, sillimanit.
- U. Grubenmann (1911) *Die Kristallinen Schiefer*:
 - epizona – mělké pohřbení, (zelené břidlice)
 - mesozona – střední hloubka pohřbení, (amfibolity)
 - katazona – hluboké pohřbení, (granulity)
- Cecil E. Tilley (1925): definoval zóny indexových minerálů jako izogrády (tedy linie o stejné teplotě)

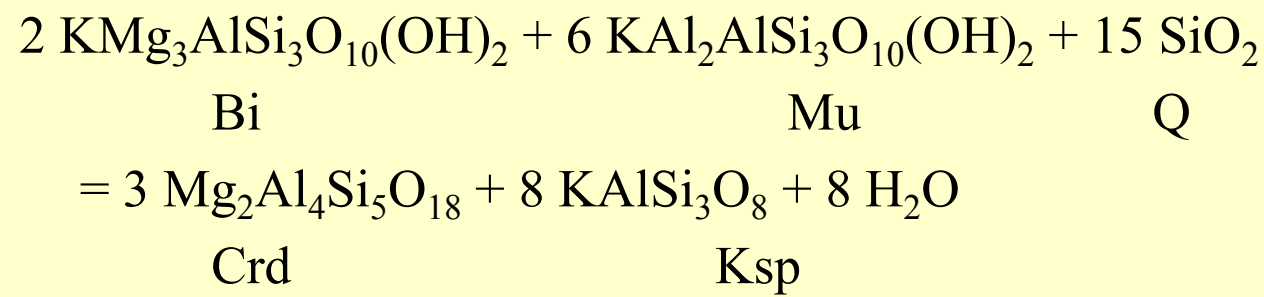
2. *Metamorfni facie*

- Eskola (1915) odvodil koncept metamorfni facii (bazické horniny):
 - metamorfni facie zahrnuje horniny metamorfované za stejných podmínek
 - horniny se stejným chemickým složením metamorfované ve jedné met. facii obsahují stejné minerály
 - podmínkou je aby hornina byla v rovnováze s metamorfni podmínkami (retrográdní met.)



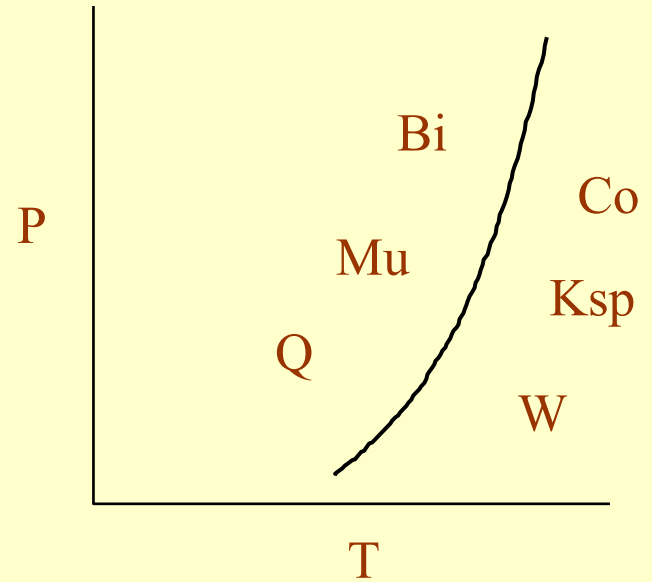
Pentii Eskola (1914, 1915) horniny o podobném chemickém složení v okolí Osla a Orijärvi mají odlišné minerální asociace

Reakce:



Oslo: Ksp + Crd

Orijärvi: Bi + Mu



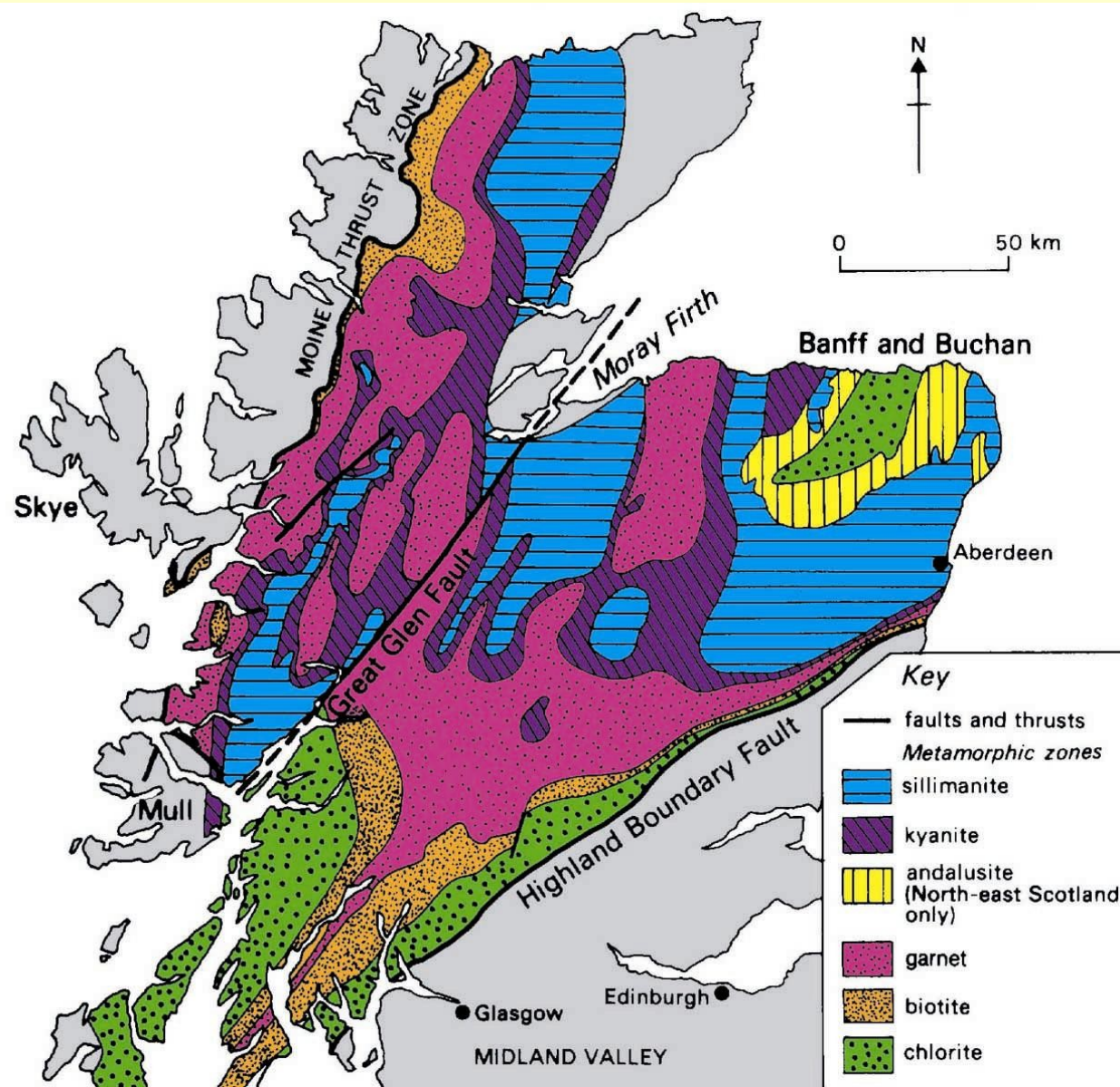
Eskola (1920) : metamorfní facie na bazických horninách (5 základních) Greenschist, Amphibolite, Hornfels, Sanidinite, Eclogite

Eskola (1939) : Granulite, Epidote-amphibolite, Glaucophane-schist, (Blueschist)

• *Metamorfnní zóny,*

• Termín metamorfnní zóna byl zaveden Barrowem (1893) v metapelitech oblasti Dalradian ve Skotsku. Podle zvyšujícího metamorfnního stupně vstupuje do horniny další (indexový) minerál

- chlorit
- biotit
- granát
- staurolit
- kyanit
- sillimanit

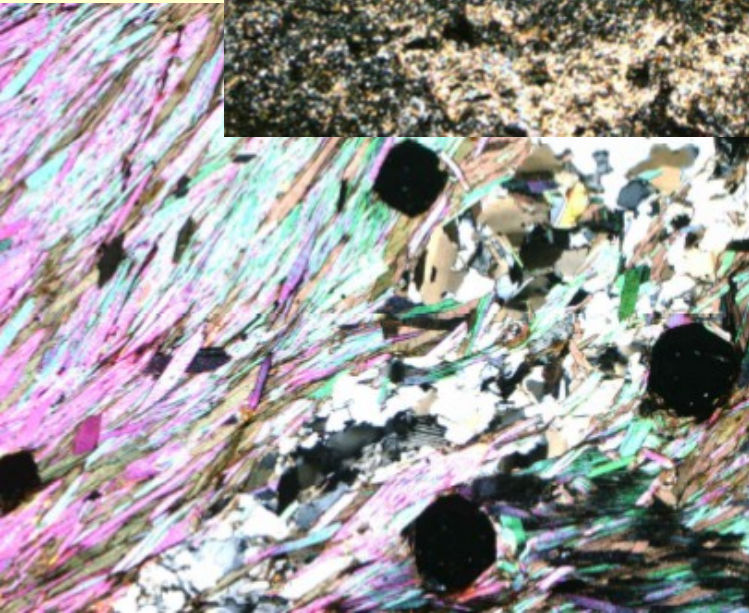


Regional metamorphic map of the Scottish Highlands, showing the zones of minerals that develop with increasing metamorphic grade. From Gillen (1982) *Metamorphic Geology. An Introduction to Tectonic and Metamorphic Processes*. George Allen & Unwin. London.

- **Chloritová zóna:** metamorfované břidlice se mění na fylity s chloritem, muskovitem, křemenem a albitem

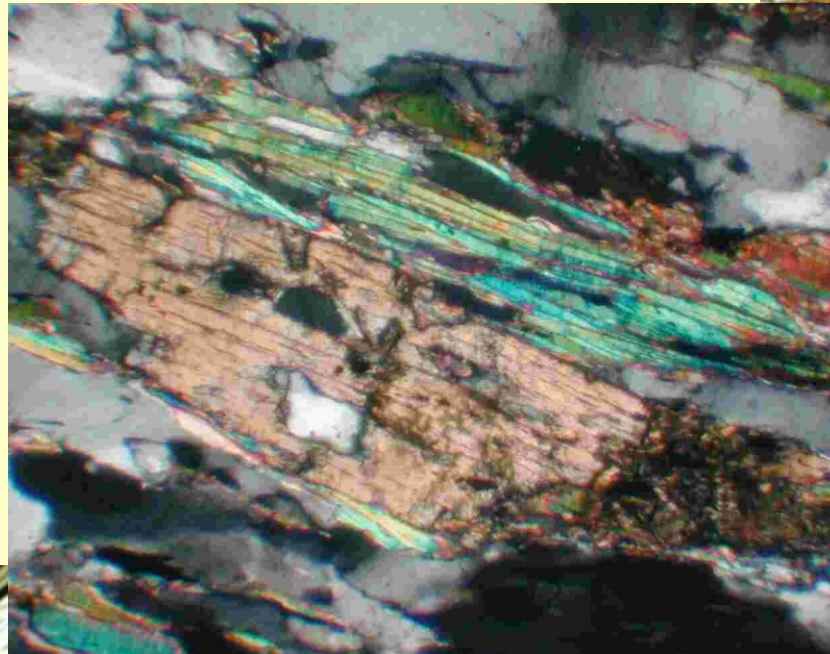


- **Biotitová zóna:** ve fylitech se objevuje biotit který je v asociaci s chloritem, muskovitem, křemenem a albitem

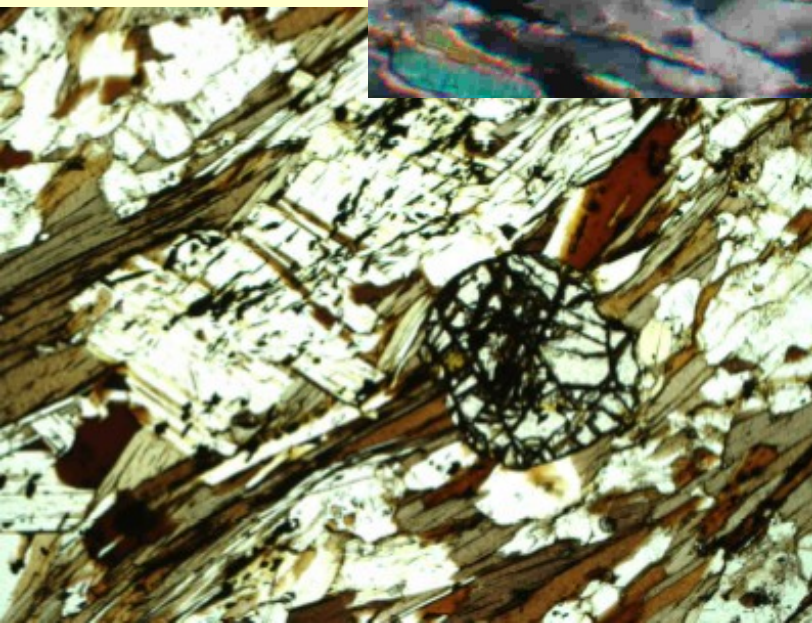


- **Granátová zóna:** Svory až ruly obsahují porfyroblasty granátu v základní hmotě složené z biotitu, chlorit, muskovit, křemen a albit až oligoklas.

- **Staurolitová zóna:** Svory až ruly se staurolitem, biotitem, muskovitem, křemenem, granátem a plagioklasem. Může být přítomen chlorit ale jen v malém množství.



- **Kyanitová zóna:** Svory až ruly s kyanitem, staurolitem, biotitem, muskovitem, křemenem, granátem a plagioklasem.

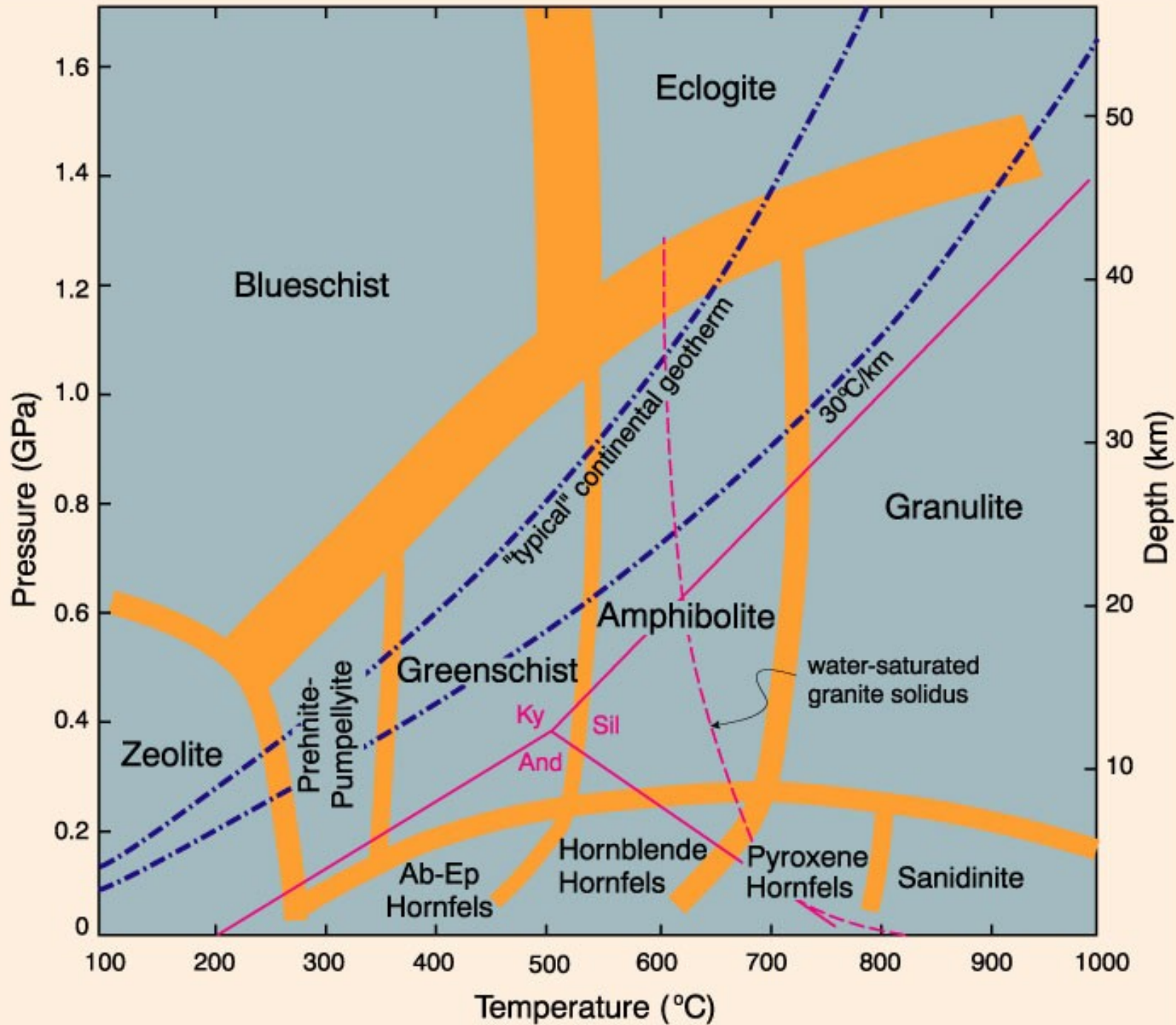


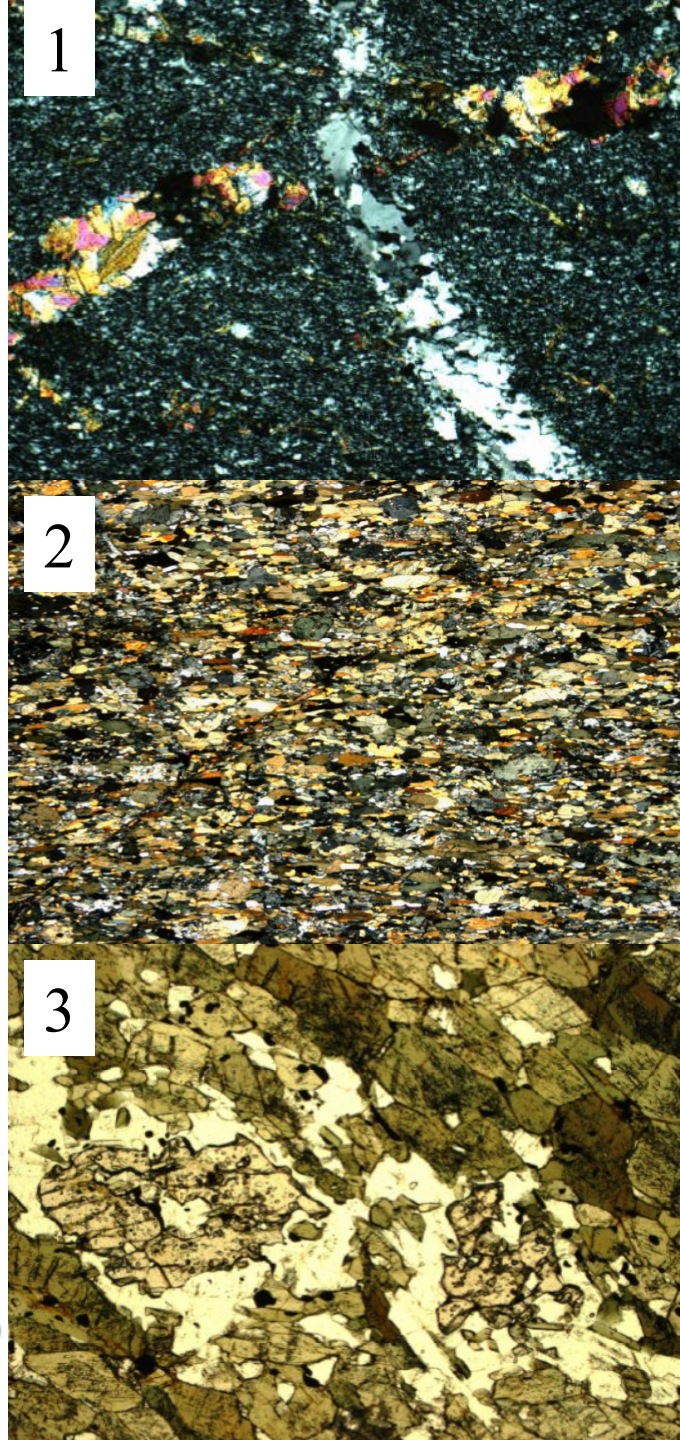
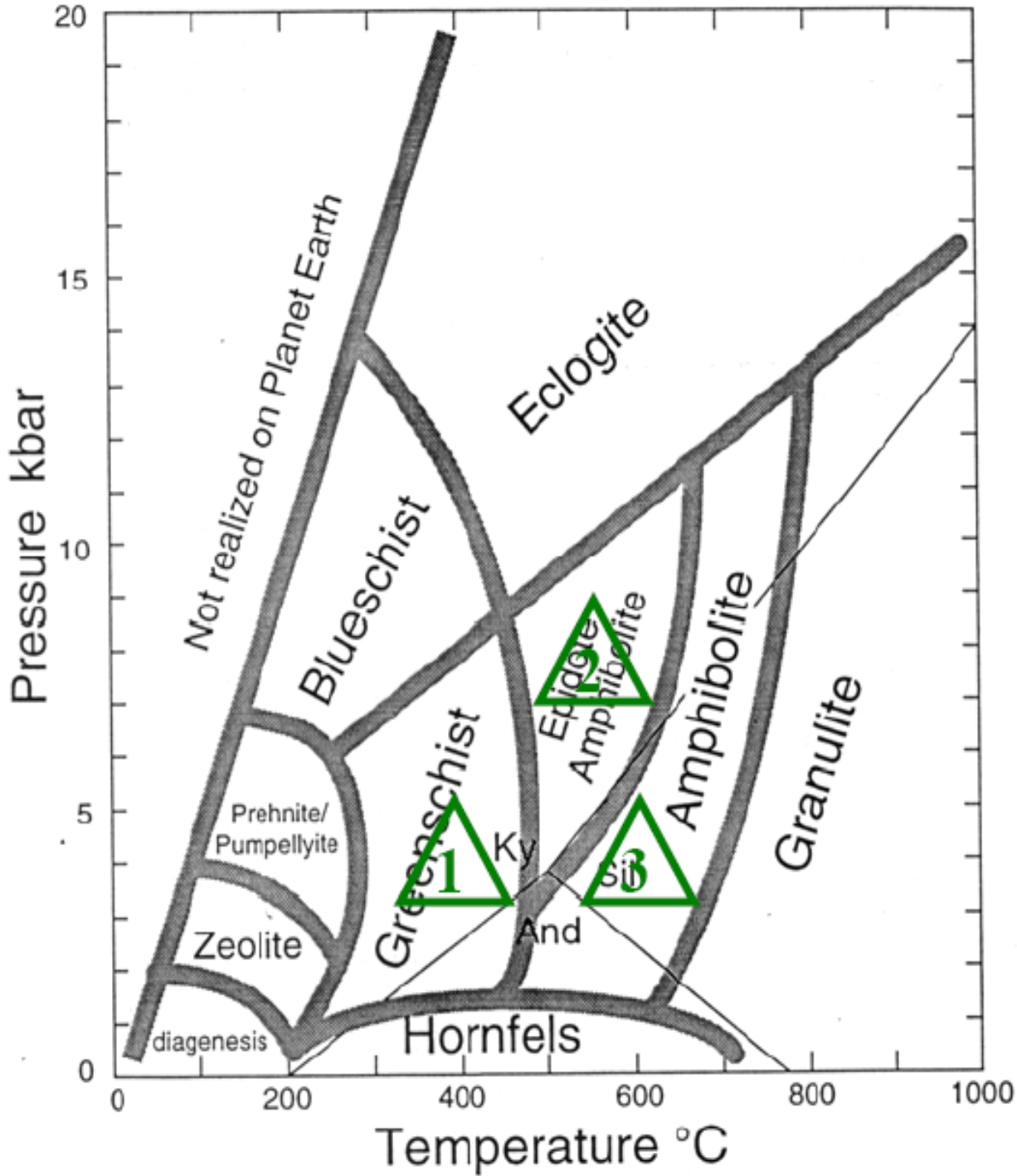
- **Silimanitová zóna:** Svory až ruly se silimanitem biotitem, muskovitem, křemenem, granátem a plagioklasem. Někdy může být přítomen staurolit a reliktů kyanitu.

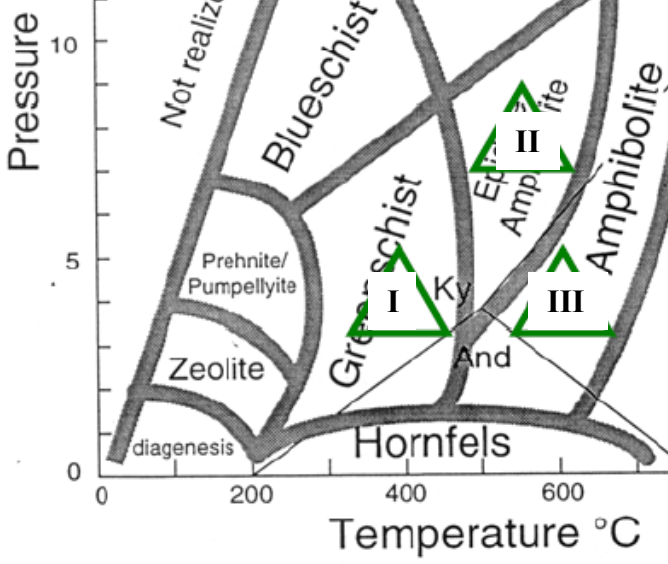
Metamorfní facie

- **Definice:** Je to soubor metamorfních minerálních asociací, opakujících se v prostoru a čase tak, že existuje konstantní a proto předpověditelný vztah mezi mineralogickým složením, chemickým složením horniny a stupněm metamorfózy.
- Metamorfní facie byly definovány na metabazitech.
- **Typy metamorfních facií:** 1) zeolitová, 2) prehnit-pumpellyitová, 3) modrých břidlic – glaukofan, 4) eklogitová - granát + omfacit, 5) zelených břidlic - chlority, aktinolit, 6) epidot-amfibolitová, 7) amfibolitová, 8) granulitová - ortopyroxen

Facie	Diagnostické minerály v mafických horninách
zeolitová	zeolity
prehnit-pumpellyitová	prehnit + pumpellyit
modrých břidlic	glaukofan + lawsonit nebo epidot (+albit +/-chlorit)
eklogitová	granát + omfacit
zelených břidlic	chlorit + albit + epidot (nebo zoisit) +/- aktinolit
epidotických amfibolitů	plagioklas (albit-oligoklas) + hornblend + epidot +/- granát
amfibolitová	plagioklas (oligoklas- andezín) + hornblend +/- granát
granulitová	ortopyroxen (+ klinopyroxen + plagioklas +/- hornblend +/- granát

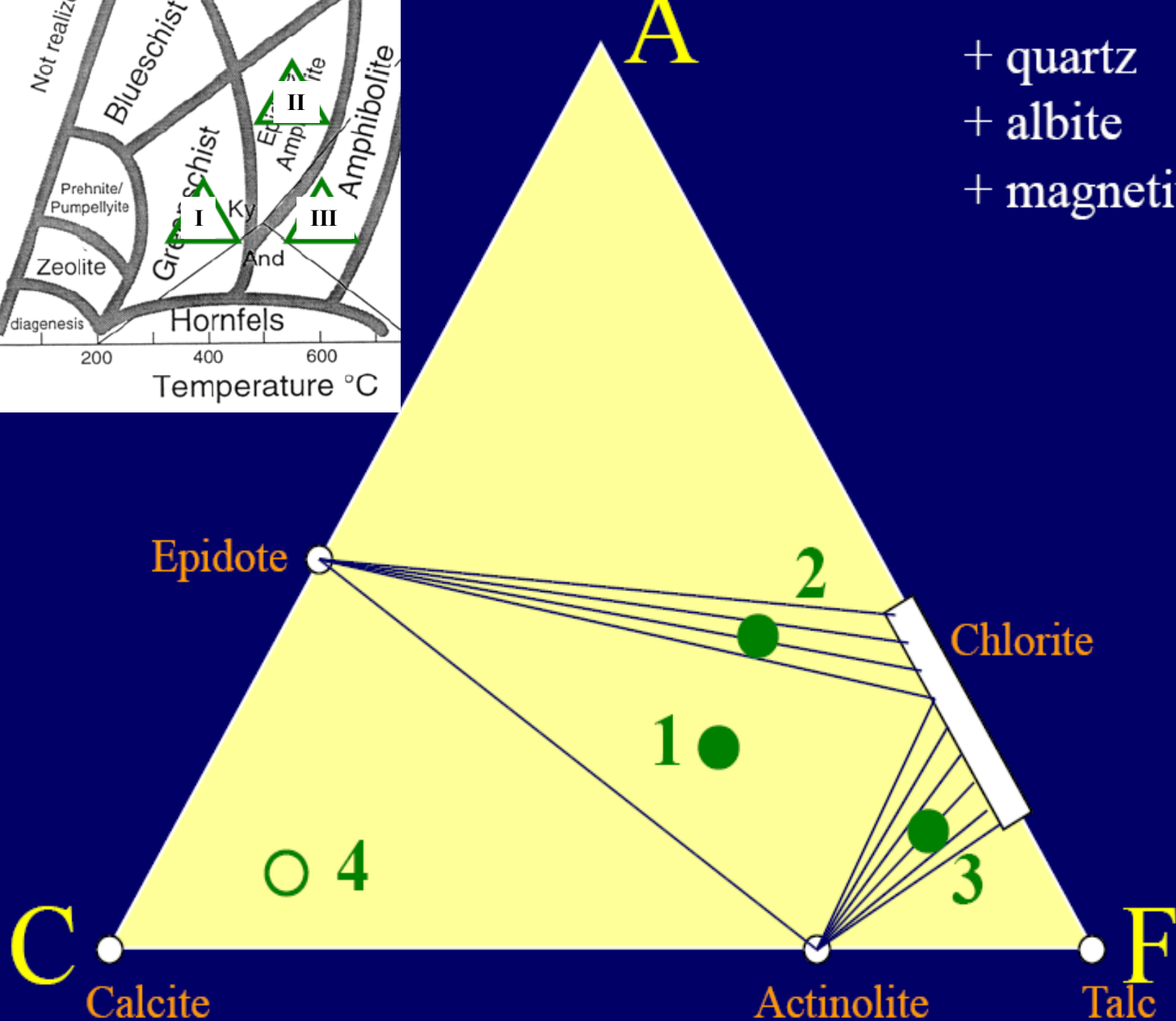


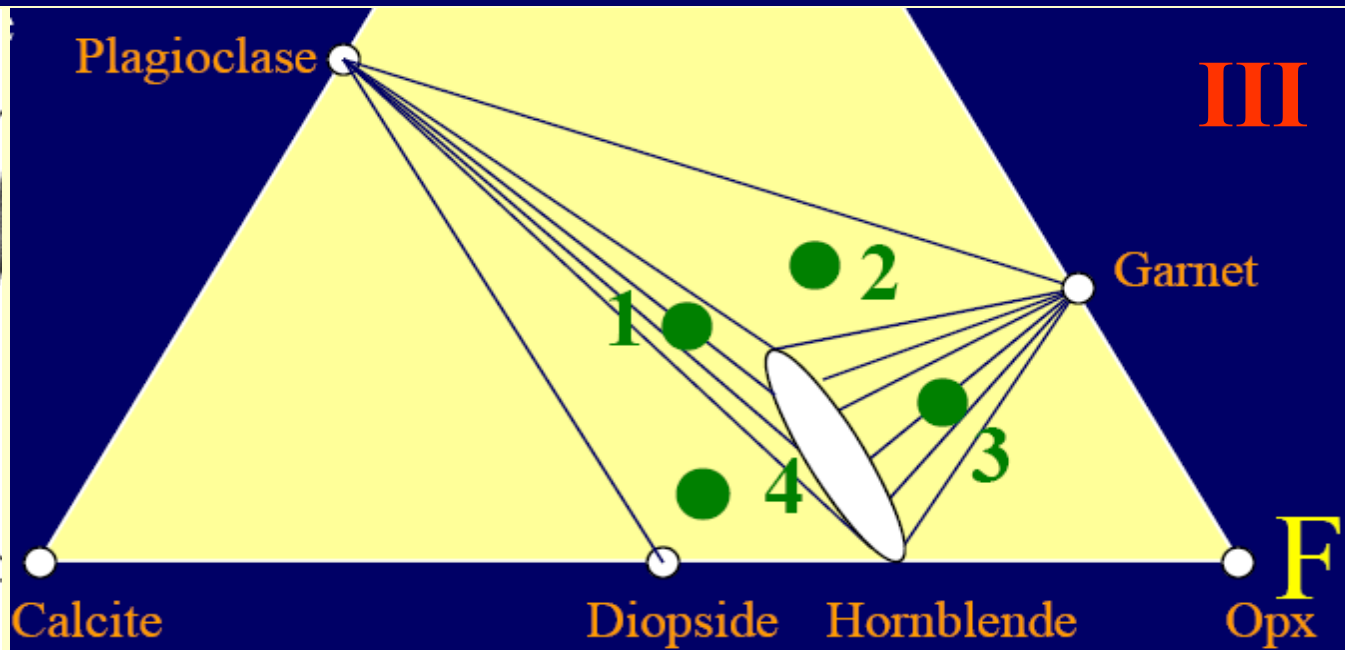
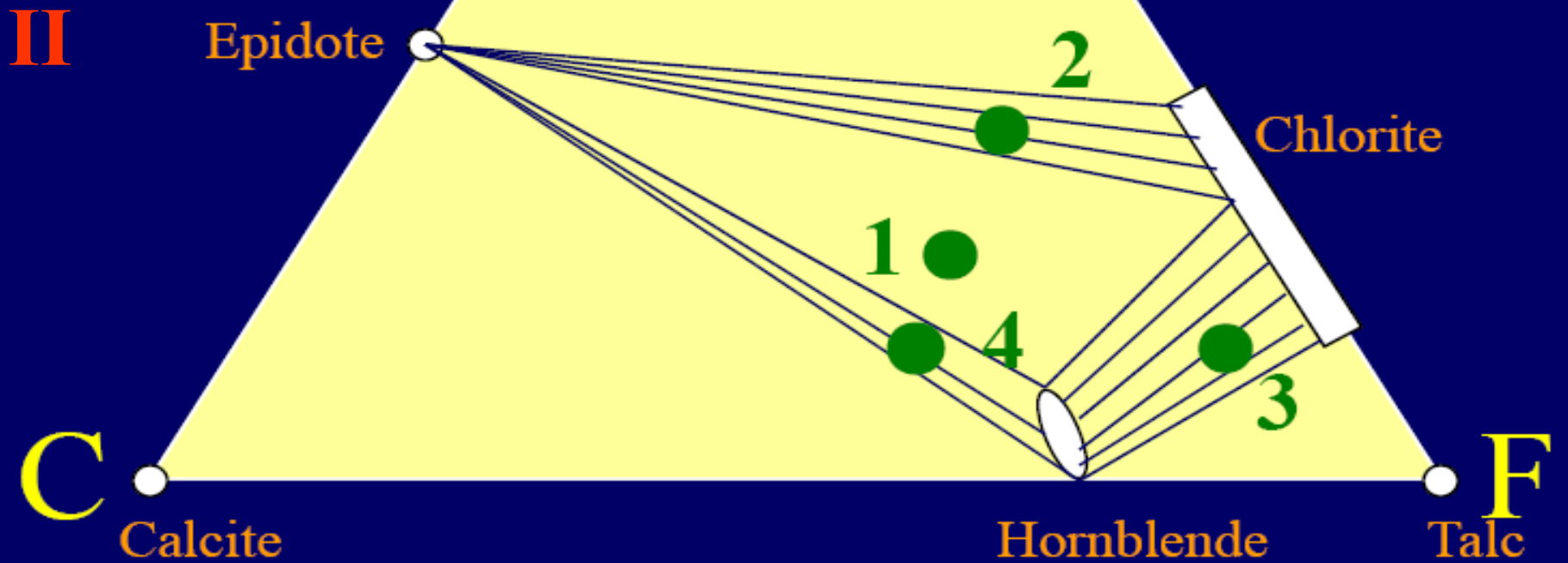




- + quartz
- + albite
- + magnetite

I







II

Epidote



2



Chlorite

1



4



3



C

Calcite

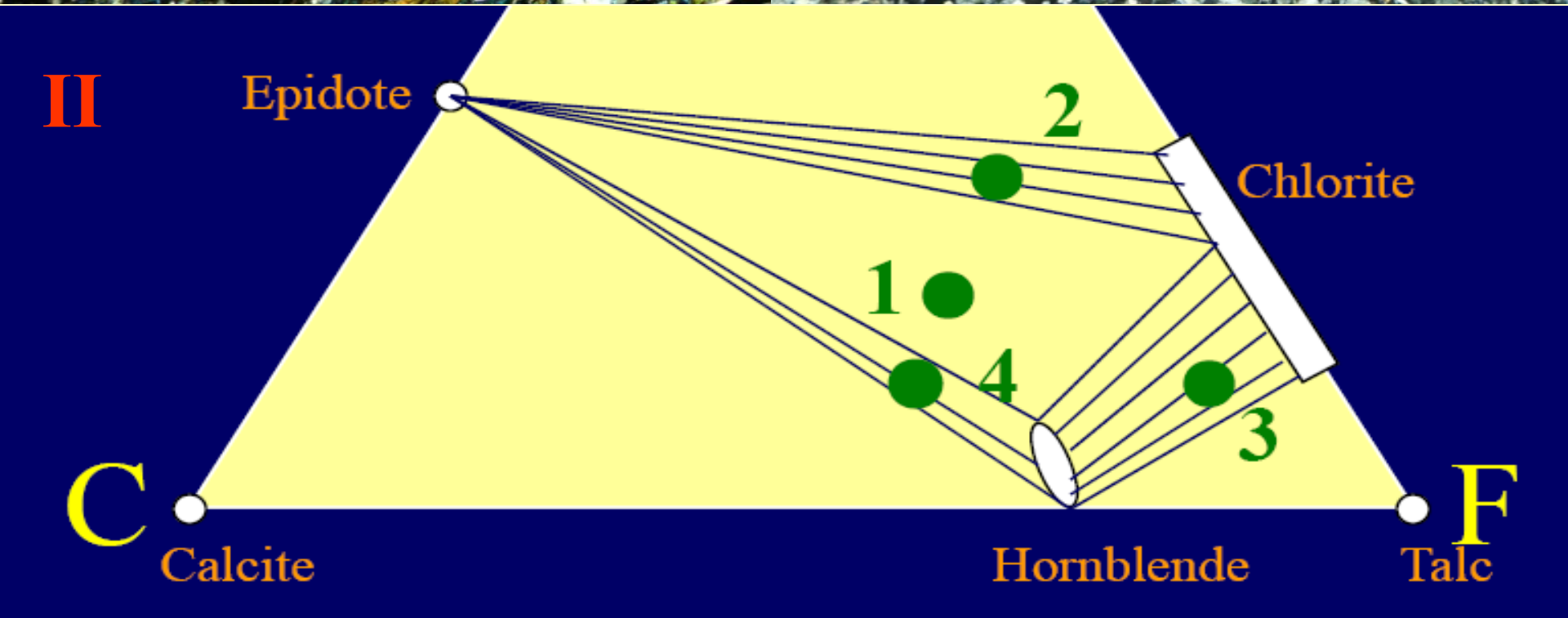


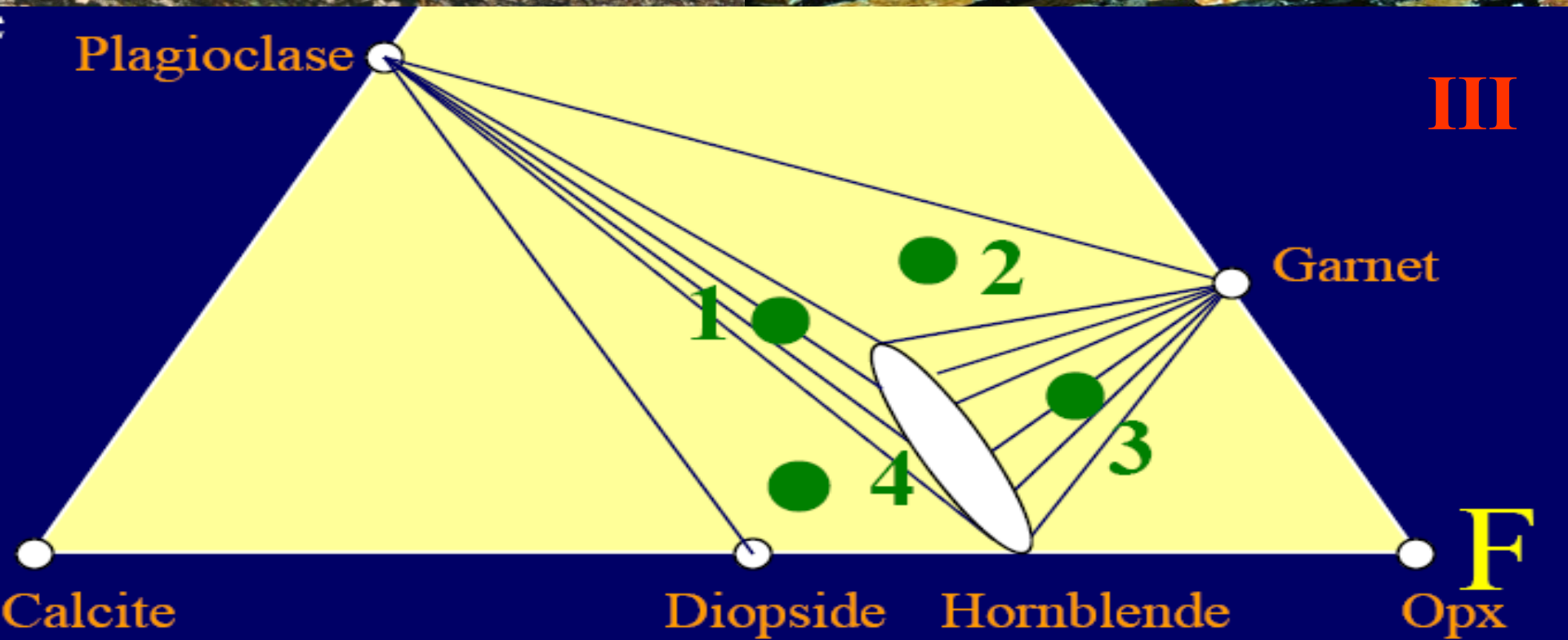
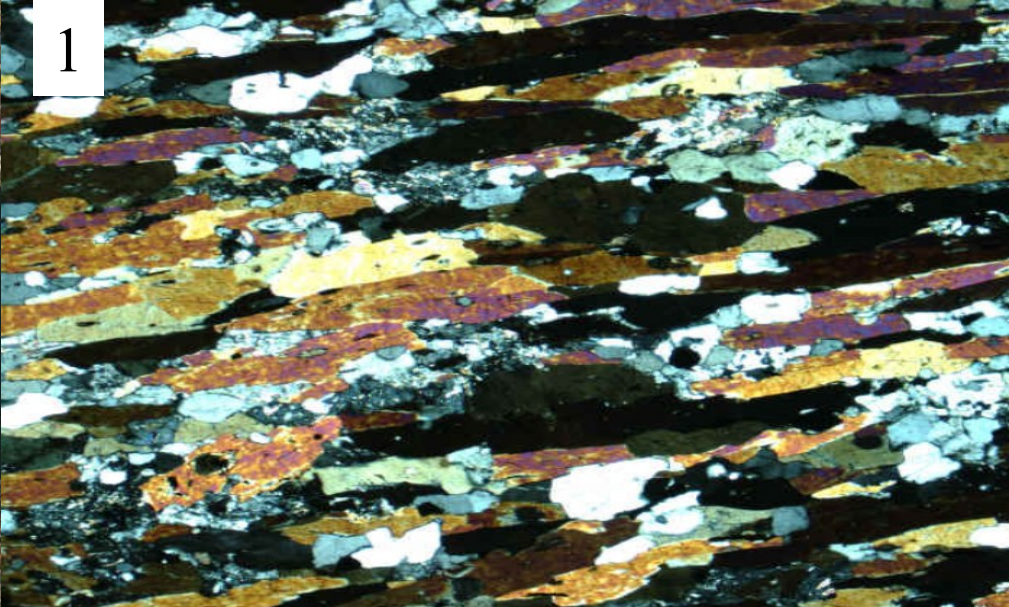
Hornblende



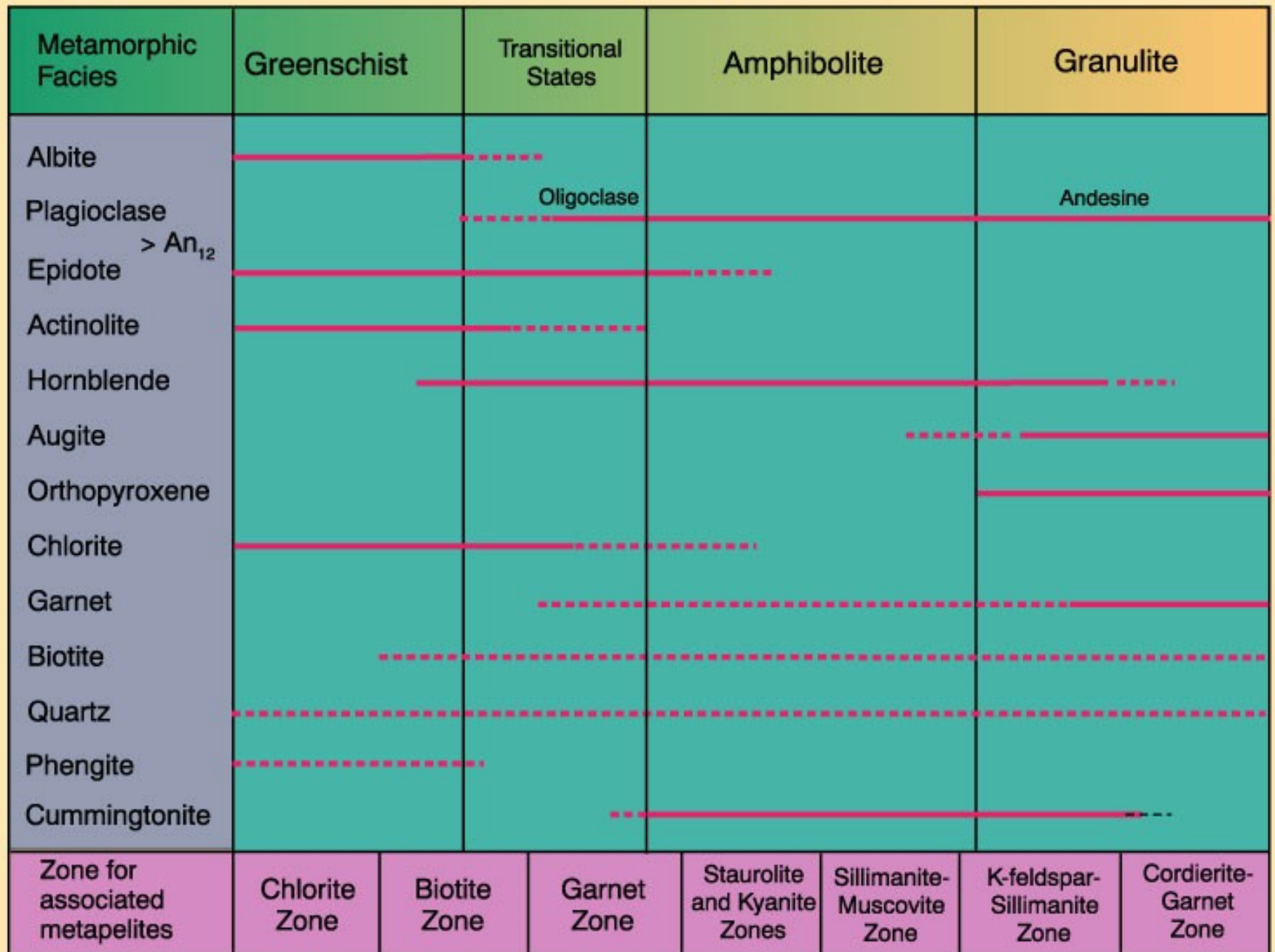
F

Talc





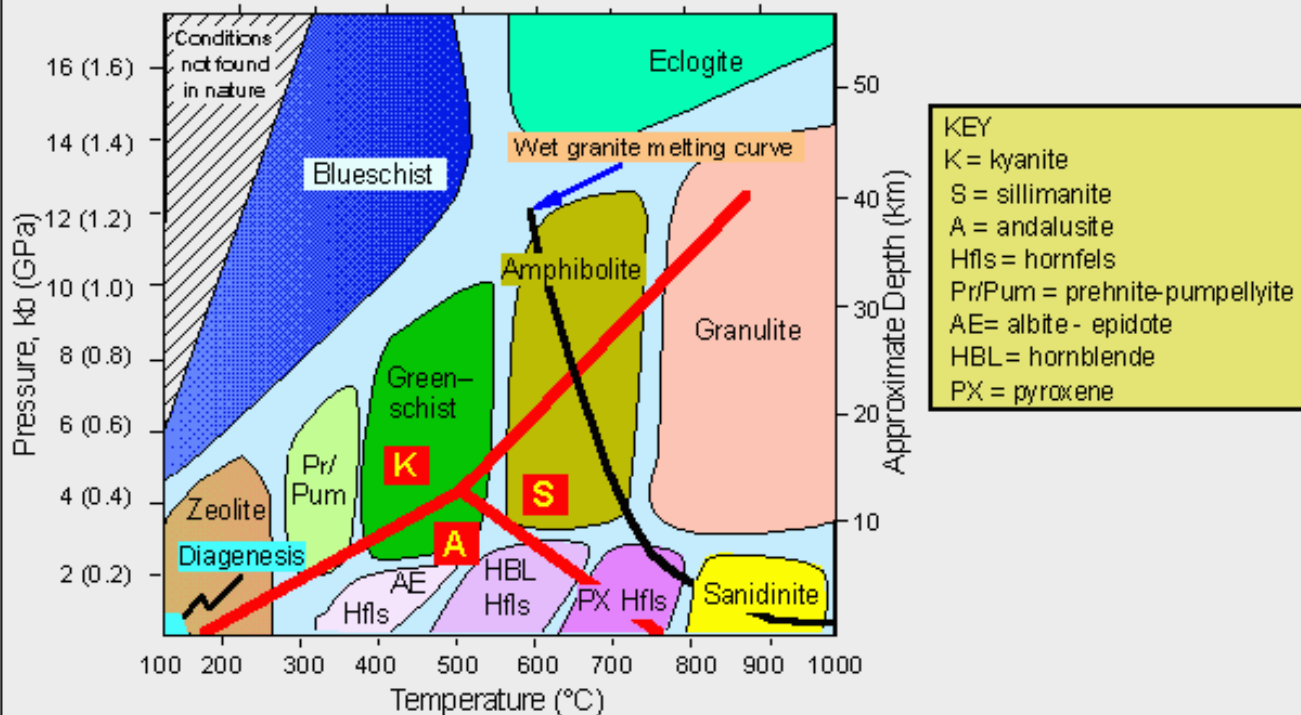
Metamorphic Grade \longrightarrow



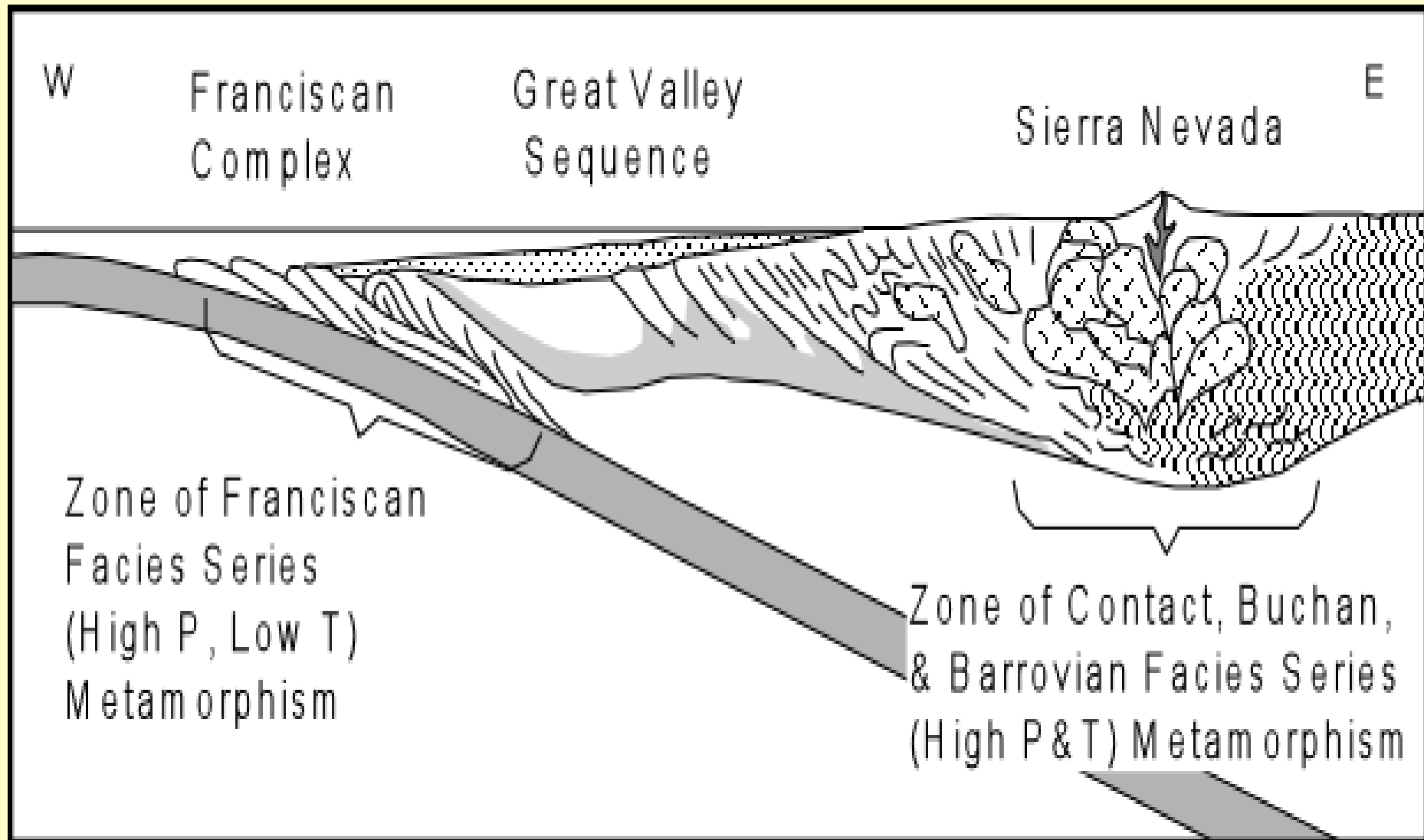
pelity	mafické horniny	nečisté dolomitické mramory
biotitová zóna	facie zelených břidlic	mastek
granátová zóna	facie epidotických amfibolitů	tremolit - aktinolit
staurolitová zóna		
staurolit-kyanitová zóna	amfibolitová facie	diopsid
sillimanitová zóna		
sillimanit - K-živcová zóna	granulitová facie	diopsid, forsterit

Chemicky různé horniny se během metamorfózy chovají odlišně (pelity, mafické horniny)

Generalized Metamorphic Facies Boundaries (after Yardley, 1988)



3) Geotektonická pozice jednotlivých typů metamorfóz



After Raymond (1995)

Série metamorfních facií

1) Abukuma (Buchan)

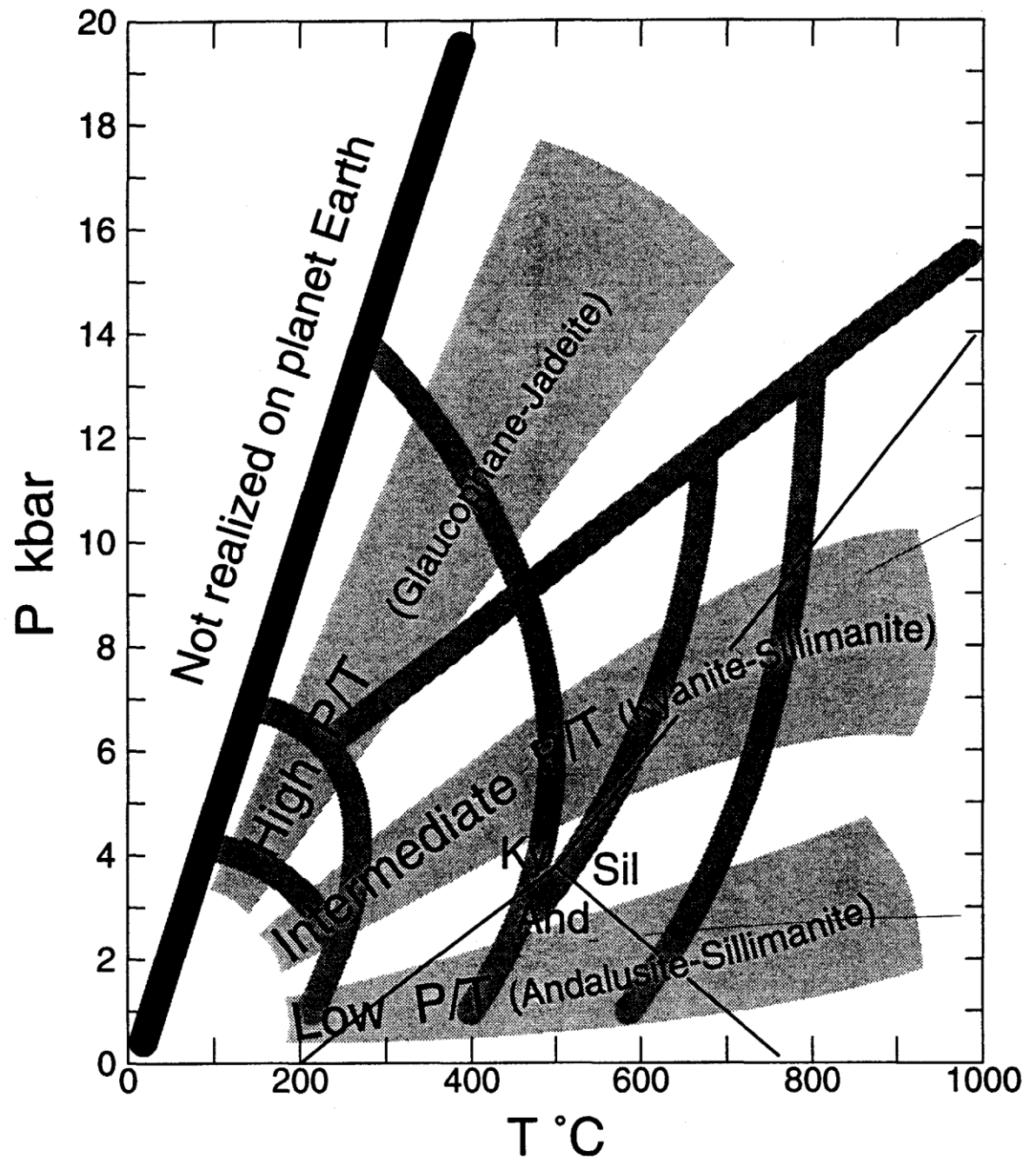
- ✓ nízký poměr P/T
- ✓ (Gre – A – G)
- ✓ série andalusit-sillimanit

2) Sanbagawa

- ✓ vysoký poměr P/T
- ✓ (Zeo – PP – Blue – Ecl)
- ✓ série glaukofan-jadeit

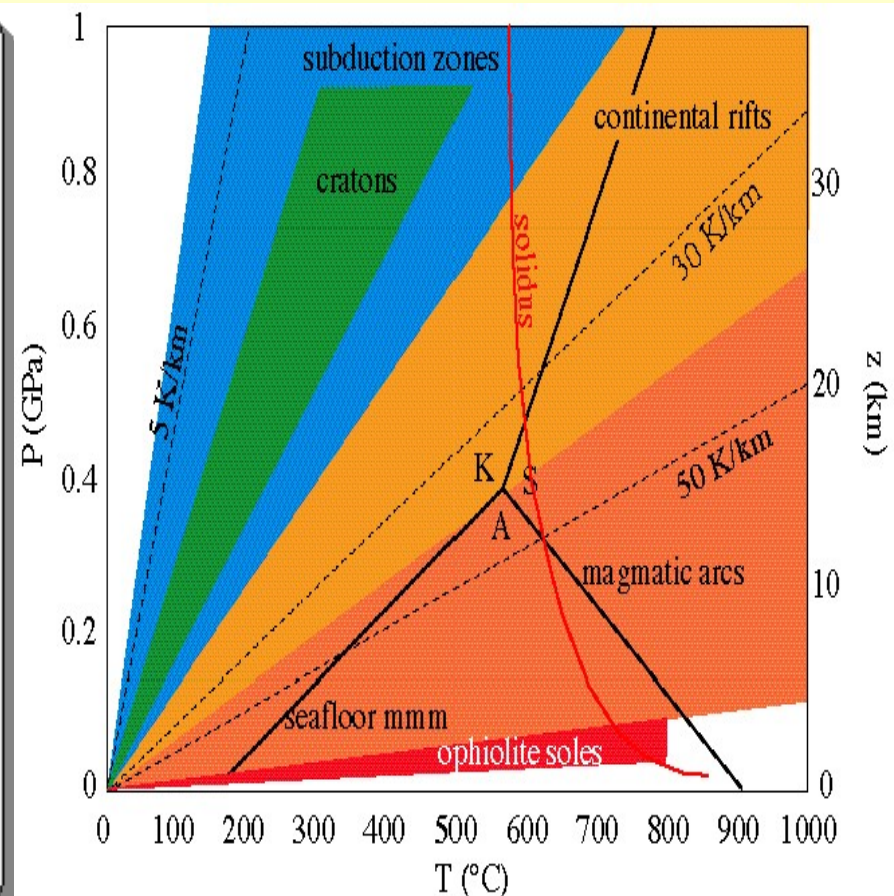
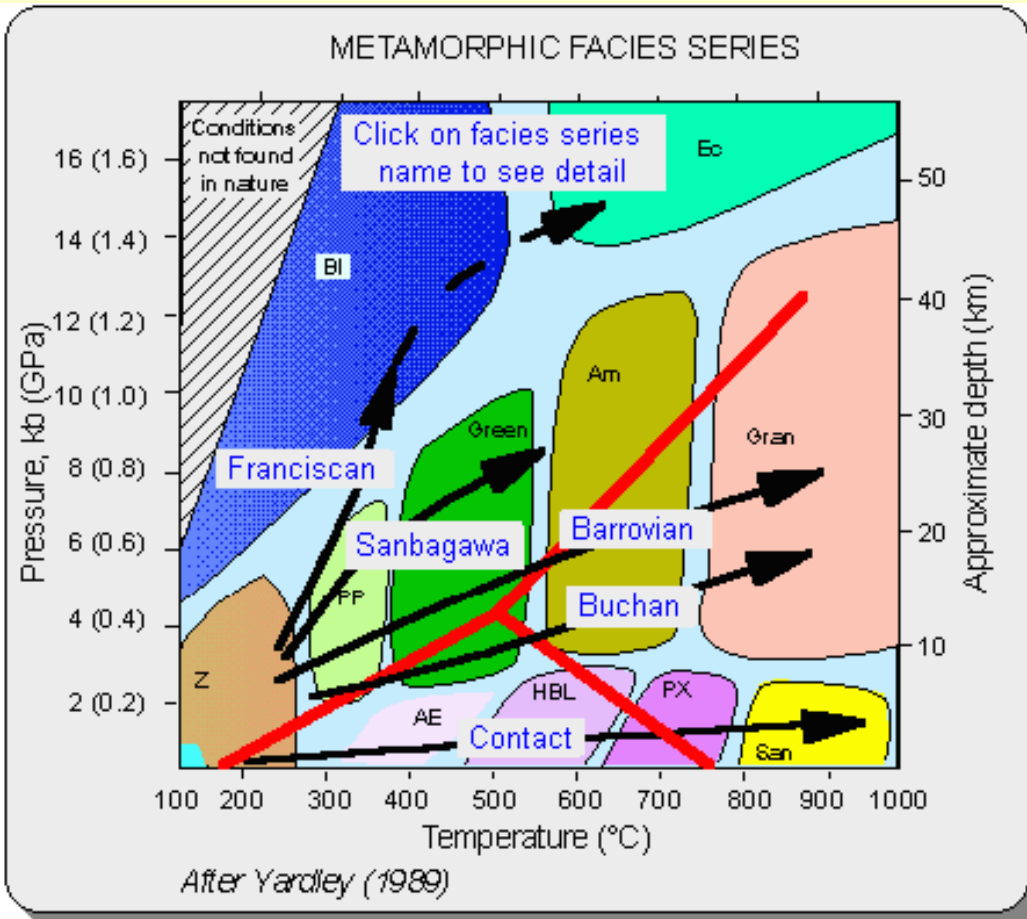
3) Barrovienská

- ✓ střední poměr P/T
- ✓ (Gre – Epi A – A – G)
- ✓ série kyanit-sillimanit



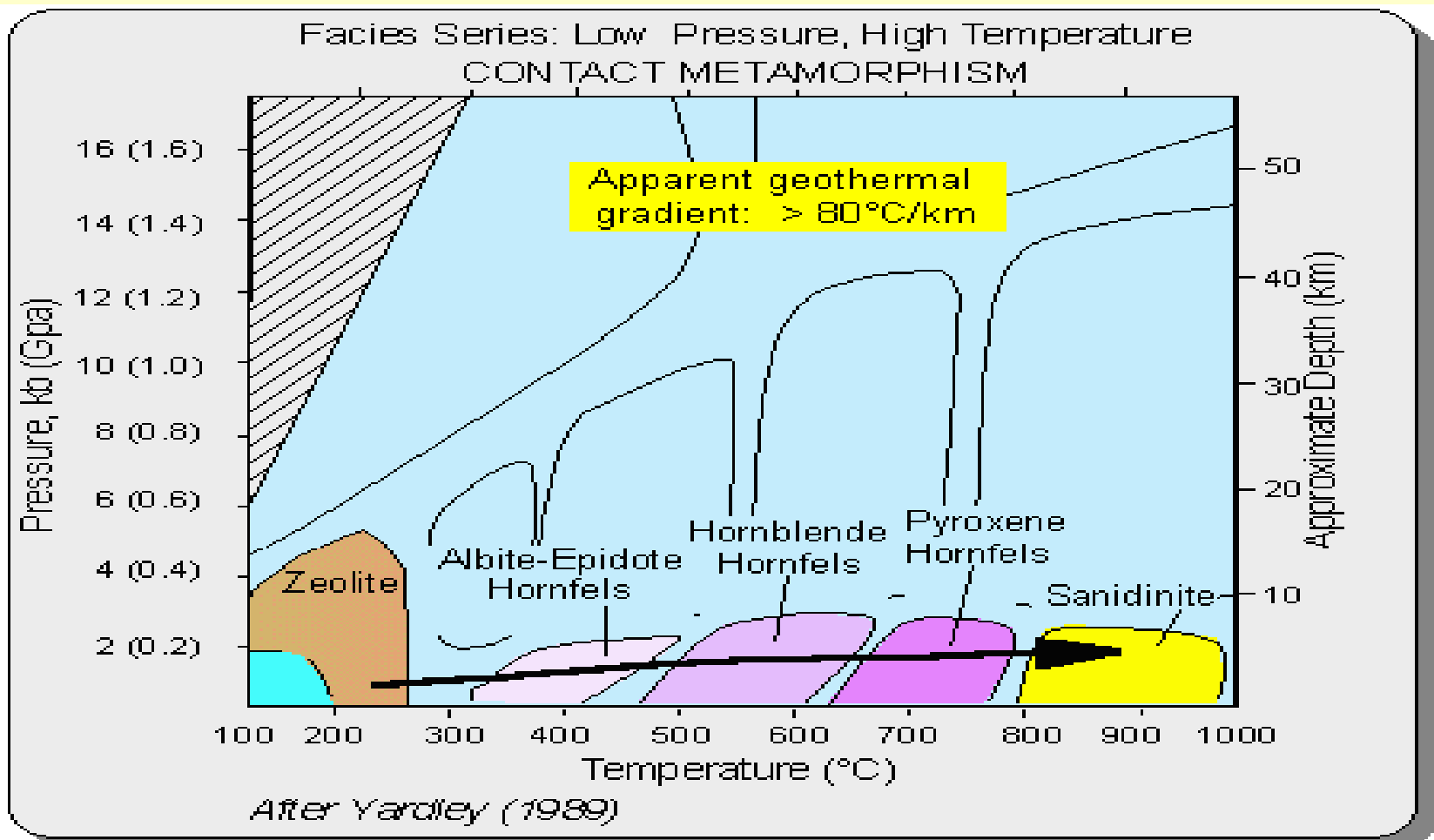
Miyashiro (1961) různé sekvence metamorfních facií v různých tekt. prostředích:

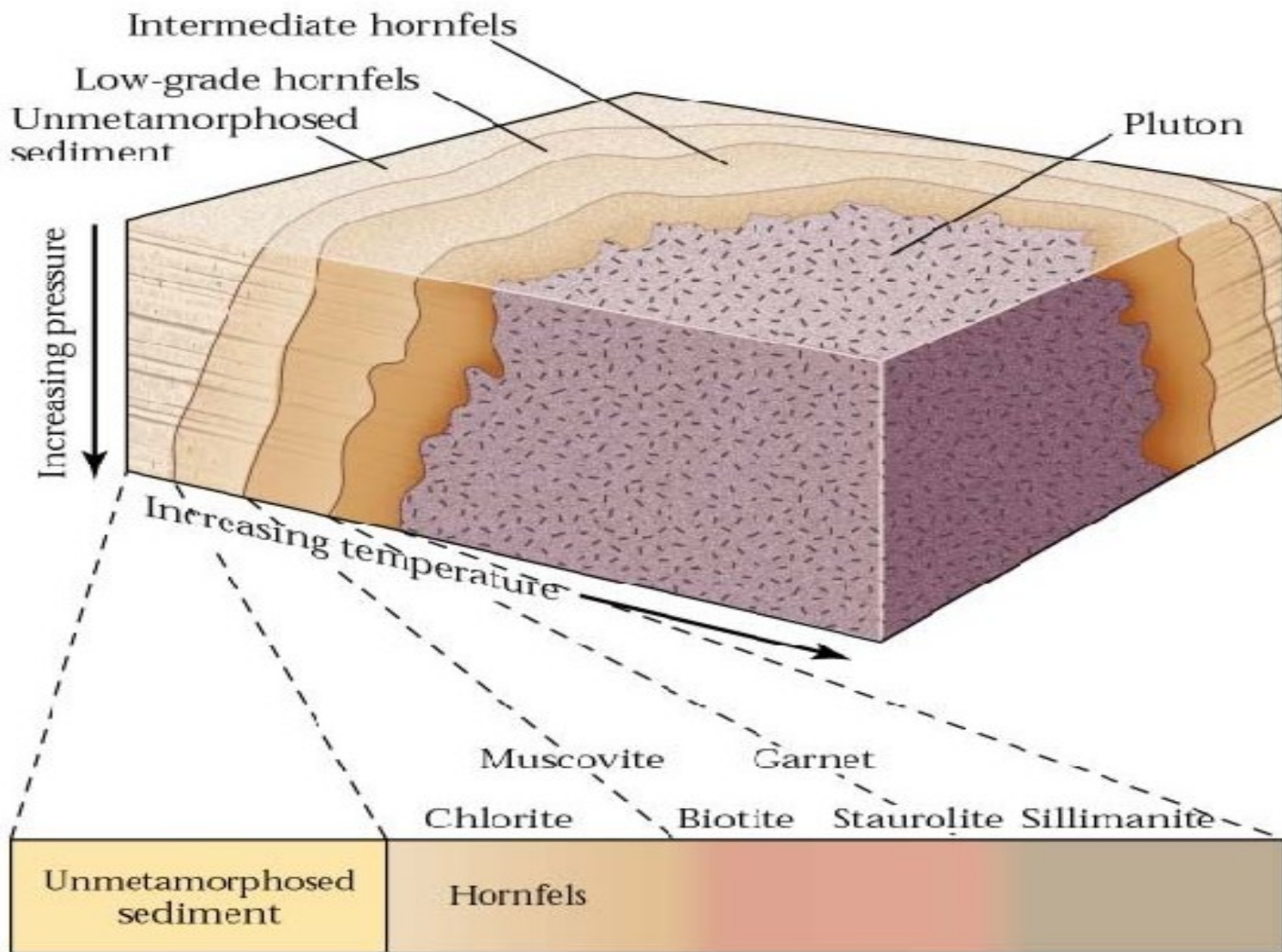
1. Série kontaktních facií (nízké tlaky) Contact Facies Series
2. Série facií Abukuma nebo Buchan (nízké tlaky regionální)
3. Série facií Sanbagawa (vysoké-P, střední-T)
4. Série facií Franciská (vysoký-P, vysoká-T)
5. Série facií Barrovianská (střední-P regionální)



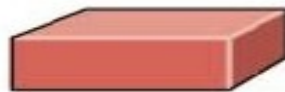
1) Kontaktní metamorfóza

- probíhá za velmi nízkých tlaků
- je způsobena teplem magmatu na povrchu nebo těsně pod ním
- nízký P/T (andalusit-sillimanit)
- malý rozsah (závisí hlavně na velikosti magmatického tělesa)
- časté projevy metasomatózy (kontaktní skarny).





Clay



Brick



Pottery



Porcelain

Hornina: **plodová břidlice**
(kontaktně metamorfovaný
fylit)

Minerály:

Lokalita: J okraj Kraslic u odbočky na Rotavu, Krušné
hory

Poznámka: - č. 315; r. 1976, coll. J. Souček



Hornina: **porcelanit s lasturnatým
lomem**

Minerály:

Lokalita: Březno, Louny

Poznámka: č. 291



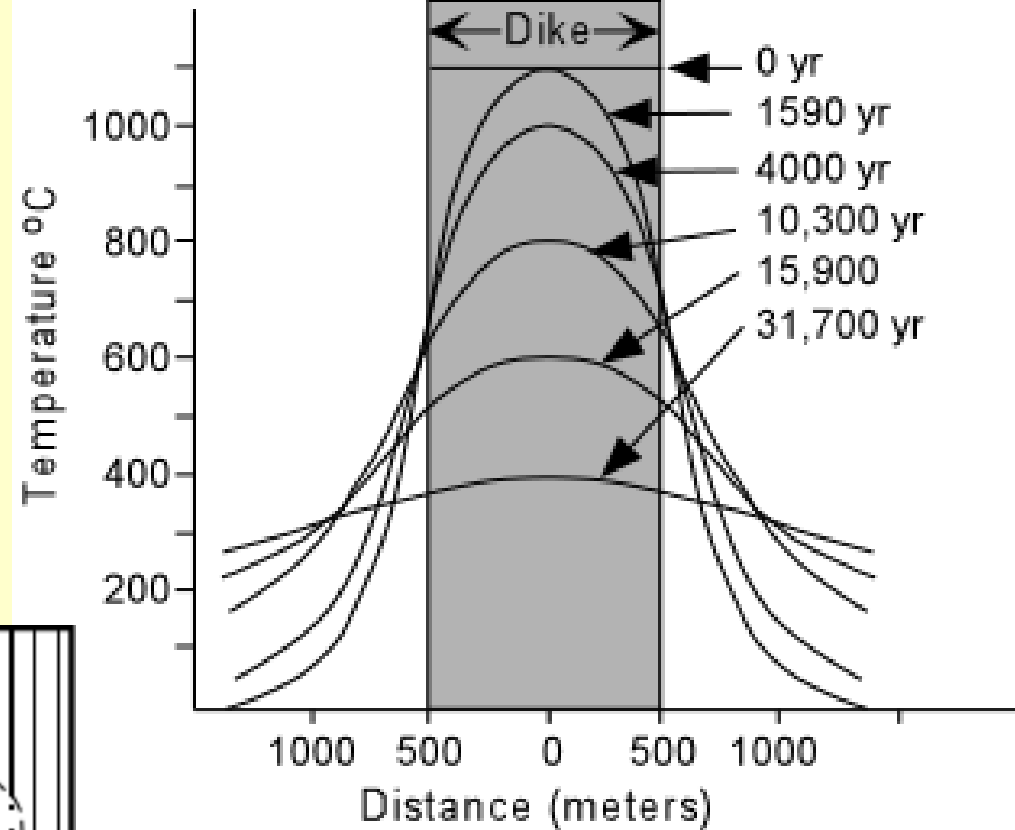
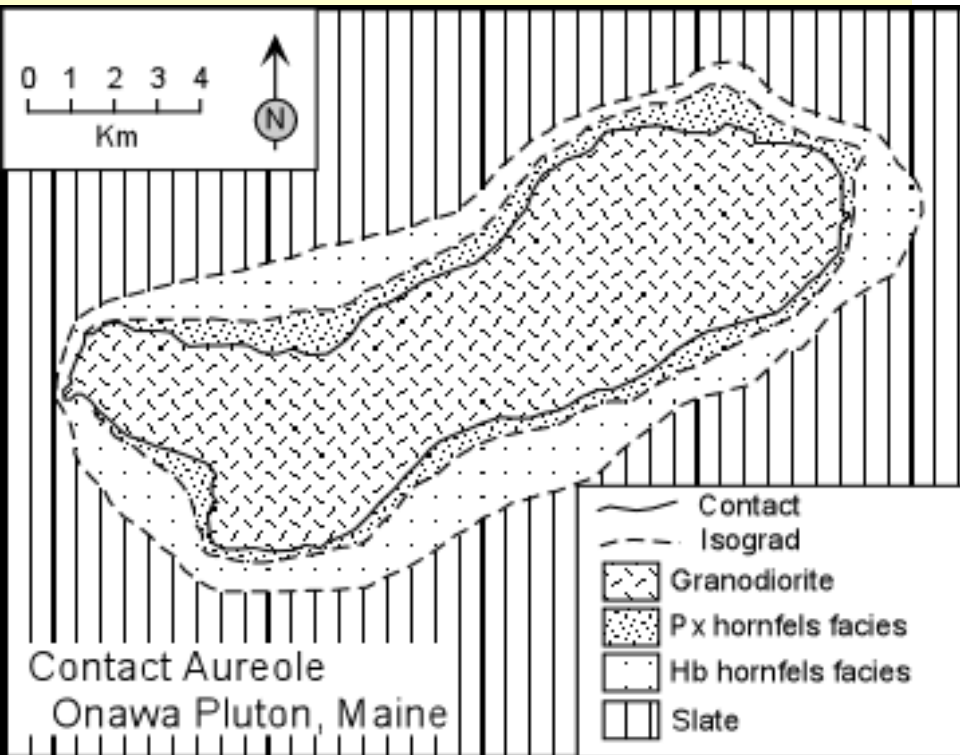




Velikost a intenzitu kontaktní metamorfózy ovlivňují:

a) Vlastnosti plutonu

- velikost
- složení
- teplota
- tvar



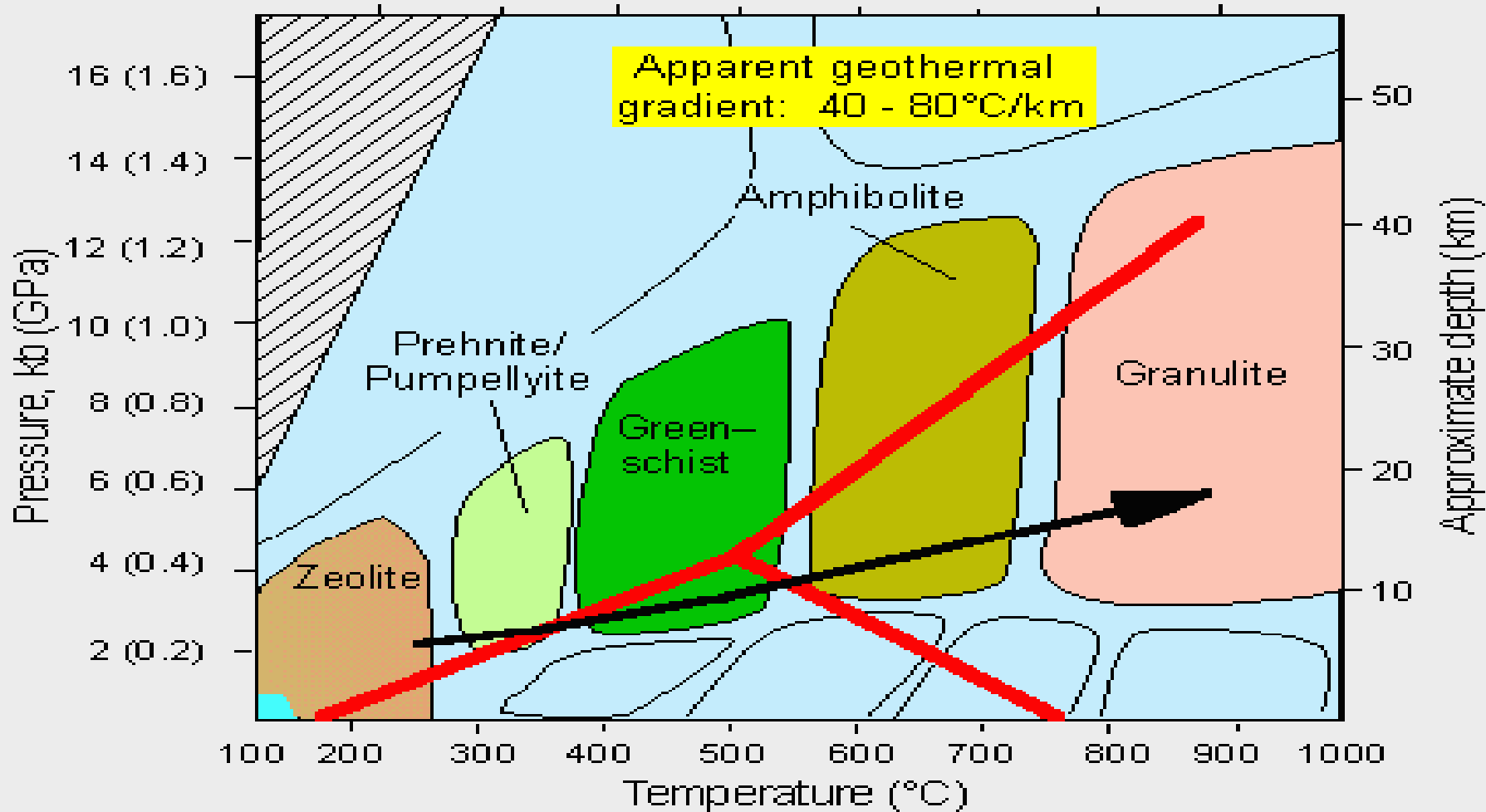
b) Vlastnosti okolních hornin

- složení
- hloubka a metamorfní gradient
- permeabilita (vodivost hornin)

2) Nízko tlaká metamorfóza (typu Buchan)

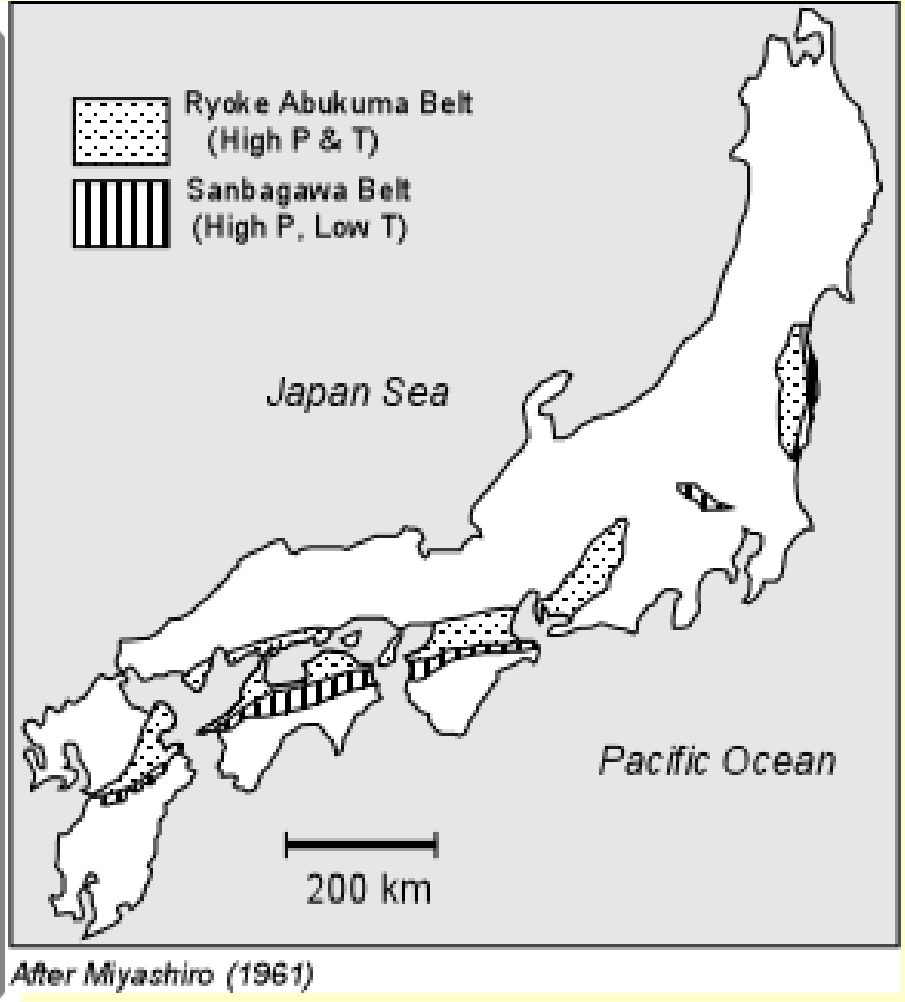
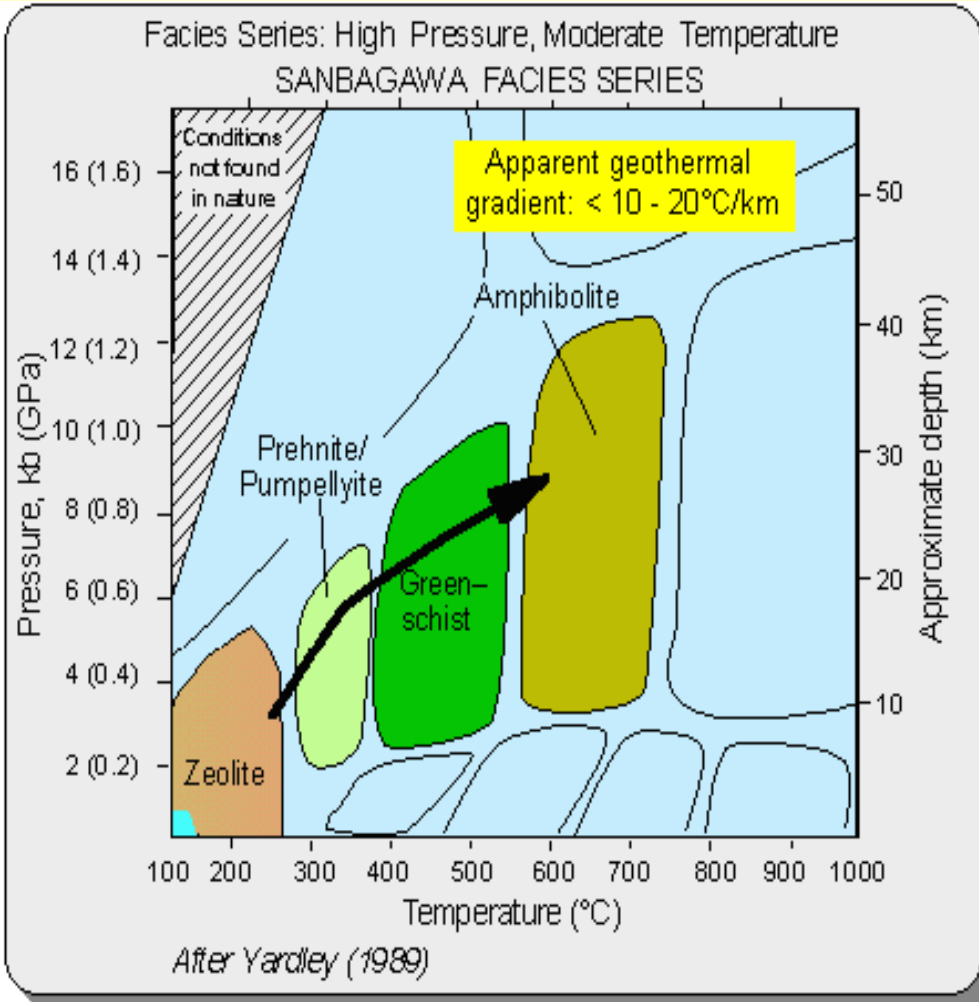
- probíhá za nízkých tlaků
- přínos tepla to svrchní kůry

Facies Series: Low Pressure, Andalusite—Sillimanite type
BUCHAN FACIES SERIES



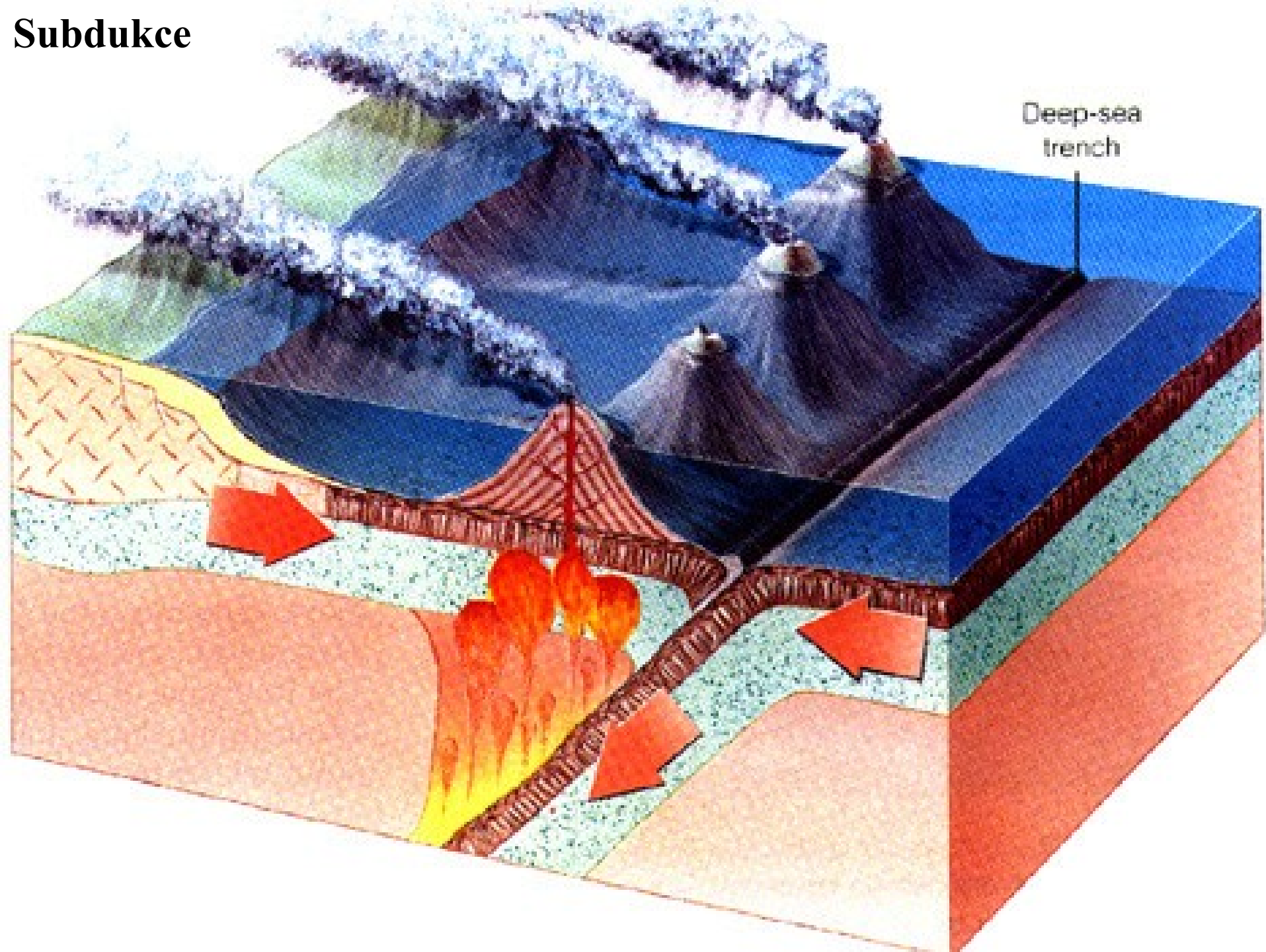
After Yardley (1989)

• 3) Metamorfóza typu Sambagwa

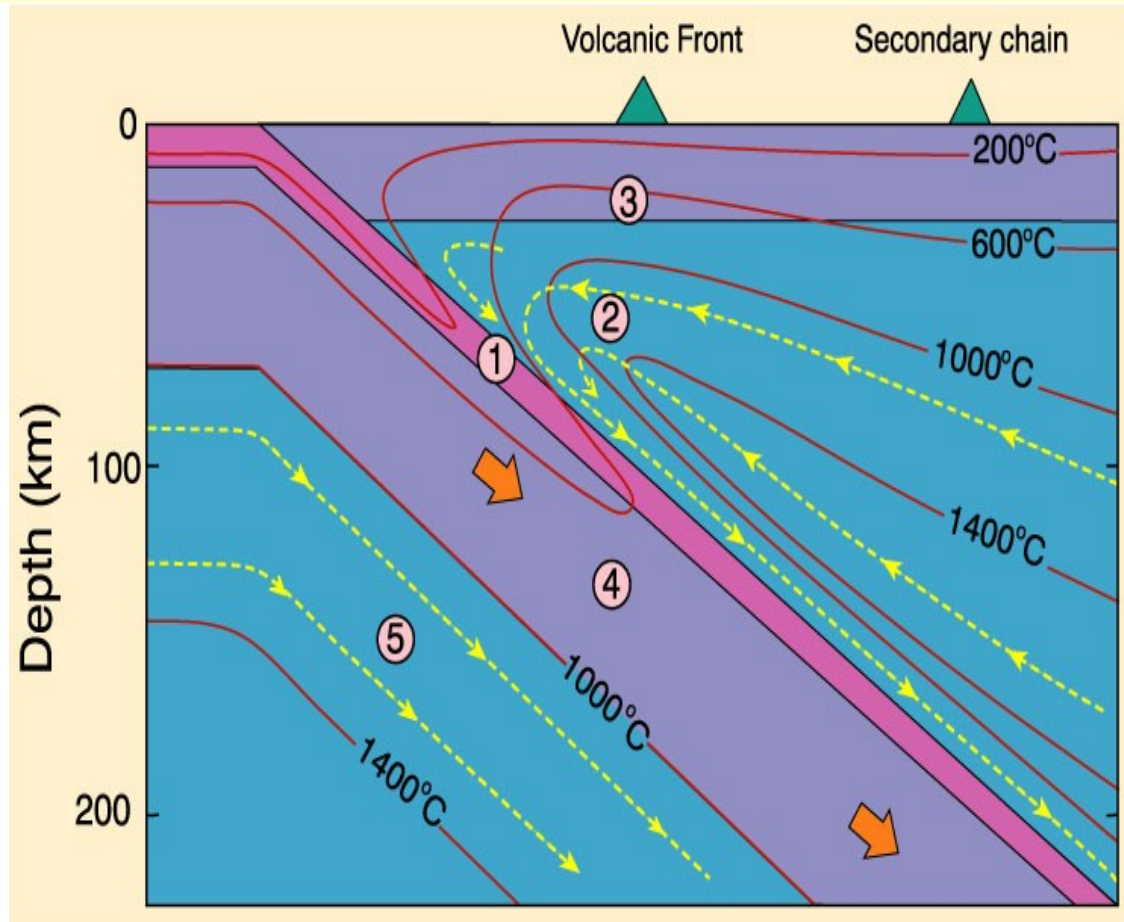
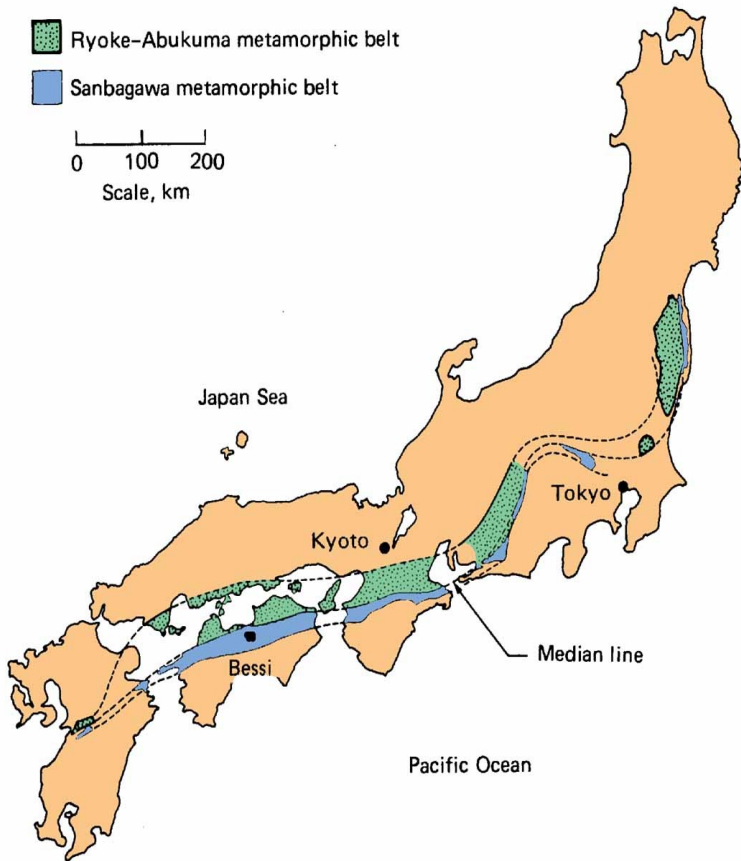


- vyznačuje se párovým uspořádáním zón (nízkotlaký a vysokotlaký pás)
- na jedné straně je zóna Ryoke-Abukuma charakterizovaná nízkým tlakem a vysokou teplotou
- na druhé straně Sanbagawa zóna pro niž je charakteristická nízká teplota a vysoké tlaky

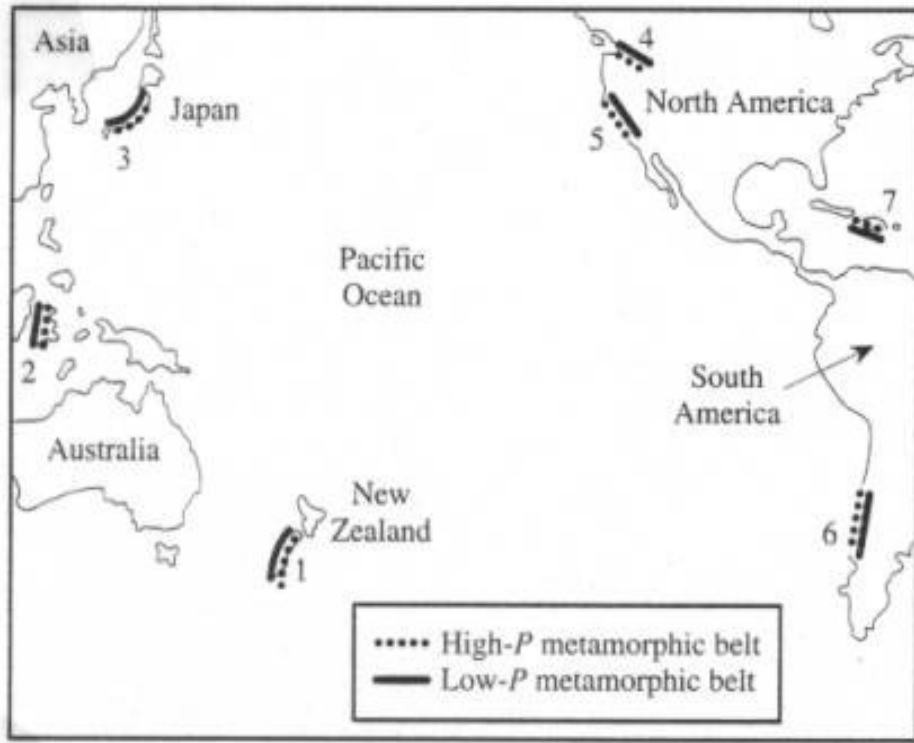
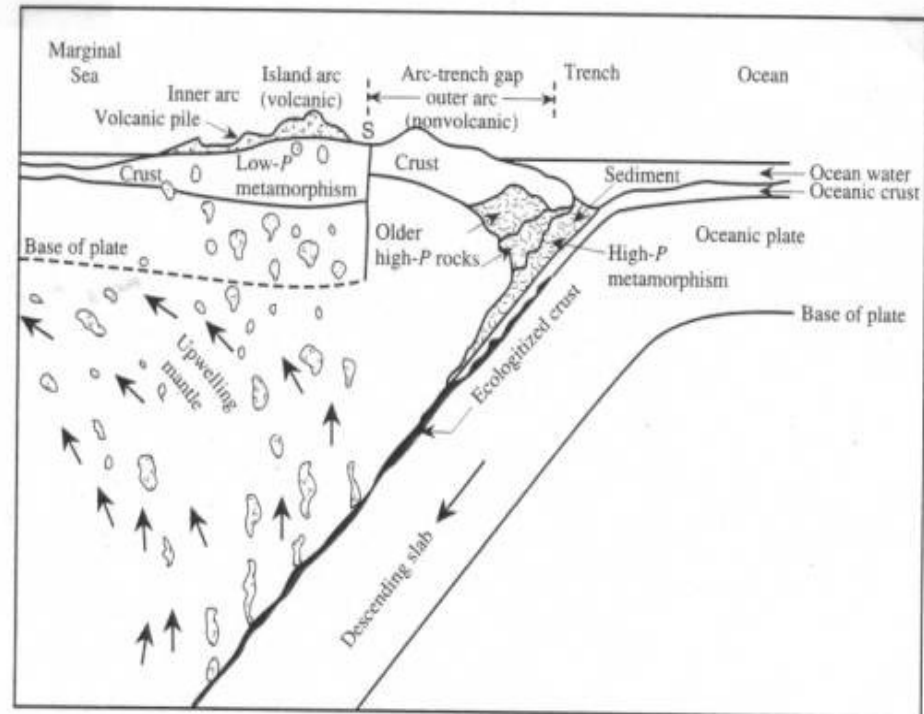
Subdukce



- teplota 600 °C je:
 1. na straně subdukčního příkopu v hloubce 100 km
 2. pod vulkanickým obloukem v hloubce kolem 20 km
- metamorfóza vysokotlaká
- vysoký P/T (glaukofan-jadeit)

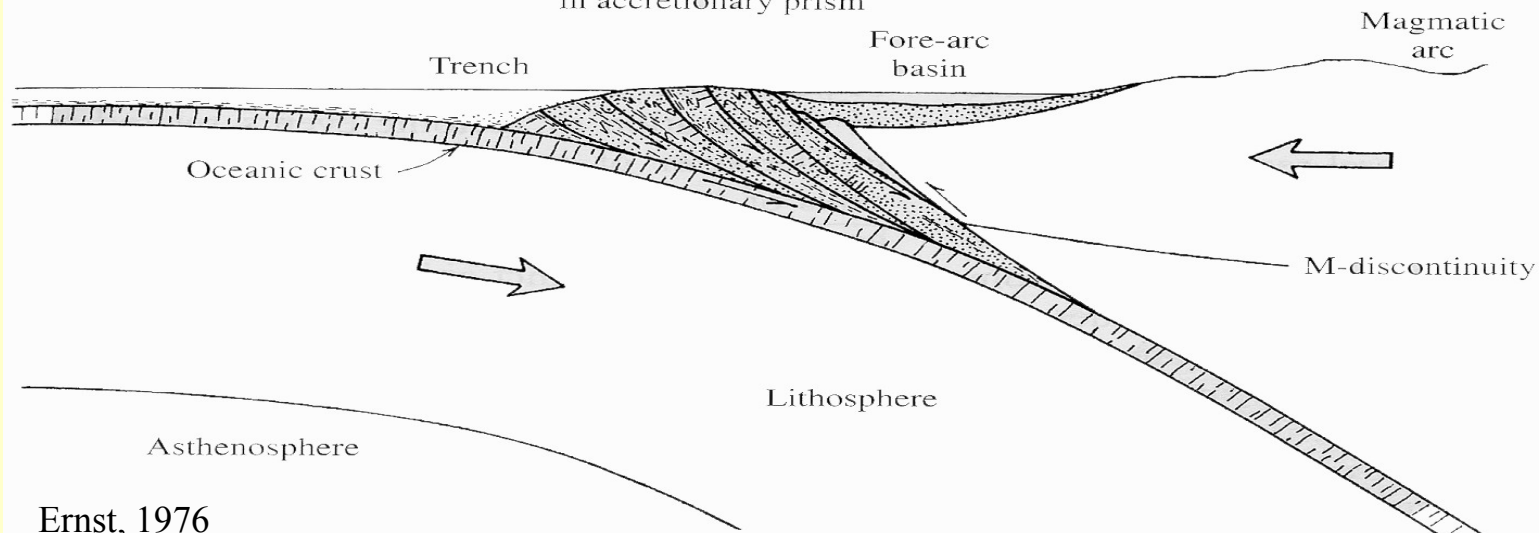


- **Pás Ryoke**
- na straně ke kontinentu
- vysoko až středně-teplotní a střední tlak metamorfóza
- metapelity metamorfované až do sillimanitové zóny
- hojné granitické intruze

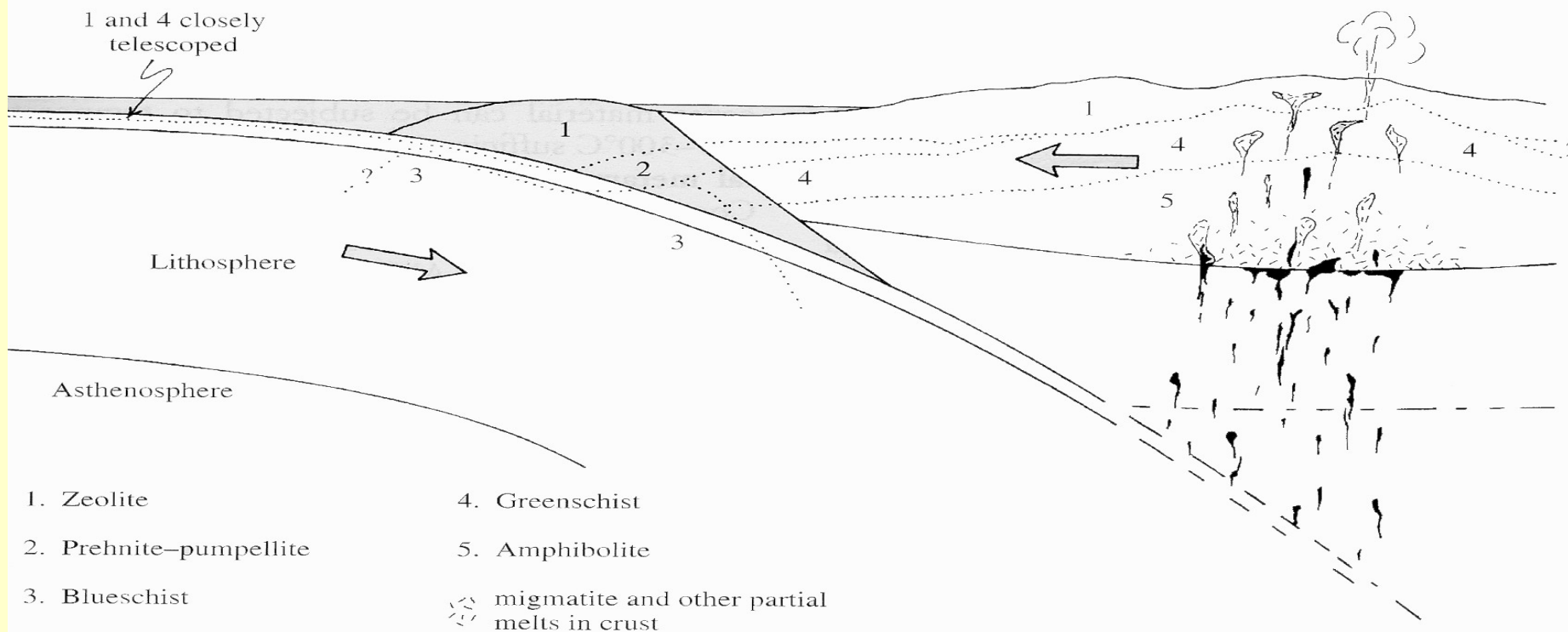


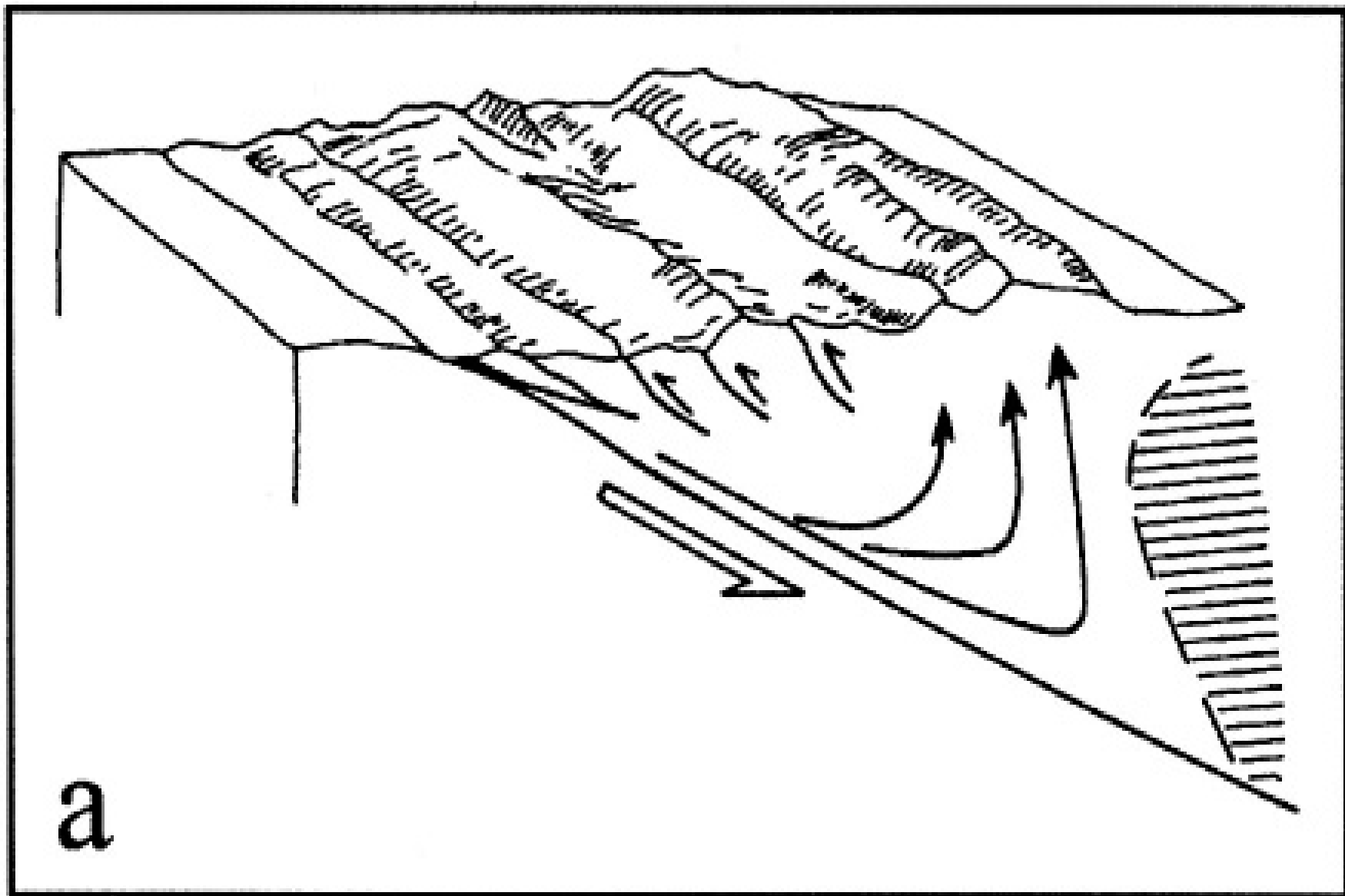
- **Pás Sanbagawa**
- na straně k oceánu
- hojné bazické horniny
- většinou ve facii zeolitové až amfibolitové
- časté modré břidlice
- metapelity dosáhly jen granátové zóny
- vysokotlaká a nízkoteplotní metamorfóza

High *P/T* metamorphic rocks
in accretionary prism



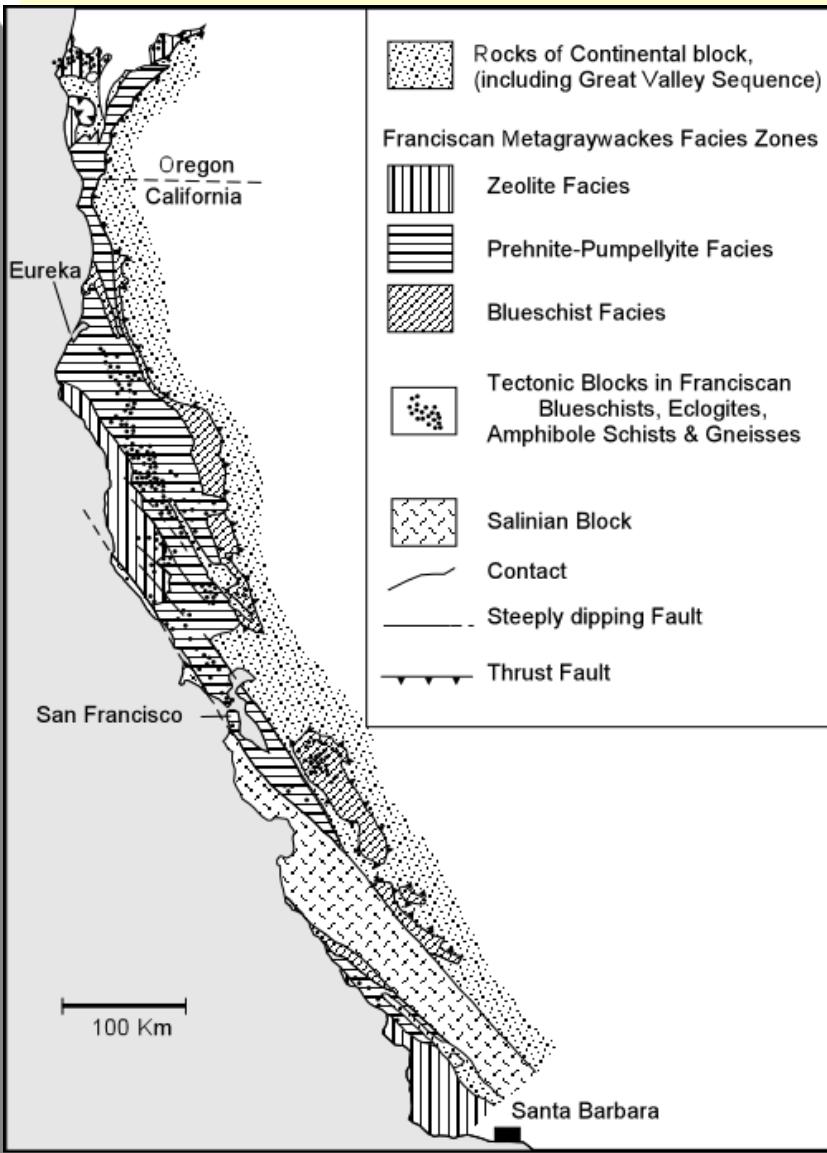
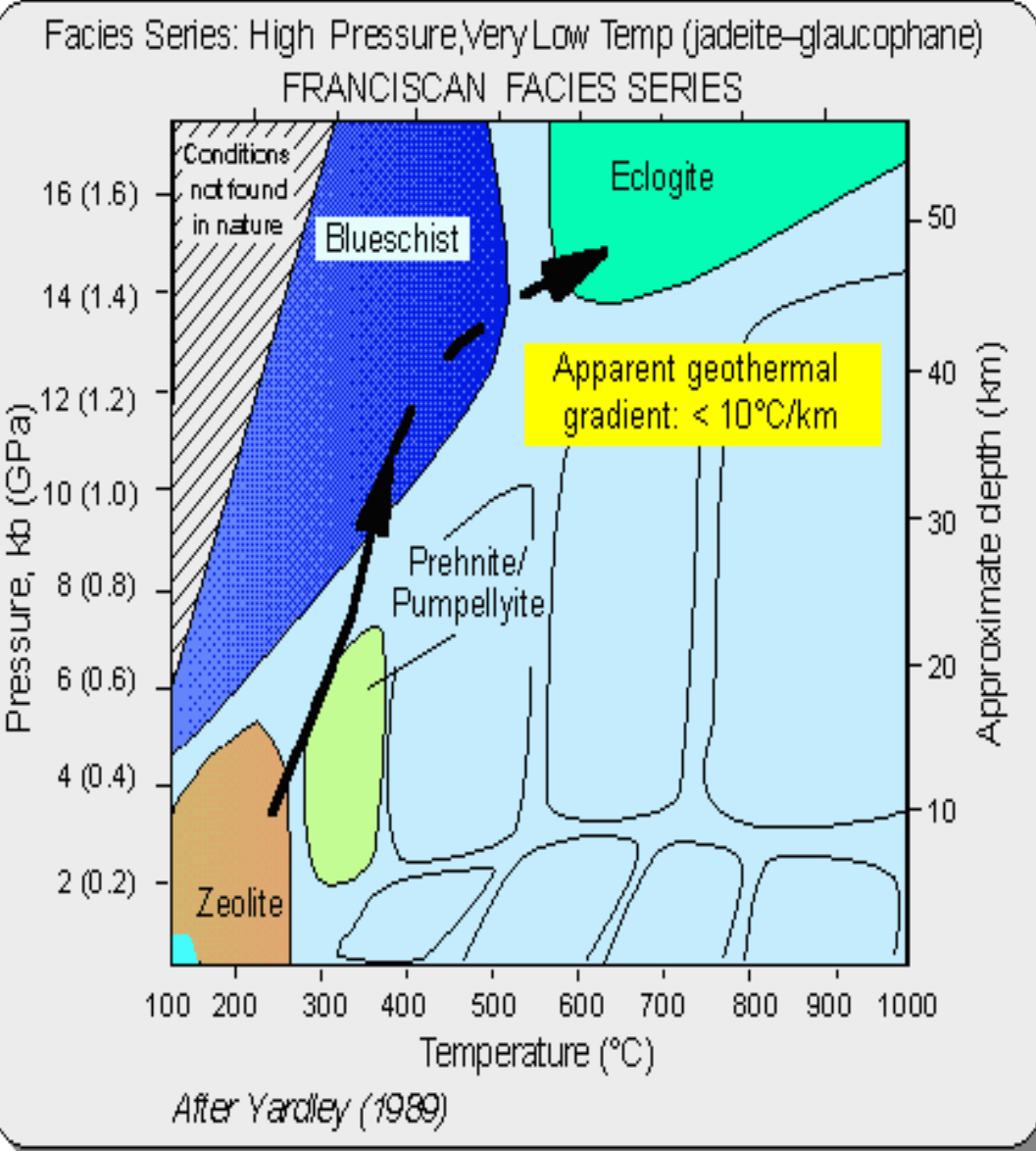
Ernst, 1976





- Model tektonické exhumace hornin na subdukční zóně

- **4) Franciská metamorfóza**
- jde o vysokotlakou metamorfózu typickou pro subdukční zóny



Hornina: **vysokotlaký svor s kyanitem ("bílá břidlice")**

Minerály: muskovit, kyanit, křemen

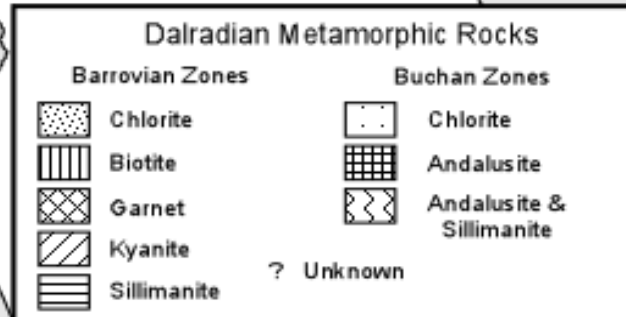
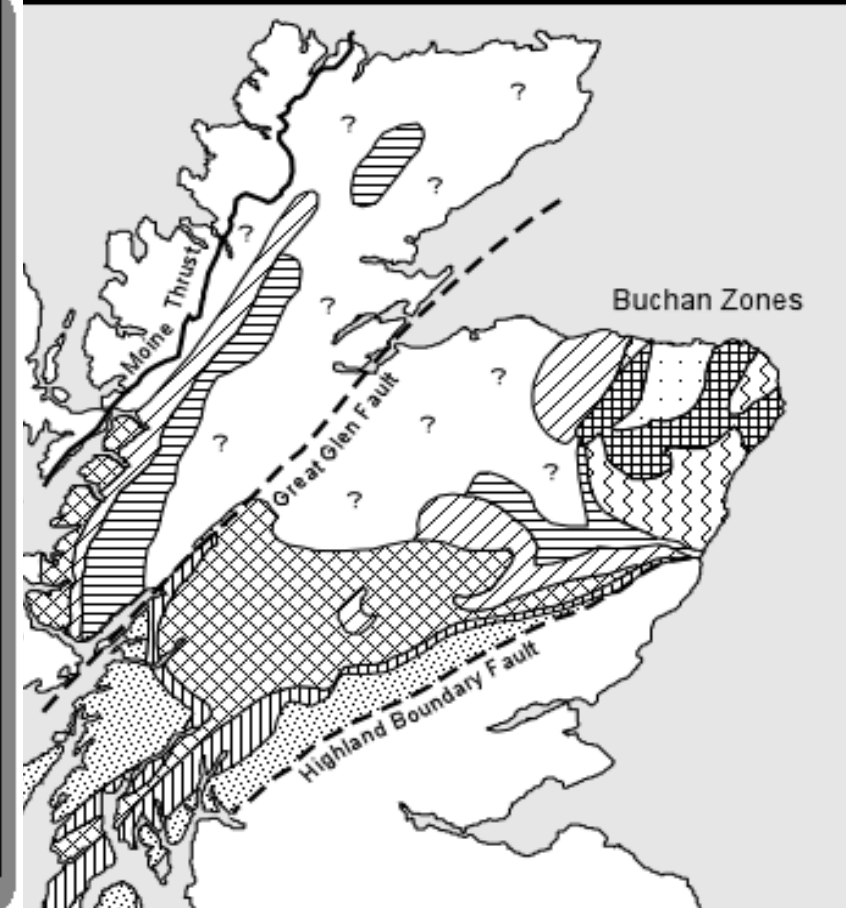
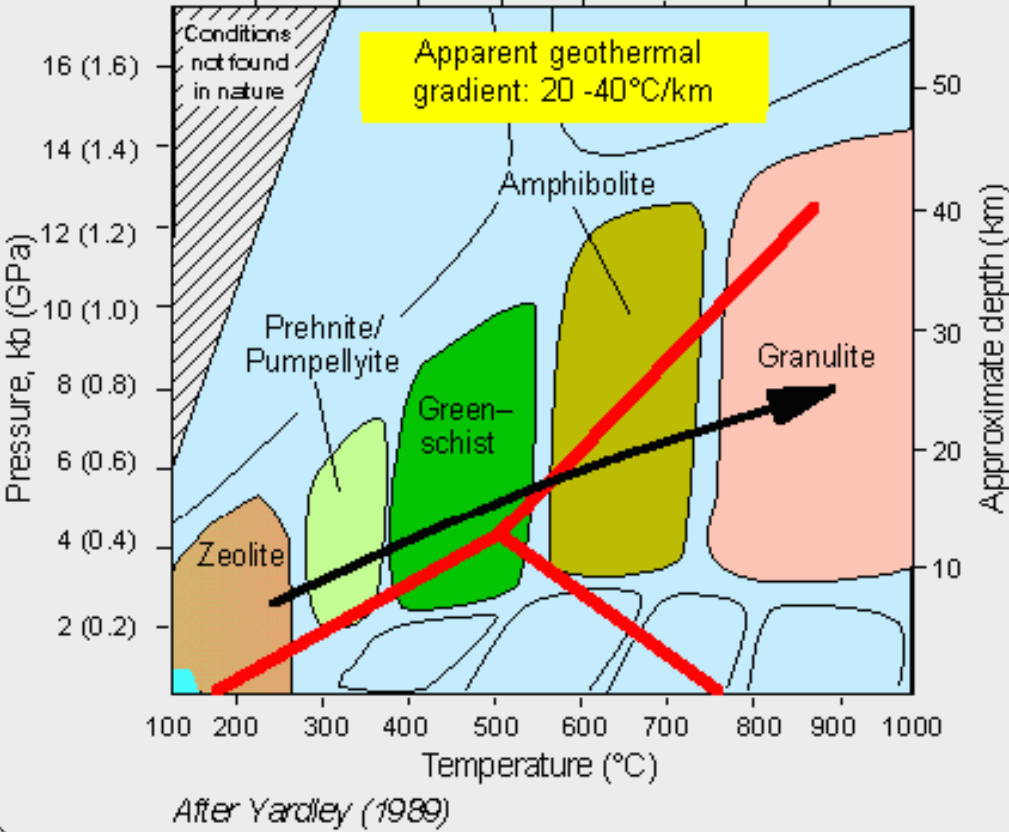
Lokalita: St. Giacomo, Alpy (peninikum)

Průzkum: r. 2008, coll. F. K.



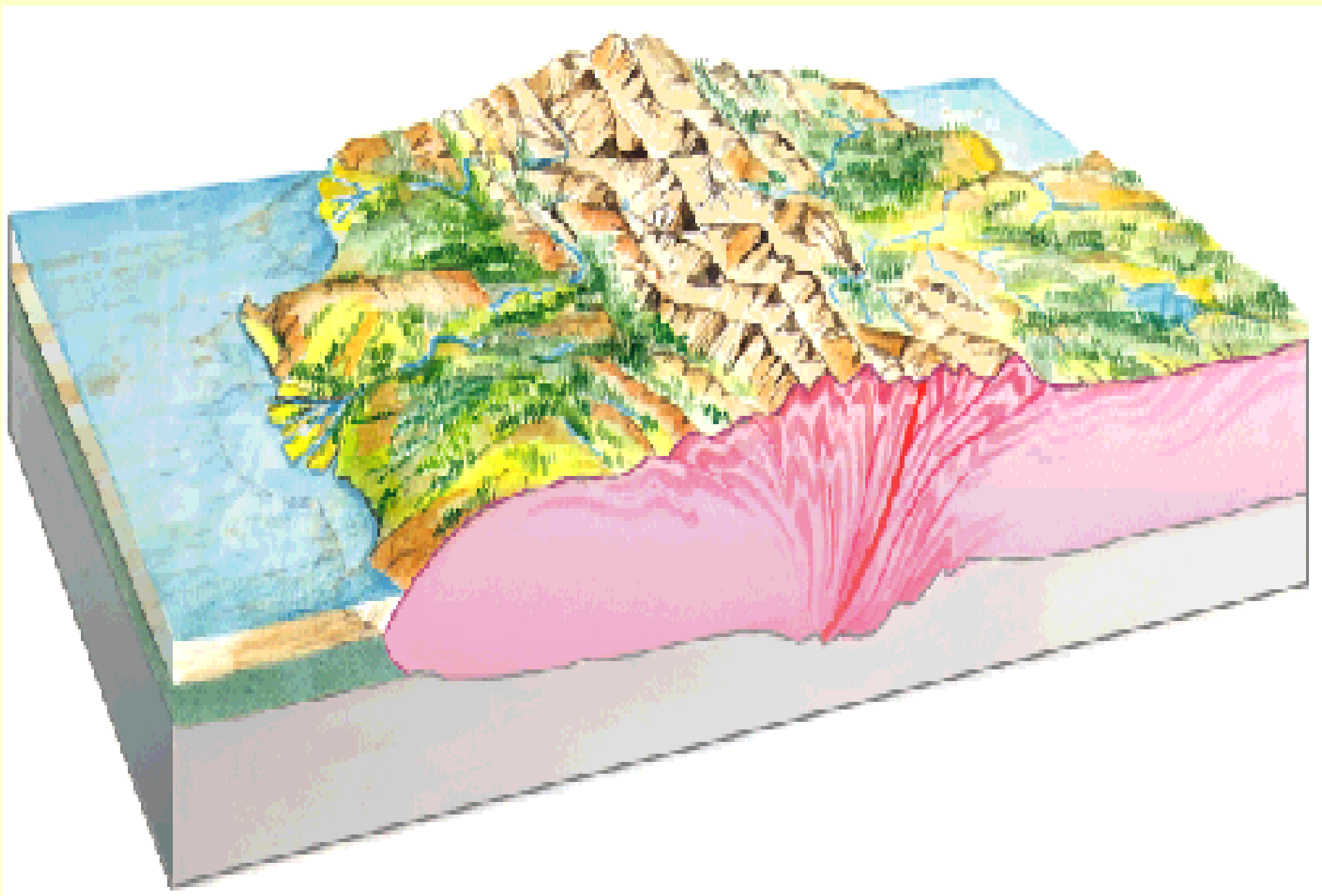
5) Barrovienská metamorfóza

Facies Series: Med Pressure, High Temp Kyanite —Sillimanite type
BARROVIAN FACIES SERIES



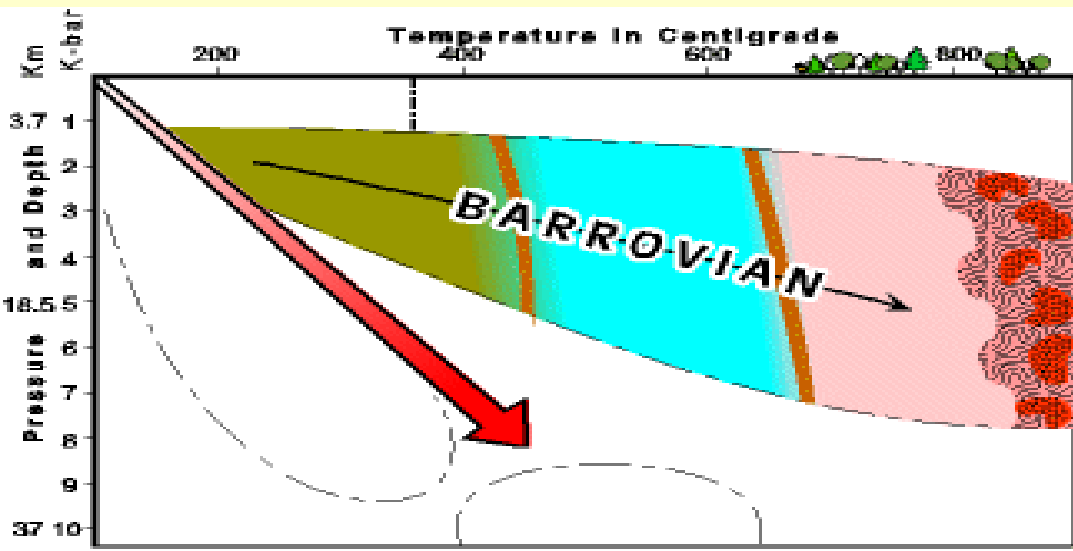
50 km

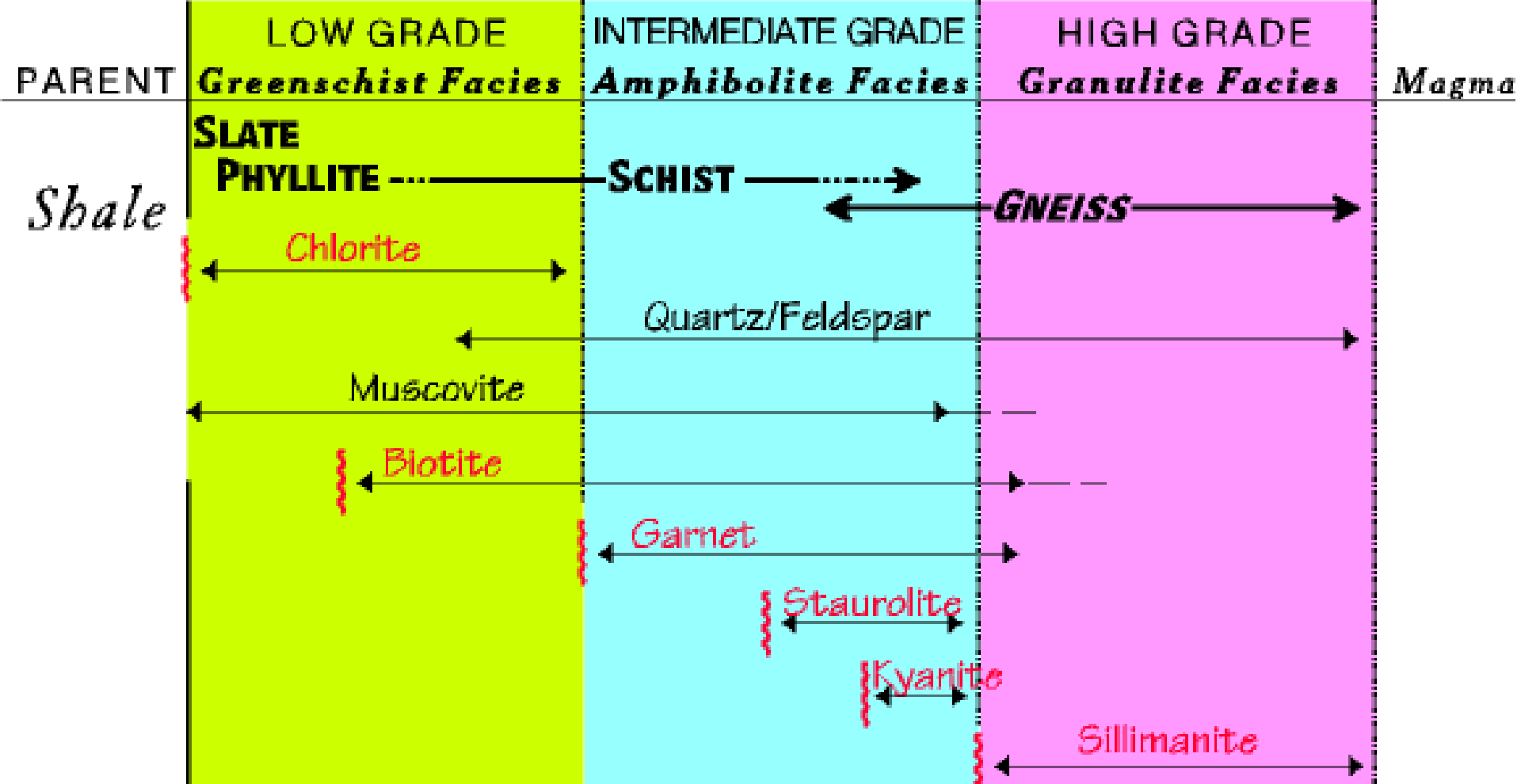
- střednětlaká regionální metamorfóza
- během kontinentální kolize

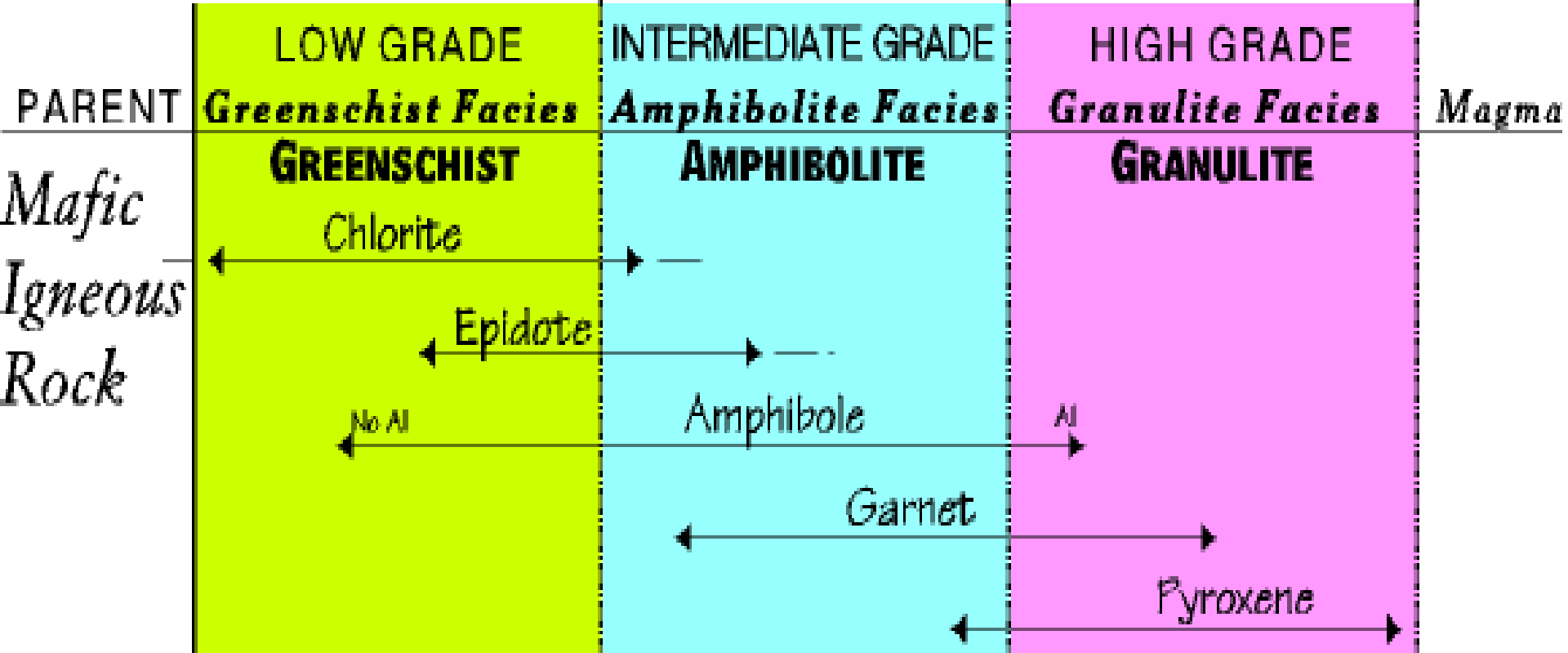


Regionální - orogenní pásma

- MP/LT-HT barrovienská metamorfóza
 - Chl-Bt-Grt-St-Ky-Sill
 - *série kyanit-sillimanit, střední poměr P/T*
 - sed. břidlice ⇒ **břidlice** ⇒ **fylit** ⇒ **svor** ⇒ **rula**
- Chloritová zóna: (chlorit, muskovit, křemen, albit)
- Biotitová zóna: (biotit, chlorit, muskovit, křemen, albit)
- Granátová zóna : (almandin, biotit, chlorit, muskovit, křemen, albit nebo oligoklas)
- Staurolitová zóna : (staurolit, biotit, muskovit, křemen, granát a plagioklas)
- Kyanitová zóna. (kyanit, biotit, muskovit, křemen, plagioklas, granát a staurolit)
- Sillimanitová zóna. (sillimanit, biotit, muskovit, křemen, plagioklas, granát a někdy staurolit)







Kontinentální kolize (Himaláje)

The Archetypal Continental Collision: India–Asia

plate boundaries, faults, mantle earthquakes, slip rates, warm mantle

↑ 20 mm/yr

Seno et al., 1993; McNamara et al., 1995; Calais & Amarjunga, 2000

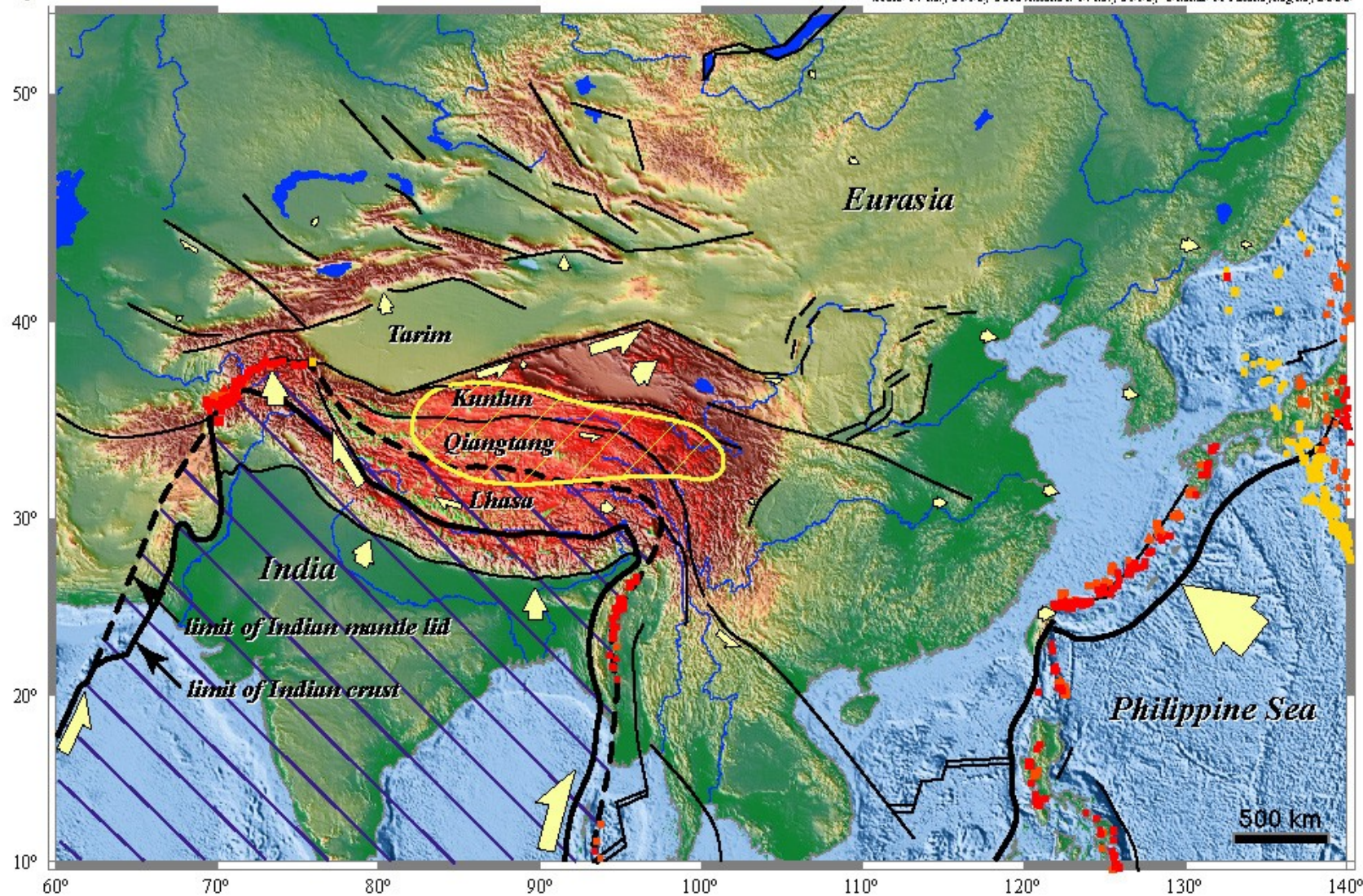


Fig 20a India has collided with Asia

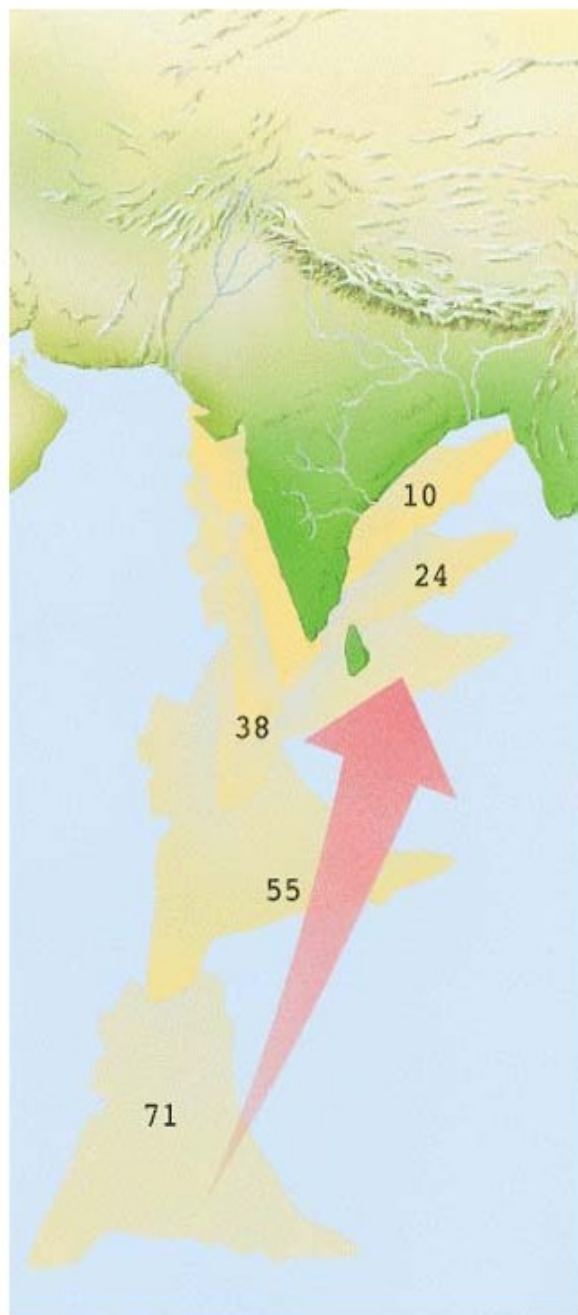
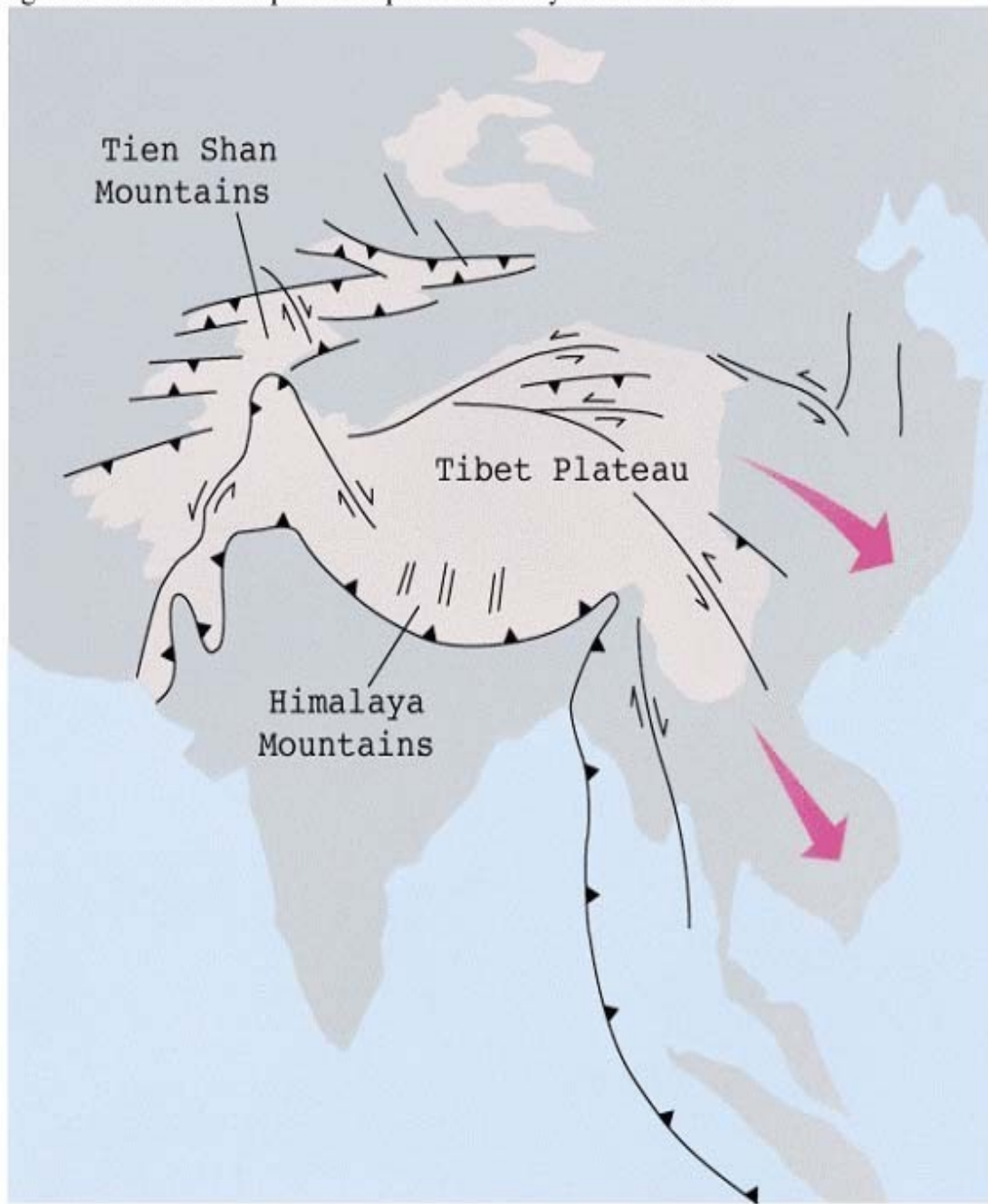
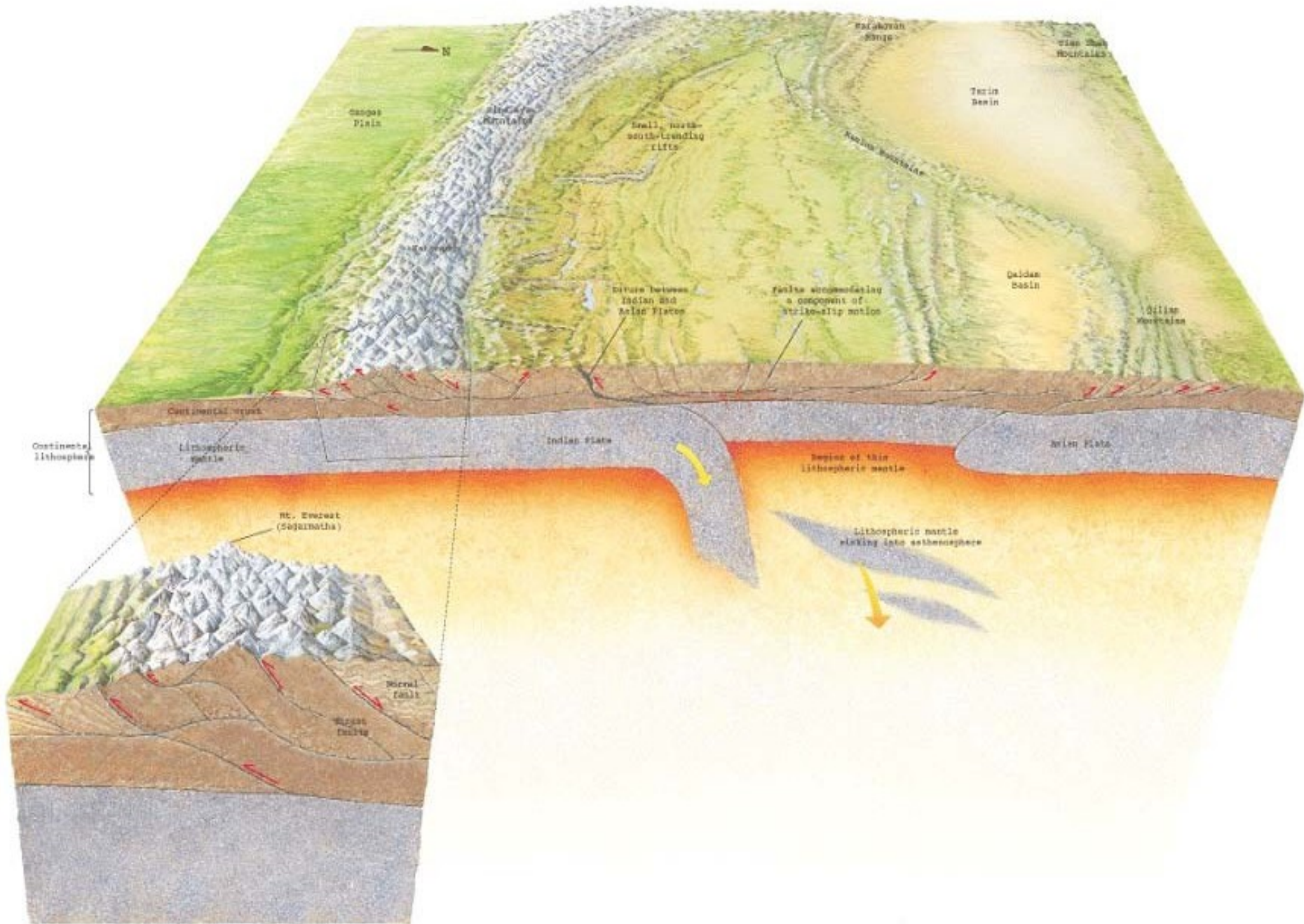
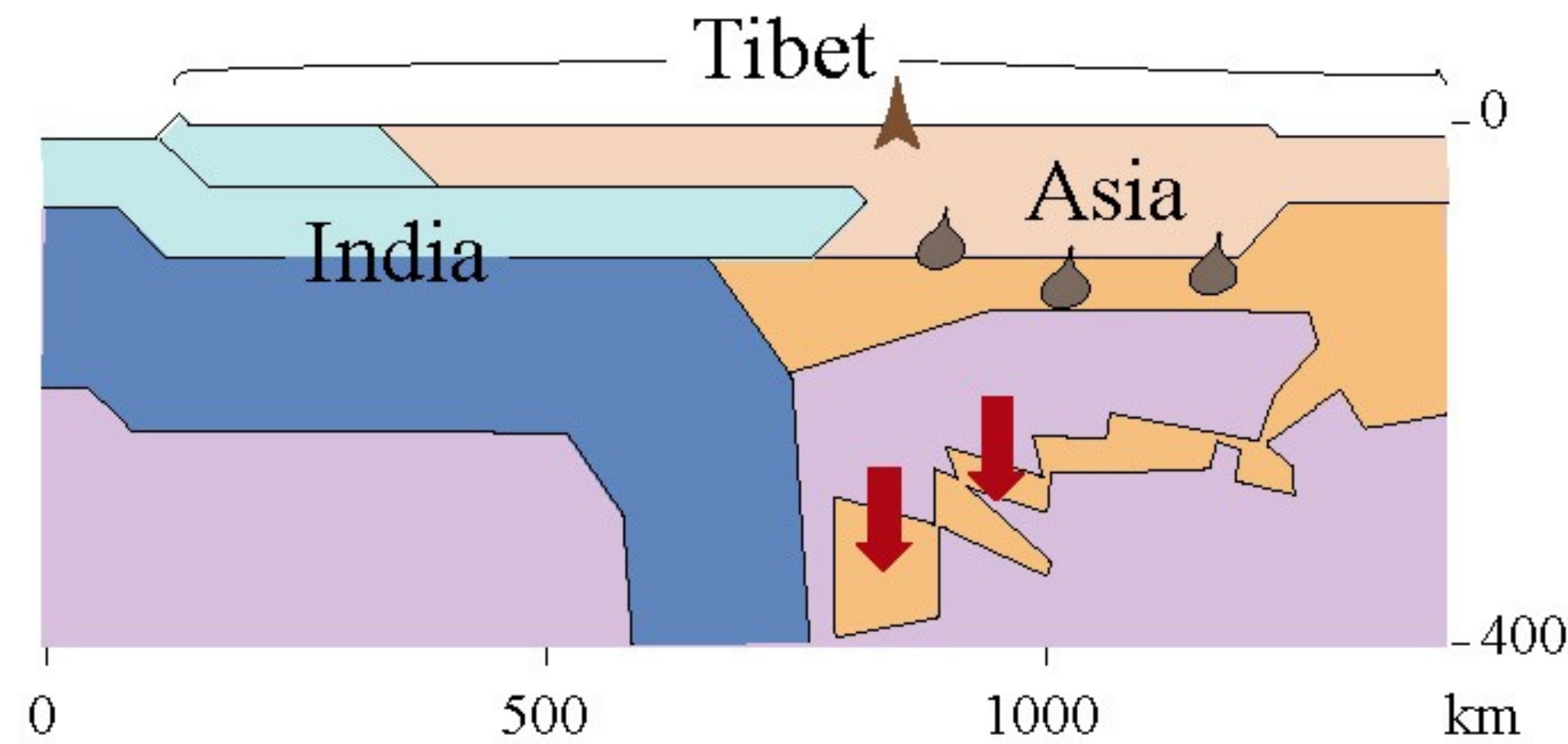
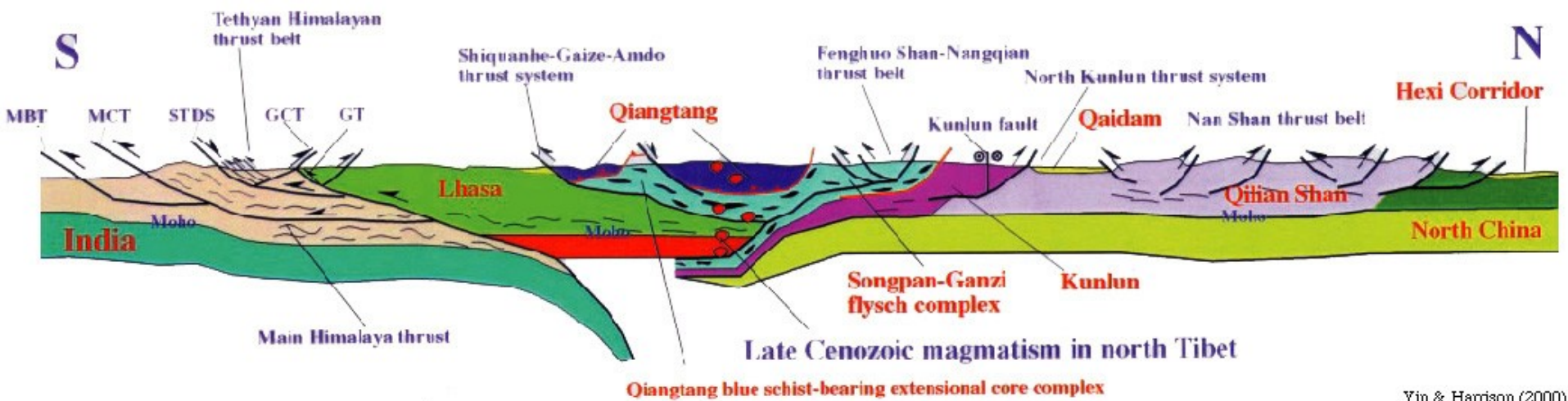


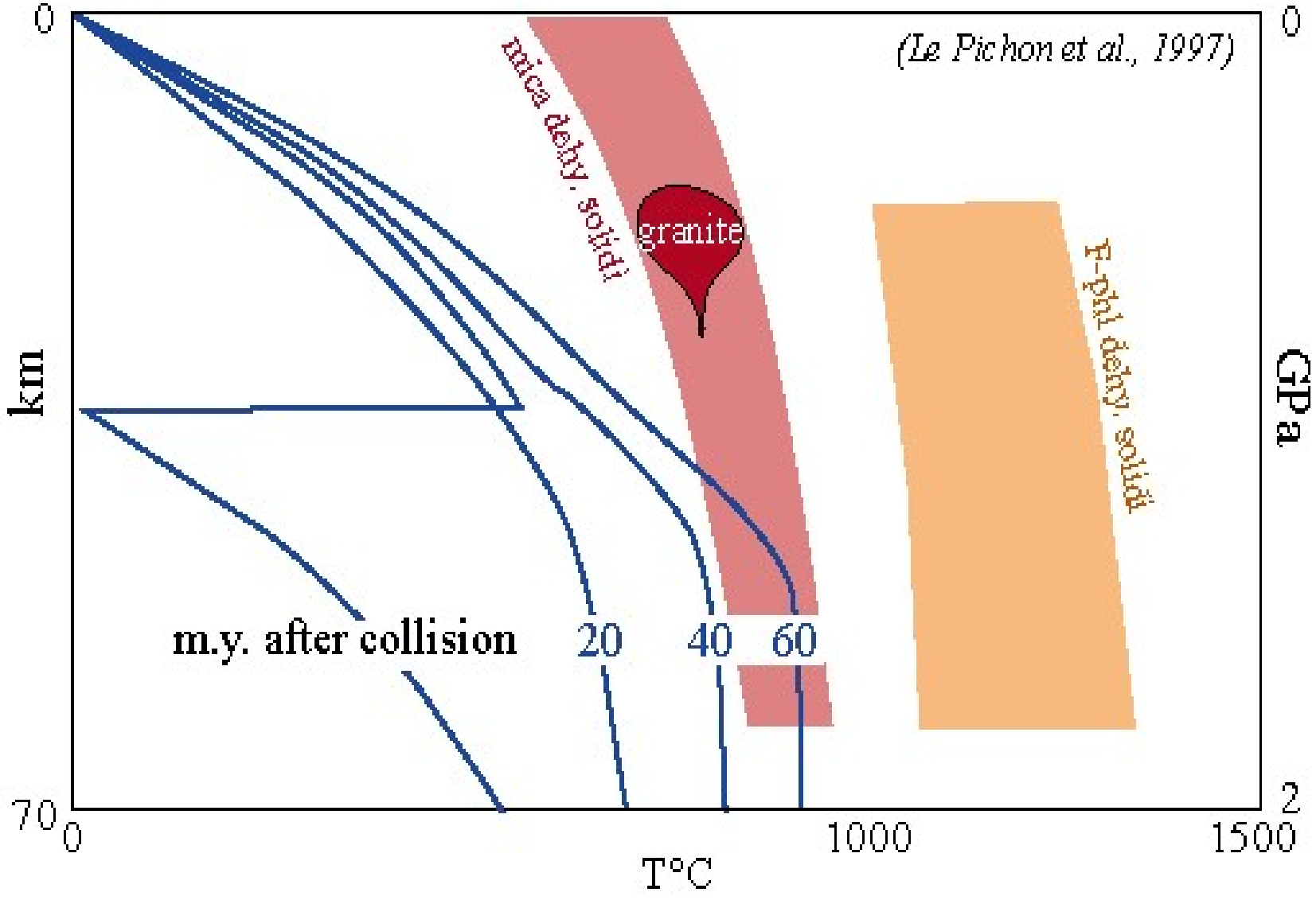
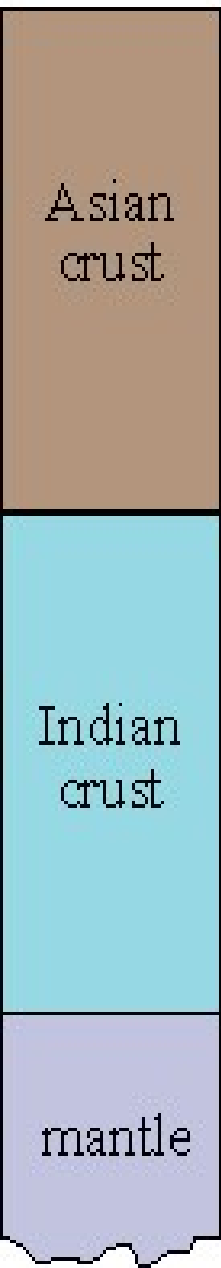
Fig 20b Collision has pushed up the Himalayas and Tibet

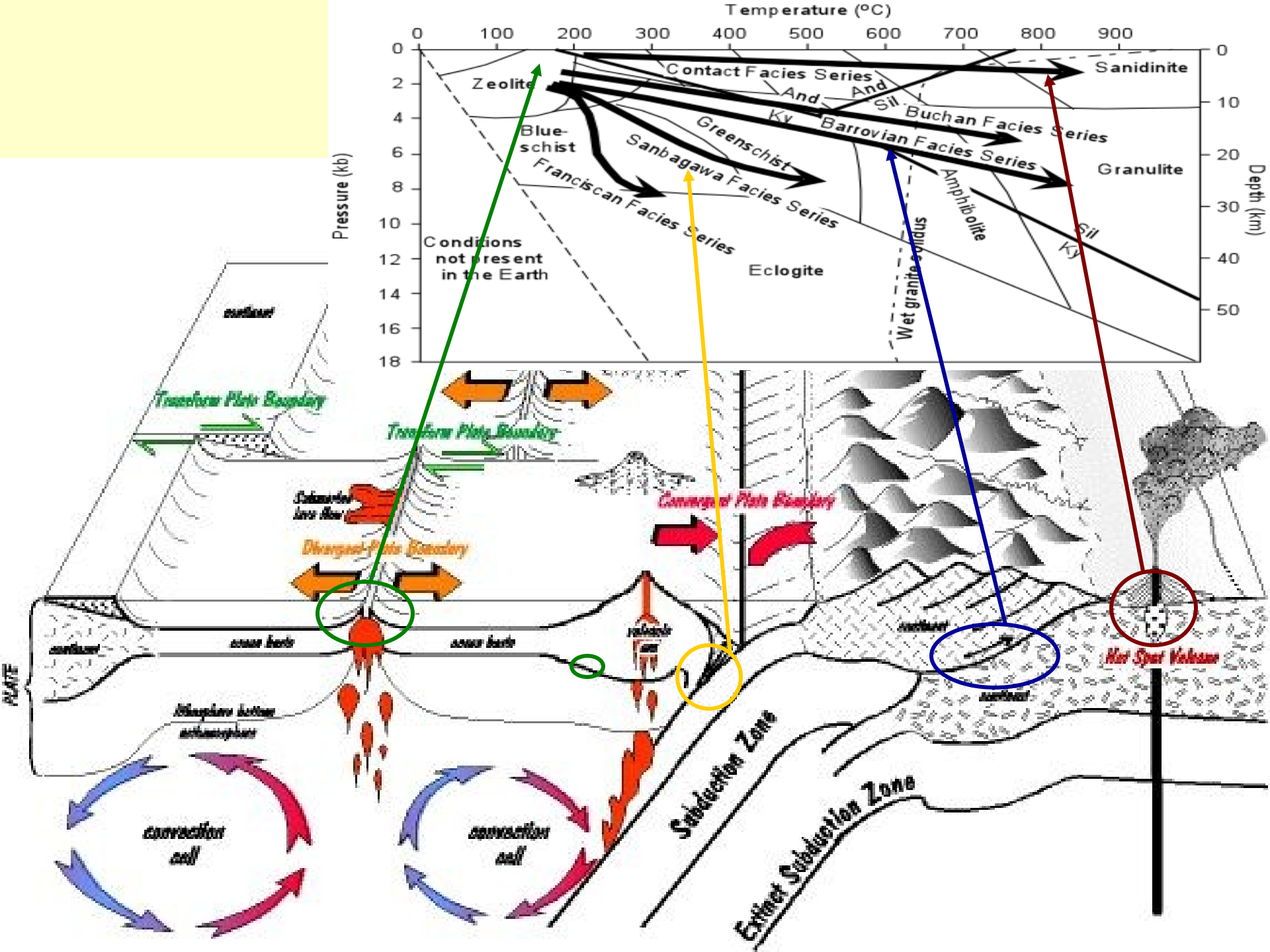


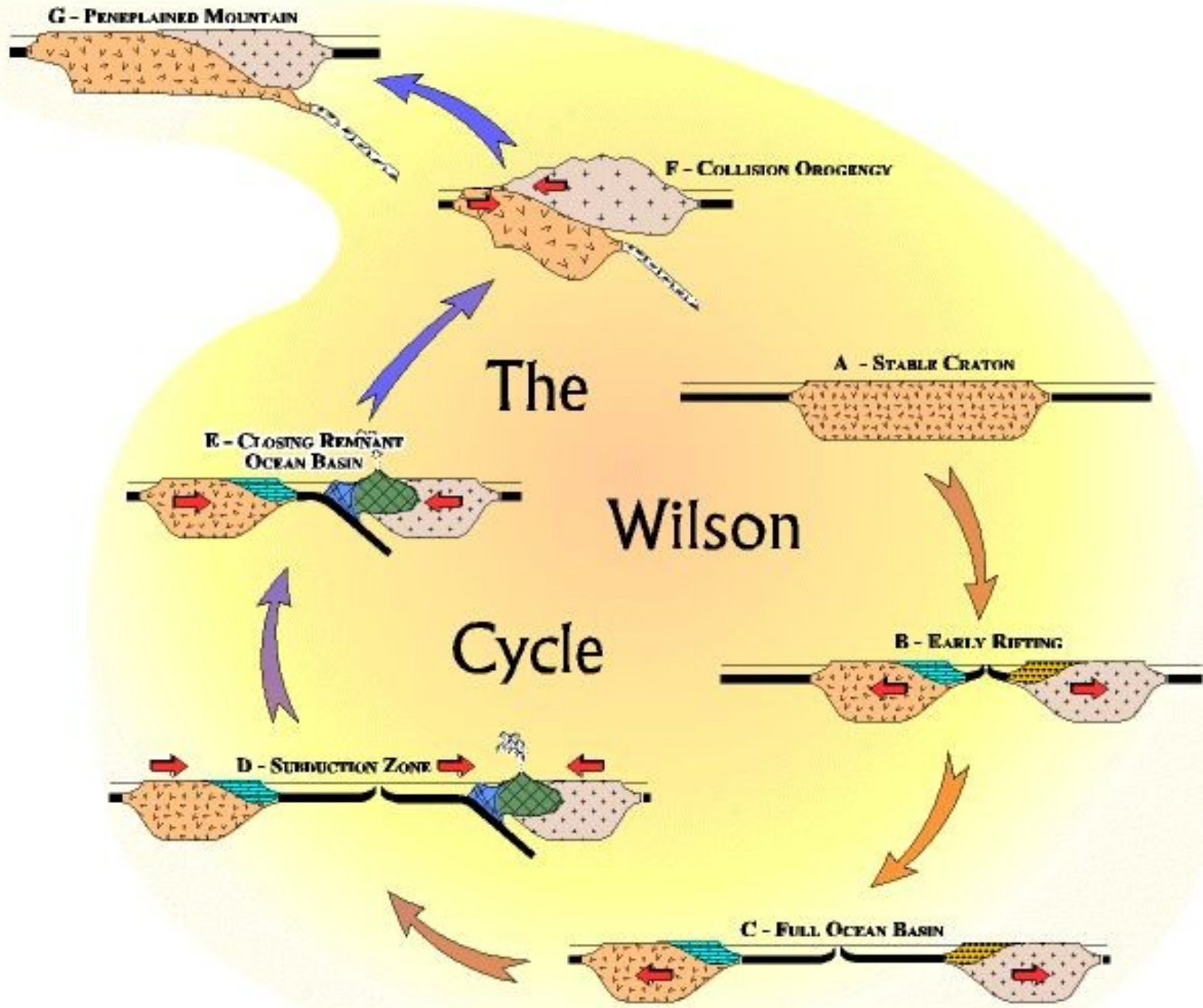




**crustal
stacking**

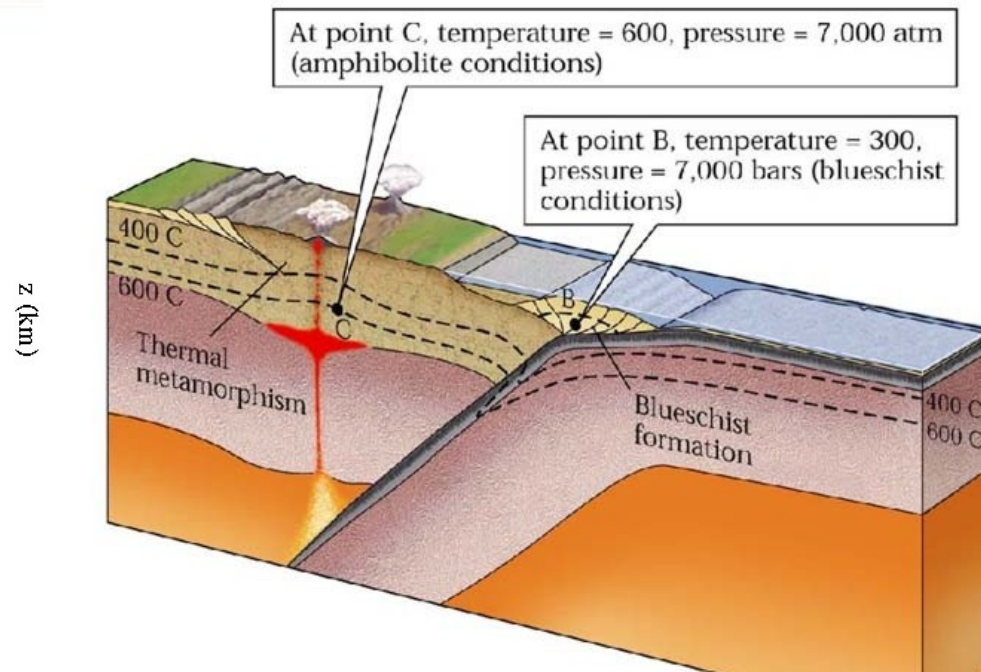
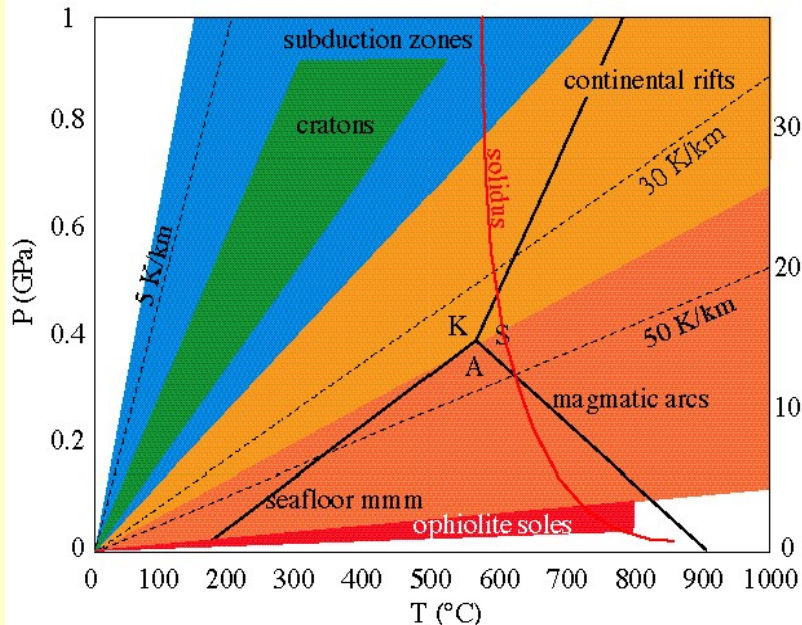
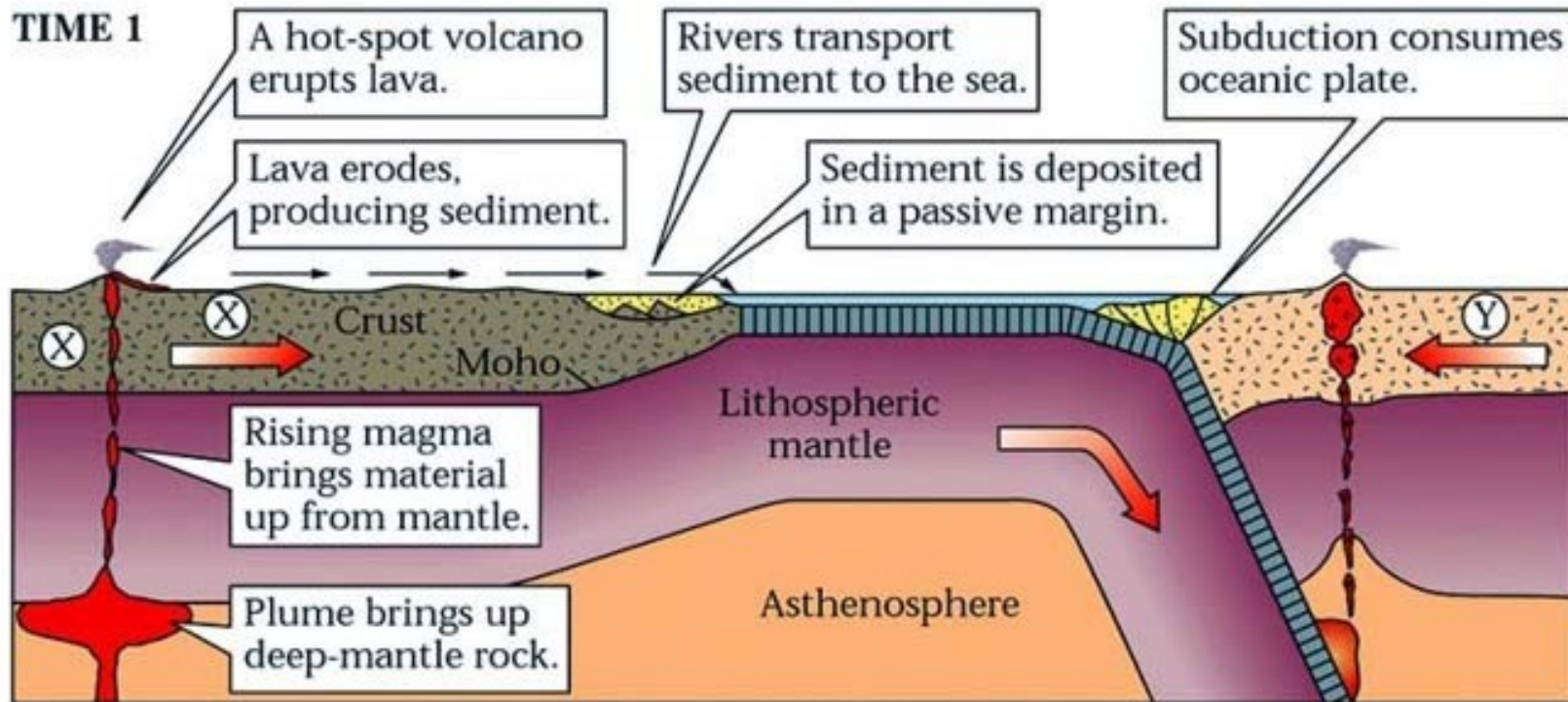




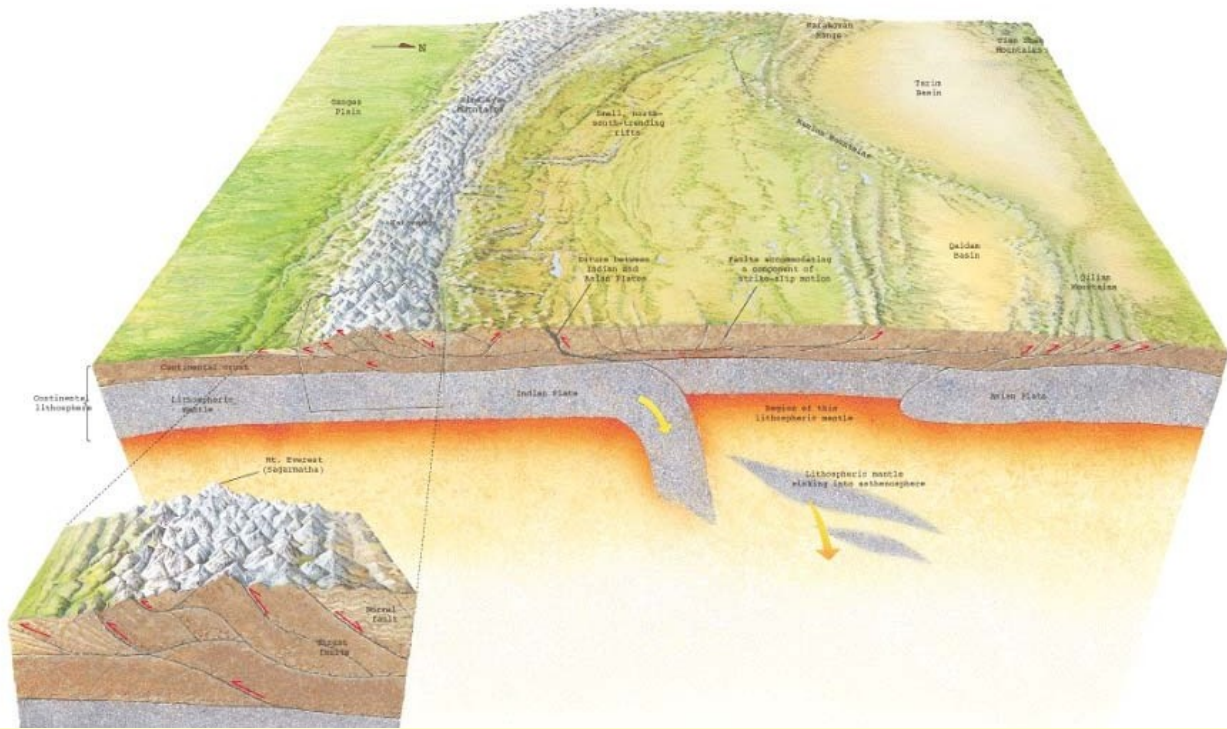
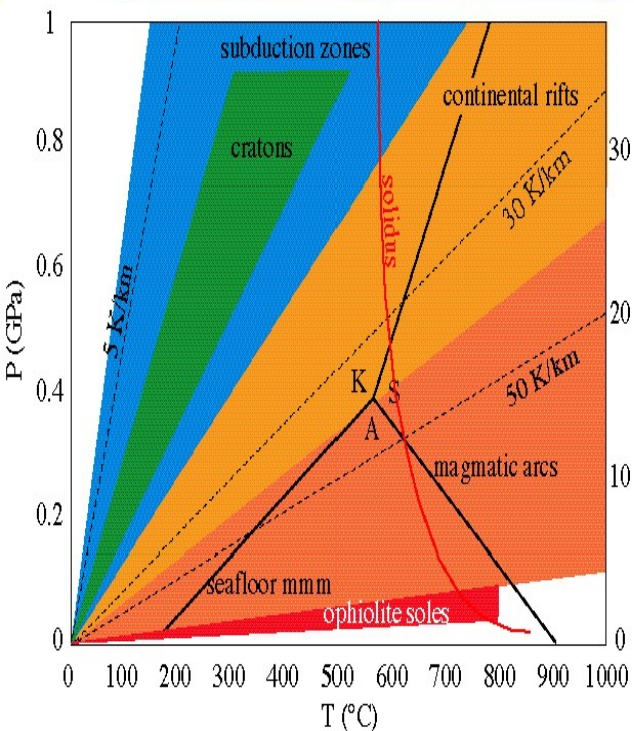
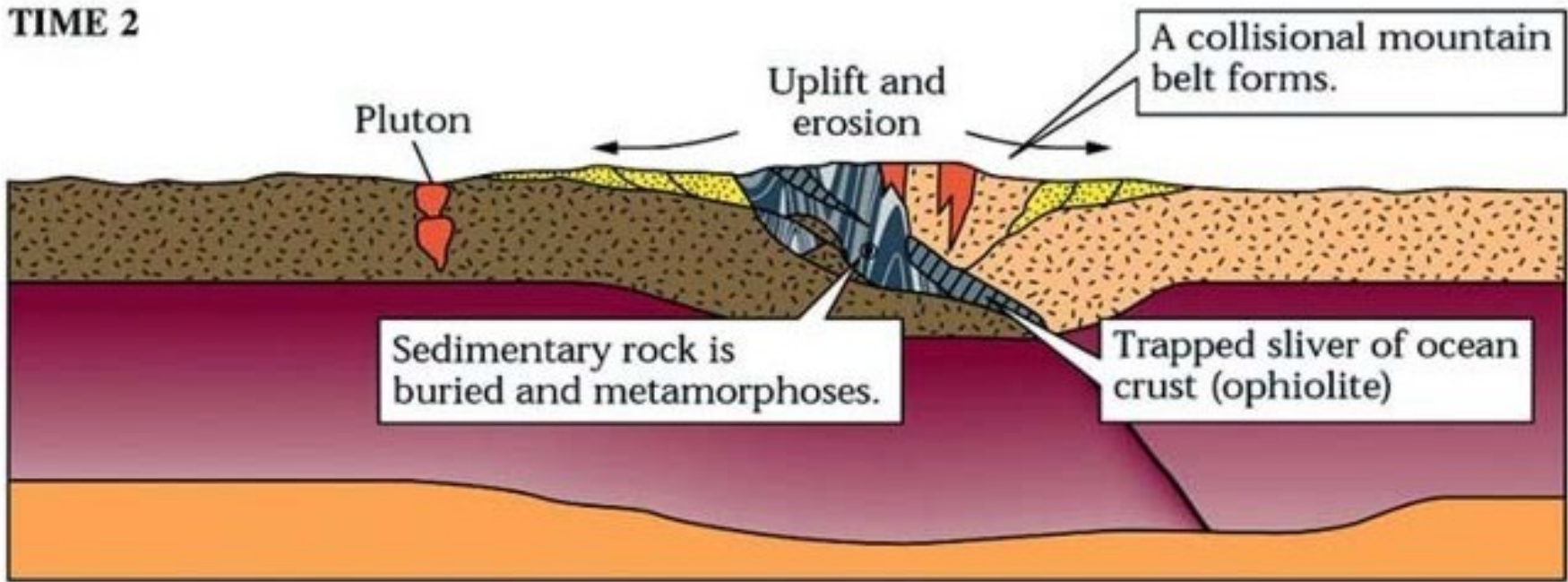


The
Wilson
Cycle

TIME 1



TIME 2



Literatura

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