

Metamorfnní petrologie I

6. Metamorfóza a metamorfní facie

3. Metamorfóza a metamorfní facie

Osnova:

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

1. Metamorfnní zóny, indexové minerály izogrady

Diagnostické minerály

- přítomnost některých minerálů, jak v podstatném tak akcesorickém množství nám může indikovat určité metamorfnní podmínky nebo 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

2. Metamorfní facie

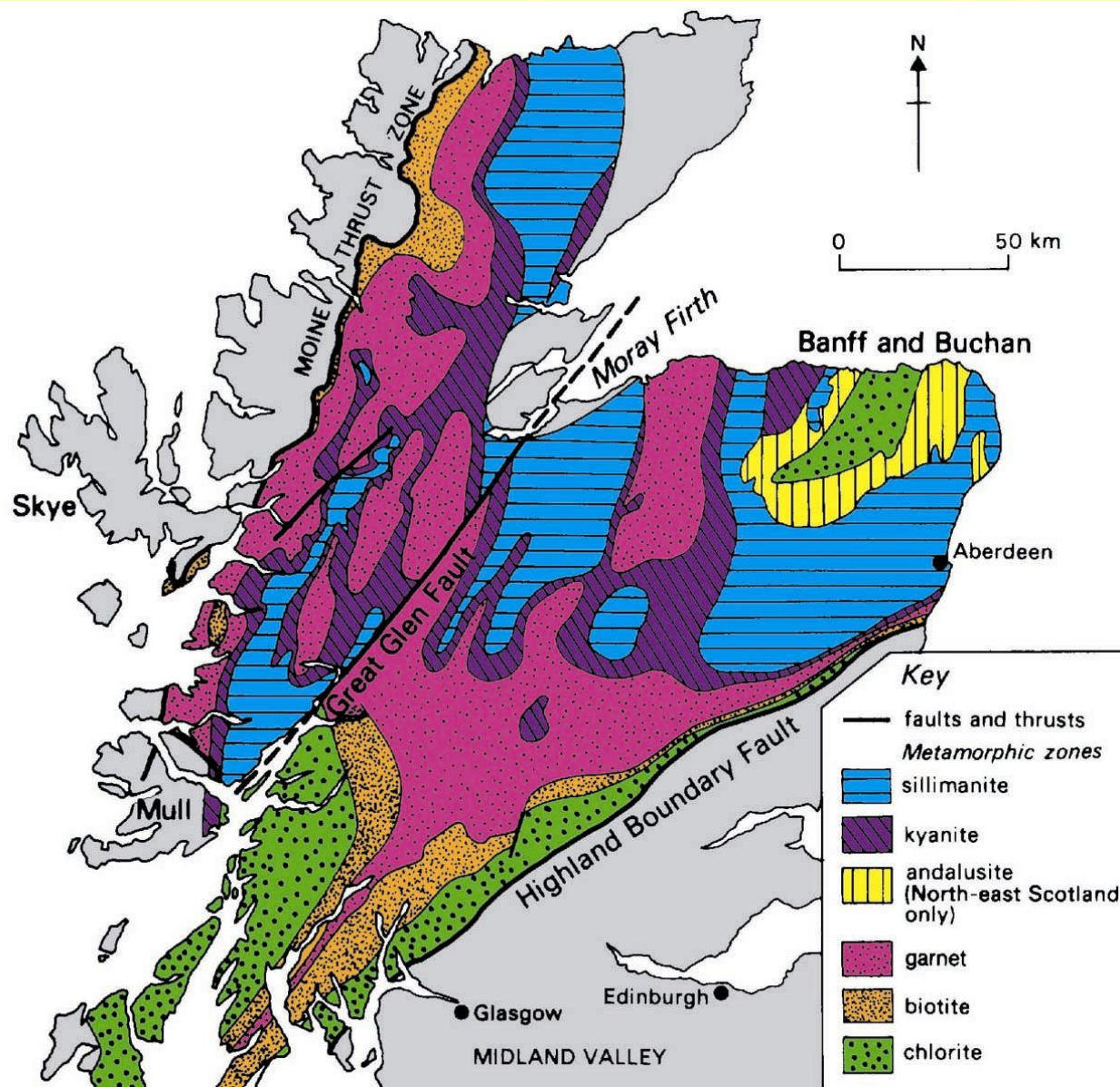
- Eskola (1915) odvodil koncept metamorfních facií (bazické horniny):
 - 1) Metamorfní facie zahrnuje horniny, které byly metamorfovány za stejných podmínek.
 - 2) Jestliže horniny stejného chemického složení jsou tvořeny stejnými minerály, pak náleží jedné facií.
 - 3) Podmínkou je aby hornina byla v rovnováze s metamorfními podmínkami (retrográdní met.).

- George Barrow (1893, 1912): Scottish Highlands, mapoval první výskyty porfyroblastů minerálů v metapelitech jako zóny: chlorite, biotite, garnet, staurolite, kyanite, sillimanite.
- 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 izogrady (tedy linie o stejné teplotě)

• *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

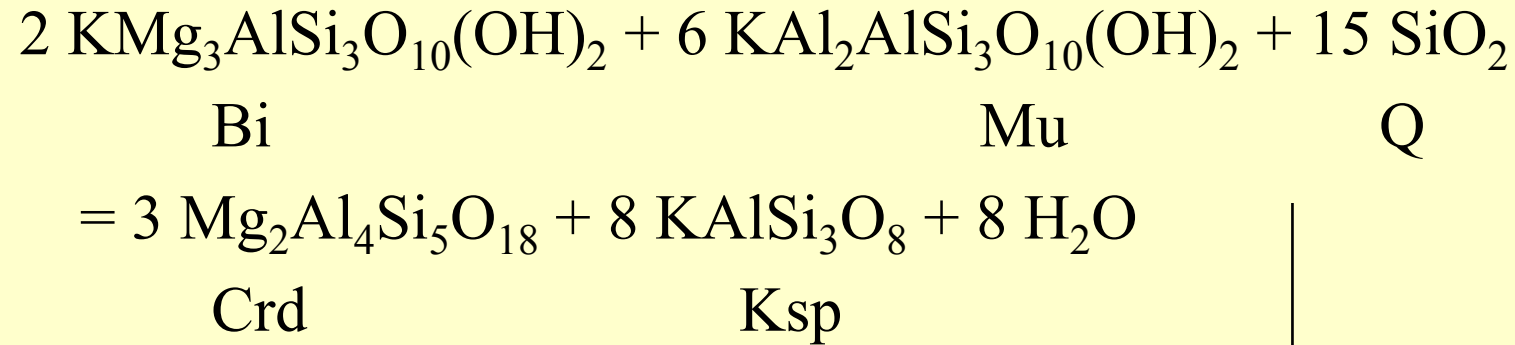


Regional metamorphic map of the Scottish Highlands, showing the zones of minerals that develop with increasing metamorphic grade. From Gillen (1982) *Metamorphic Geology. An Introduction to Tectonic and Metamorphic Processes*. George Allen & Unwin. London.

- **Chlorite zone.** Pelitic rocks are slates or phyllites and typically contain chlorite, muscovite, quartz and albite
- **Biotite zone.** Slates give way to phyllites and schists, with biotite, chlorite, muscovite, quartz, and albite
- **Garnet zone.** Schists with conspicuous red almandine garnet, usually with biotite, chlorite, muscovite, quartz, and albite or oligoclase
- **Staurolite zone.** Schists with staurolite, biotite, muscovite, quartz, garnet, and plagioclase. Some chlorite may persist
- **Kyanite zone.** Schists with kyanite, biotite, muscovite, quartz, plagioclase, and usually garnet and staurolite
- **Sillimanite zone.** Schists and gneisses with sillimanite, biotite, muscovite, quartz, plagioclase, garnet, and perhaps staurolite. Some kyanite may also be present (although kyanite and sillimanite are both polymorphs of Al_2SiO_5)

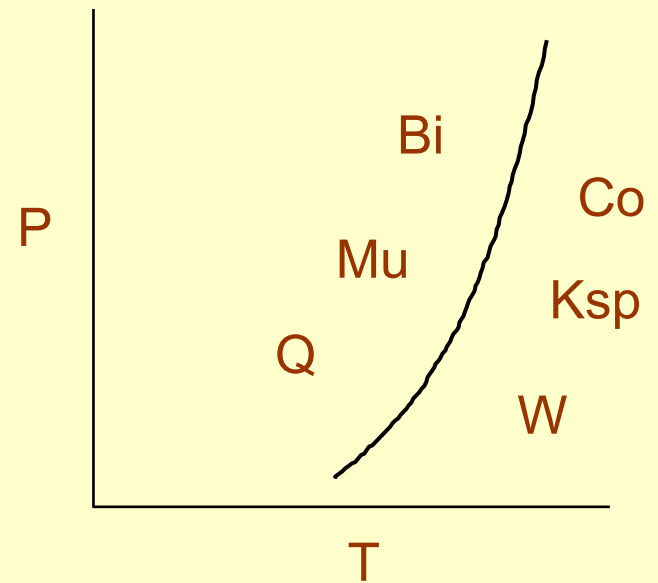
Pentii Eskola (1914, 1915) horniny o podobném chemickém složení v okolí Osla a Orijärvi mají odlišné minerální asociace

Reakce:



Oslo: Ksp + Crd

Orijärvi: Bi + Mu



Eskola (1920) : metamorfní facie na bazických horninách (5 základních)

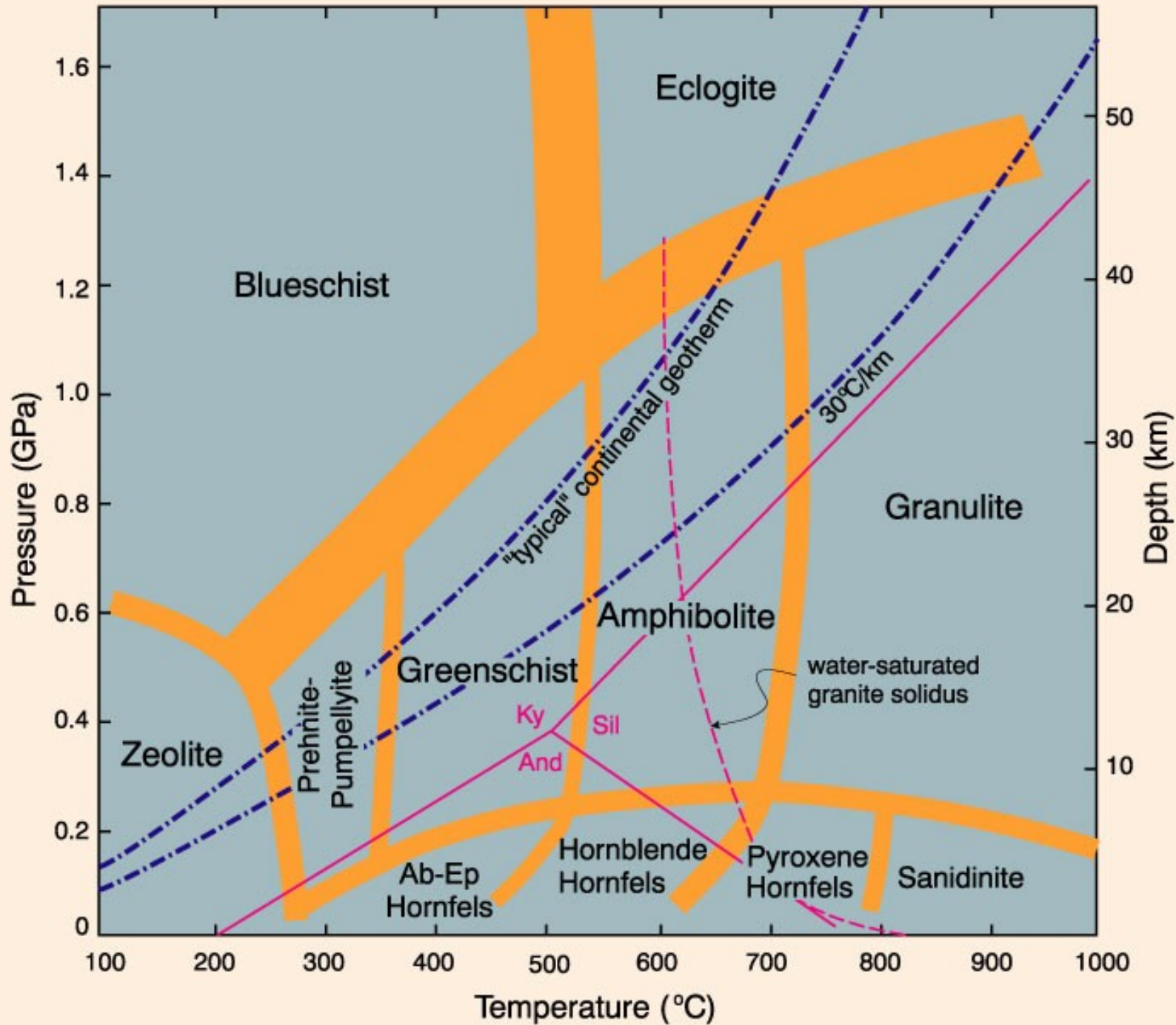
Greenschist, Amphibolite, Hornfels, Sanidinite, Eclogite

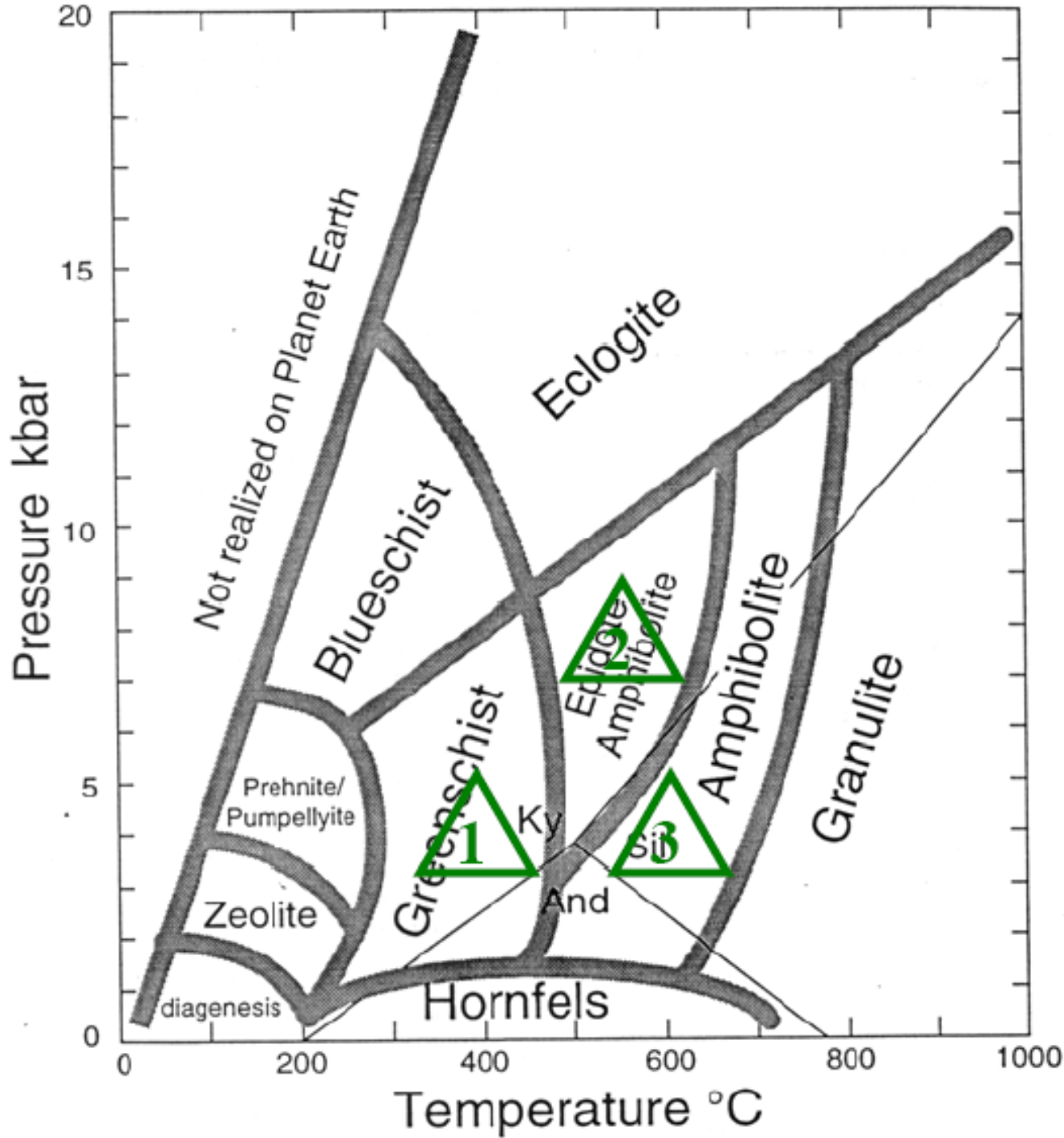
Eskola (1939) : Granulite, Epidote-amphibolite, Glaucophane-schist, (Blueschist)

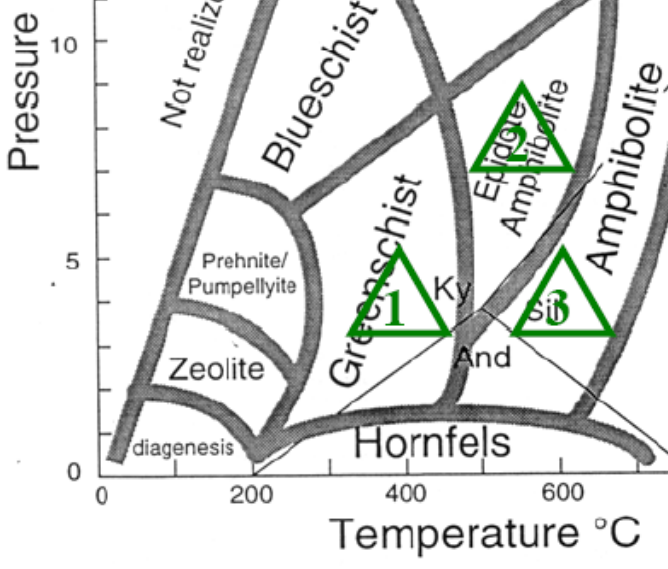
Metamorfní facie

- **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

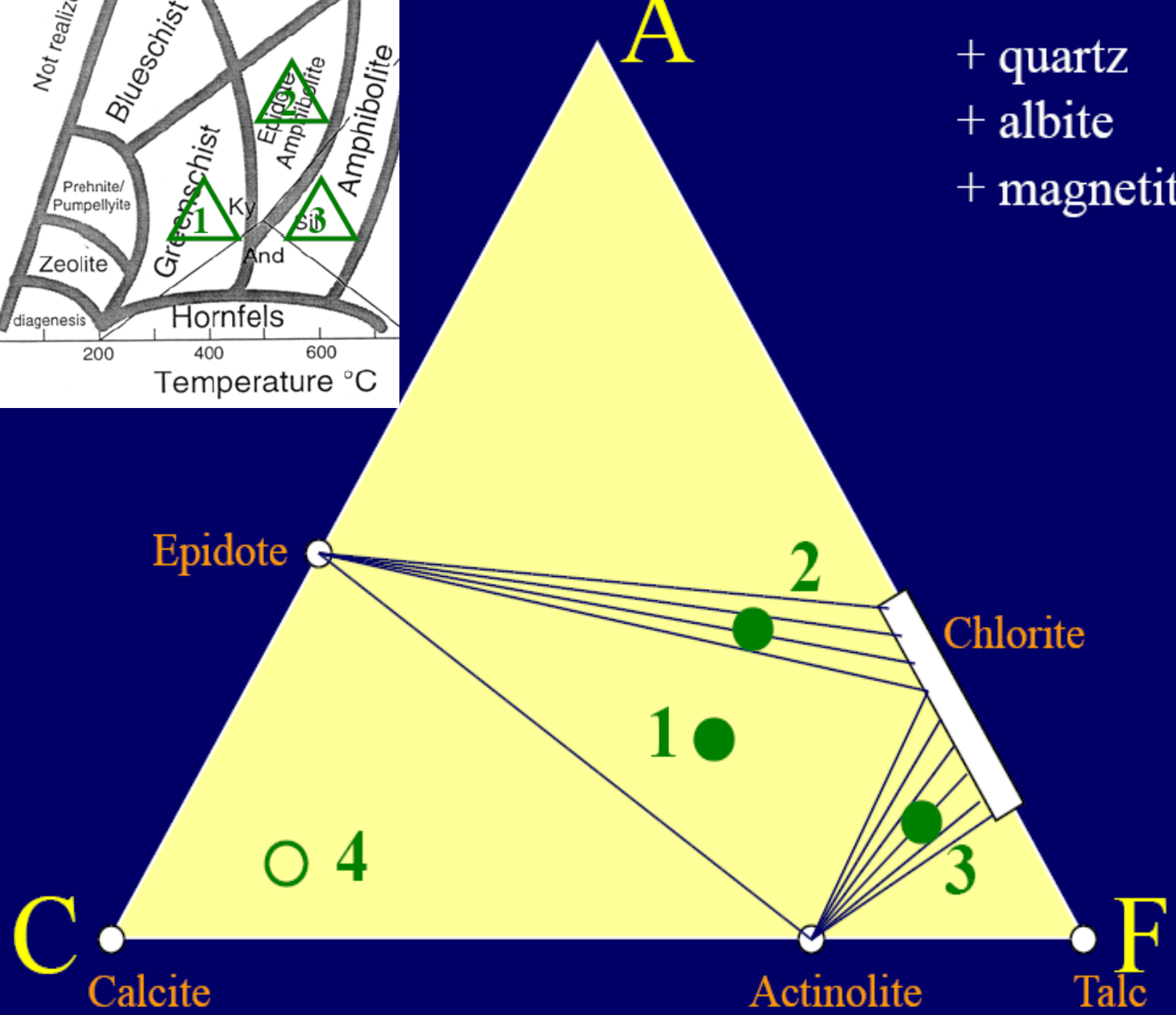






- + quartz
- + albite
- + magnetite

1



Calcite

Actinolite

Talc

2

Epidote

C

Calcite

2

Chlorite

1

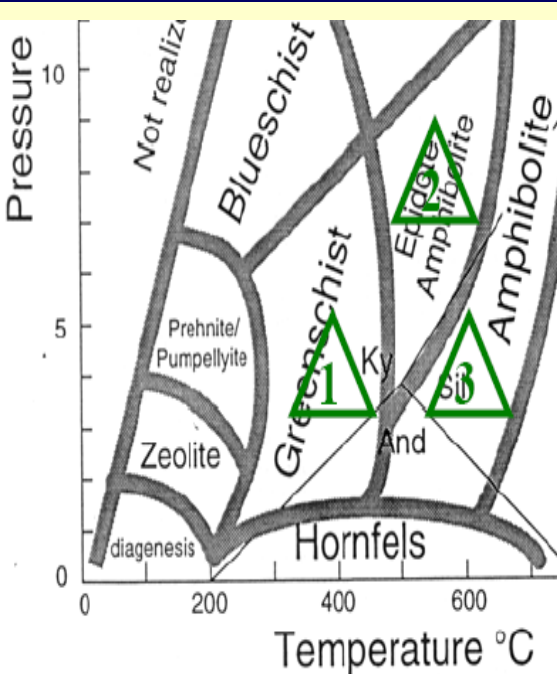
4

3

Hornblende

F

Talc



Plagioclase

3

Calcite

Diopside

Hornblende

Opx

1

2

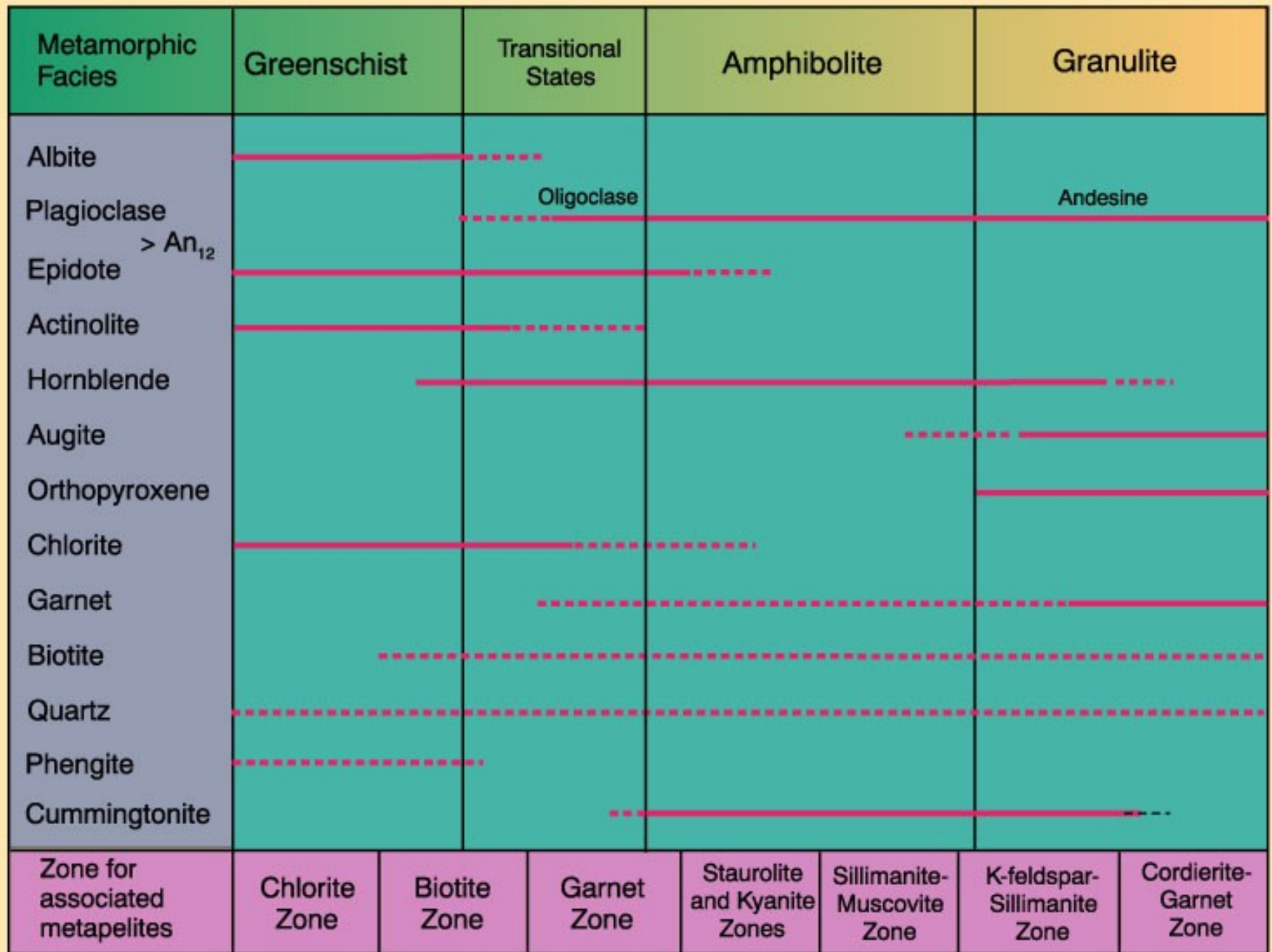
4

3

Garnet

F

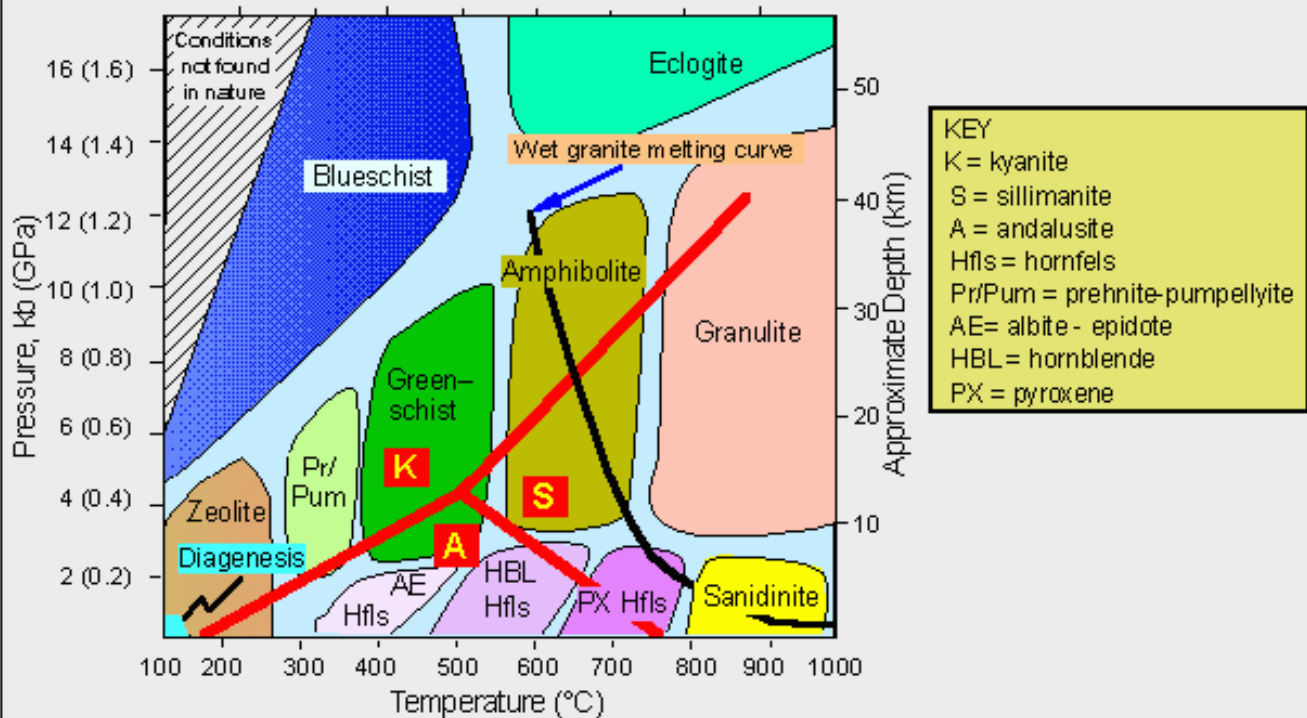
Metamorphic Grade \longrightarrow



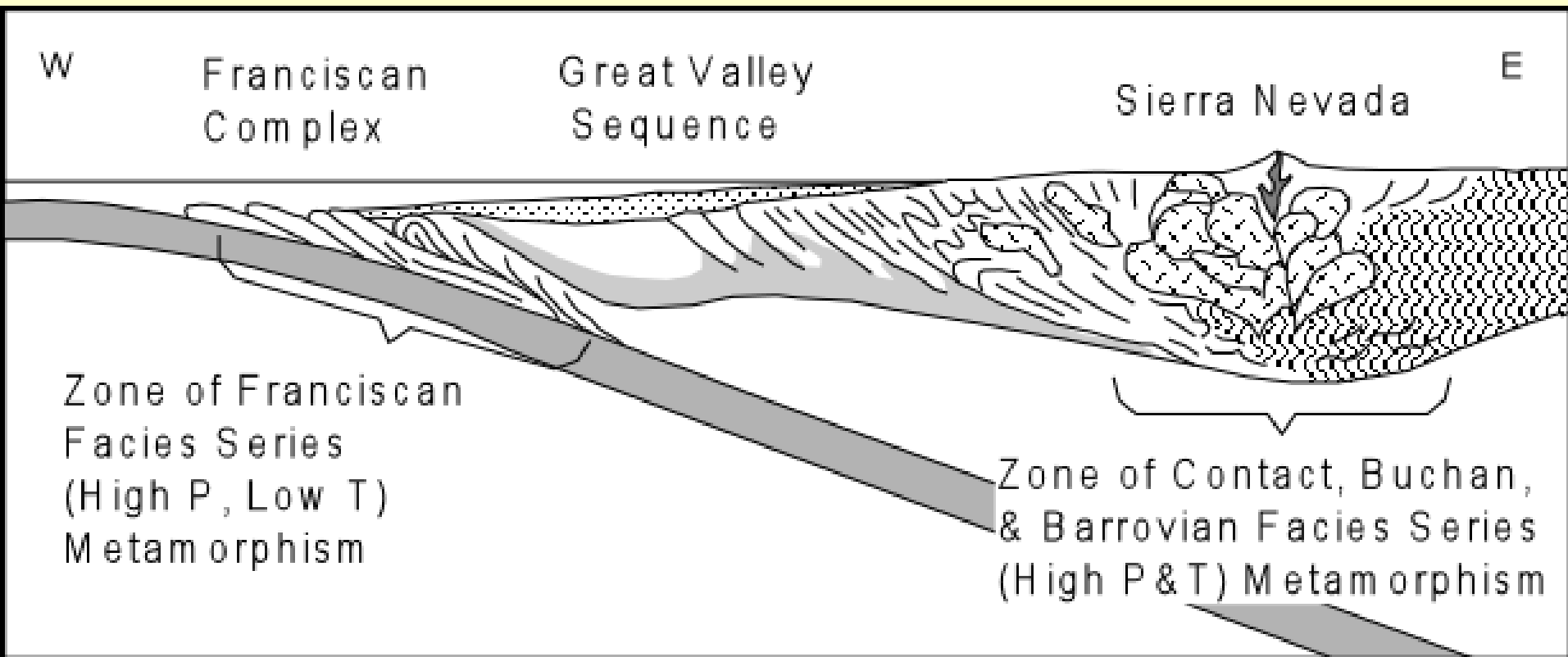
pelity	mafické horniny	nečisté dolomitické mramory
biotitová zóna	facie zelených břidlic	mastek
granátová zóna	facie epidotických amfibolitů	tremolit - aktinolit
staurolitová zóna		
staurolit-kyanitová zóna	amfibolitová facie	diopsid
sillimanitová zóna		
sillimanit - K-živcová zóna	granulitová facie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

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

Generalized Metamorphic Facies Boundaries (after Yardley, 1988)



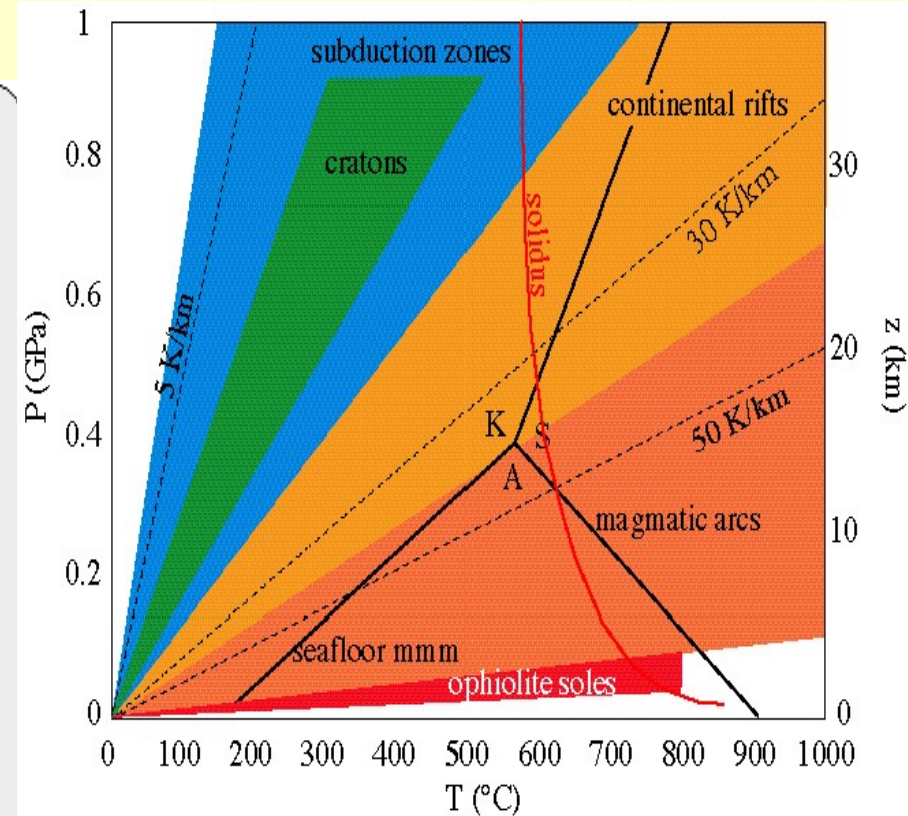
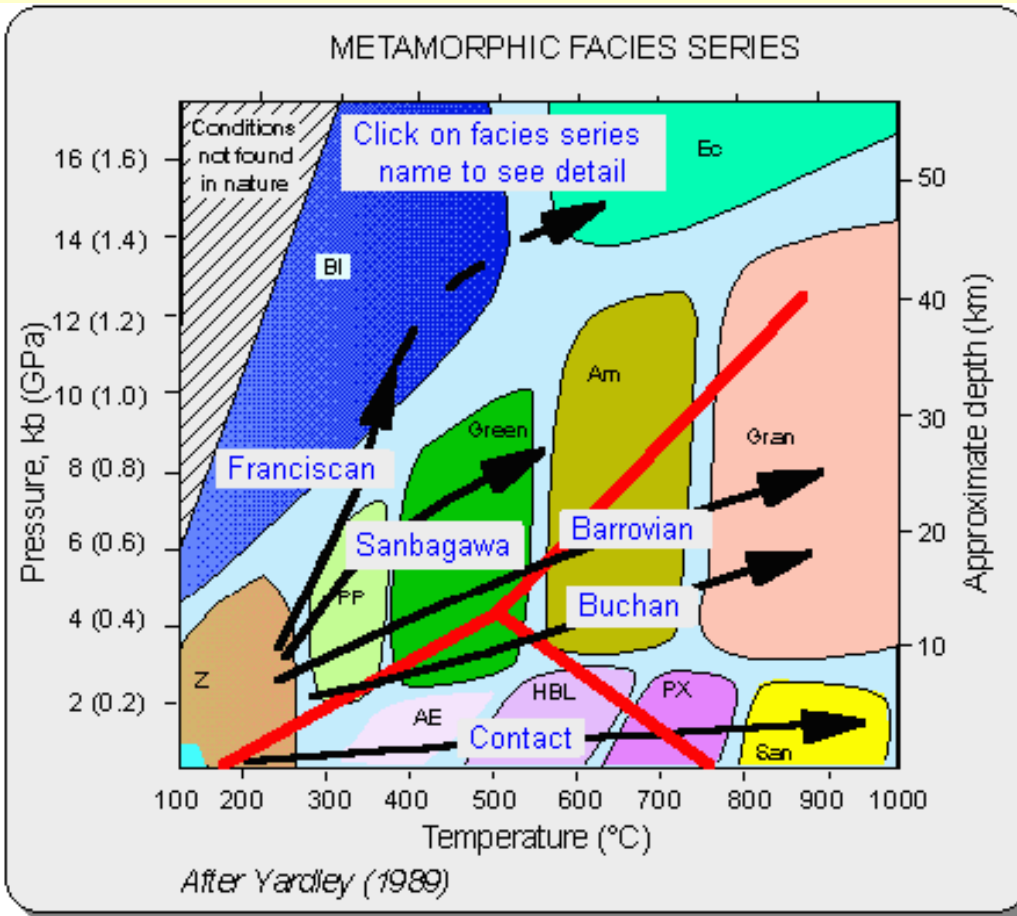
3) *Geotektonická pozice jednotlivých typů metamorfóz*



After Raymond (1995)

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

1. Contact Facies Series (very low-P)
2. Buchan or Abukuma Facies Series (low-P regional)
3. Barrovian Facies Series (medium-P regional)
4. Sanbagawa Facies Series (high-P, moderate-T)
5. Franciscan Facies Series (high-P, low T)

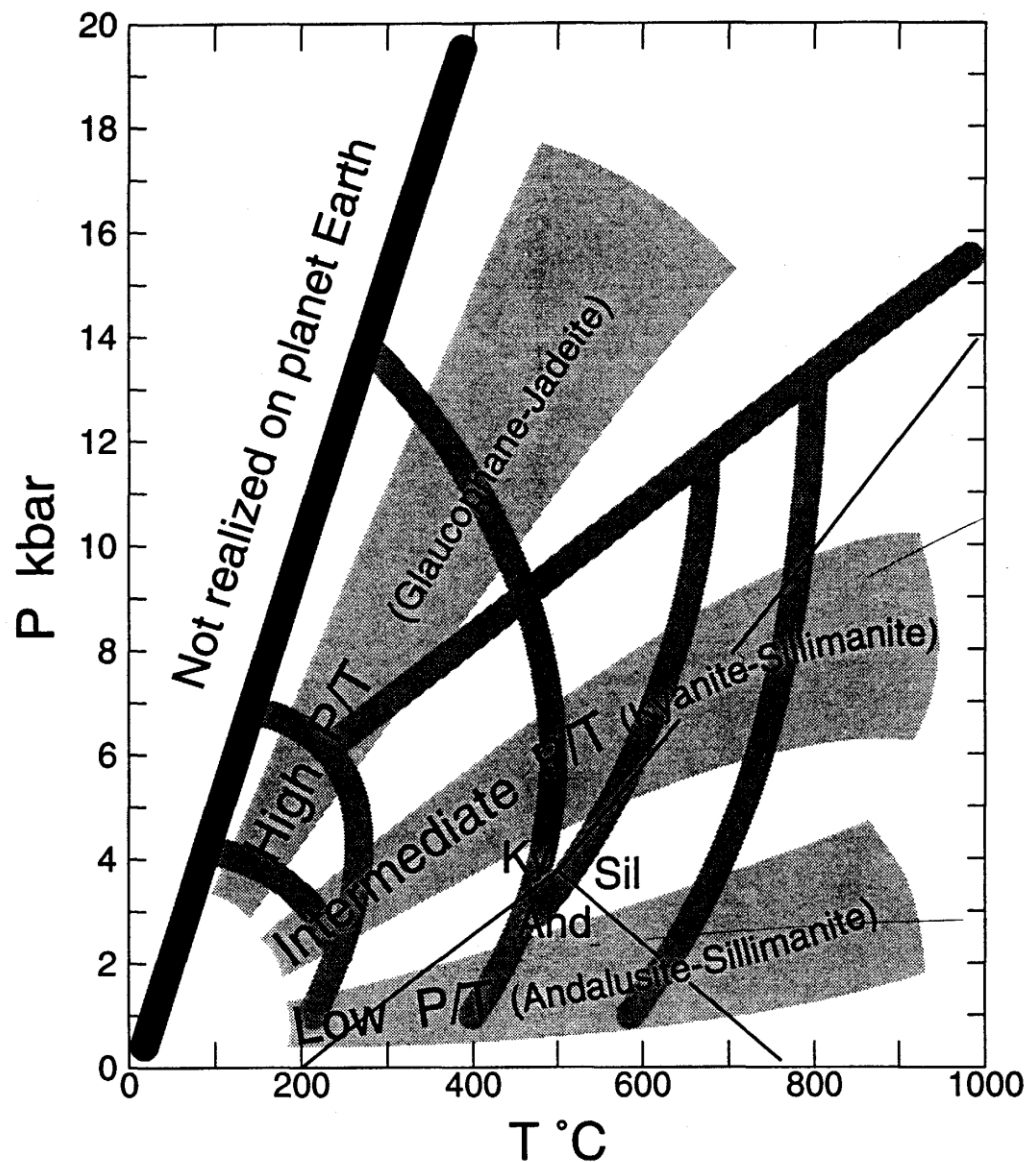


Série metamorfních facií

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

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

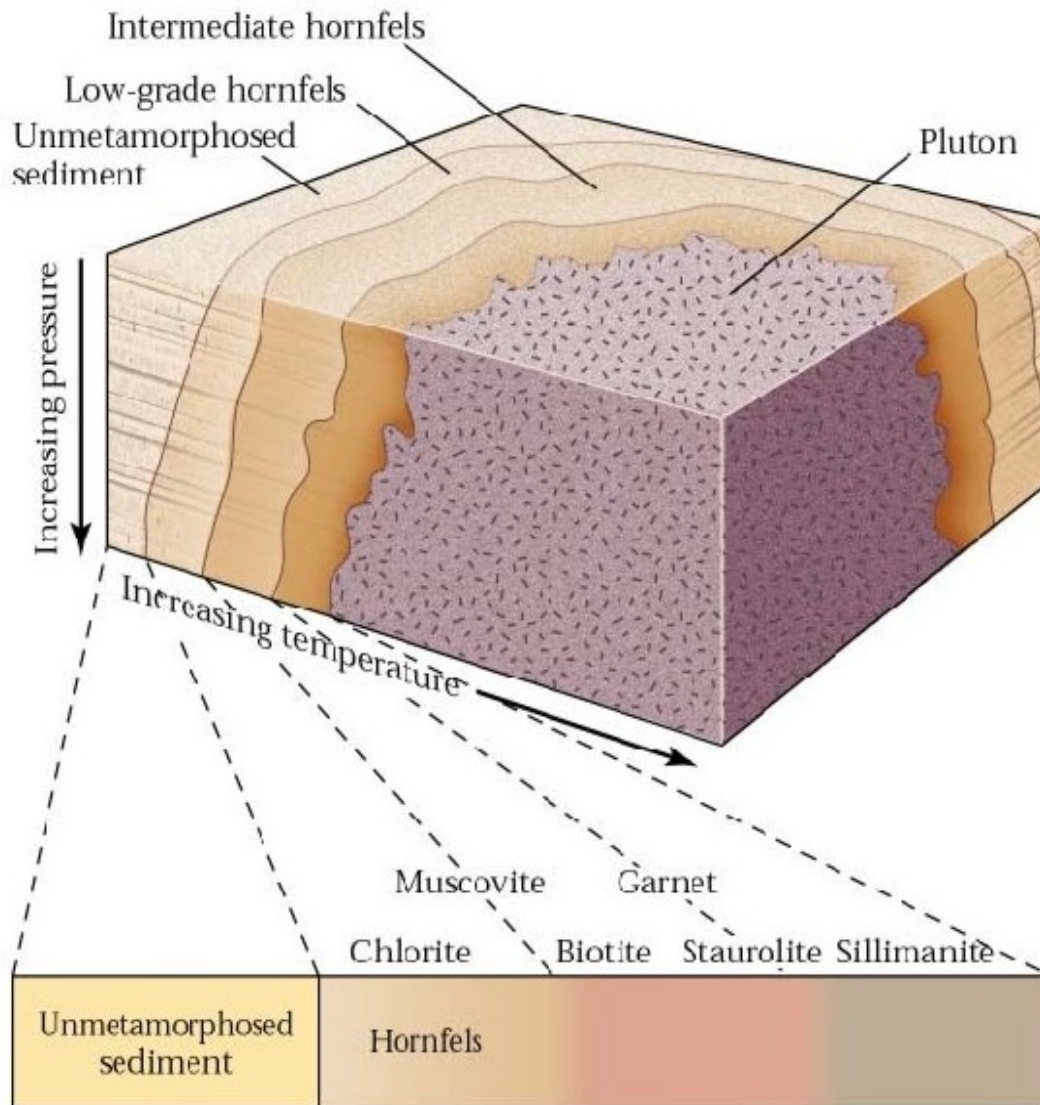
✓ nízký poměr P/T - (Gre – A – G) – série andalusit-sillimanit **Abukuma (Buchan)**



Kontaktní metamorfóza

Nízký P/T

(andalusit-sillimanit)



1) Malý rozsah (závisí hlavně na velikosti magmatického tělesa)

2) Časté projevy metasomatózy (kontaktní skarny).



Clay



Brick



Pottery

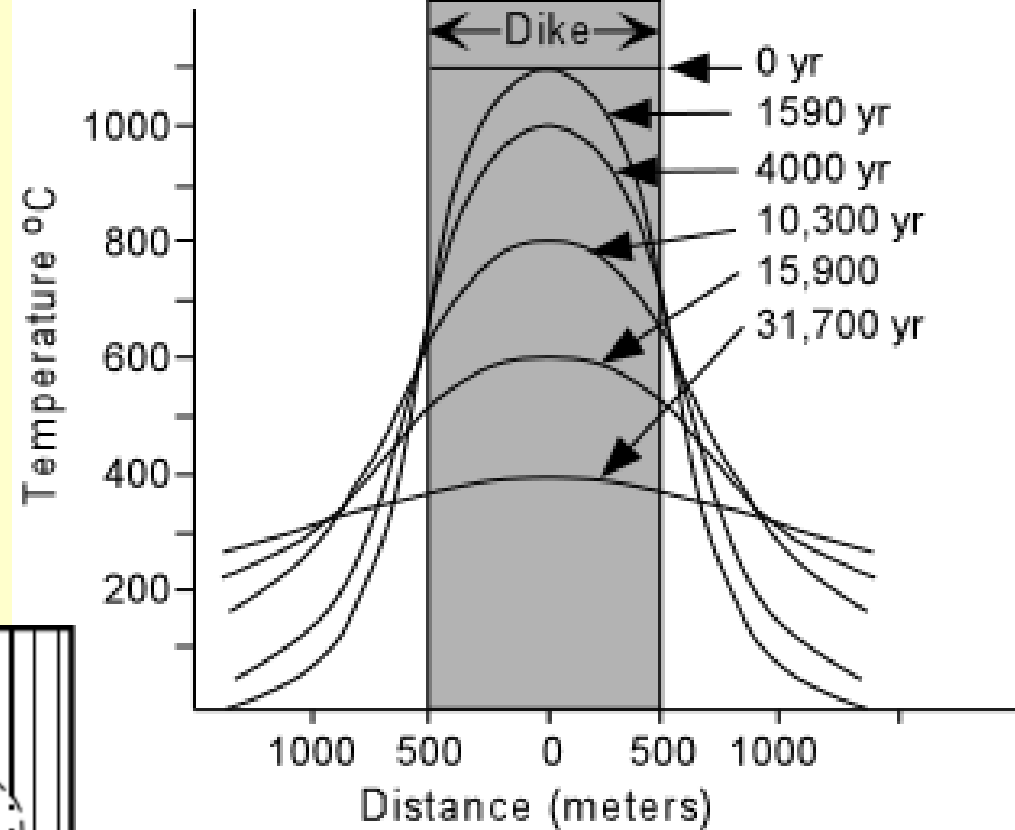
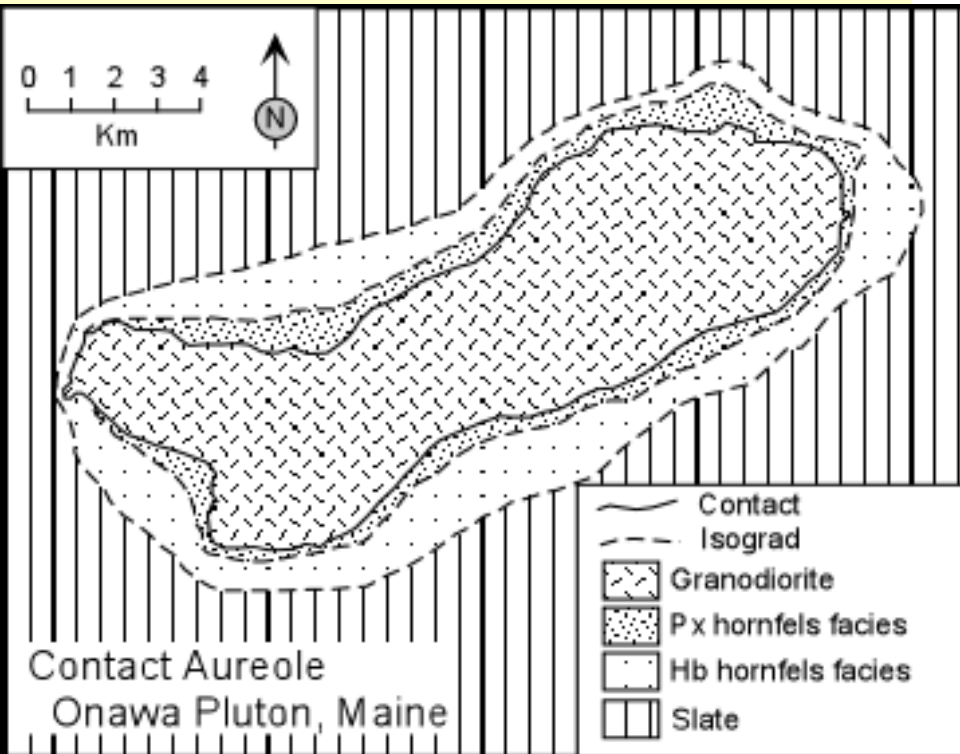


Porcelain

Velikost a intenzitu kontaktní metamorfózy ovlivňují:

1) Vlastnosti plutonu

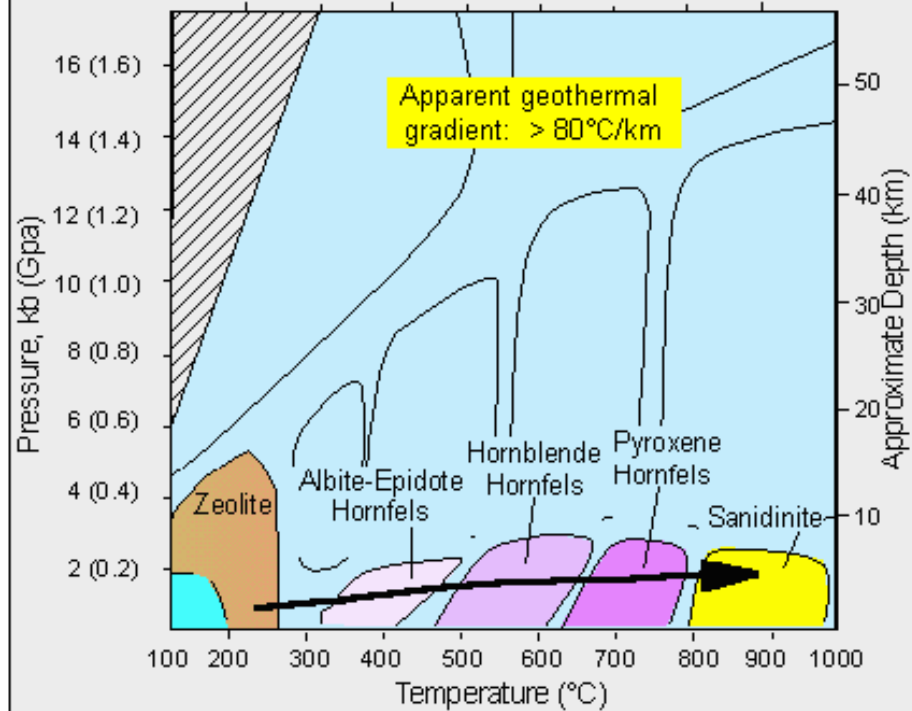
- velikost
- složení
- teplota
- tvar



- ## 2) Vlastnosti okolních hornin
- složení
 - hloubka a metamorfní gradient
 - permeabilita (vodivost hornin)

Facies Series: Low Pressure, High Temperature

CONTACT METAMORPHISM

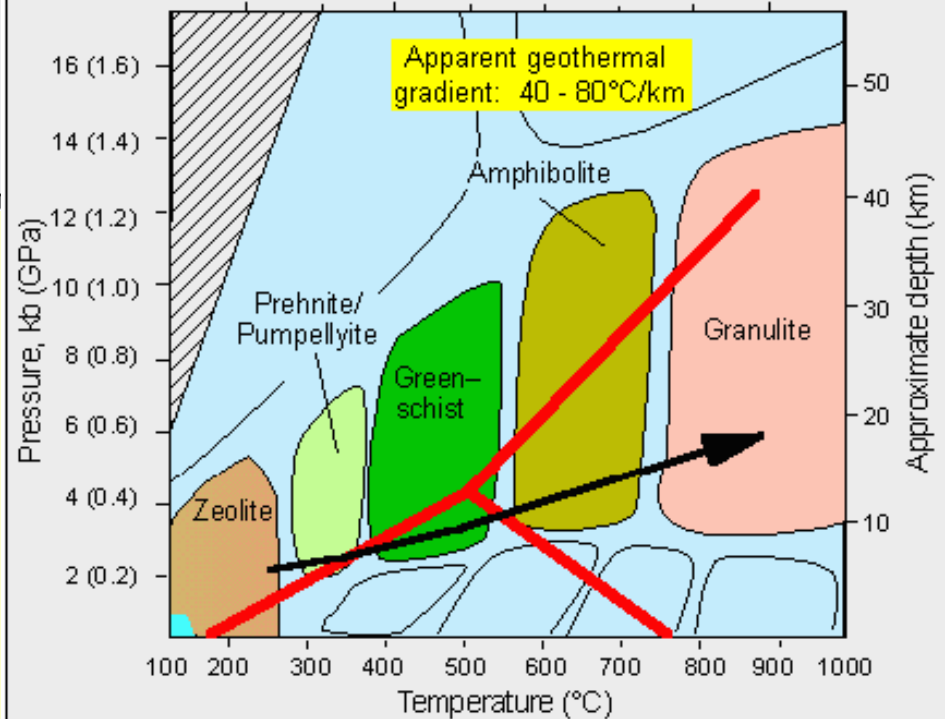


After Yardley (1989)

1) Kontaktní metamorfóza probíhá za velmi nízkých tlaků a je způsobena teplem magmatu na povrchu nebo těsně pod ním.

Facies Series: Low Pressure, Andalusite—Sillimanite type

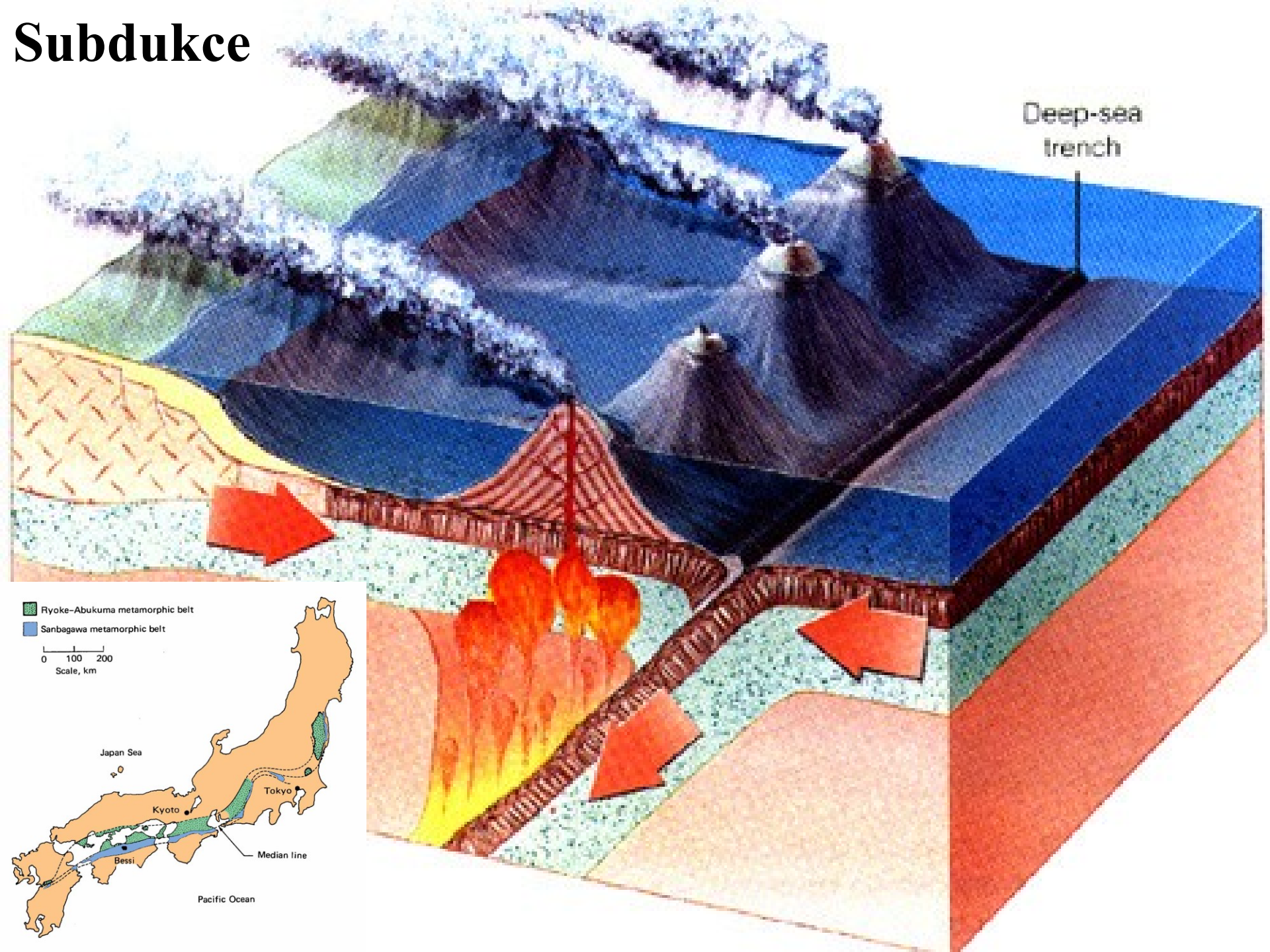
BUCHAN FACIES SERIES



After Yardley (1989)

2) Metamorfóza typu Buchan je nízkotlaká metamorfóza.

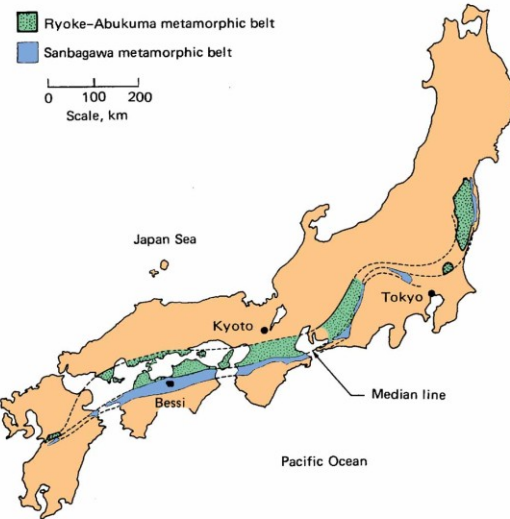
Subdukce



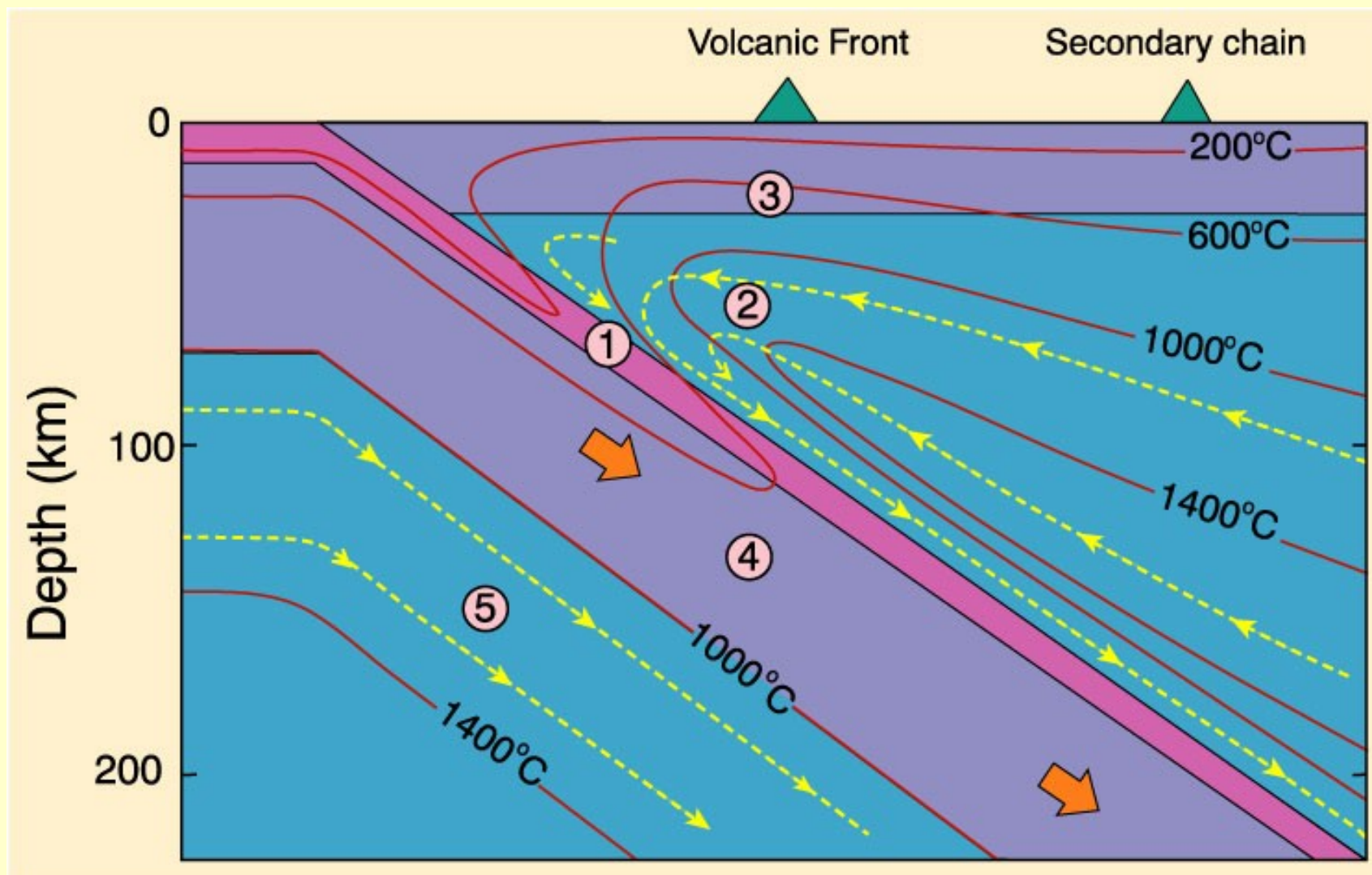
Deep-sea trench

Ryoke-Abukuma metamorphic belt
Sanbagawa metamorphic belt

0 100 200
Scale, km

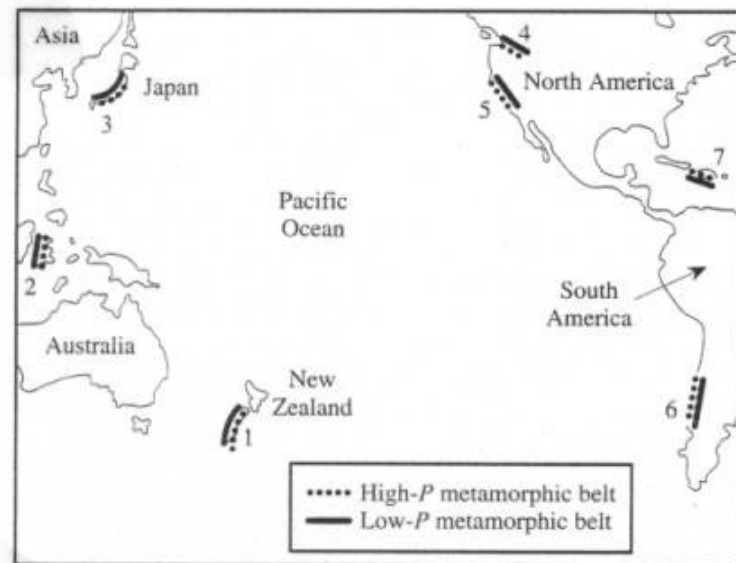
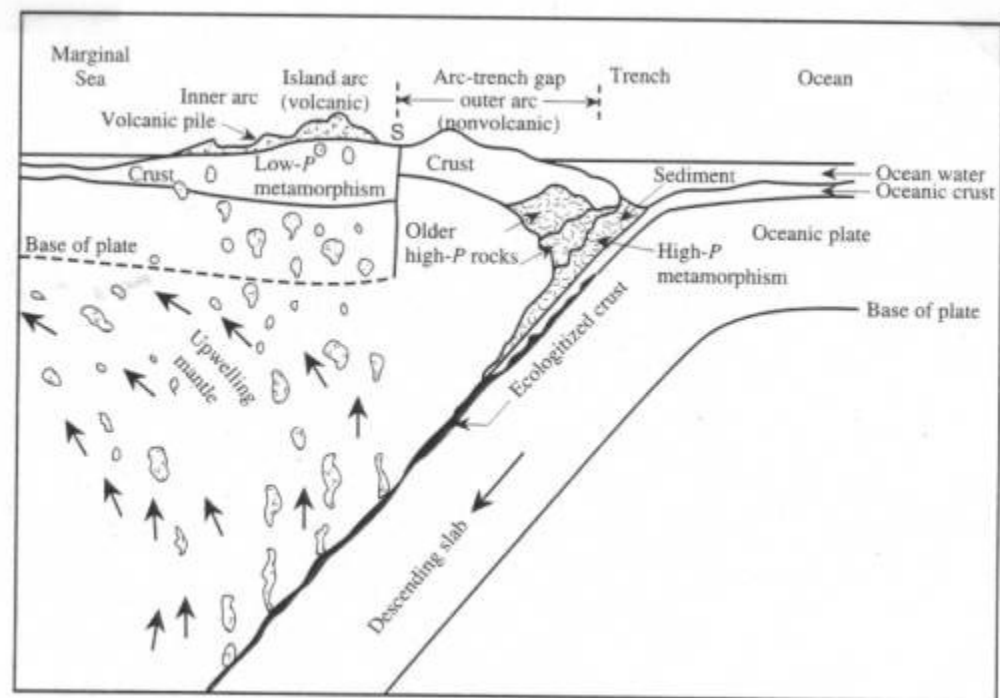


- Teplota 600°C je na straně subdukčního příkopu v hloubce 100 km a pod vulkanickým obloukem v hloubce kolem 20 km



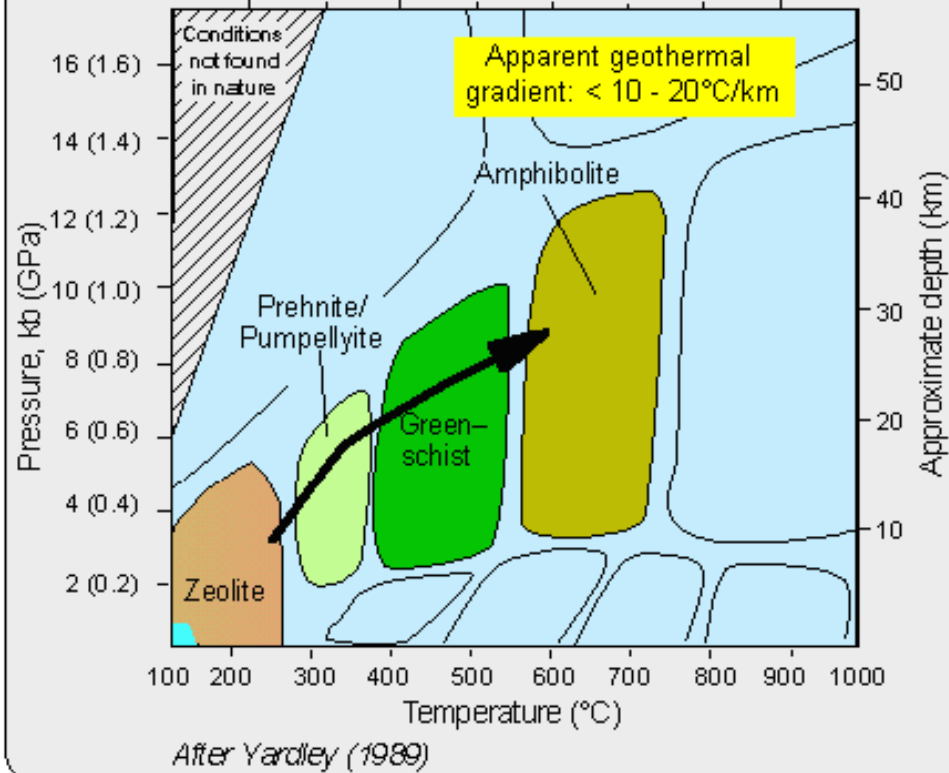
Metamorfóza vysokotlaká

- Vysoký P/T (glaukofan-jadeit)
- Ryoke Belt (na straně ke kontinentu)
- Dominantní metapelity metamorfované až do sillimanitové zóny.
- Vysoko až středně-teplotní a nízkotlaká met. (HPMT)
- Hojné granitické intruze.



- Sanbagawa Belt (na straně k oceánu)
- Hojné bazické horniny metamorfované ve facii zeolitové až amfibolitové, časté blueschists (**glaukofan**),
- Metapelity dosáhly jen granátové zóny.
- Vysokotlaká nízkoteplotní met. (HPLT)

Facies Series: High Pressure, Moderate Temperature
SANBAGAWA FACIES SERIES



- 4) *Metamorfóza typu Sambagawa je známa ze subdukčných zón.*

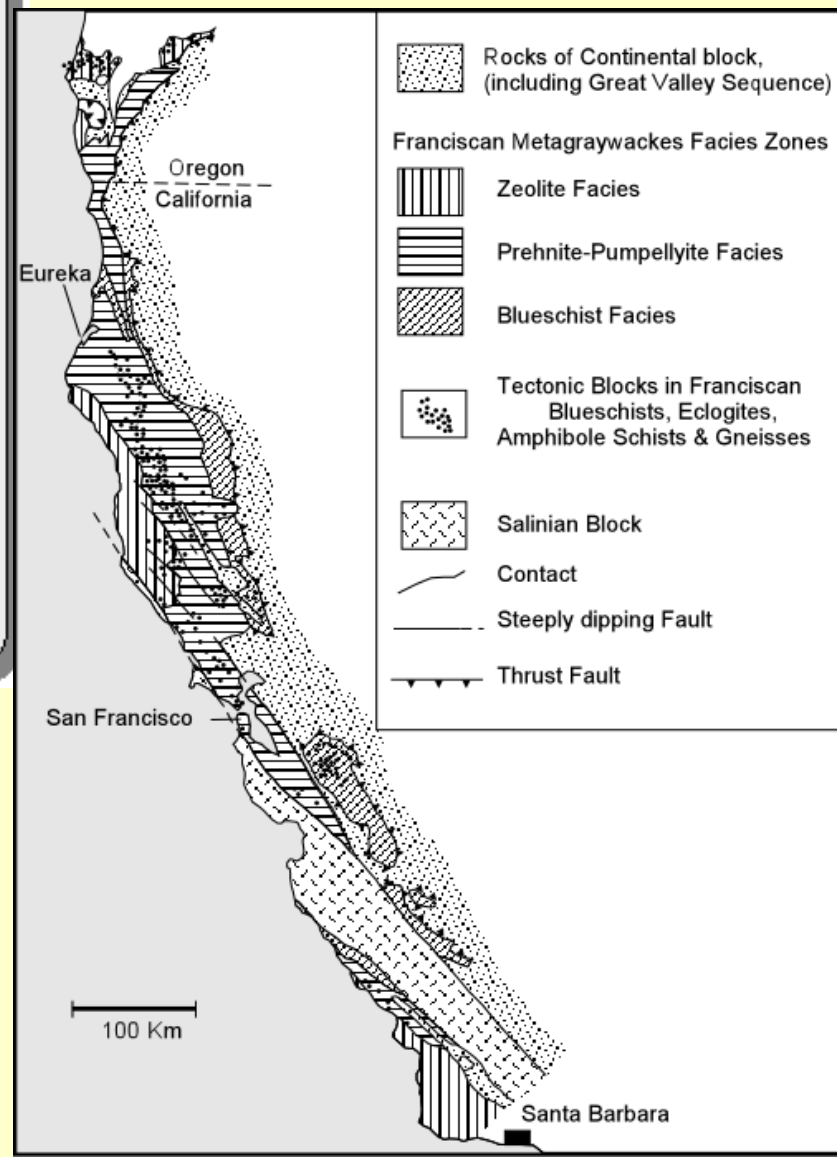
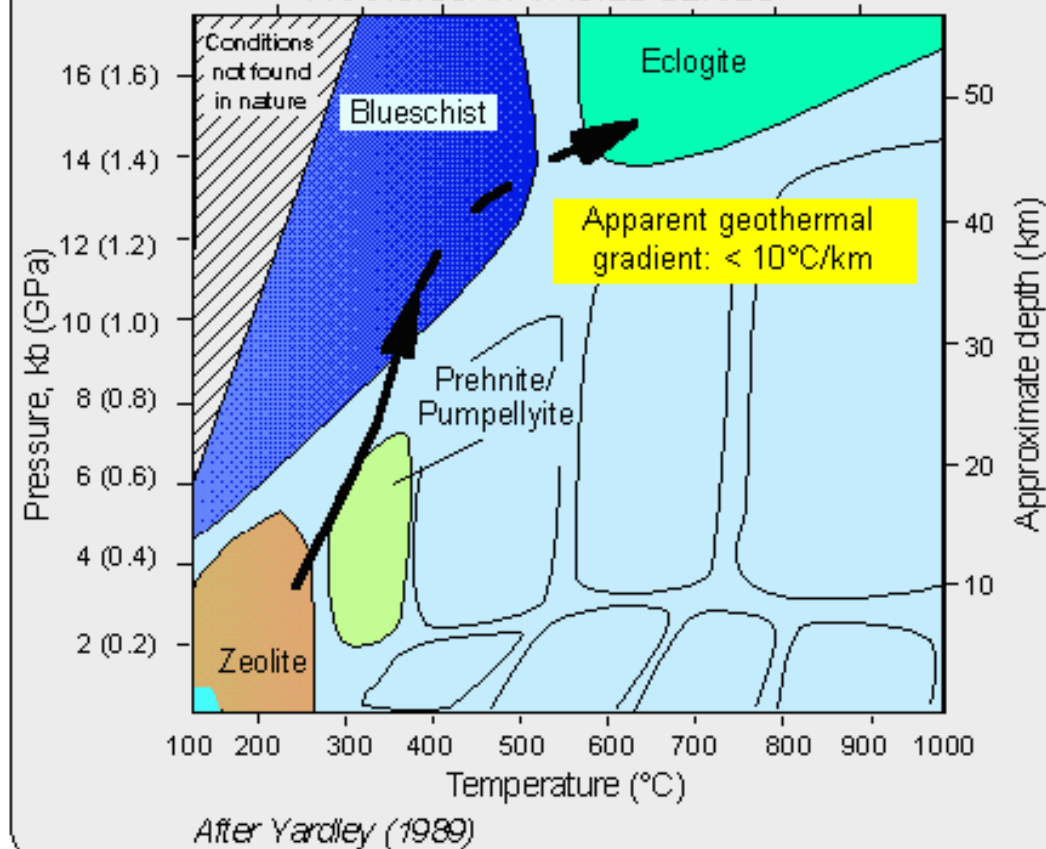
- *Vyznačuje se párovým uspořádáním zón.*
- *Na jedné straně je zóna Ryoke-Abukuma charakterizovaná nízkým tlakem a vysokou teplotou.*
- *Na druhé straně Sanbagawa zóna pro niž je charakteristická nízká teplota a vysoké tlaky.*



After Miyashiro (1961)

Facies Series: High Pressure, Very Low Temp (jadeite–glaucophane)

FRANCISCAN FACIES SERIES



• 5) Franciská metamorfóza jde o vysokotlakou metamorfózu typickou pro subdukční zóny

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

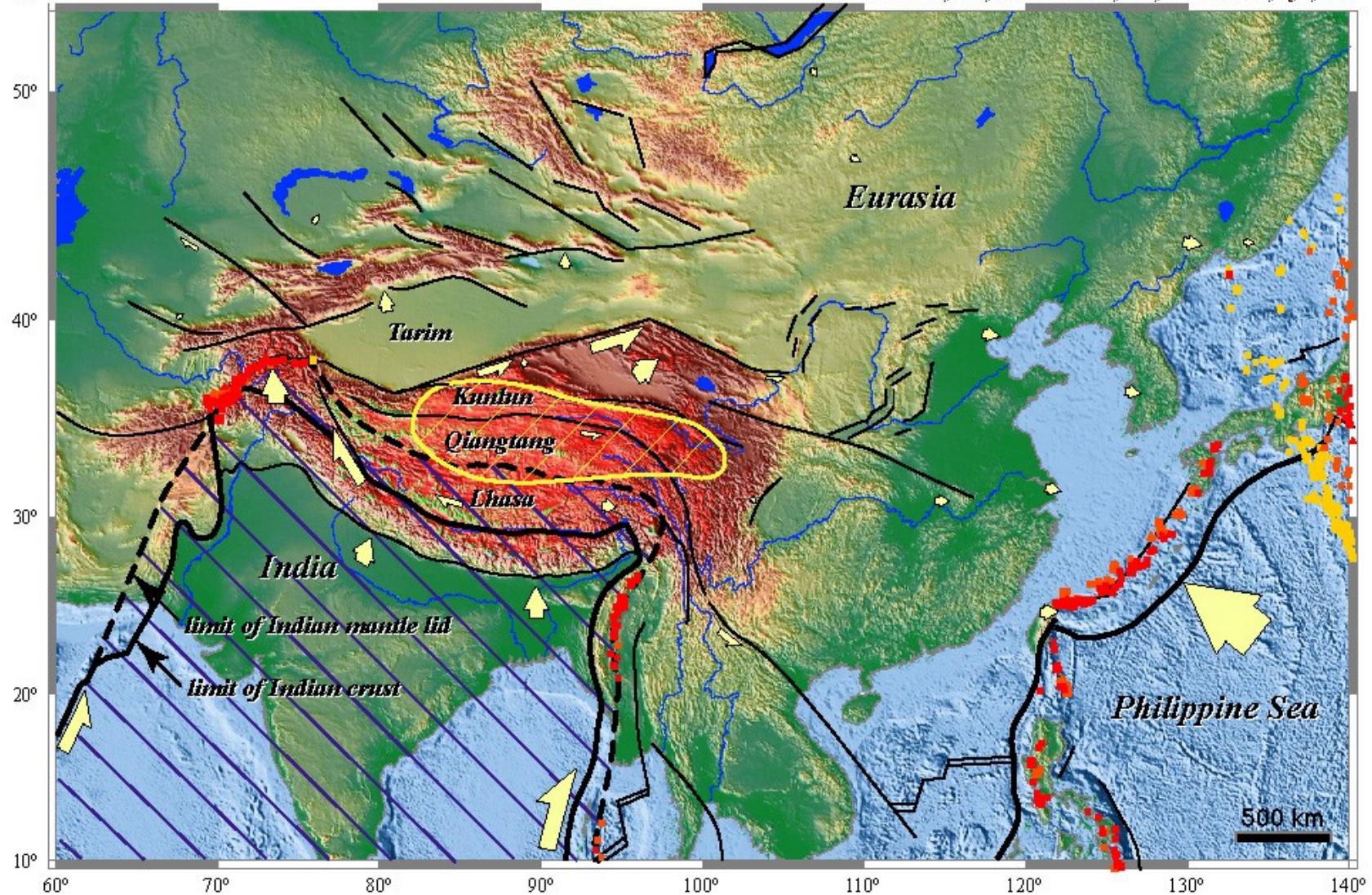


Fig 20a India has collided with Asia

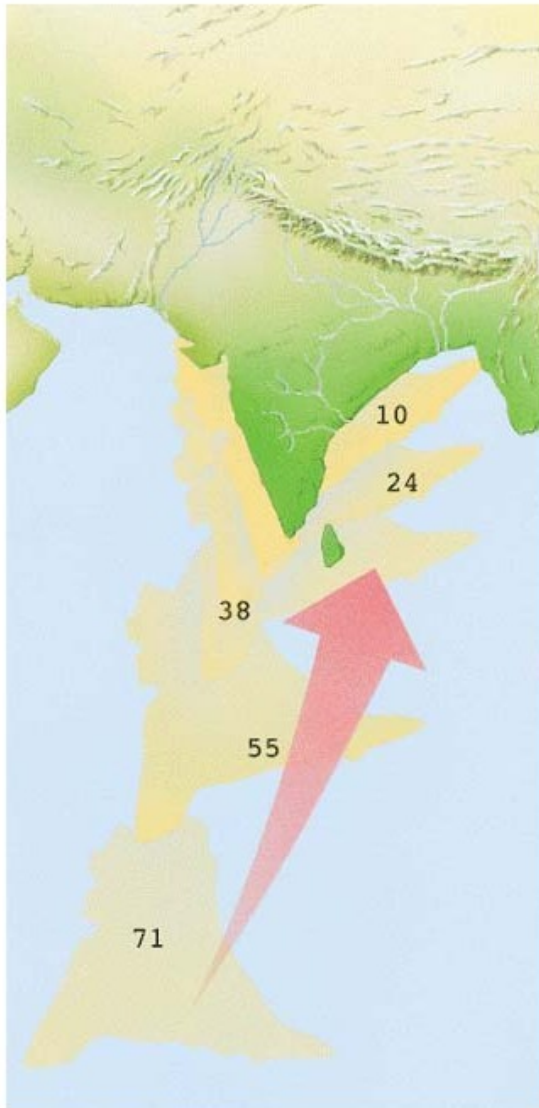
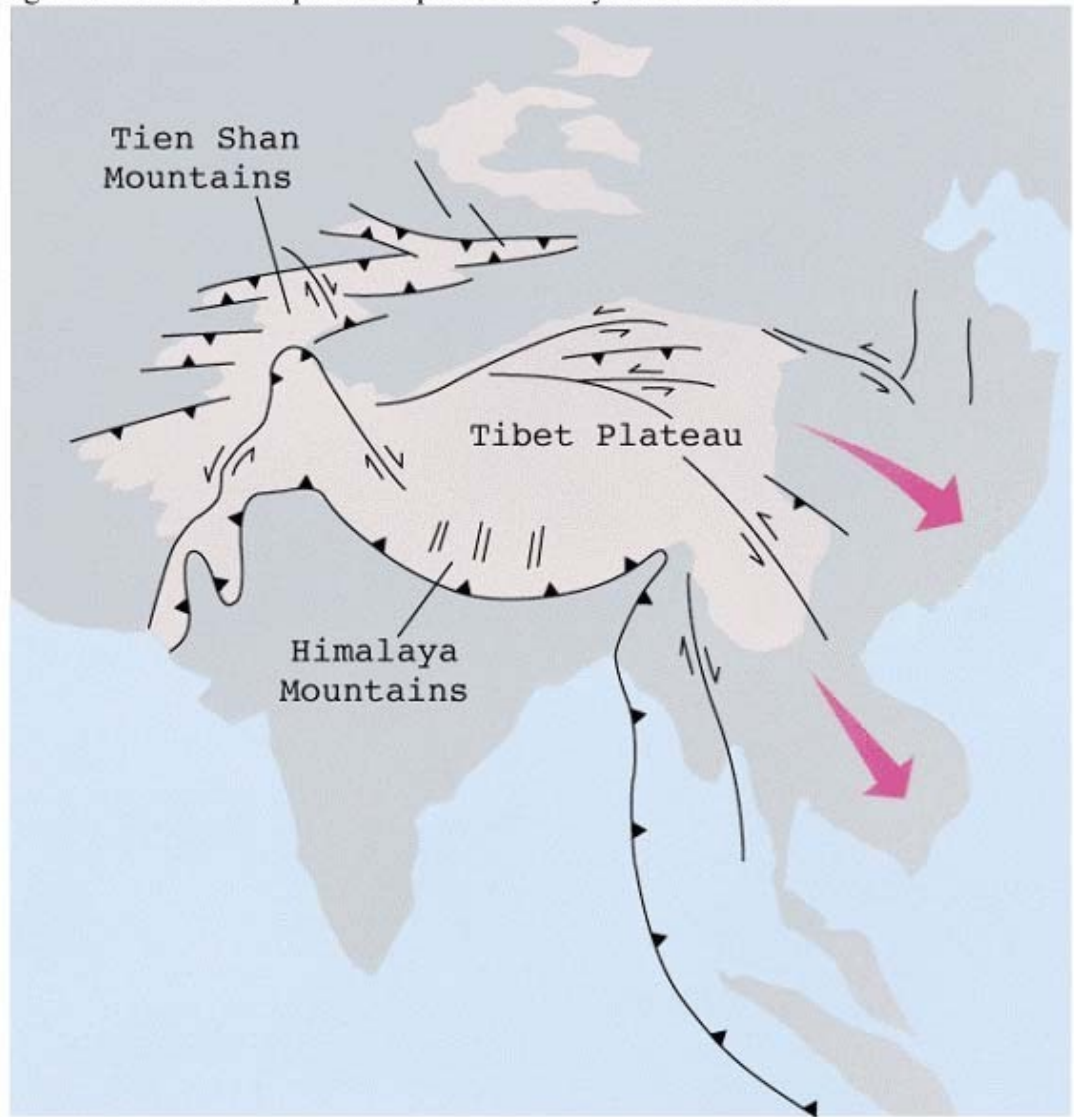
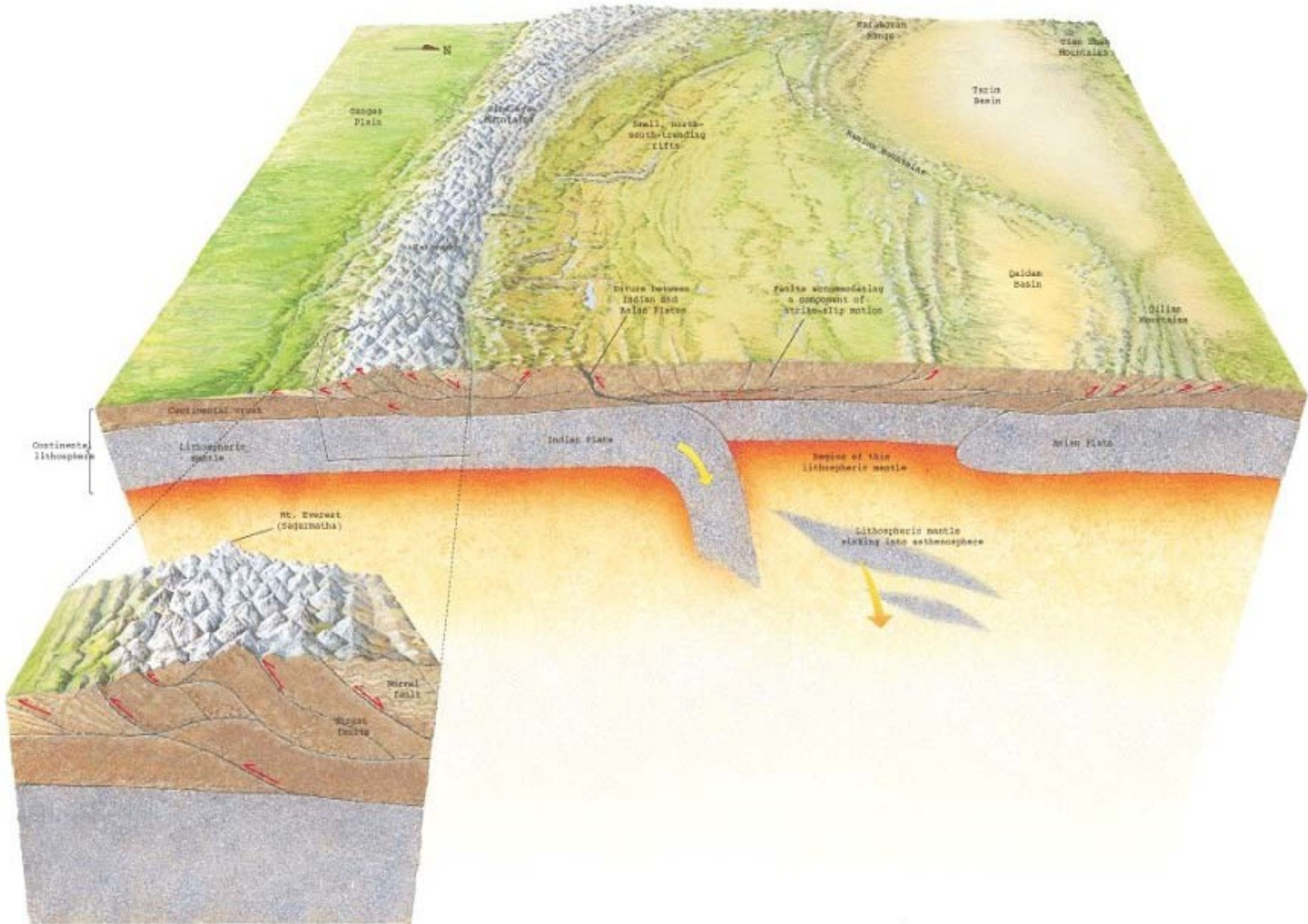
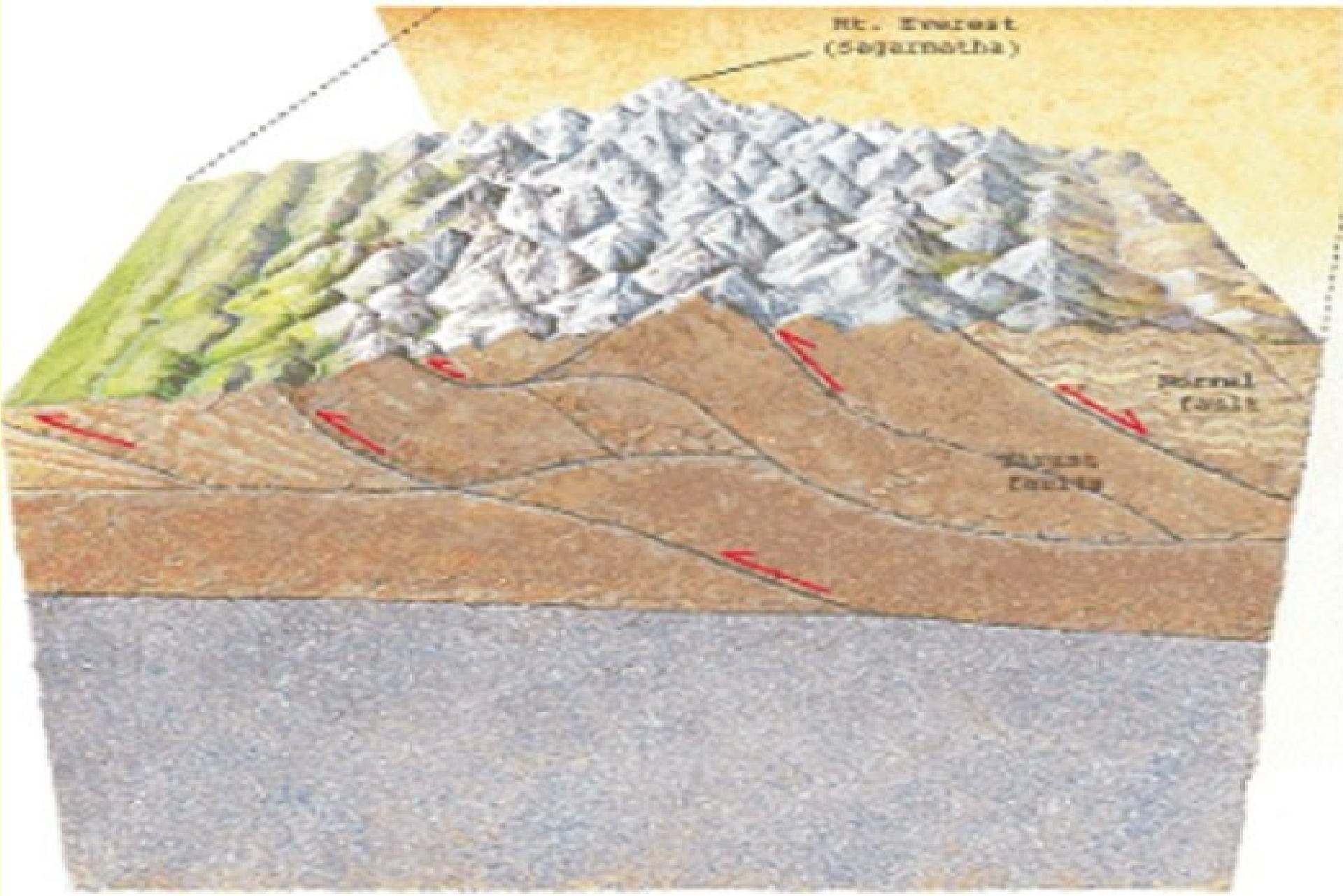


Fig 20b Collision has pushed up the Himalayas and Tibet



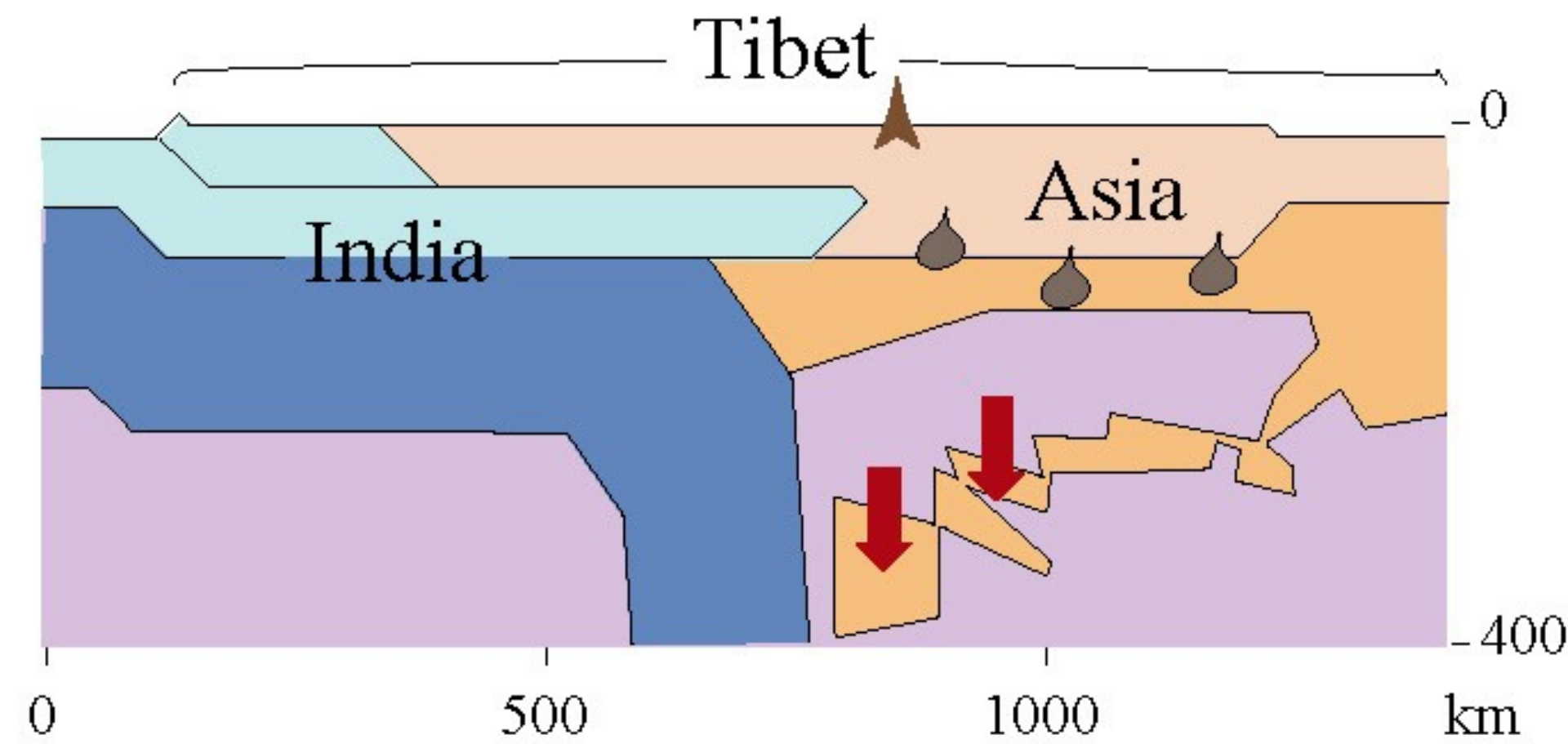
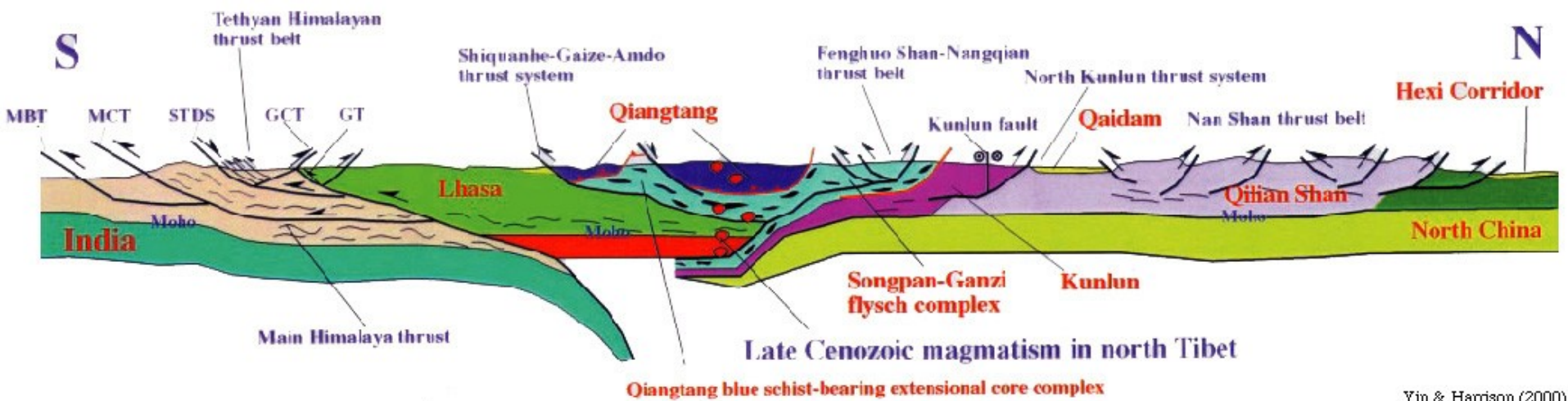


Ht. Everest
(Sagarmatha)

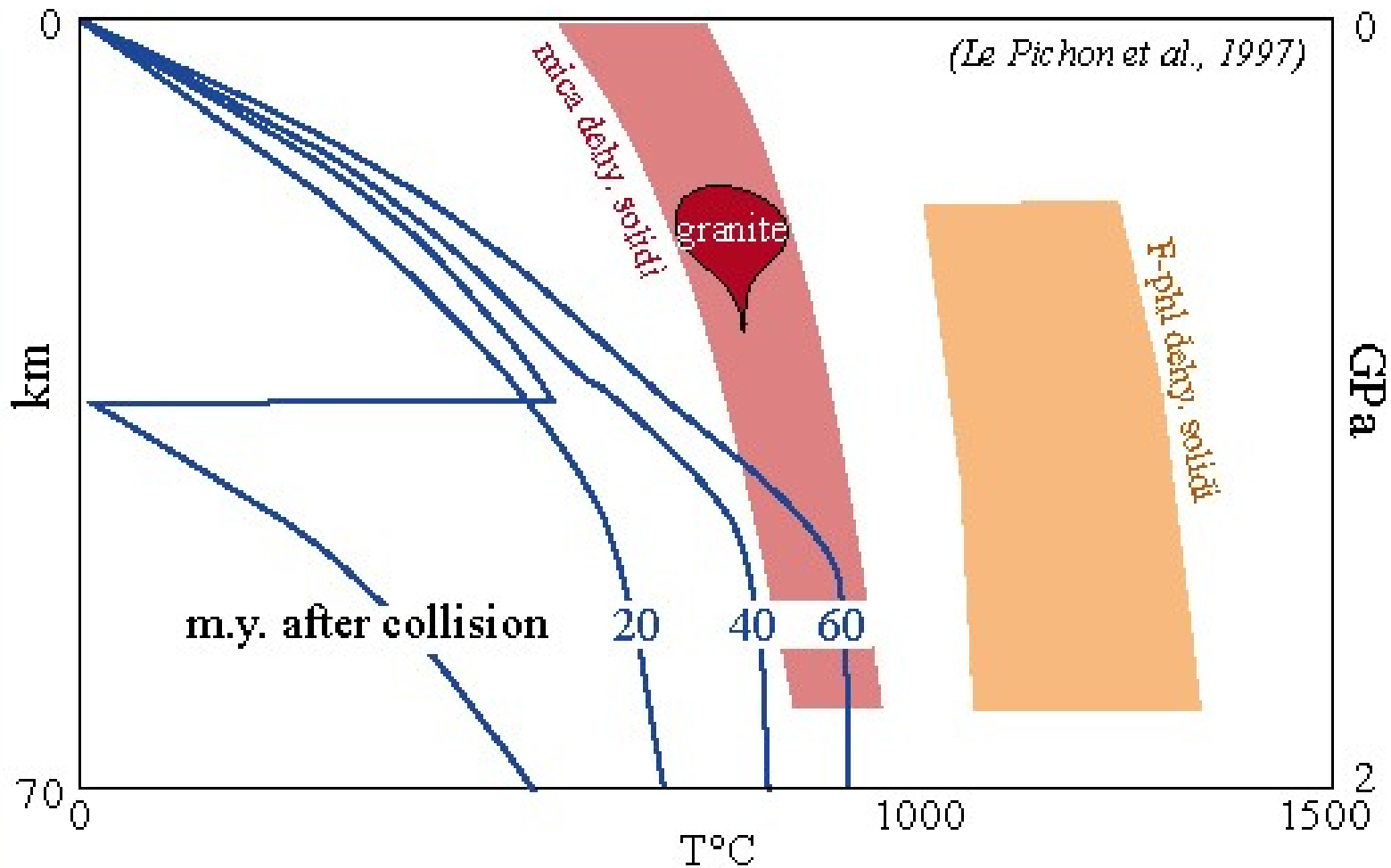


Main
Central
Thrust

Main
Himalayan
Thrust

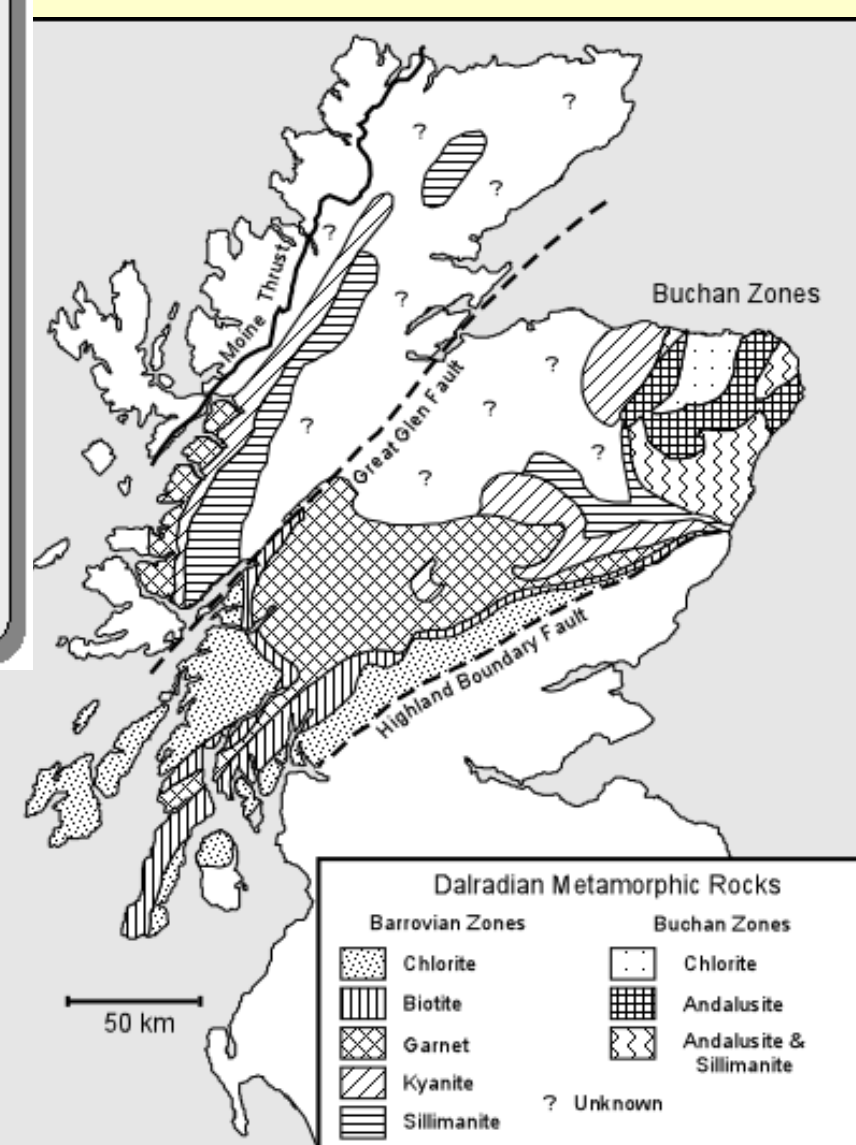
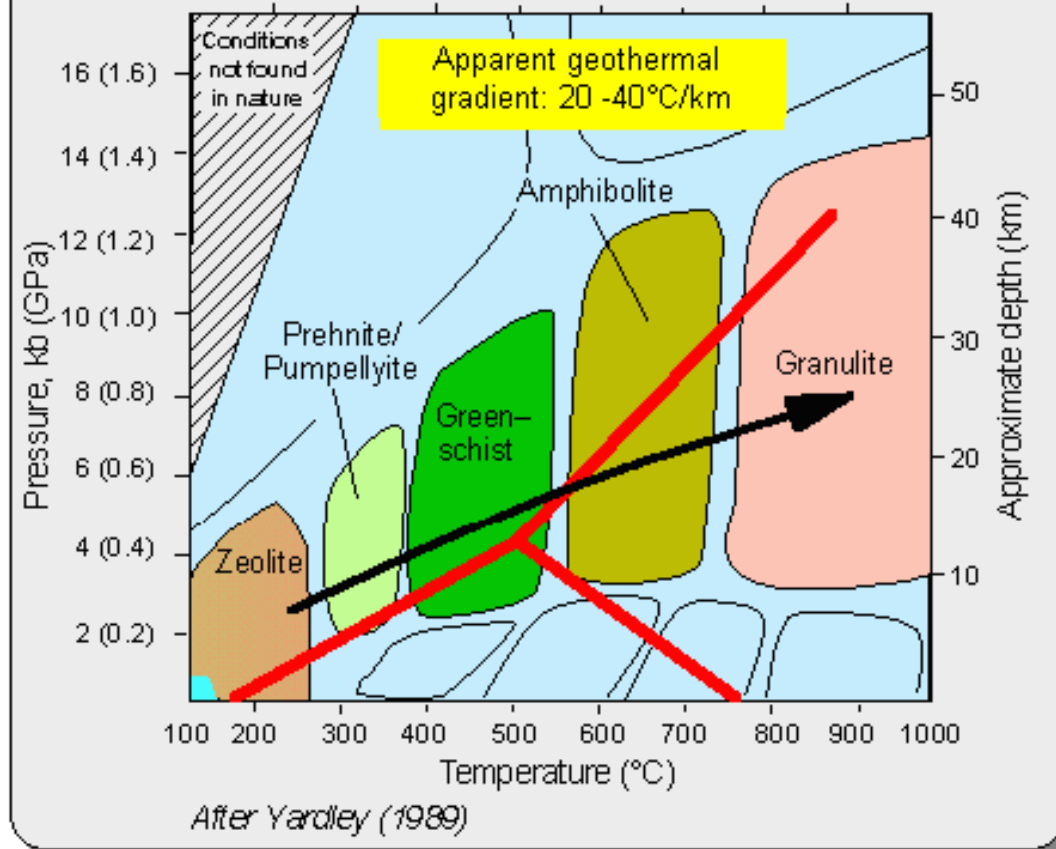


crustal stacking



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

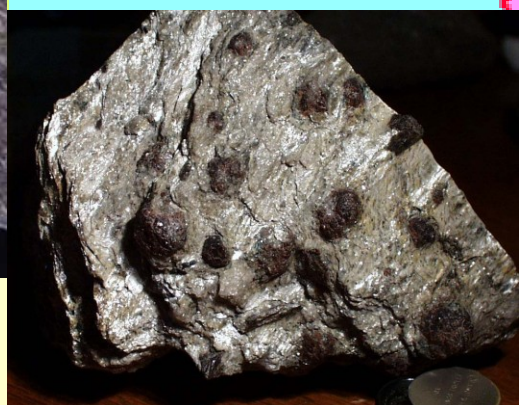
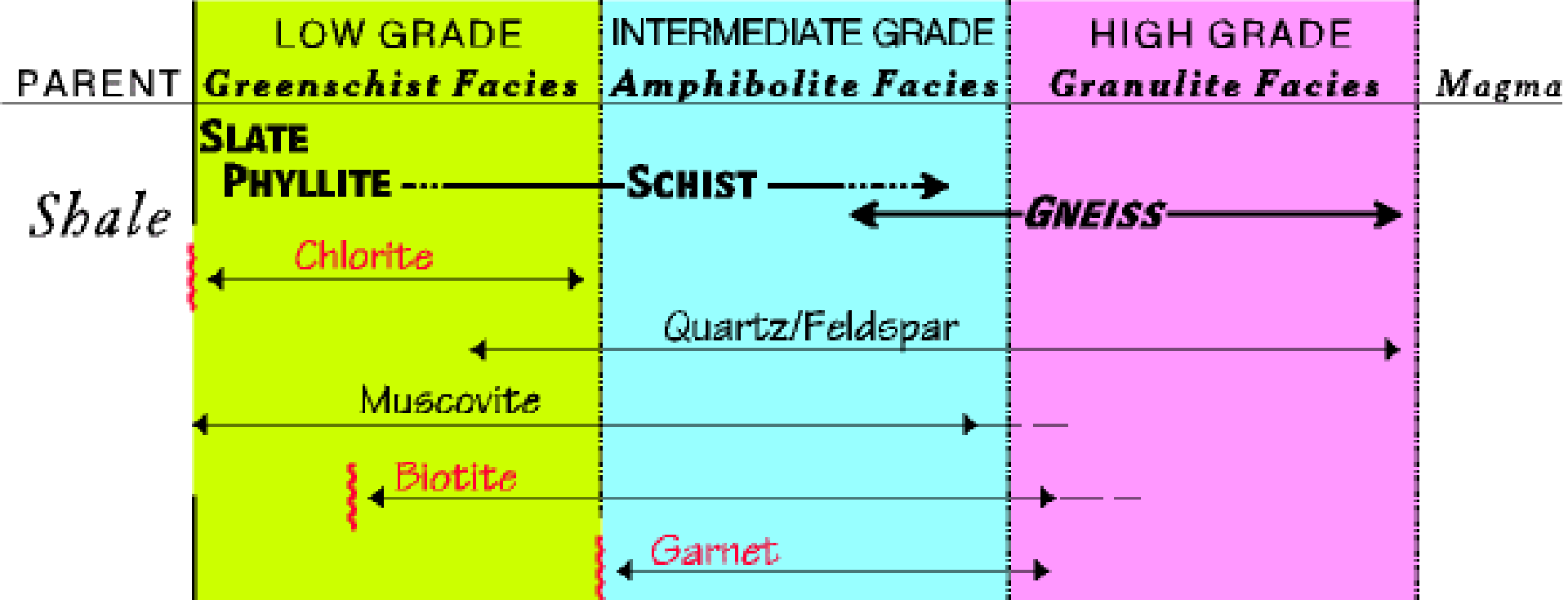
BARROVIAN FACIES SERIES

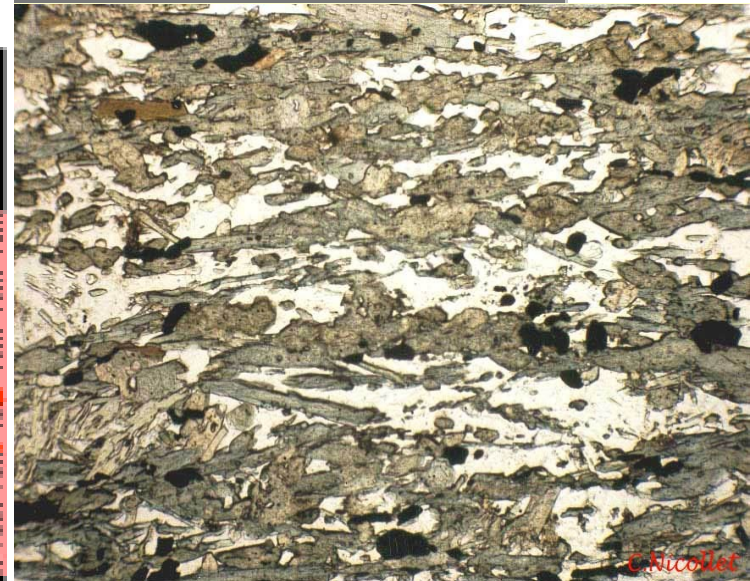
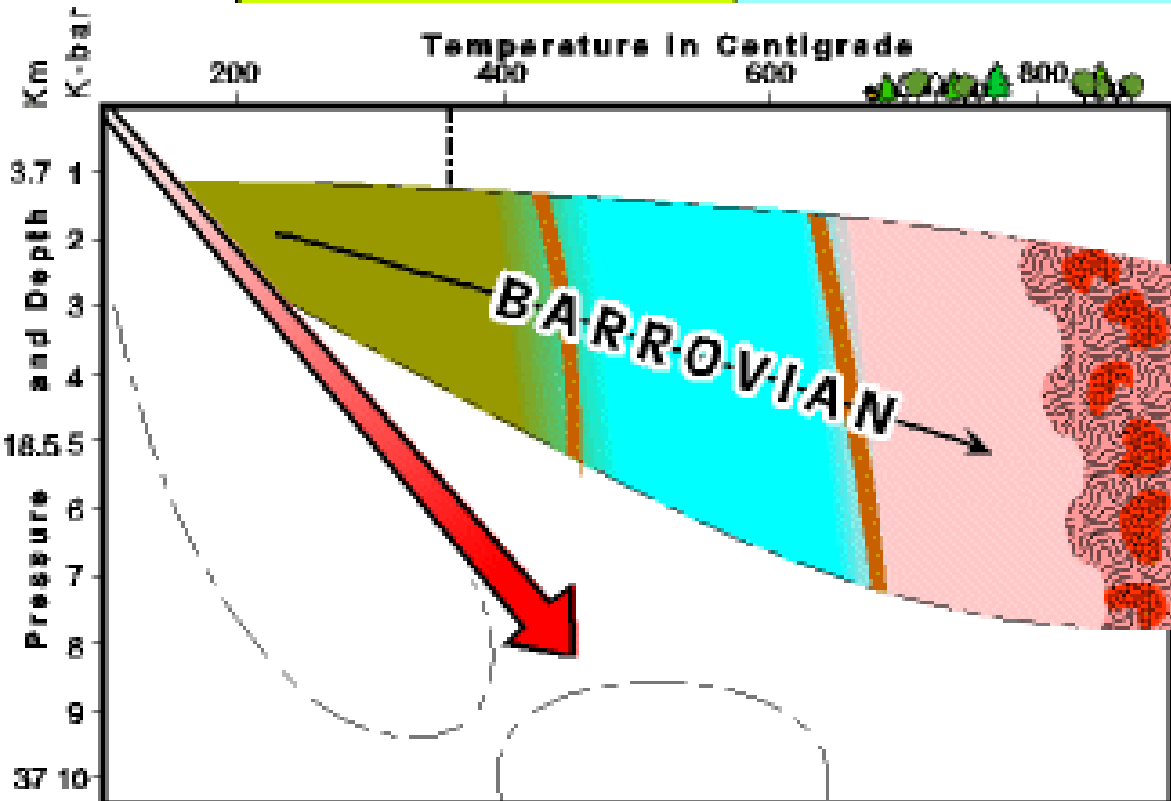
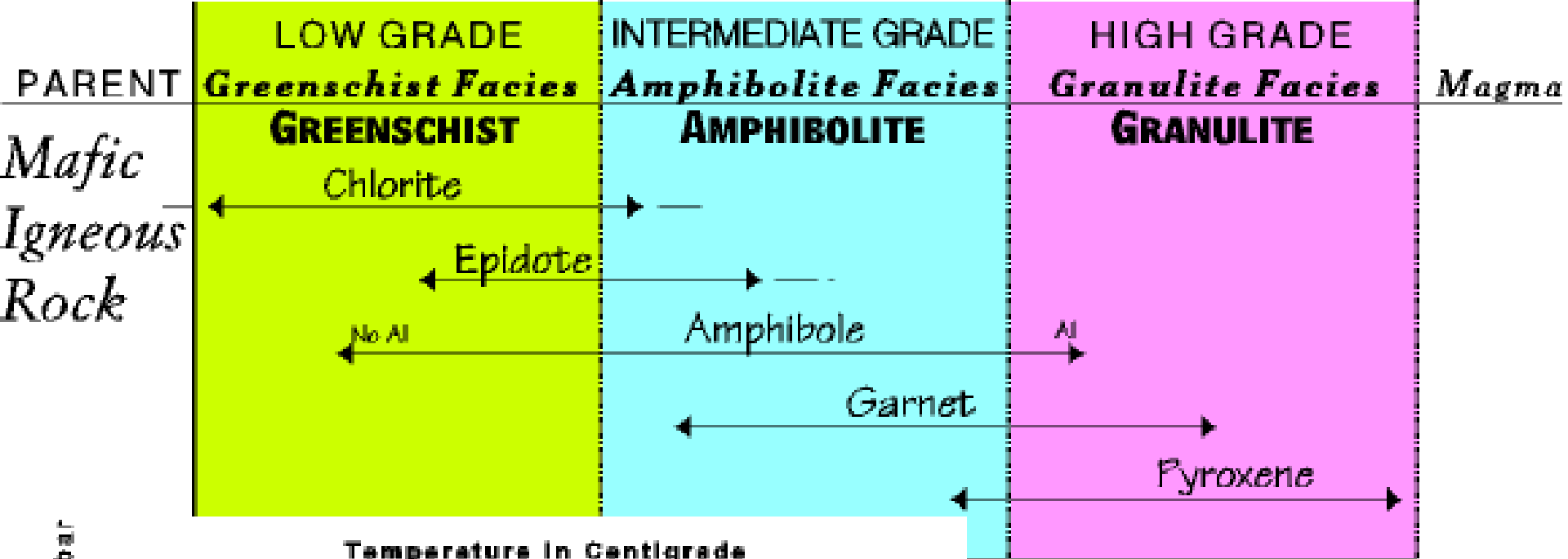


- 3) Barrovienská metamorfóza je střednětlaká regionální metamorfóza k níž dochází během kontinentální kolize.

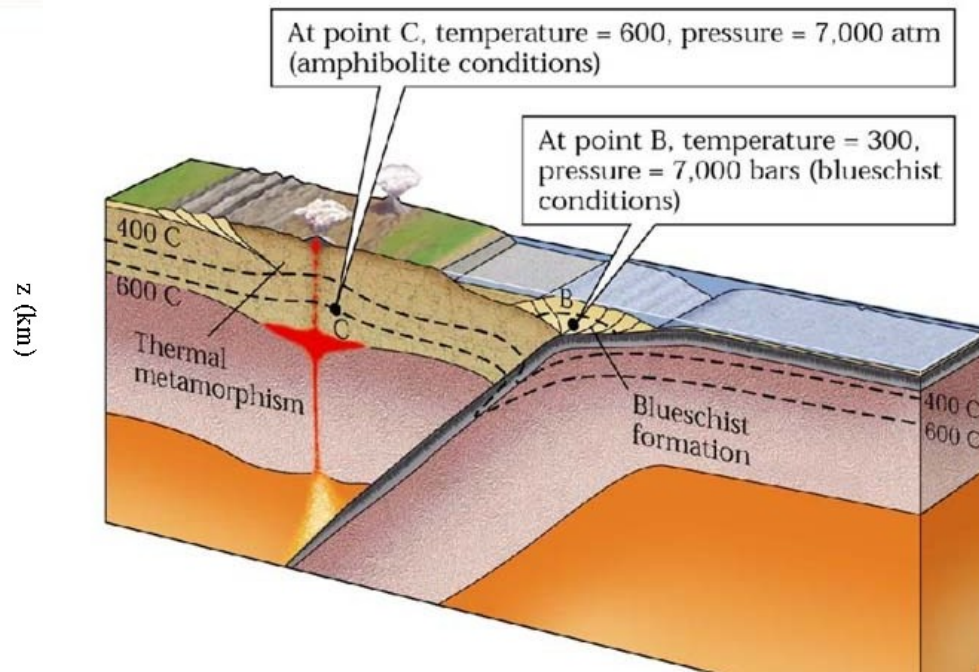
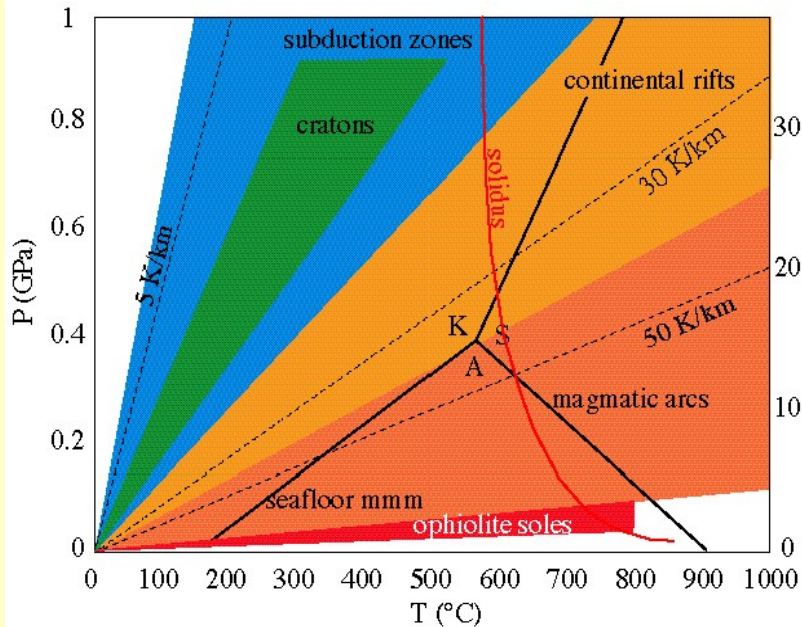
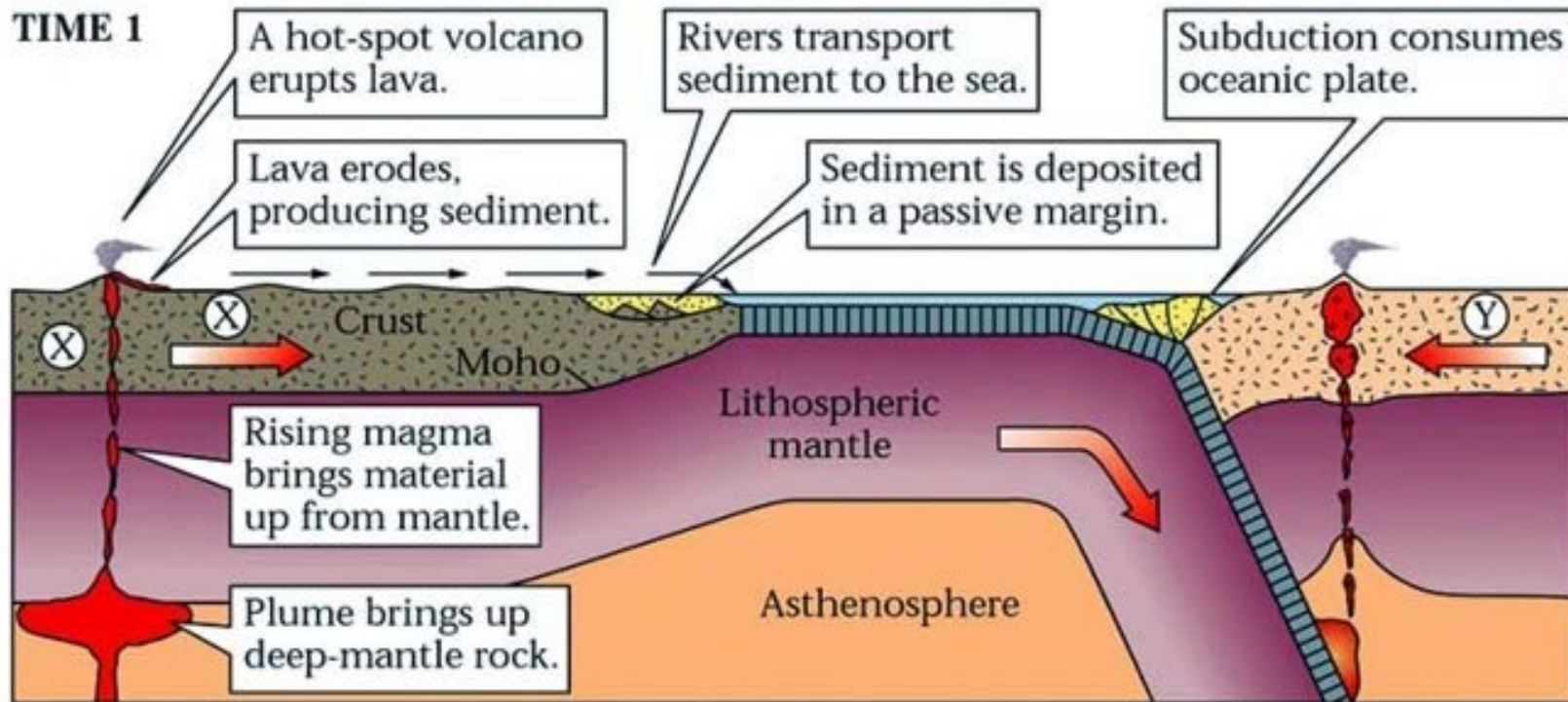
Regionální - orogenní pásma

- 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)

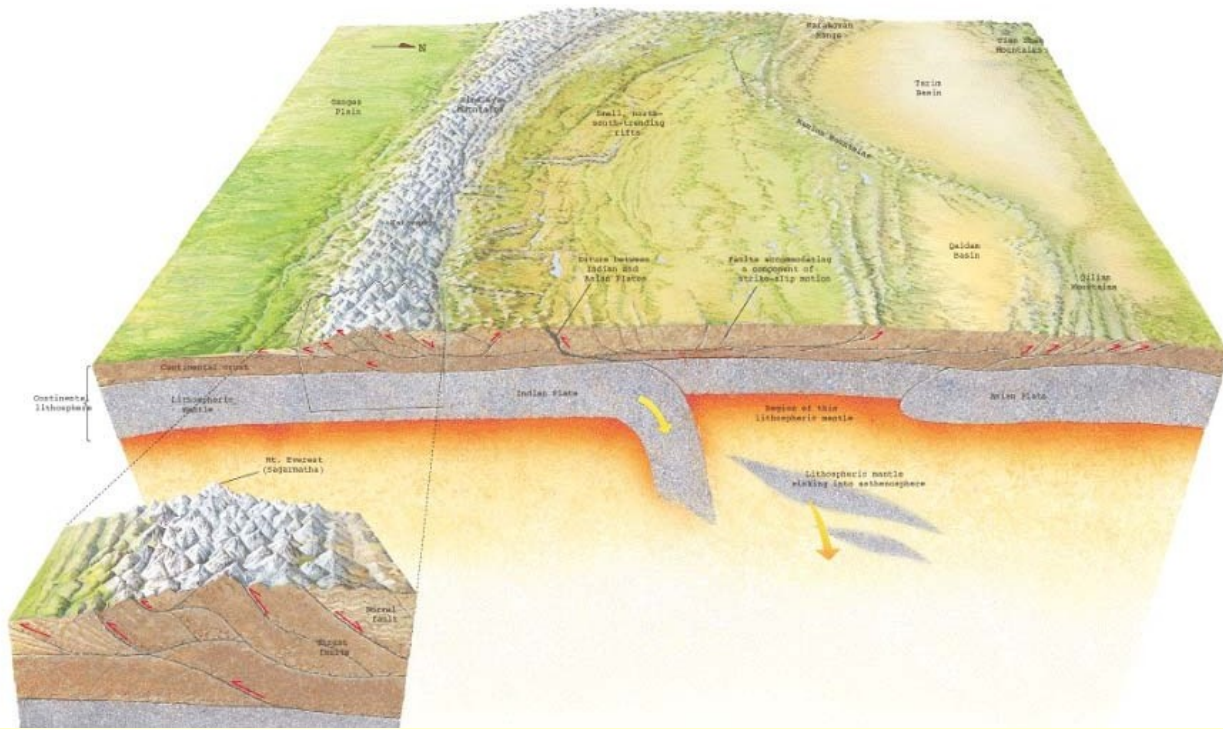
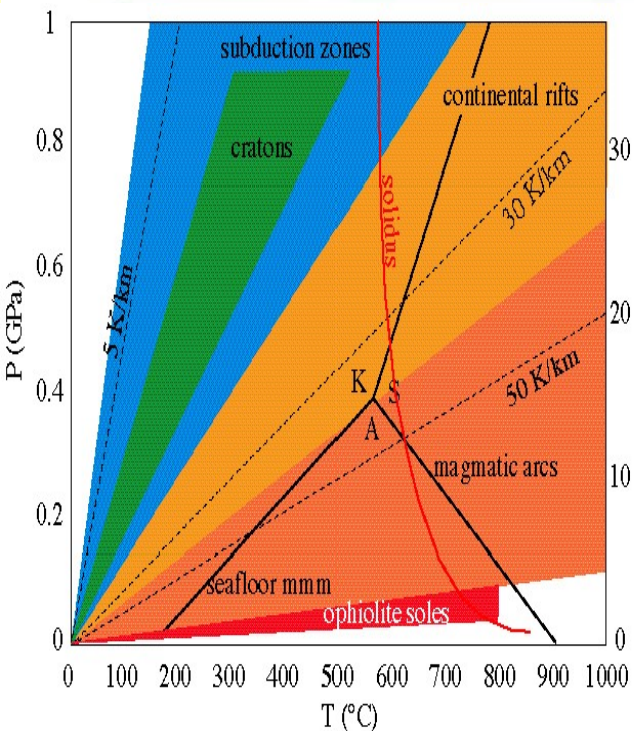
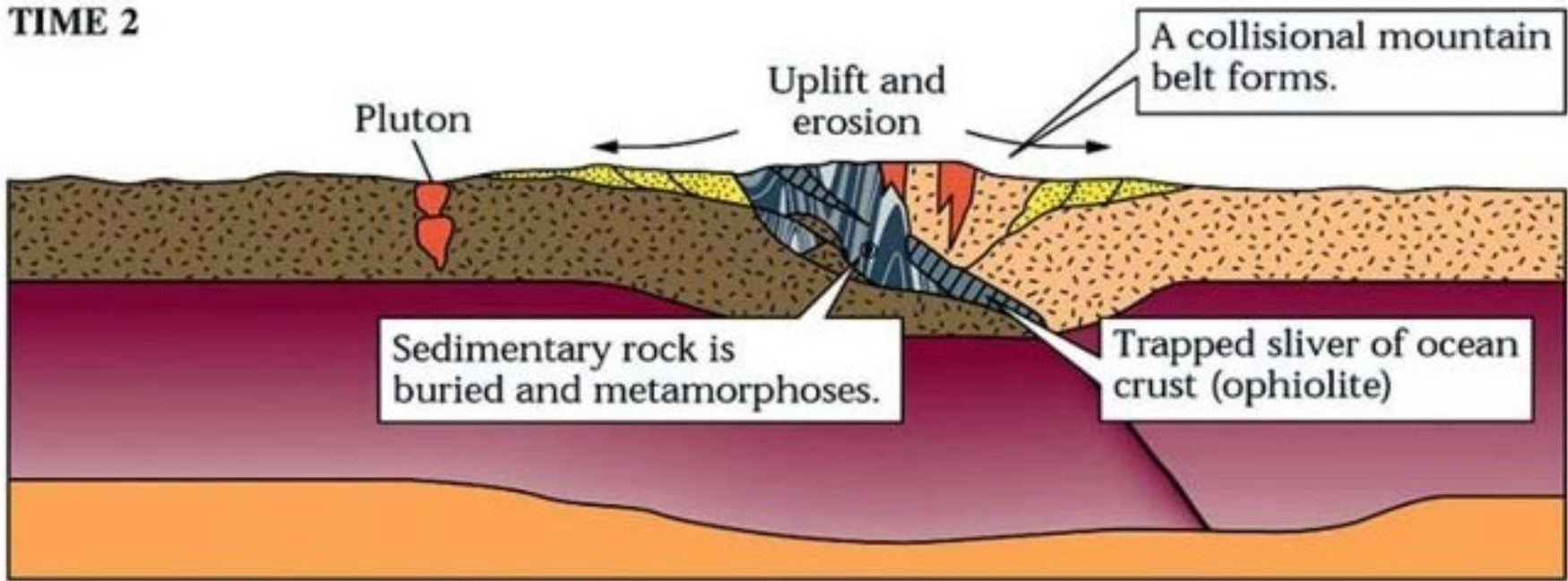


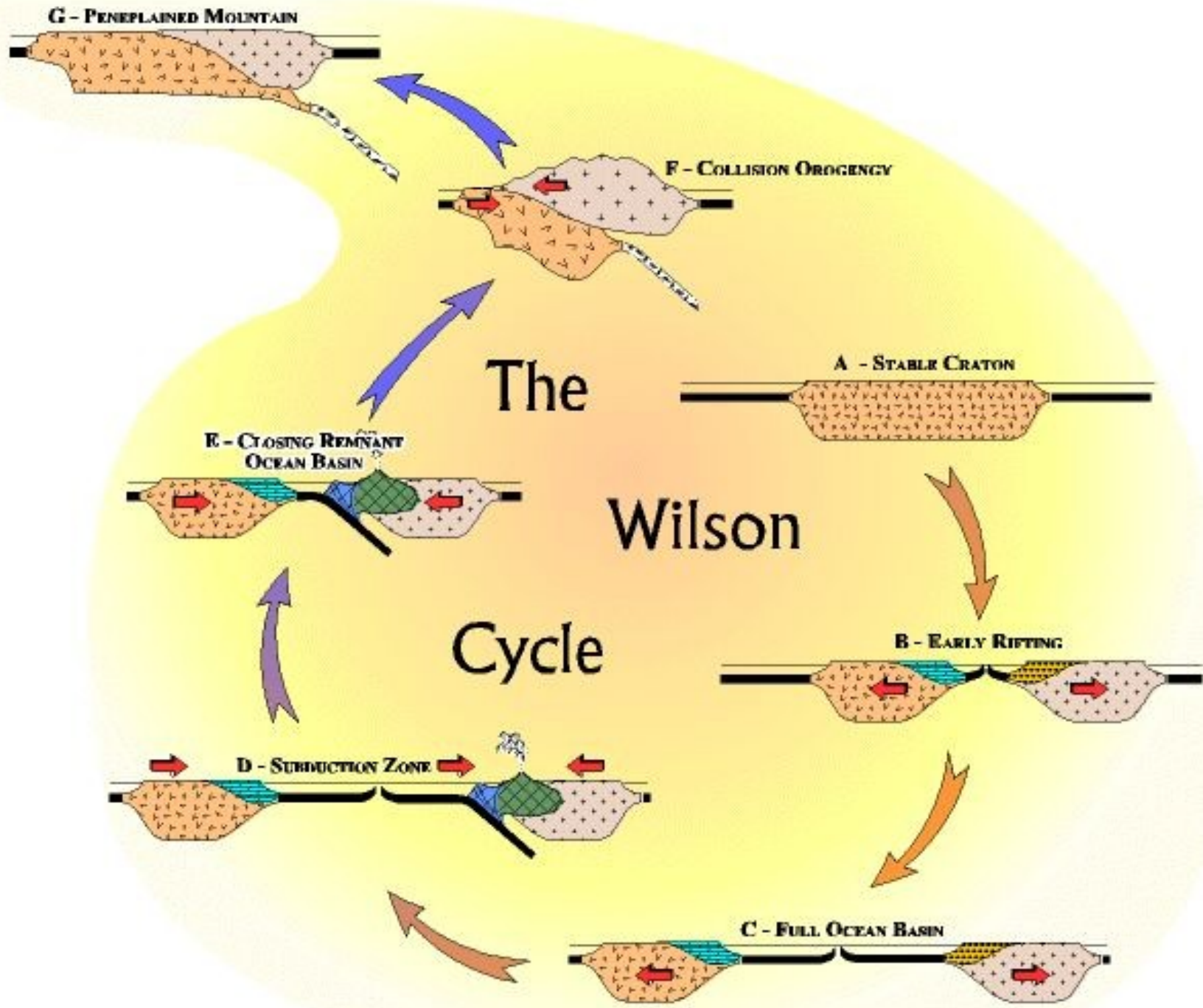


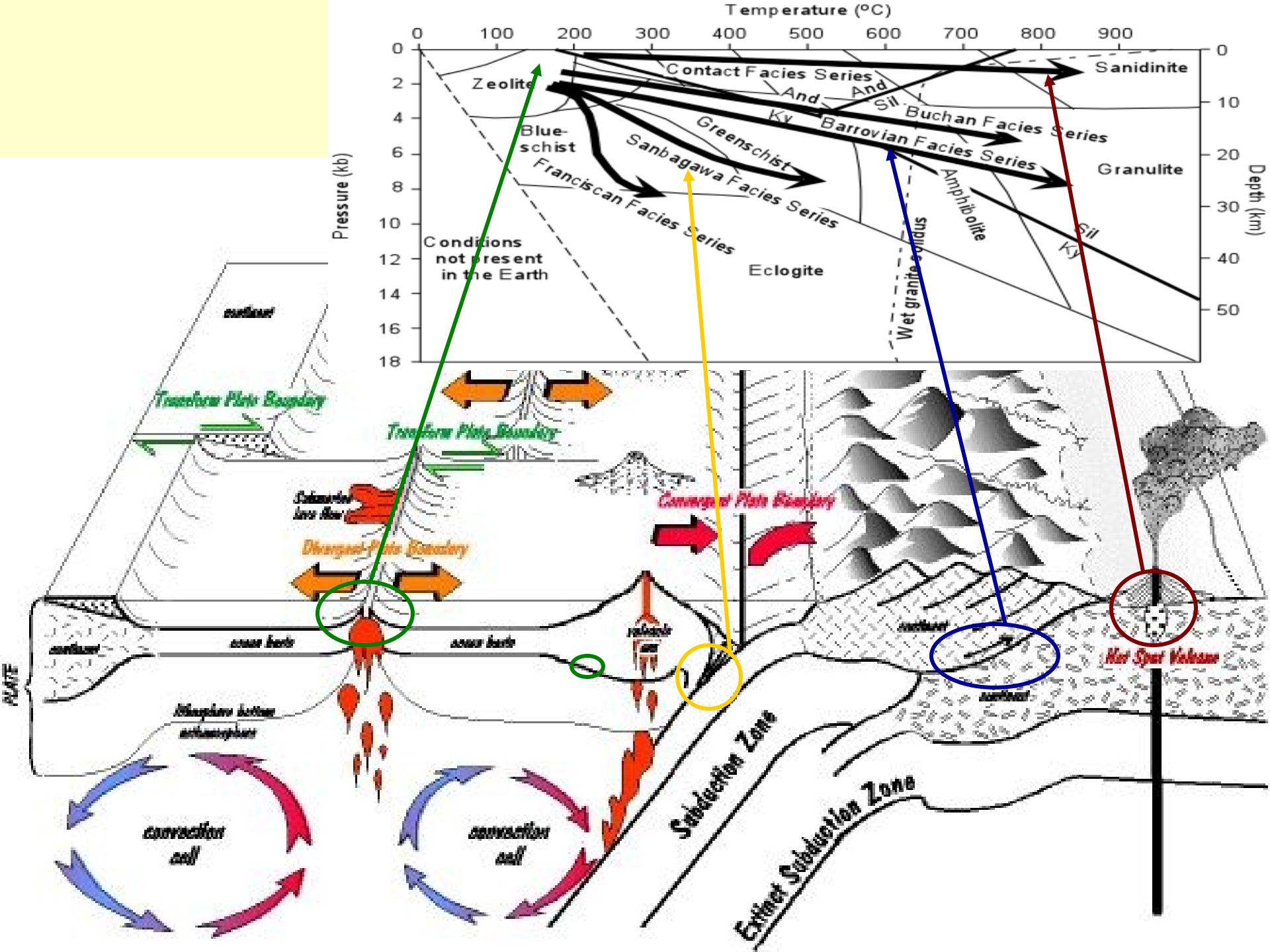
TIME 1



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): Metamorfnní petrologie
- Naprostá většina obrazového materiálu pochází z celé řady internetových stránek věnujících se metamorfnní petrologii