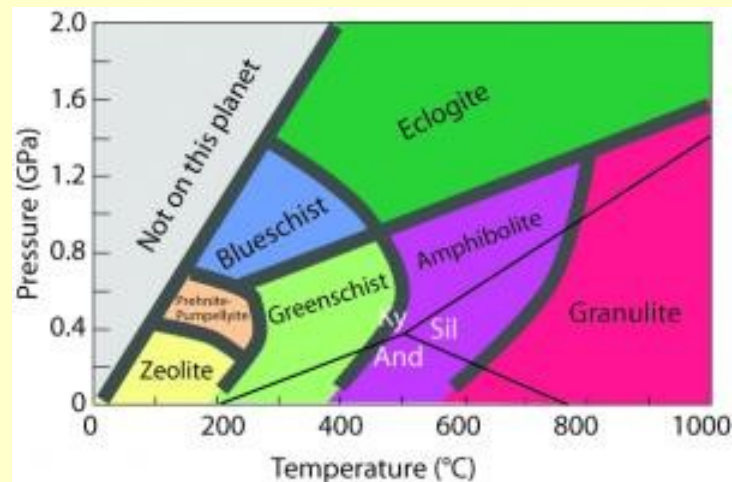


Petrologie G3021

6. Metamorfóza a metamorfní facie



3. Metamorfóza a metamorfní facie

Osnova:

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

1. Metamorfní zóny, indexové minerály izogrady

Diagnostické minerály

- přítomnost některých minerálů, jak v podstatném tak akcesorickém množství nám může indikovat určité metamorfní 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 **metamorfní zóna** byl zaveden Barrowem (1893) v metapelitech oblasti Dalradian ve Skotsku
- **podle zvyšujícího metamorfního 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

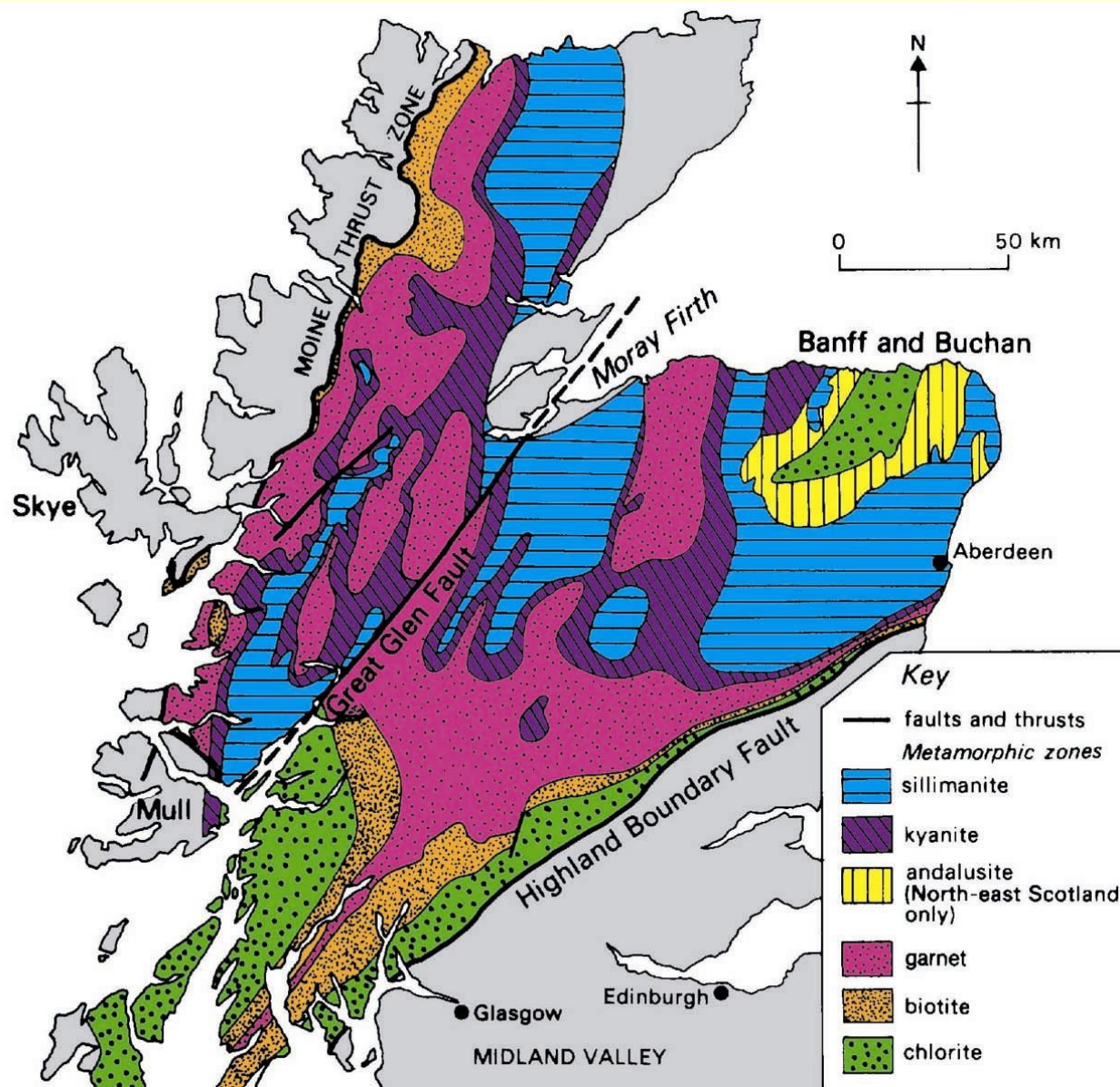
- Eskola (1915) odvodil koncept metamorfních facií (bazické horniny):
 - 1) Metamorfní facie zahrnuje horniny, které byly metamorfovány za stejných podmínek.
 - 2) Jestliže horniny stejného chemického složení jsou tvořeny stejnými minerály, pak náleží jedné facií.
 - 3) Podmínkou je aby hornina byla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

- George Barrow (1893, 1912): Scottish Highlands, mapoval první výskyty porfyroblastů minerálů v metapelitech jako zóny: 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 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

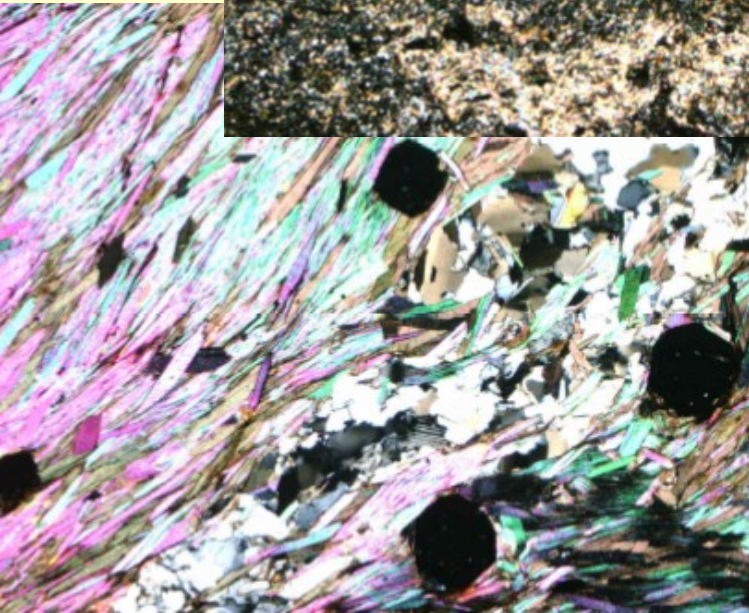


Regional metamorphic map of the Scottish Highlands, showing the zones of minerals that develop with increasing metamorphic grade. From Gillen (1982) *Metamorphic Geology. An Introduction to Tectonic and Metamorphic Processes*. George Allen & Unwin. London.

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

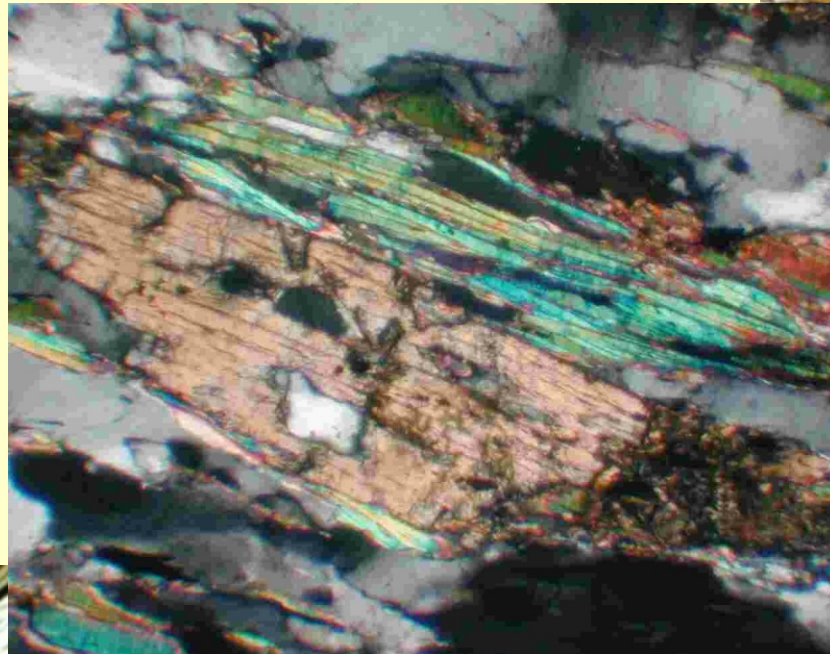


- **Biotitová zóna:** ve fylitech se objevuje biotit který je v asociaci s chloritem, muskovitem, křemenem a albitem

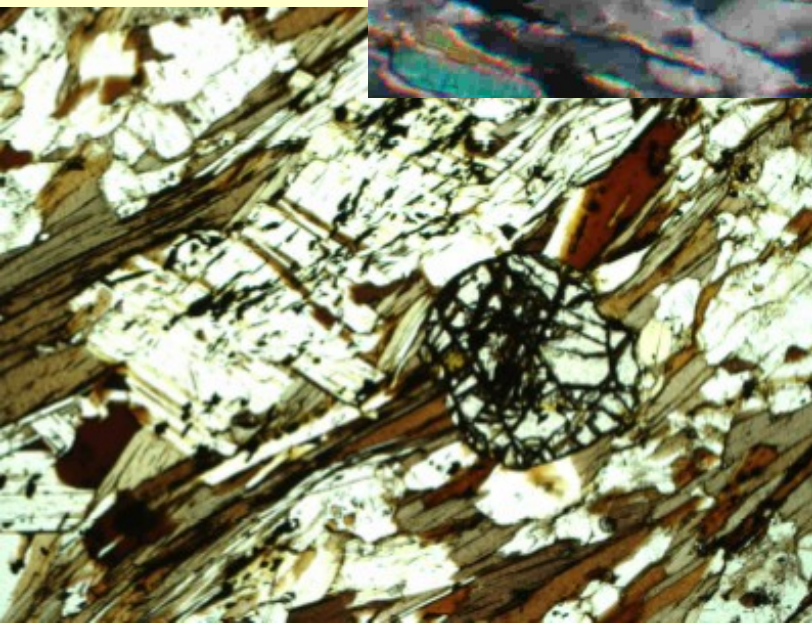


- **Granátová zóna:** Svory až ruly obsahují porfyroblasty granátu v základní hmotě složené z biotitu, chlorit, muskovit, křemen a albit až oligoklas.

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



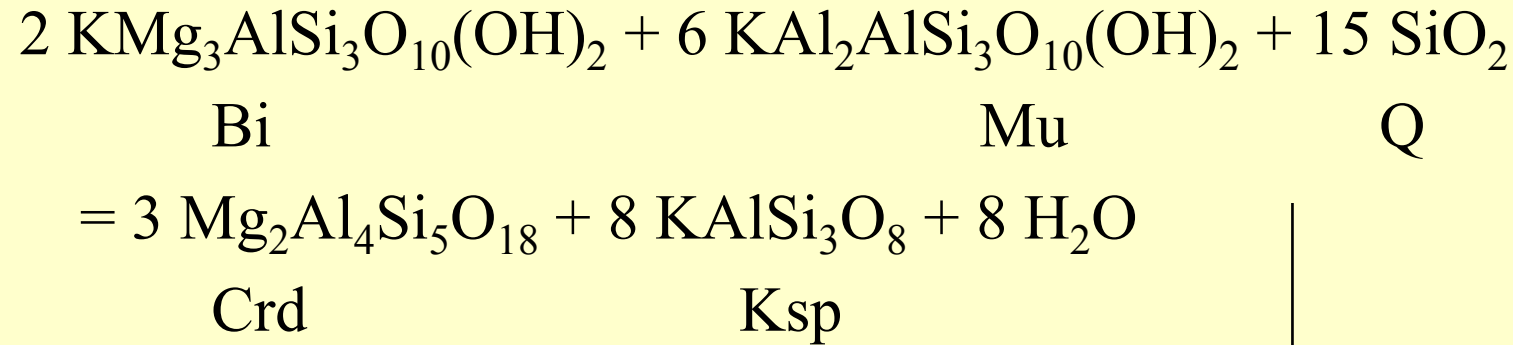
- **Kyanitová zóna:** Svory až ruly s kyanitem, staurolitem, biotitem, muskovitem, křemenem, granátem a plagioklasem.



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

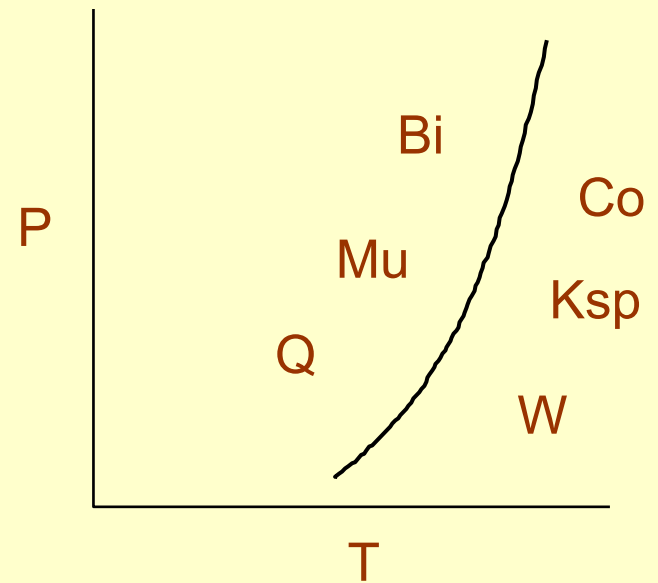
Pentii Eskola (1914, 1915) horniny o podobném chemickém složení v okolí Osla a Orijärvi mají odlišné minerální asociace

Reakce:



Oslo: Ksp + Crd

Orijärvi: Bi + Mu



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

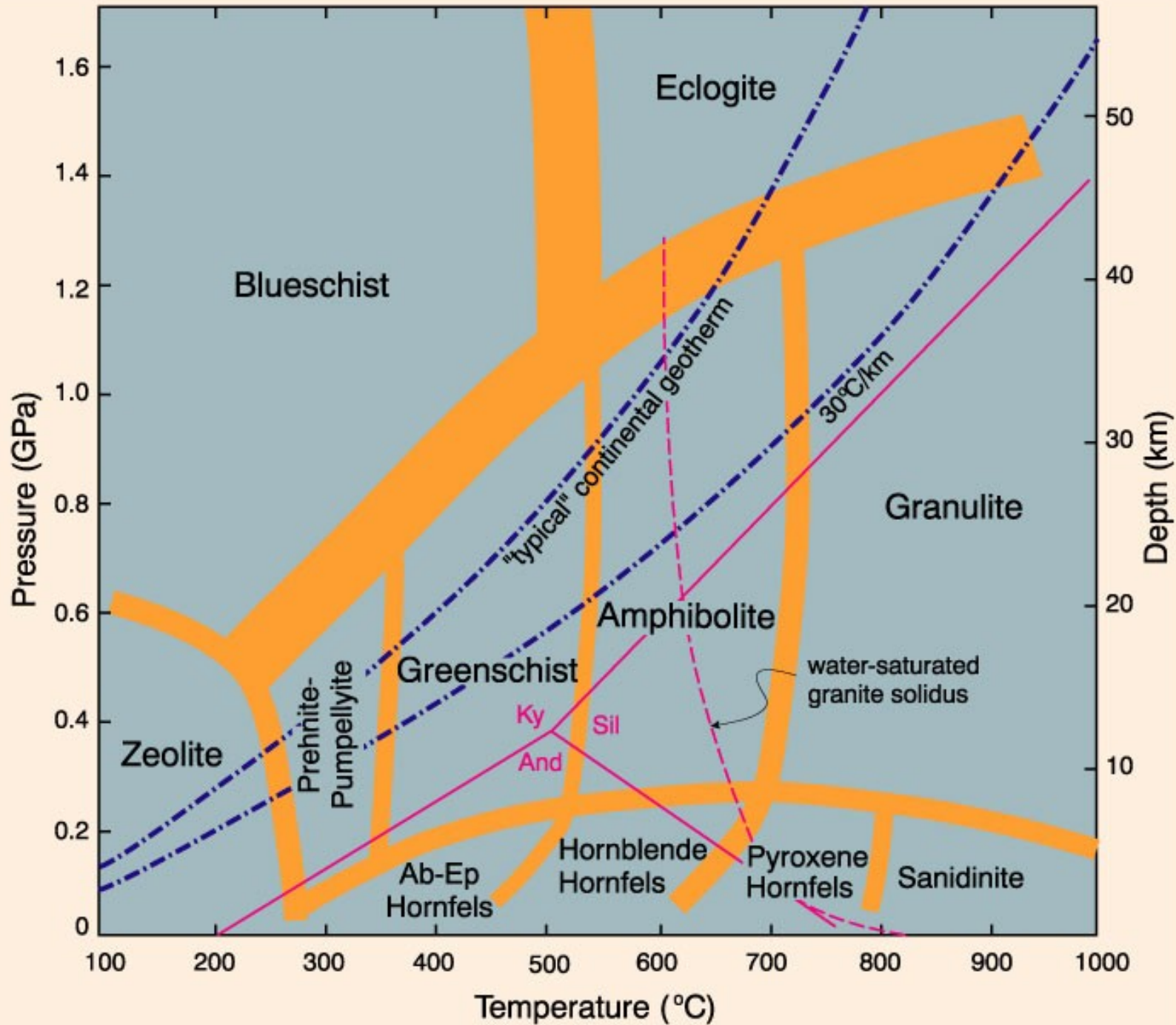
Greenschist, Amphibolite, Hornfels, Sanidinite, Eclogite

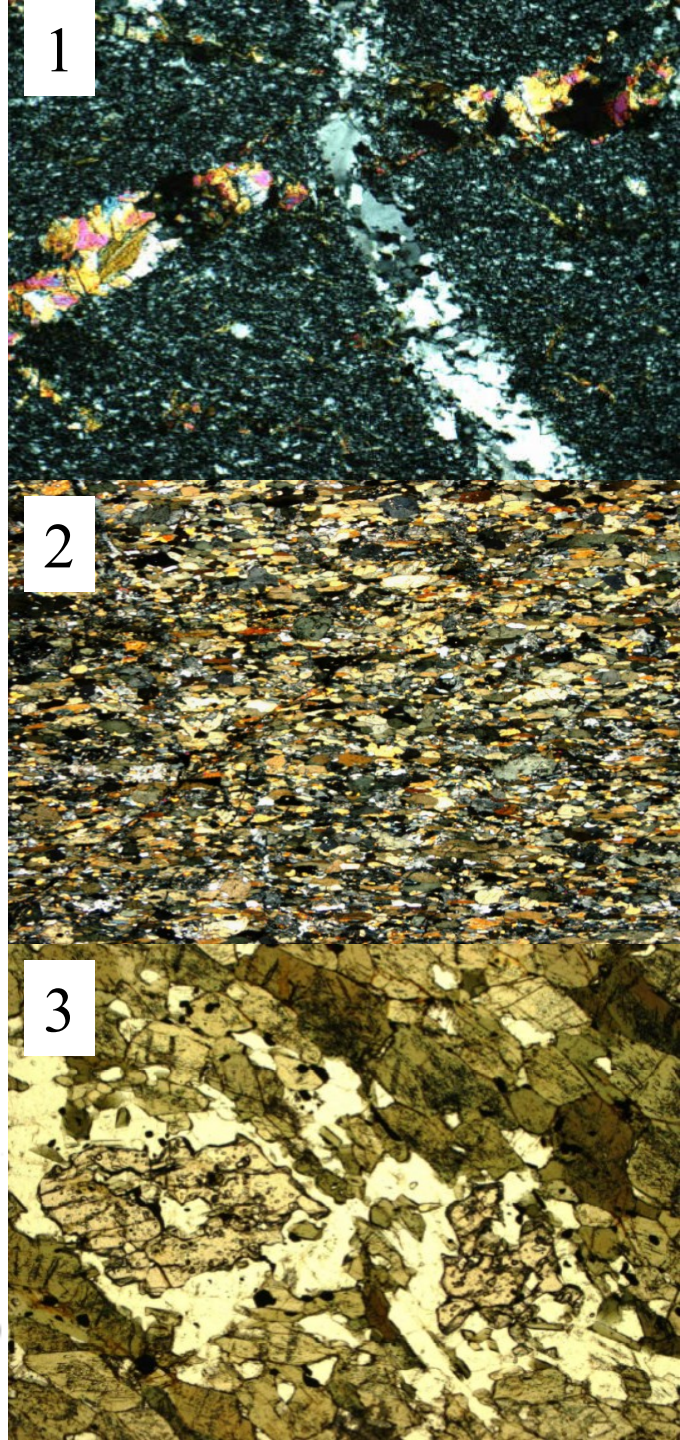
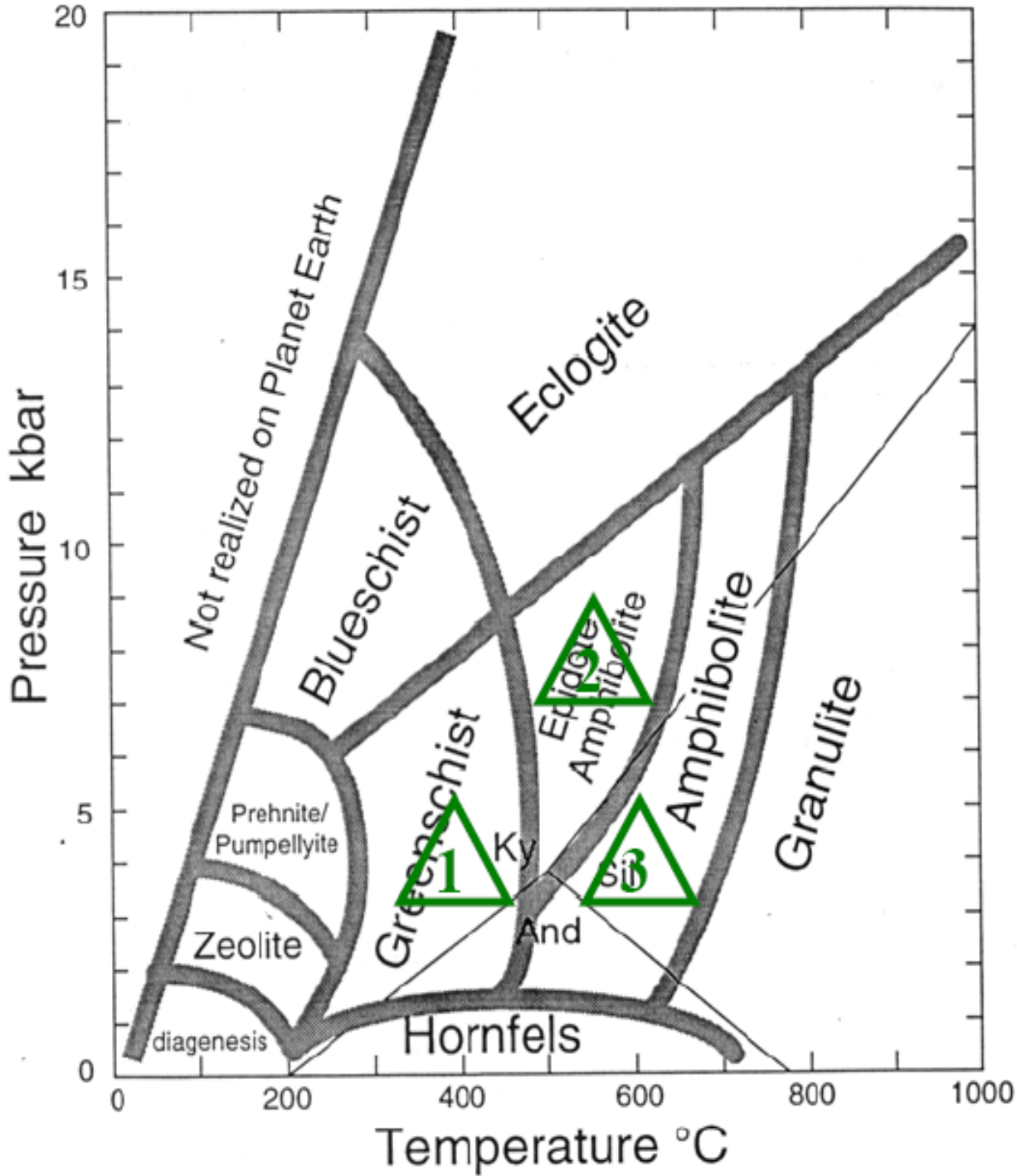
Eskola (1939) : Granulite, Epidote-amphibolite, Glaucophane-schist, (Blueschist)

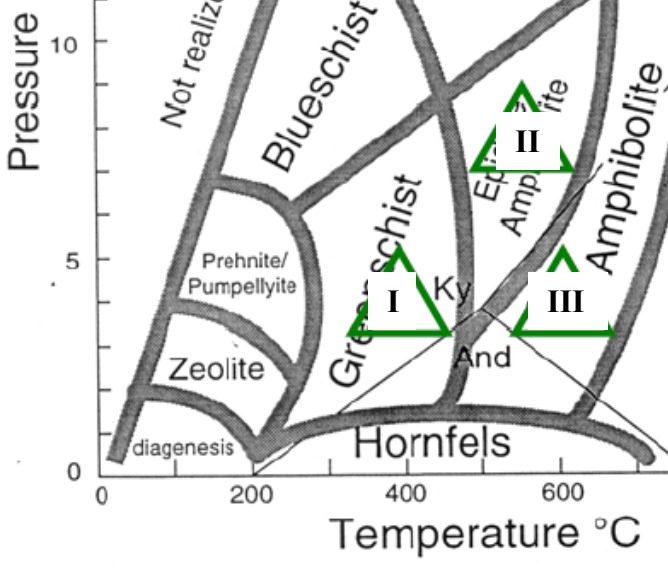
Metamorfní facie

- **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

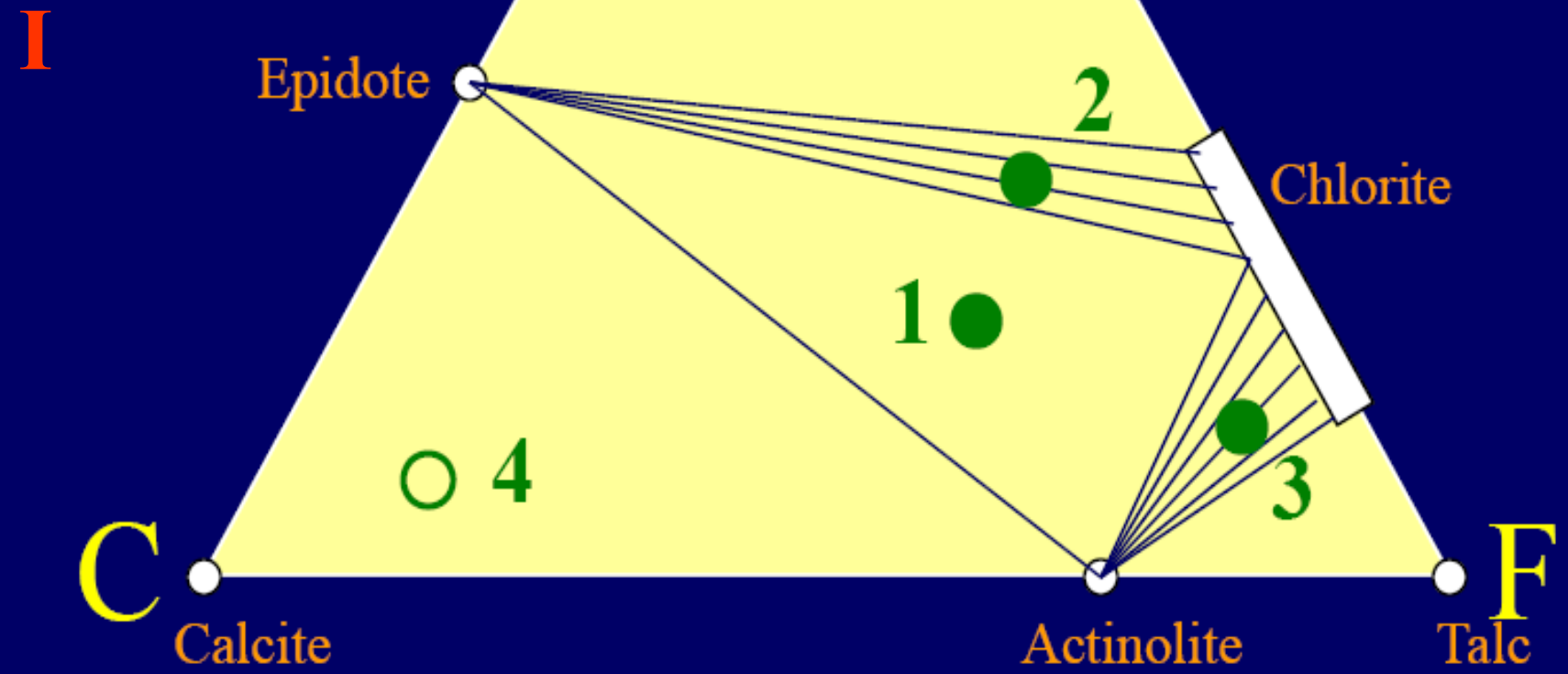
Facie	Diagnostické minerály v mafických horninách
zeolitová	zeolity
prehnit-pumpellyitová	prehnit + pumpellyit
modrých břidlic	glaukofan + lawsonit nebo epidot (+albit +/-chlorit)
eklogitová	granát + omfacit
zelených břidlic	chlorit + albit + epidot (nebo zoisit) +/- aktinolit
epidotických amfibolitů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

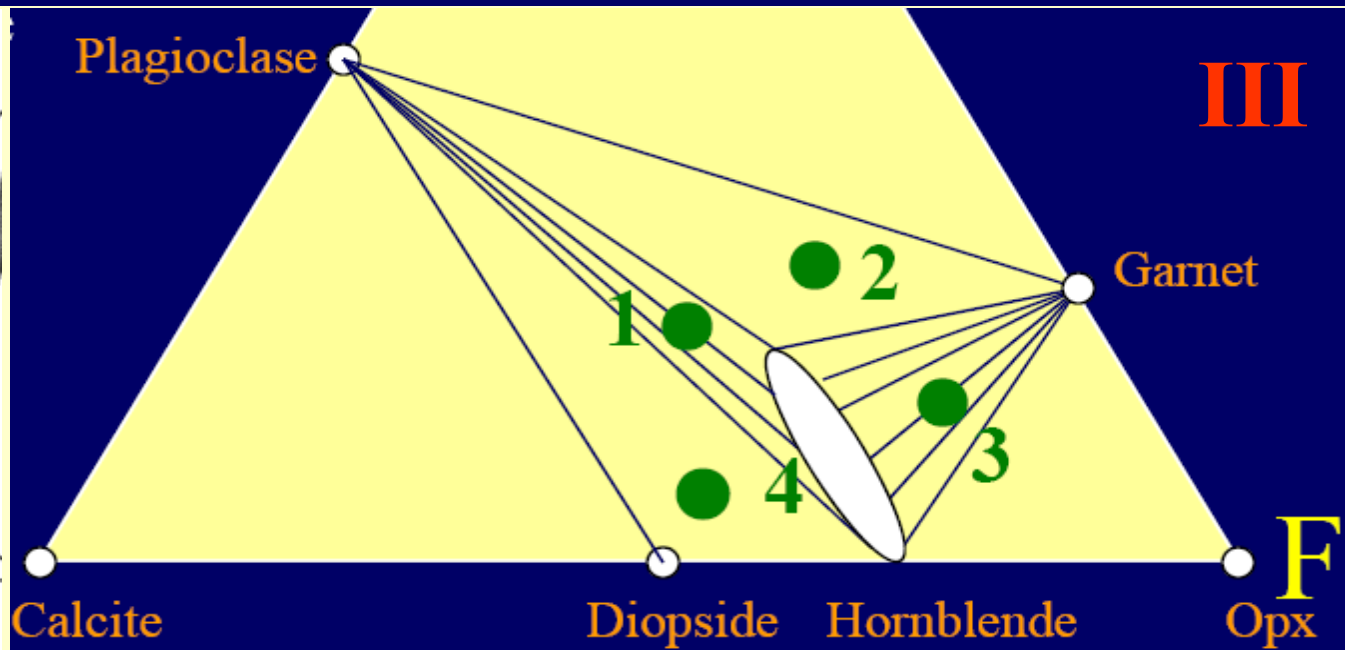
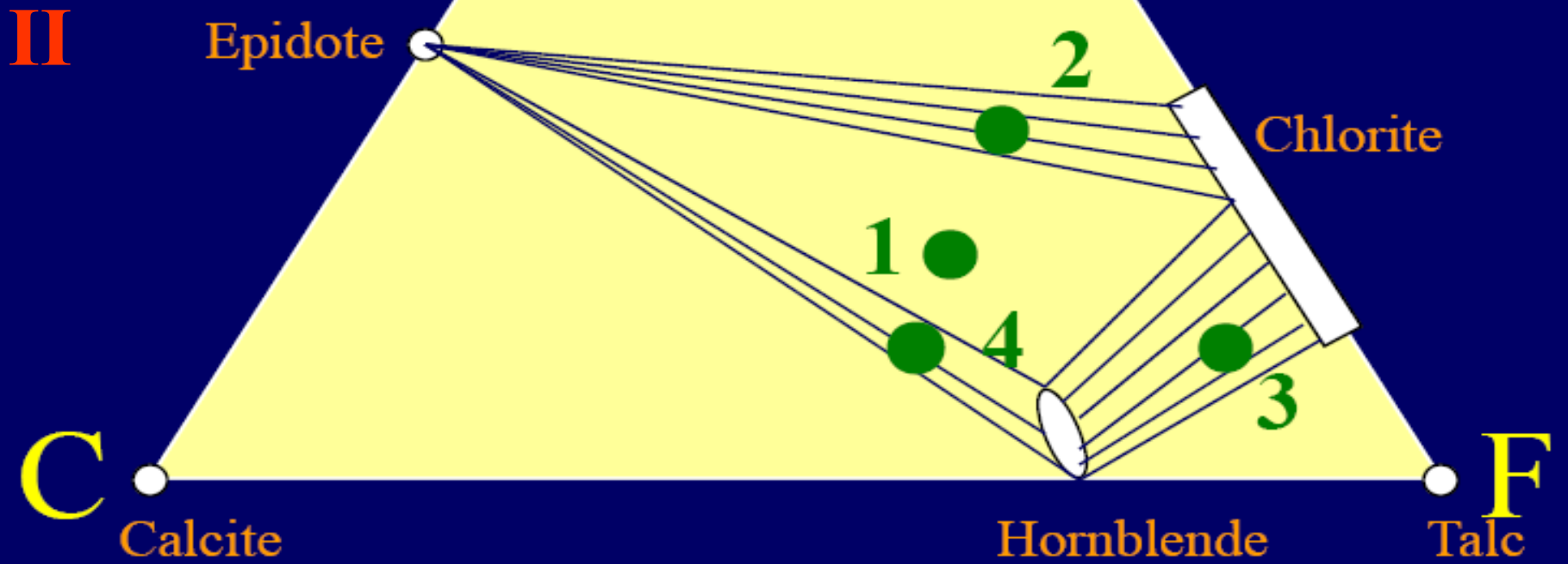


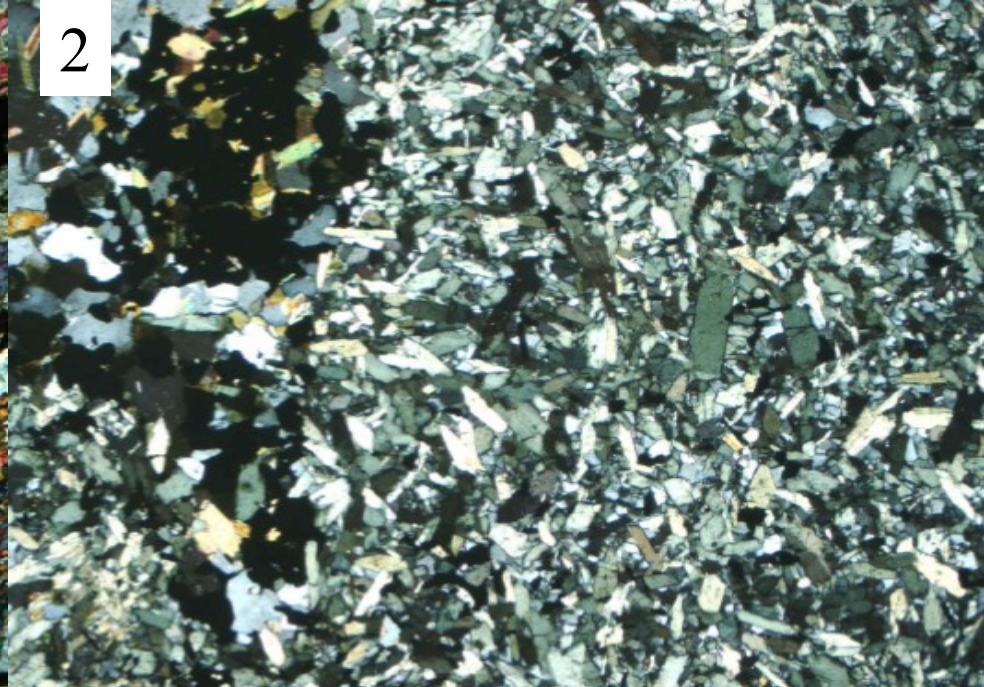




- + quartz
- + albite
- + magnetite







II

Epidote

2

Chlorite

1

4

3

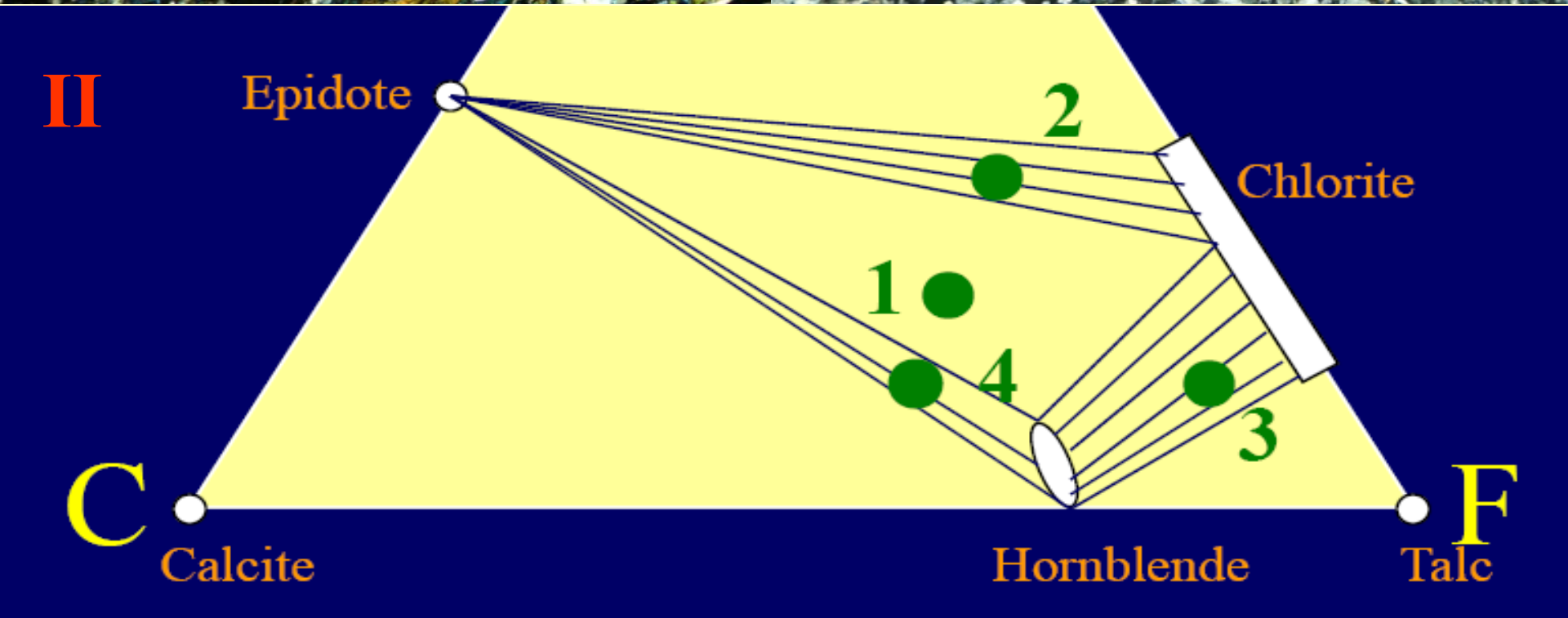
C

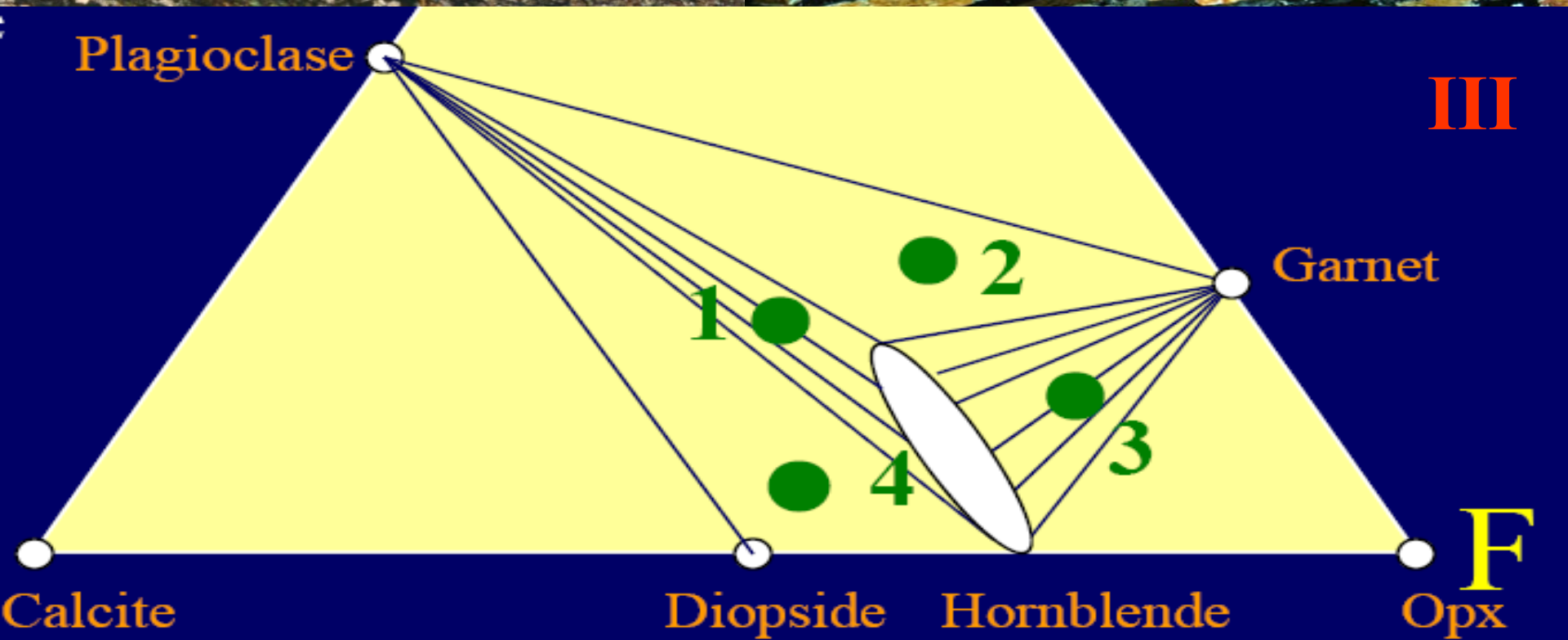
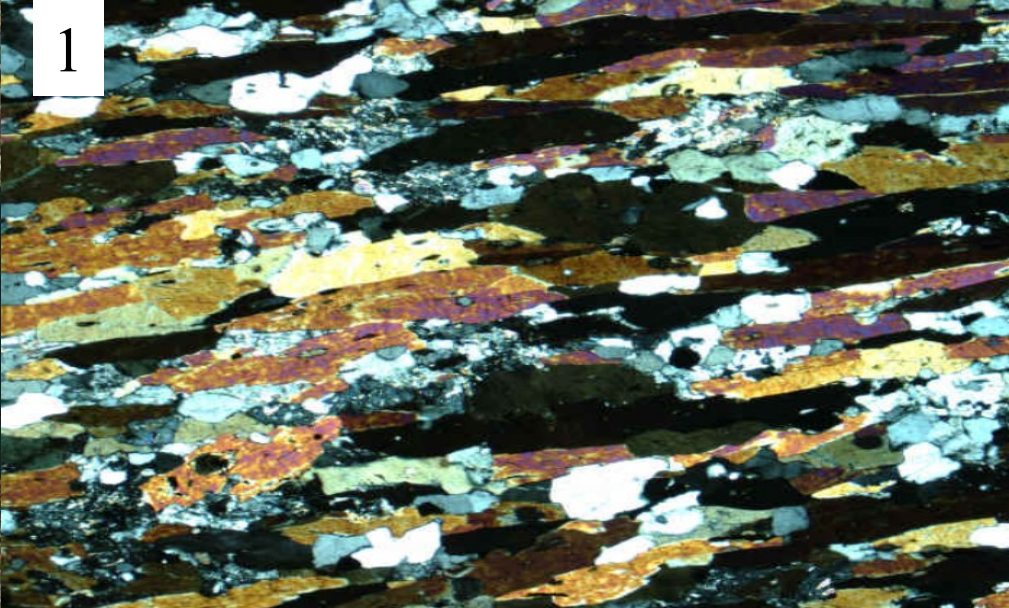
Calcite

Hornblende

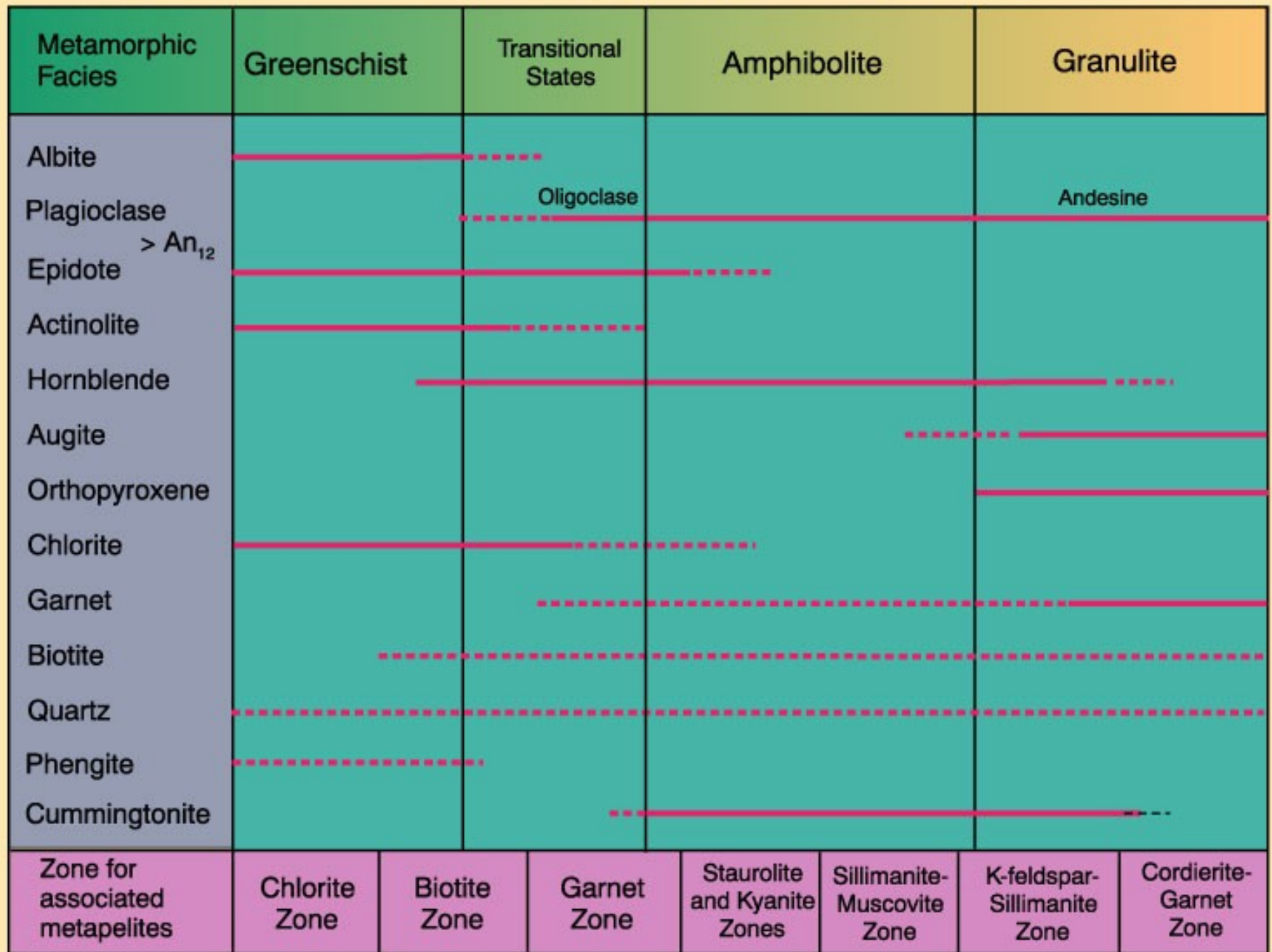
F

Talc





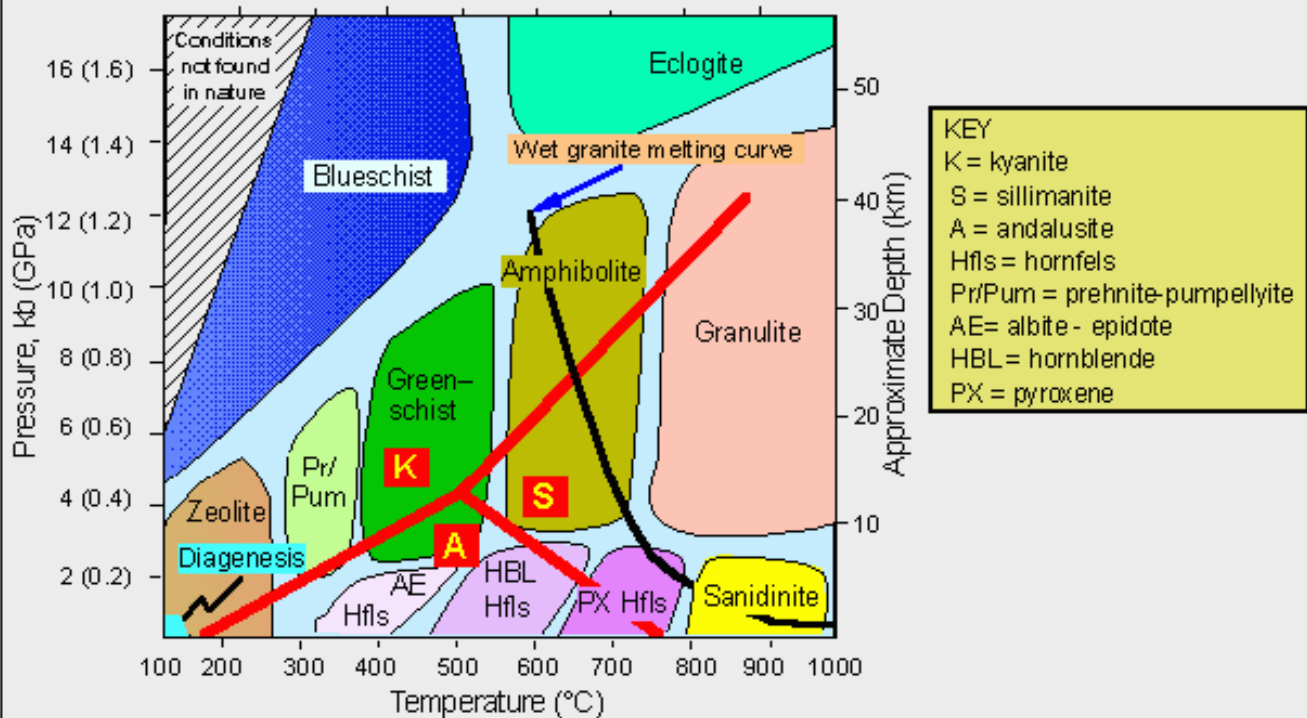
Metamorphic Grade \longrightarrow



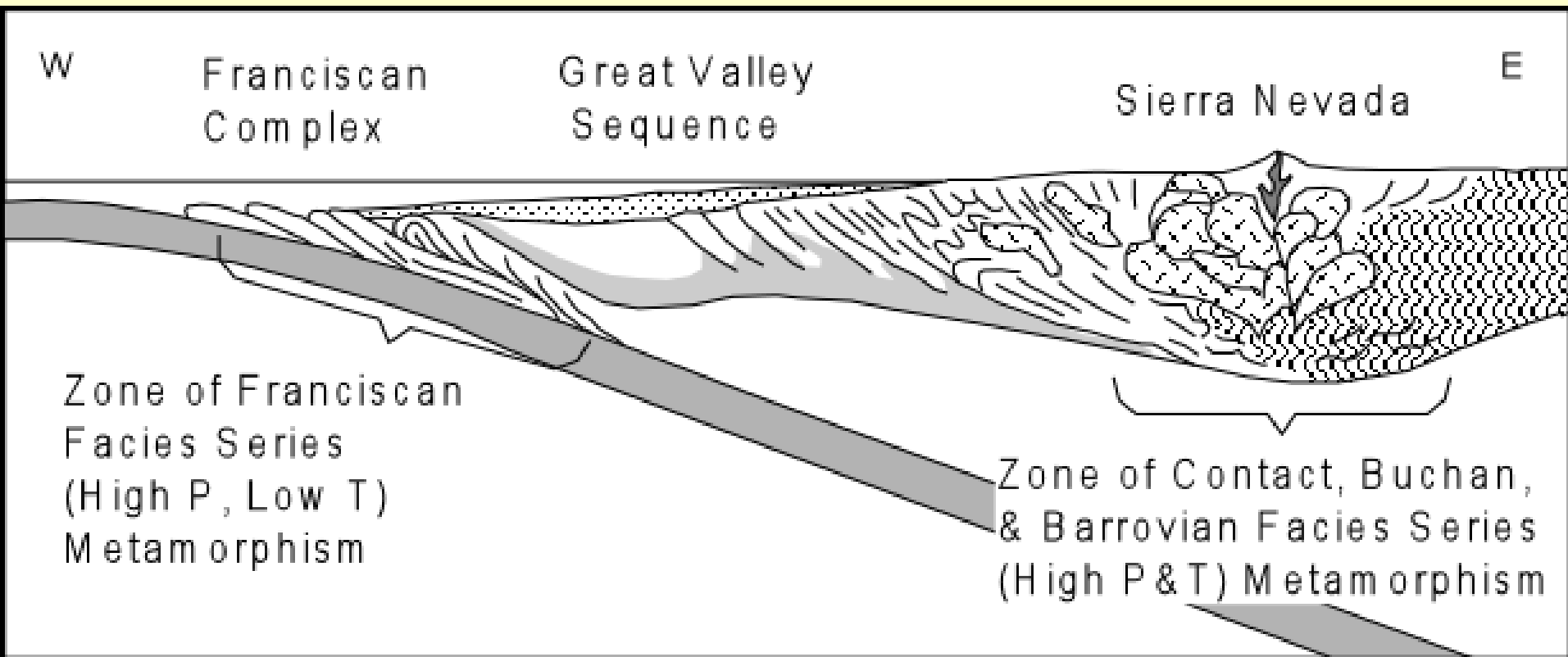
pelity	mafické horniny	nečisté dolomitické mramory
biotitová zóna	facie zelených břidlic	mastek
granátová zóna	facie epidotických amfibolitů	tremolit - aktinolit
staurolitová zóna		
staurolit-kyanitová zóna	amfibolitová facie	diopsid
sillimanitová zóna		
sillimanit - K-živcová zóna	granulitová facie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

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

Generalized Metamorphic Facies Boundaries (after Yardley, 1988)



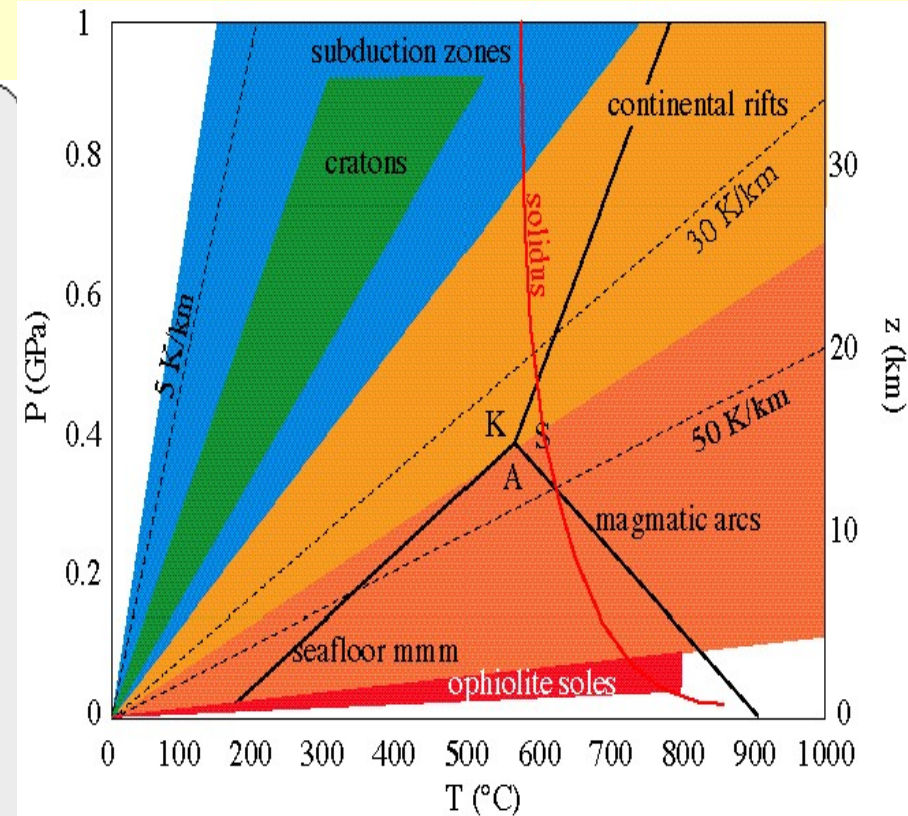
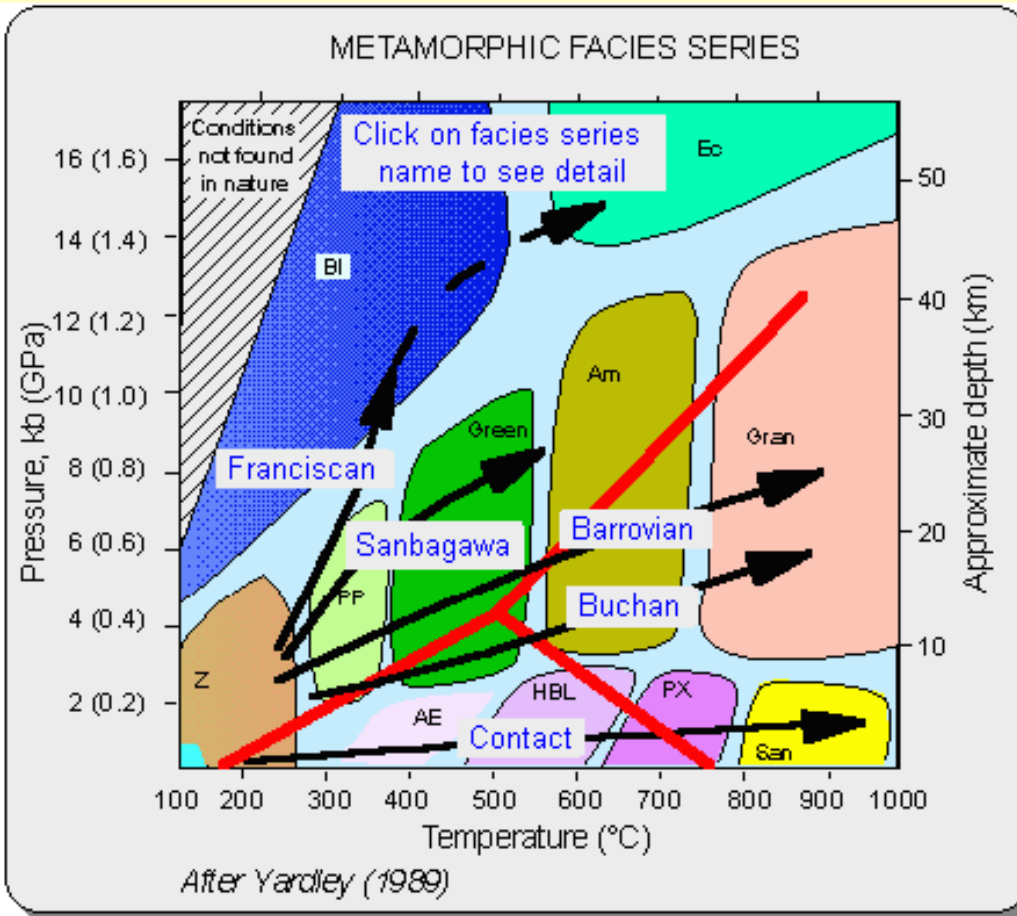
3) *Geotektonická pozice jednotlivých typů metamorfóz*



After Raymond (1995)

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)

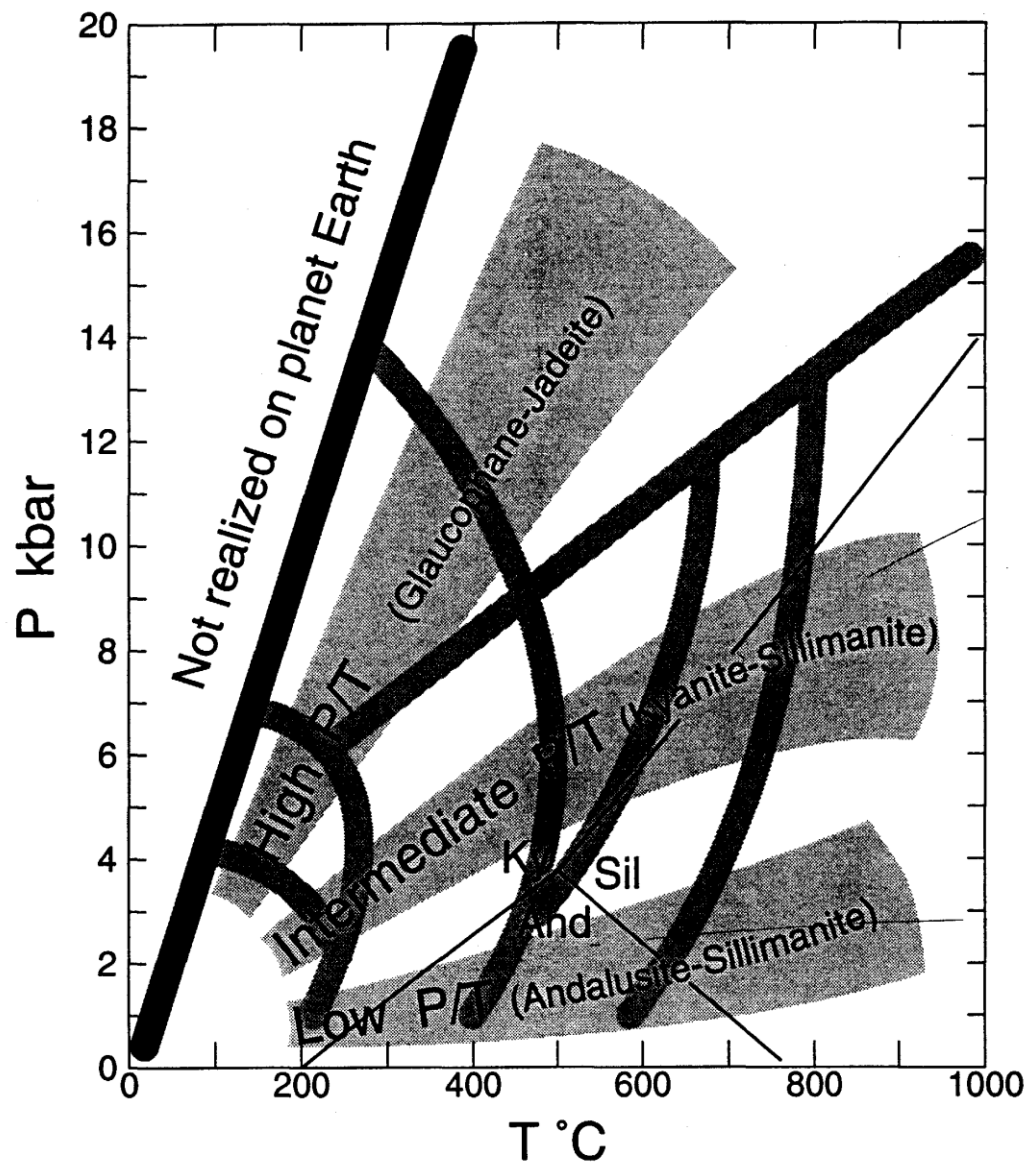


Série metamorfních facií

✓ 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**

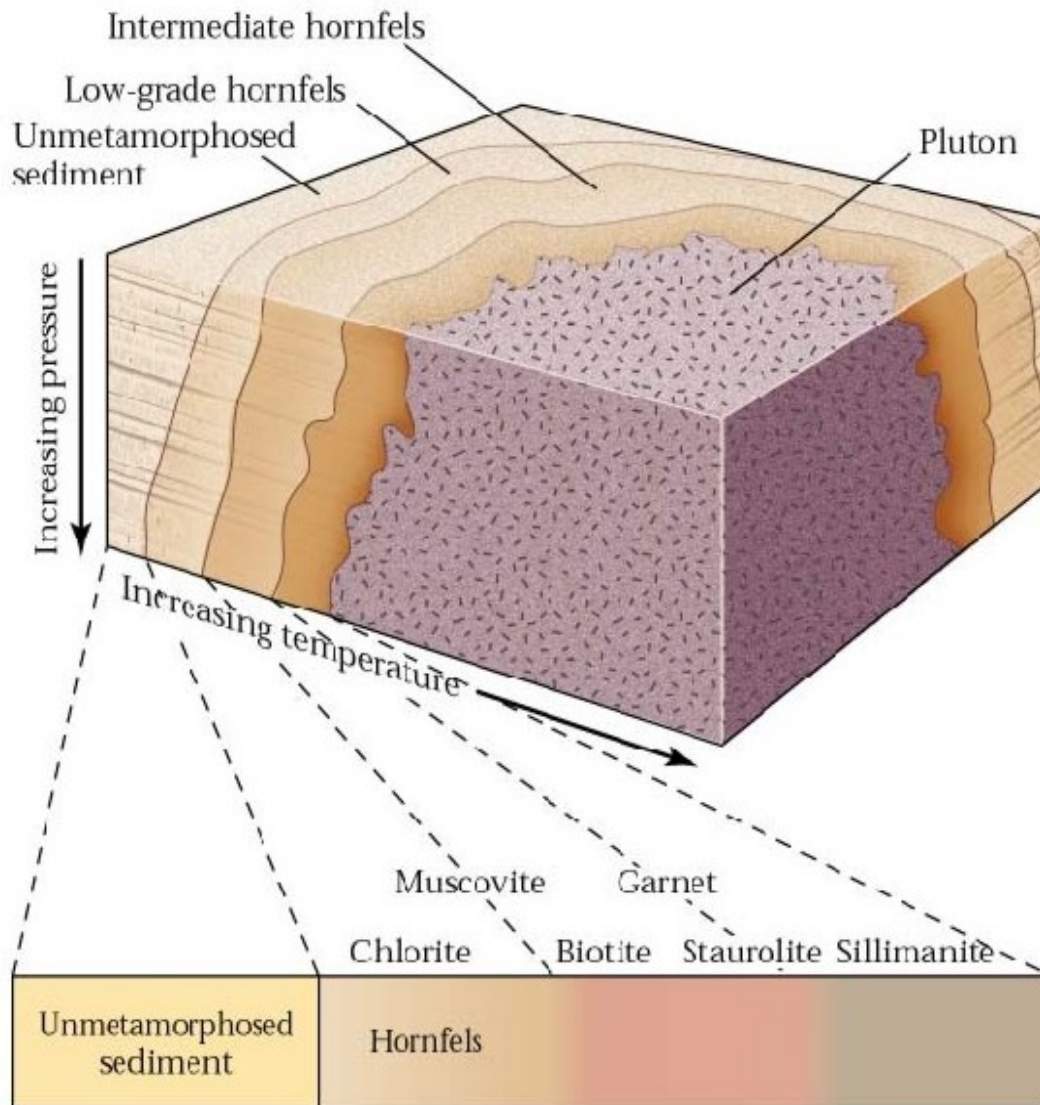
✓ nízký poměr P/T - (Gre – A – G) – série andalusit-sillimanit **Abukuma (Buchan)**



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

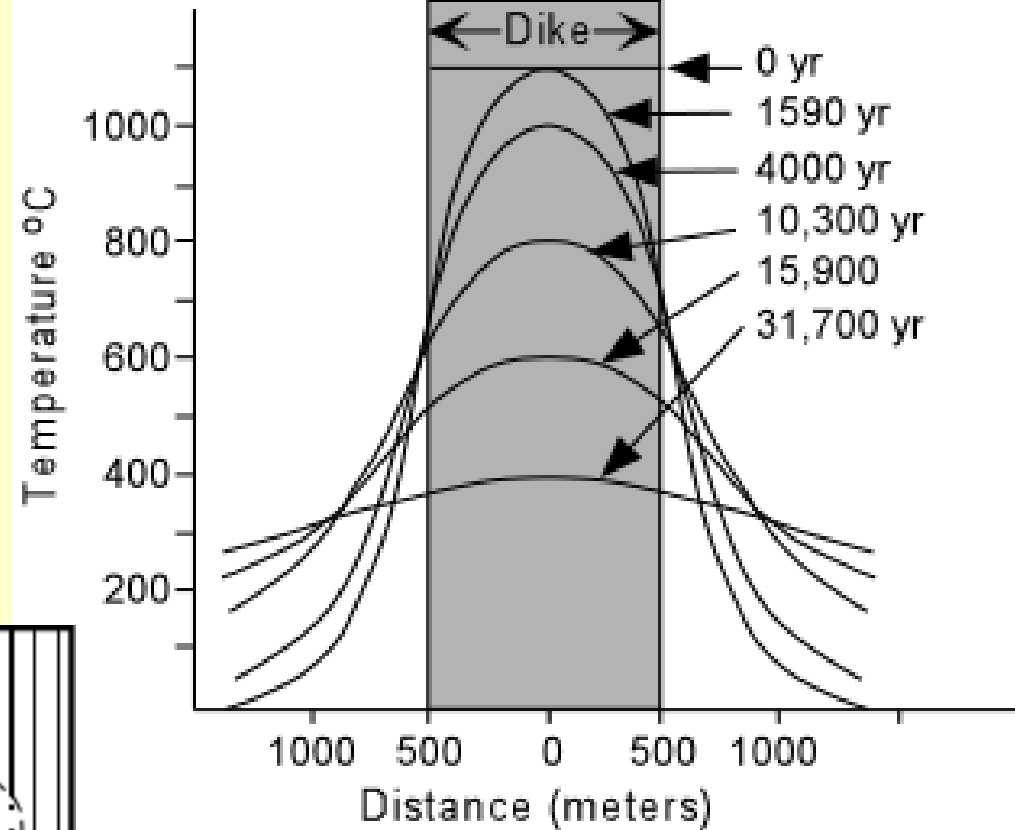
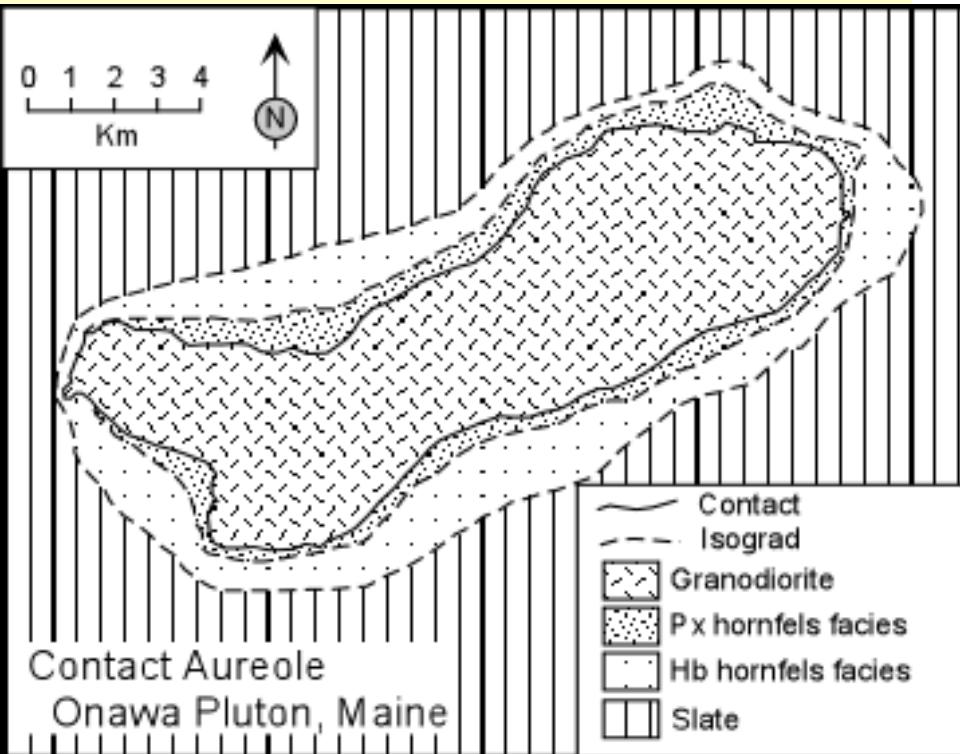


Porcelain

Velikost a intenzitu kontaktní metamorfózy ovlivňují:

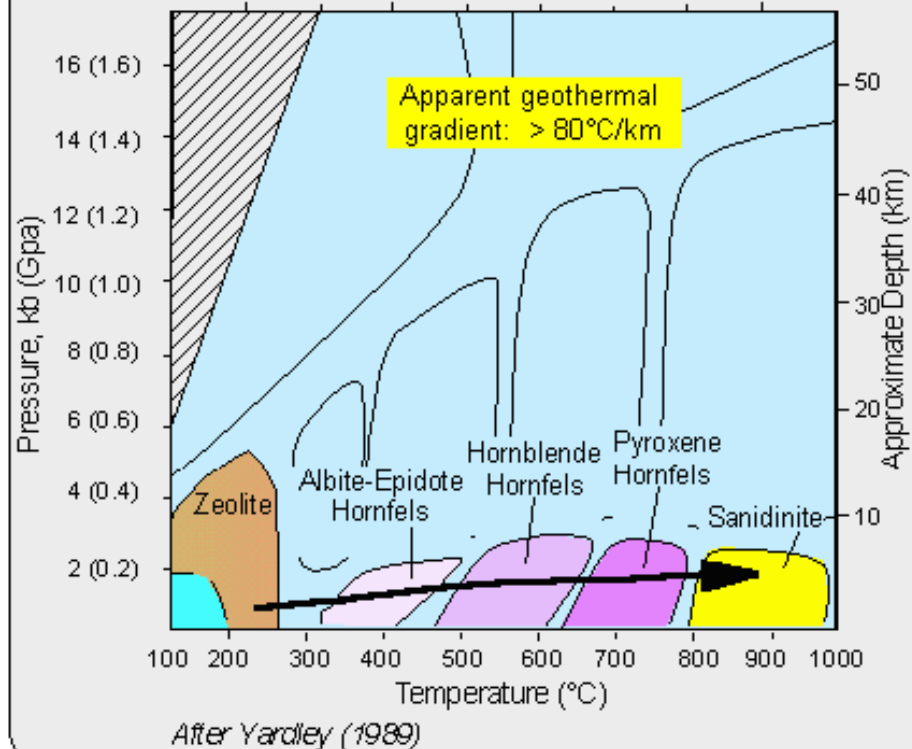
1) Vlastnosti plutonu

- velikost
- složení
- teplota
- tvar



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

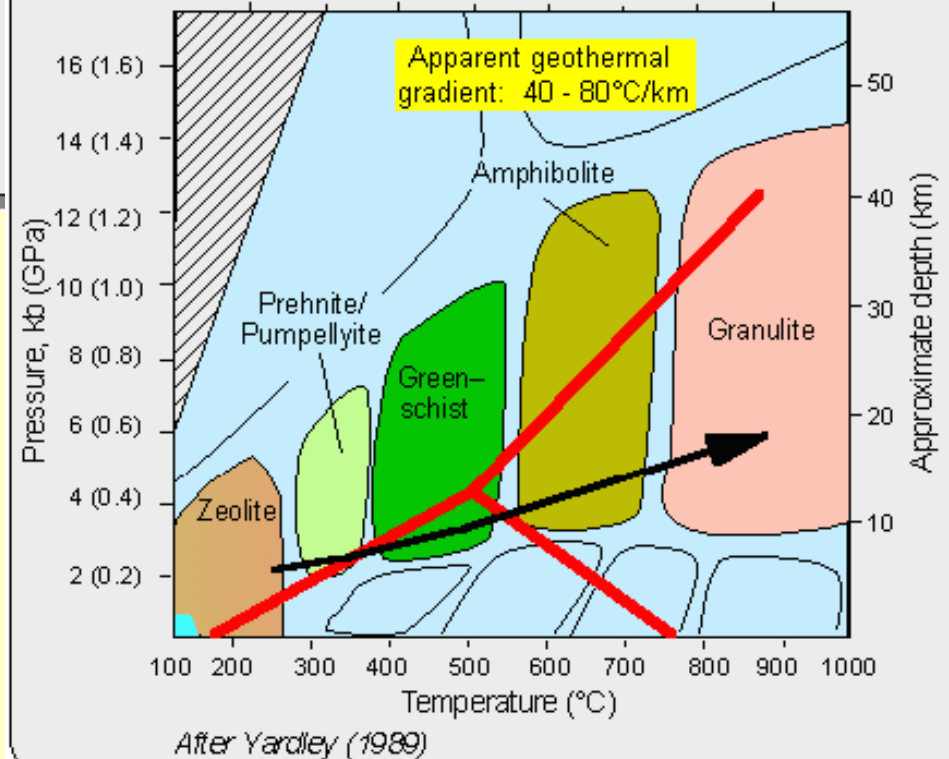
Facies Series: Low Pressure, High Temperature
CONTACT METAMORPHISM



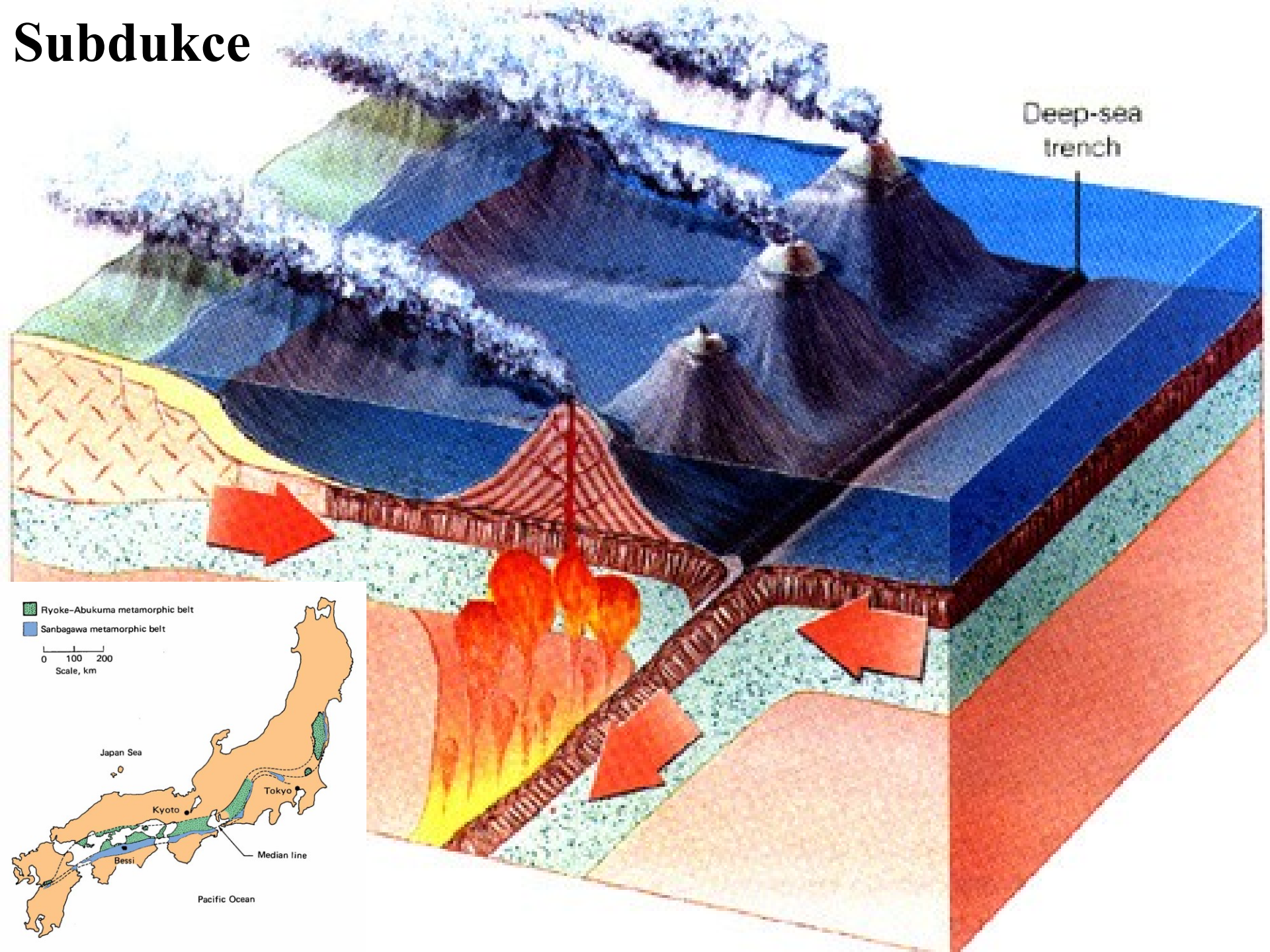
1) Kontaktní metamorfóza probíhá za velmi nízkých tlaků a je způsobena teplem magmatu na povrchu nebo těsně pod ním.

2) Metamorfóza typu Buchan je nízkotlaká metamorfóza.

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



Subdukce



Deep-sea trench

Ryoke-Abukuma metamorphic belt
Sanbagawa metamorphic belt

0 100 200
Scale, km

Japan Sea

Tokyo

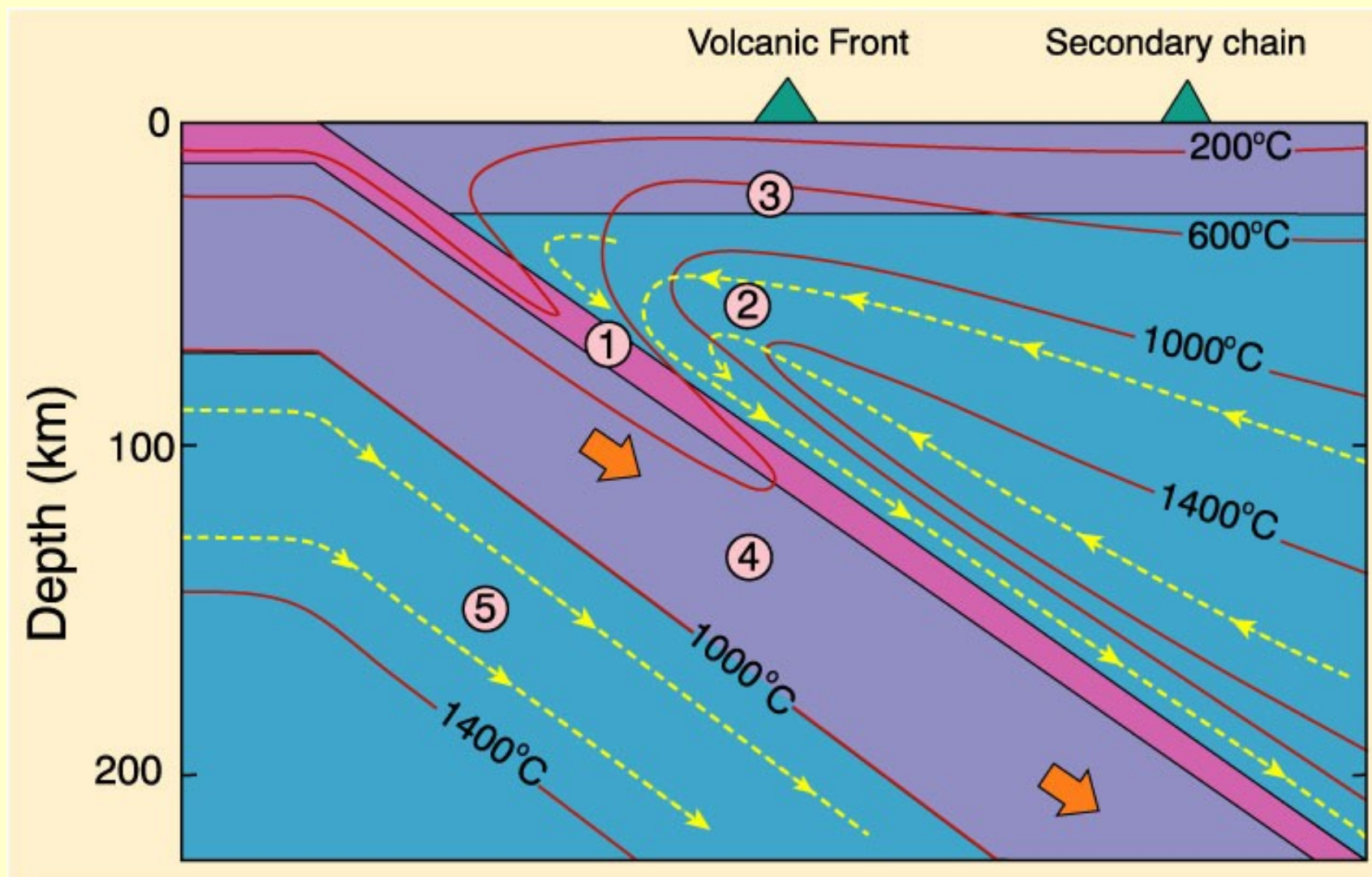
Kyoto

Besshi

Median line

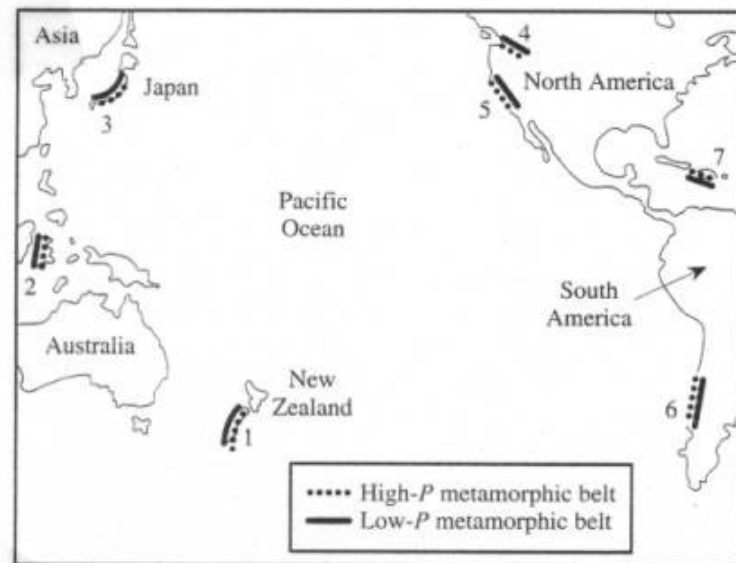
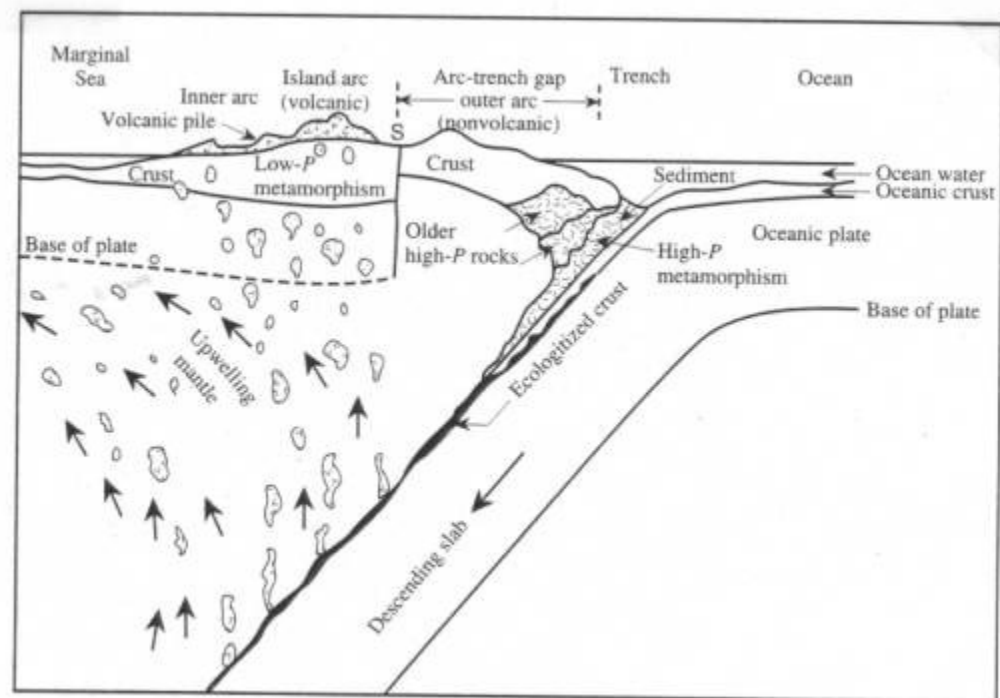
Pacific Ocean

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



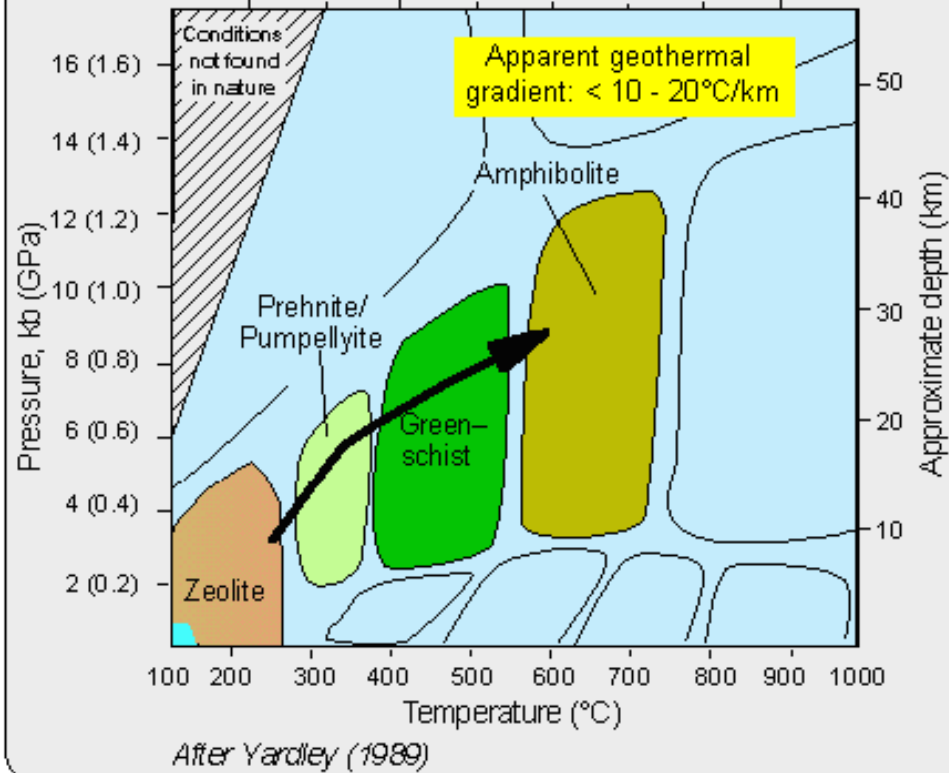
Metamorfóza vysokotlaká

- 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 modré břidlice (**glaukofan**),
- Metapelity dosáhly jen granátové zóny.
- Vysokotlaká nízkoteplotní met. (HPLT)

Facies Series: High Pressure, Moderate Temperature
SANBAGAWA FACIES SERIES



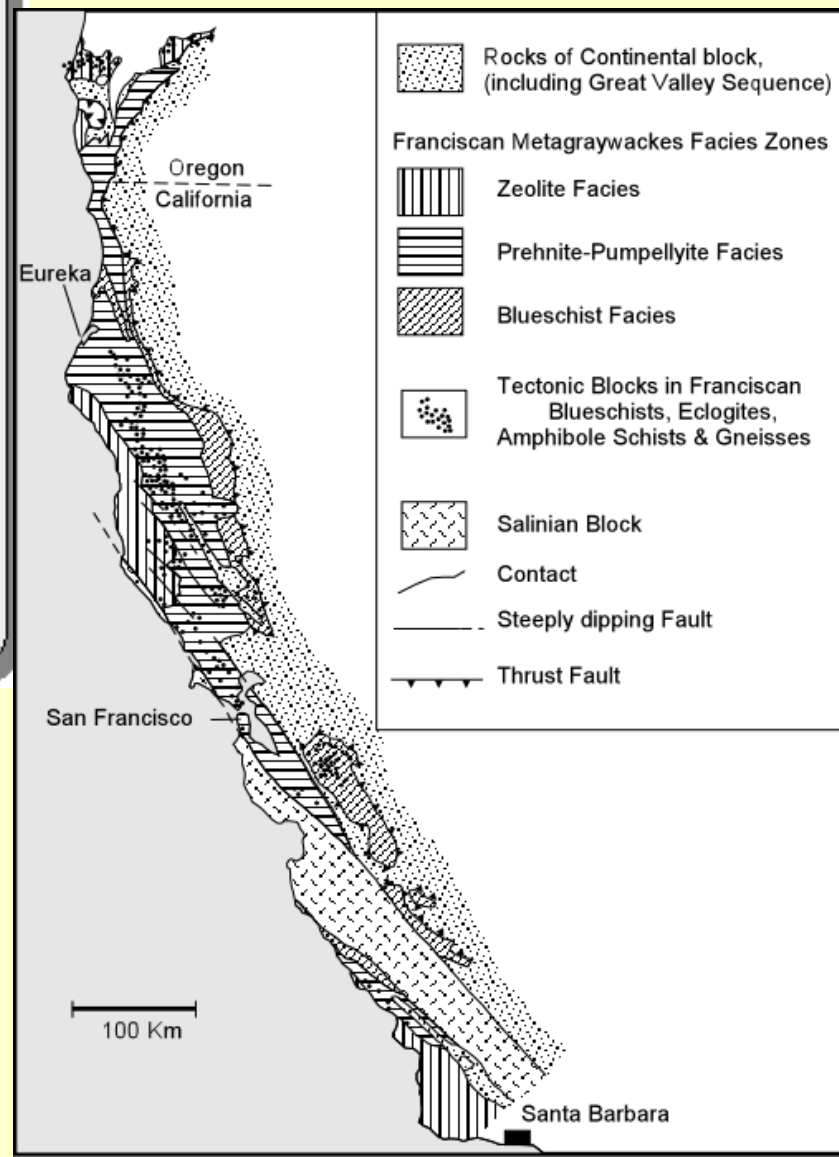
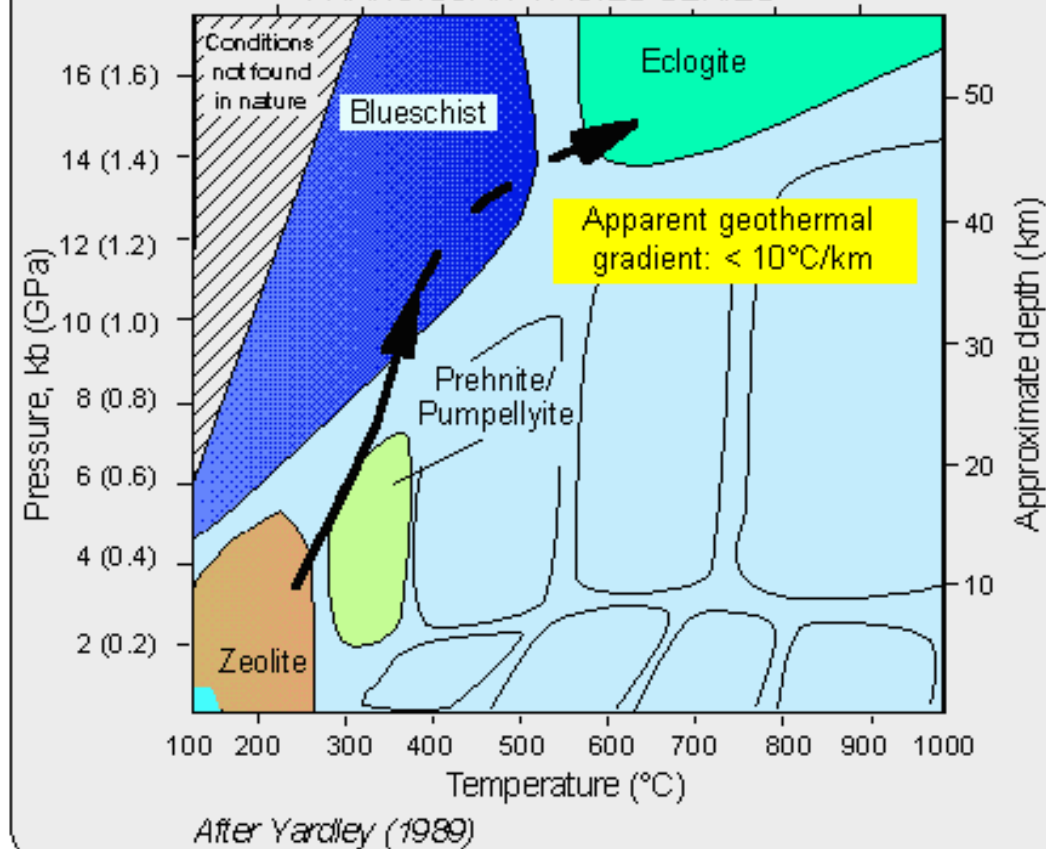
- 4) *Metamorfóza typu Sambagawa je známa ze subdukčných zón.*

- *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.*



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

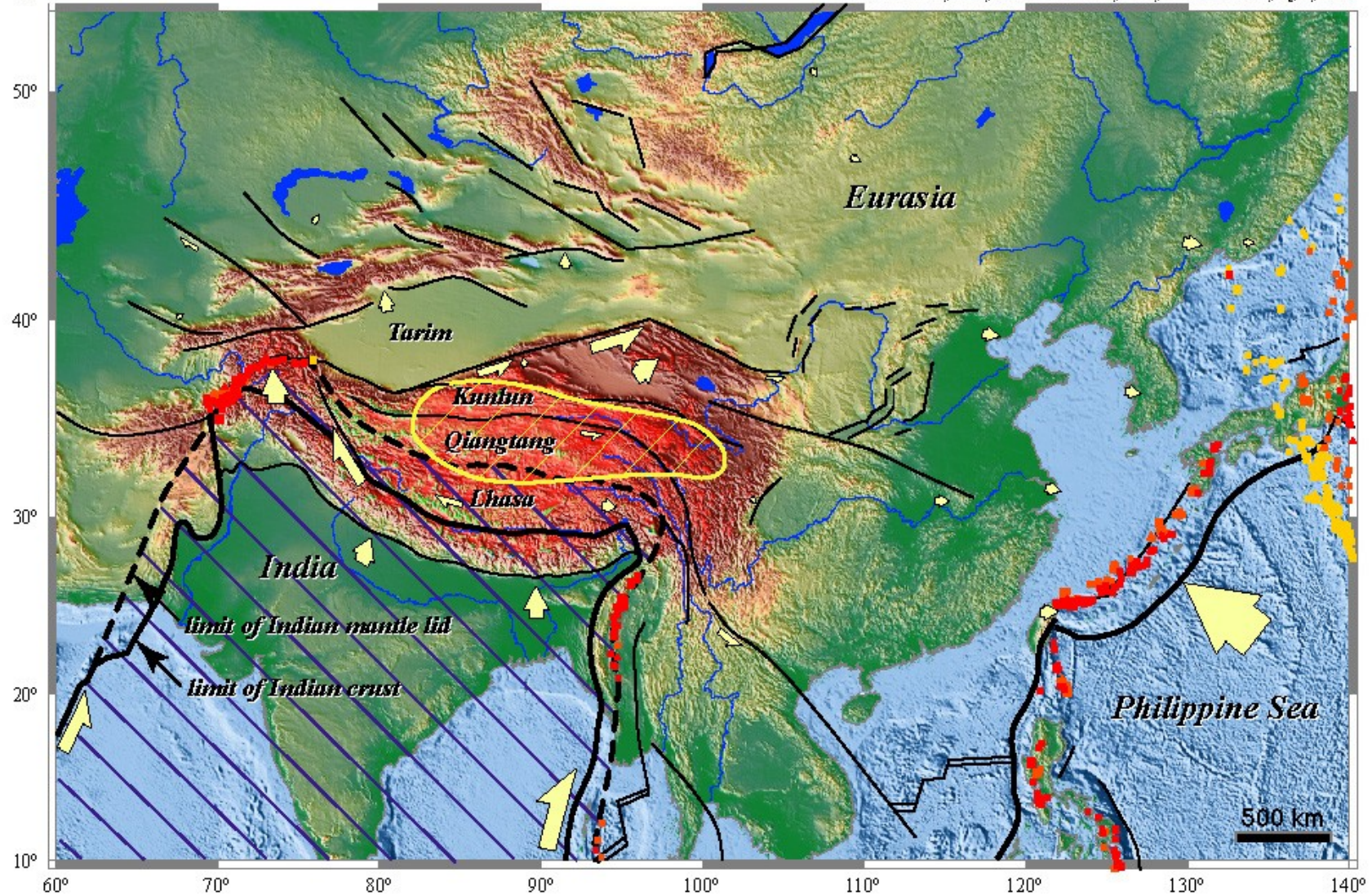


Fig 20a India has collided with Asia

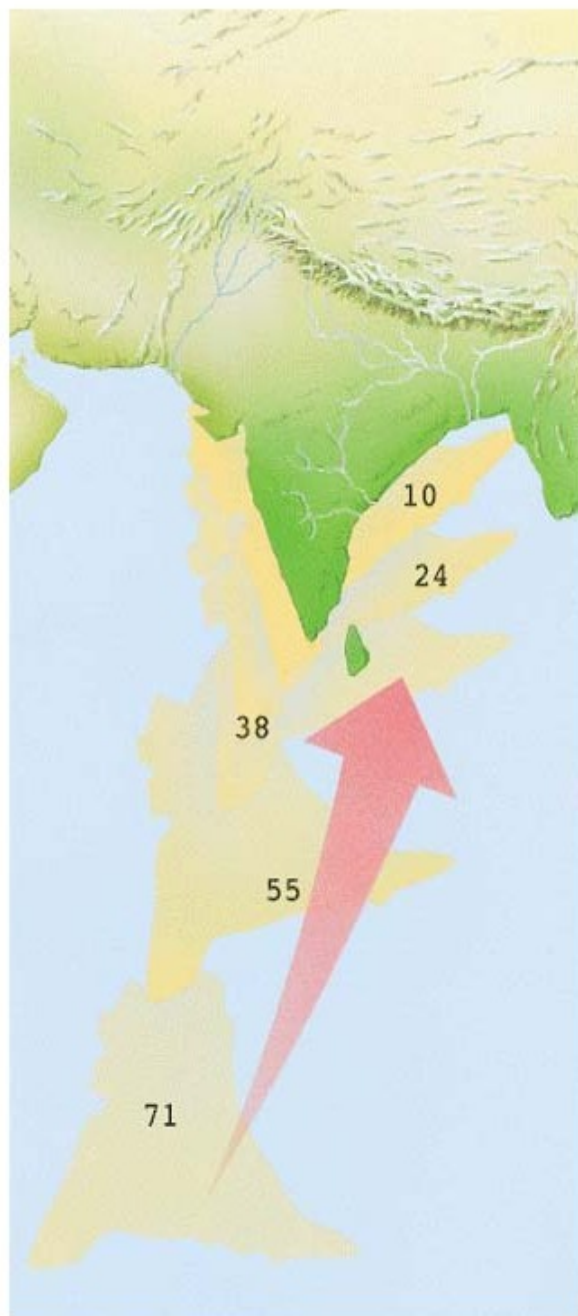
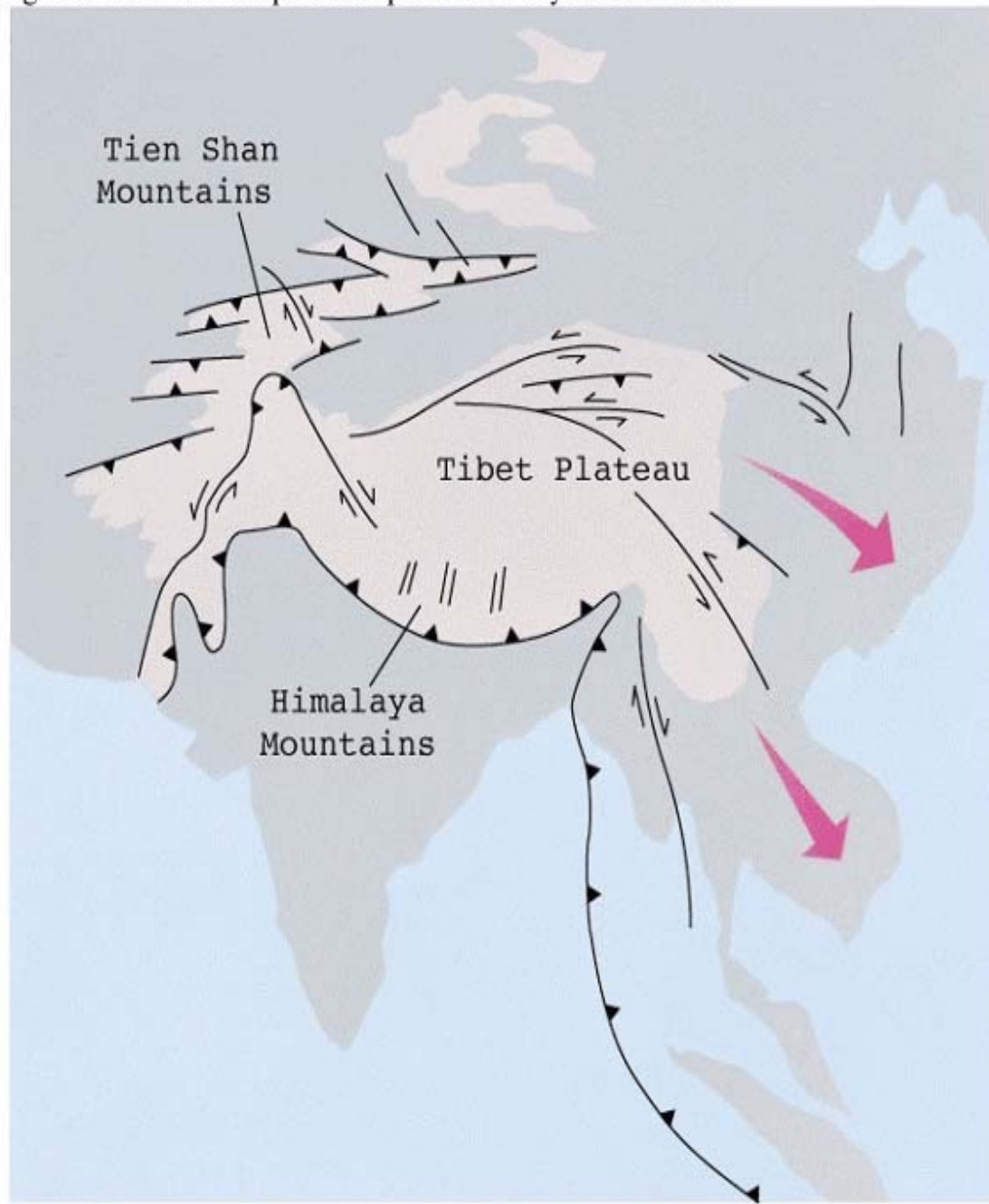
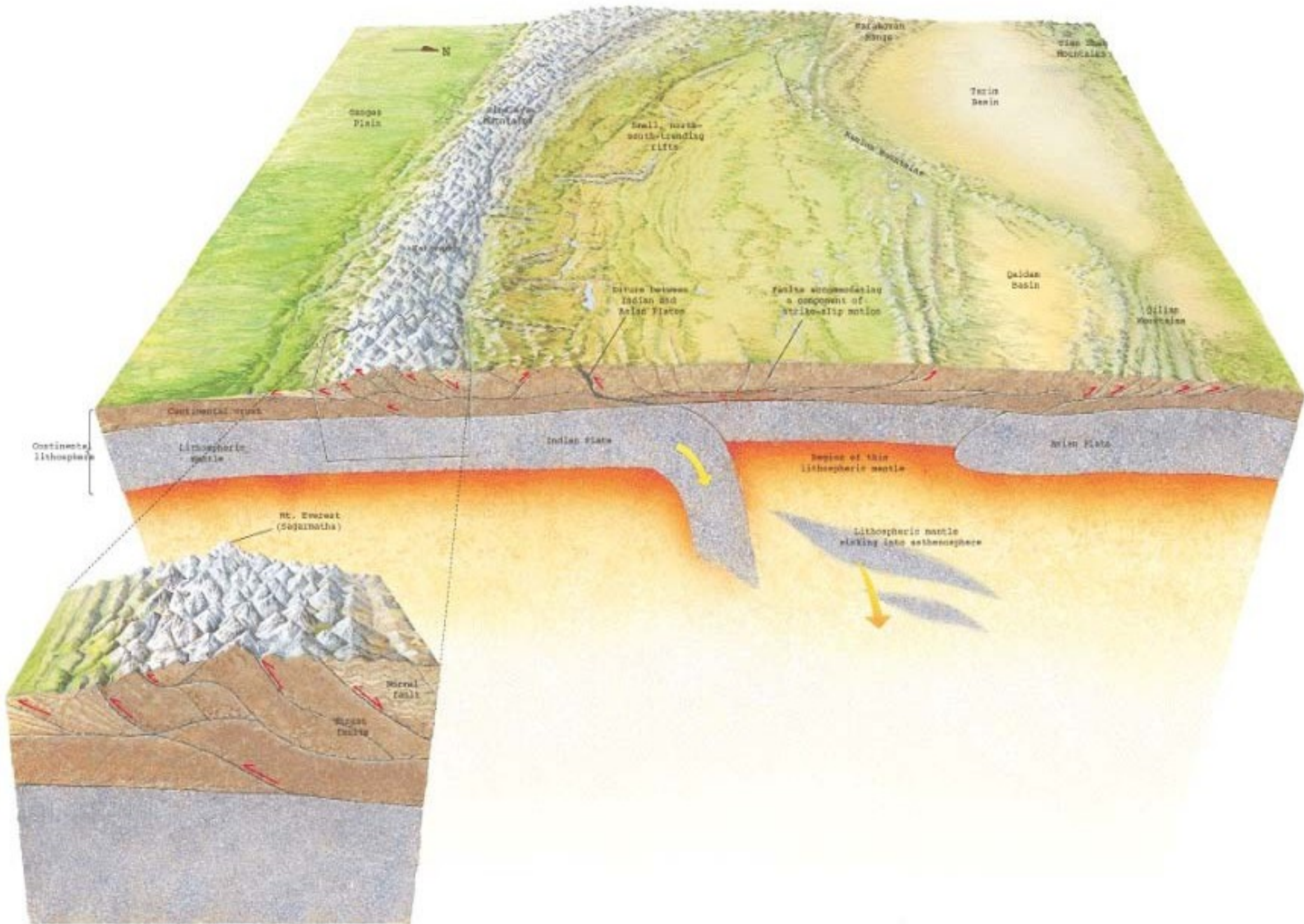
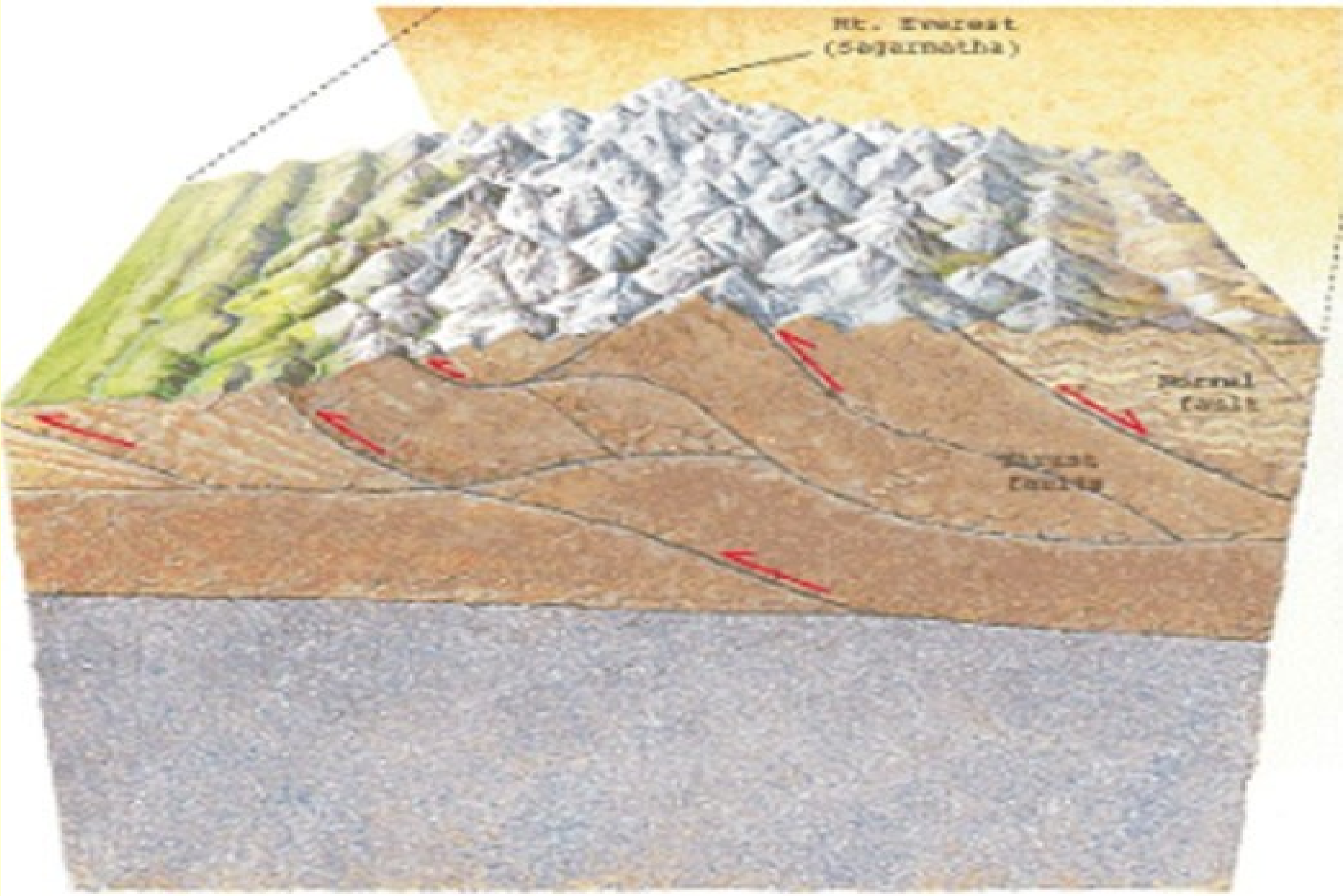


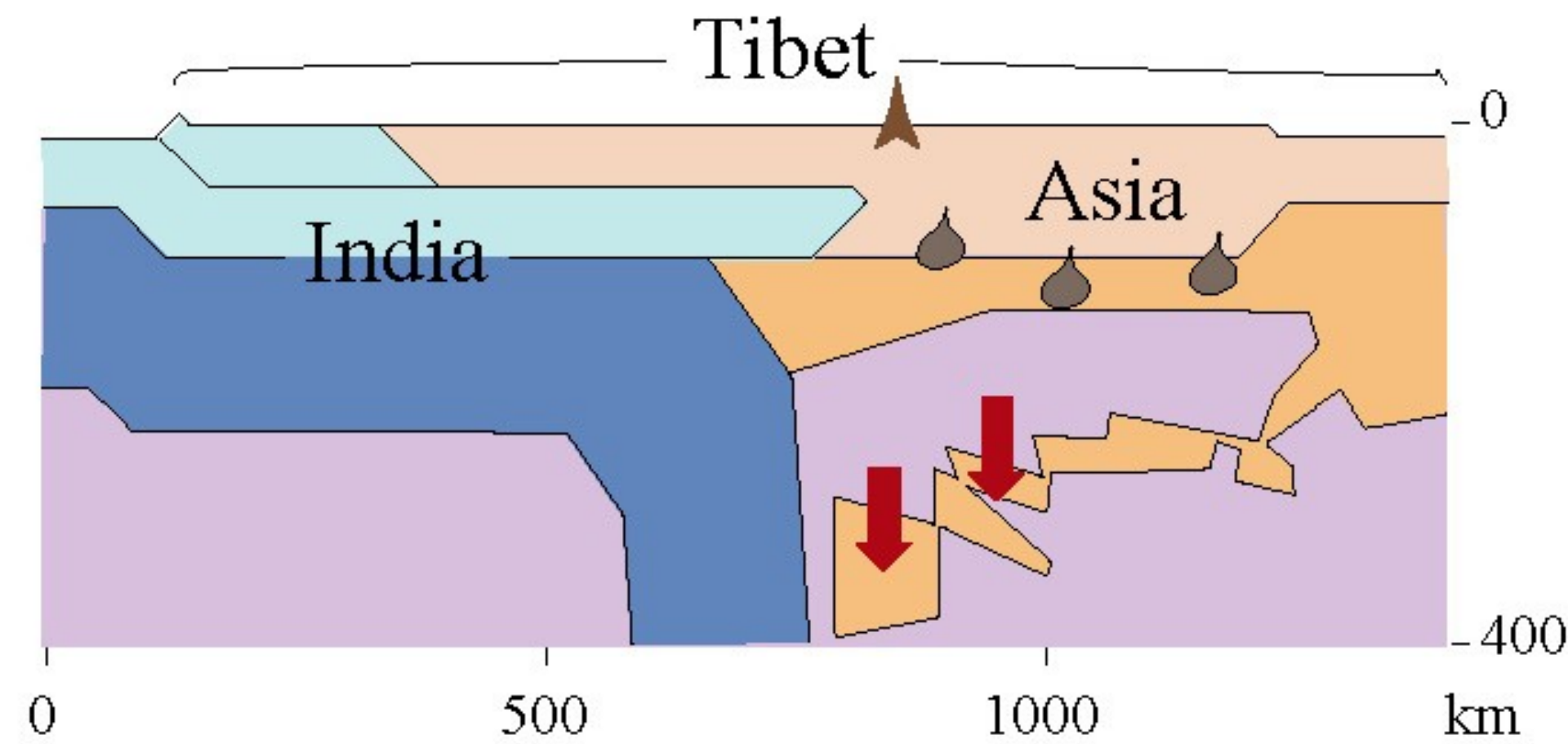
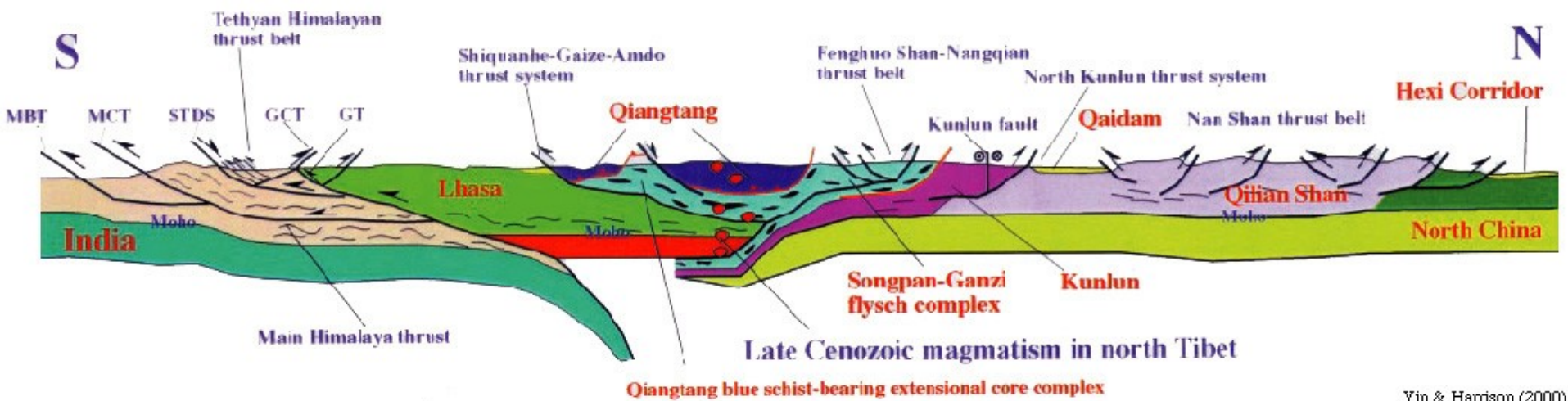
Fig 20b Collision has pushed up the Himalayas and Tibet



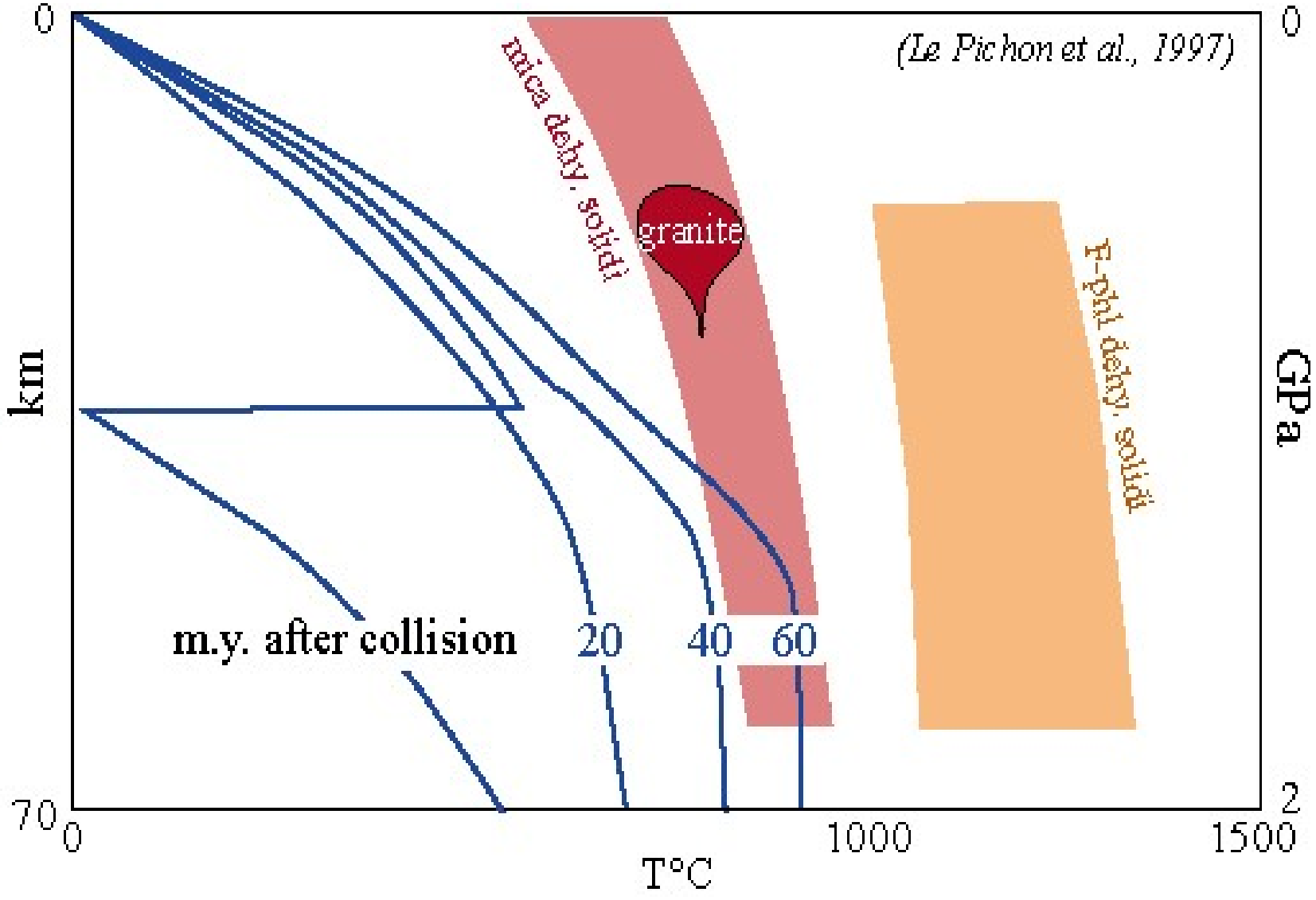


Ht. Everest
(Sagarmatha)

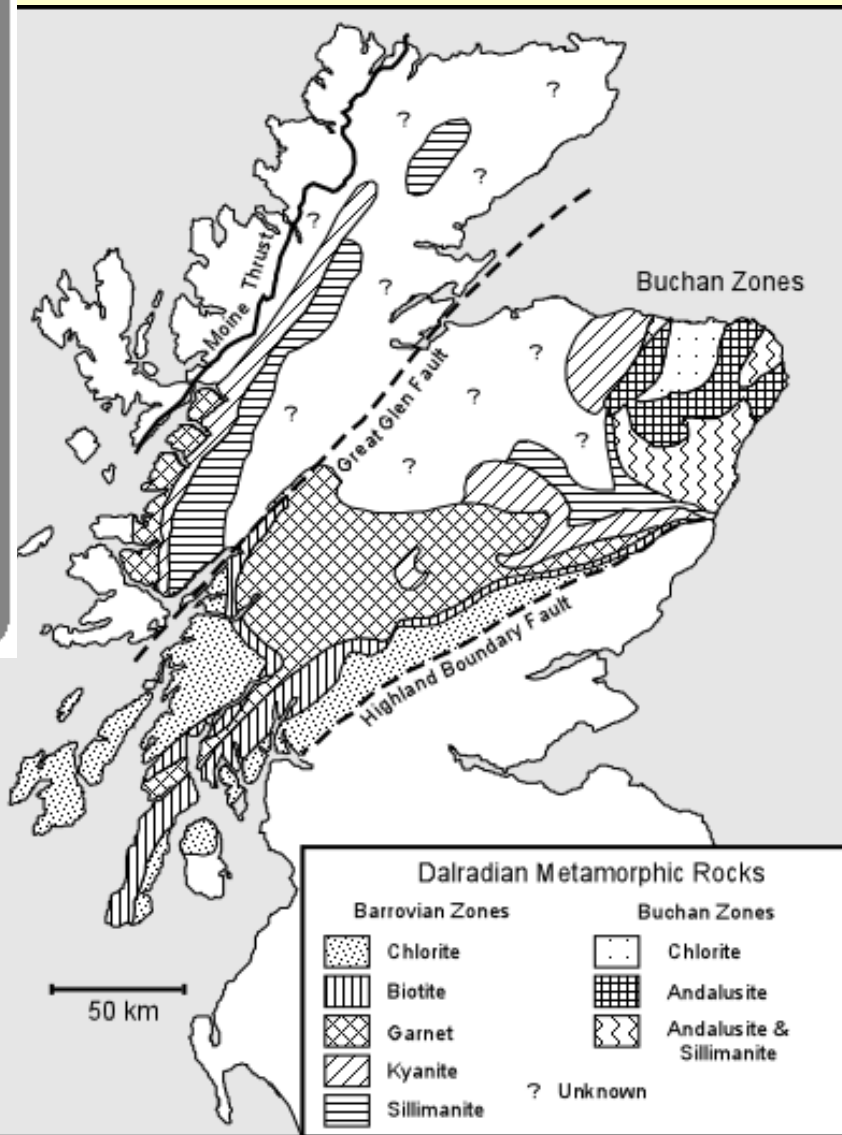
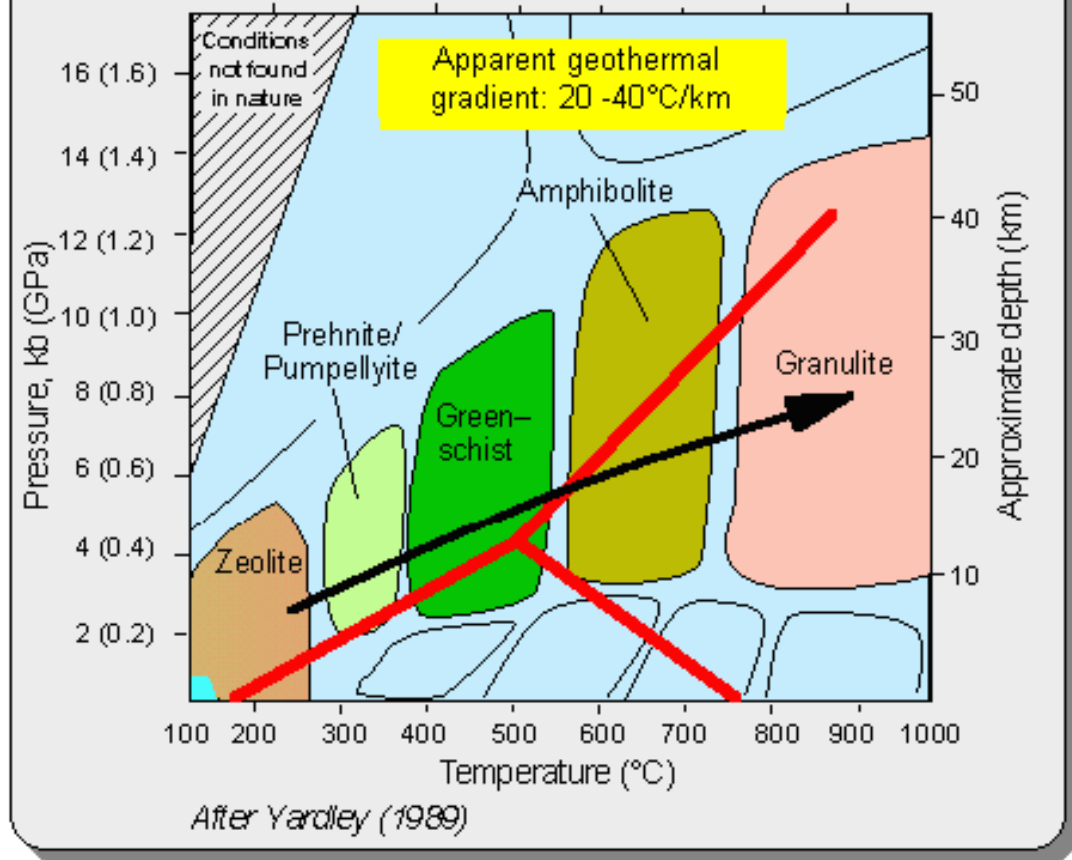




**crustal
stacking**



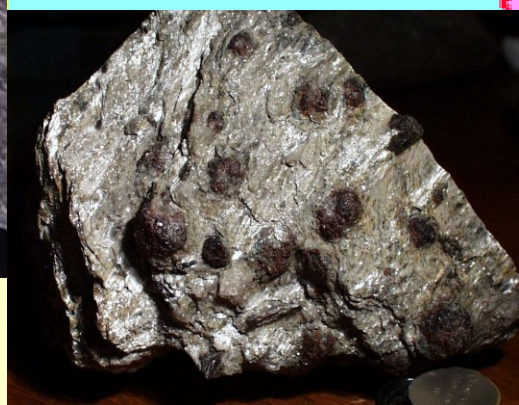
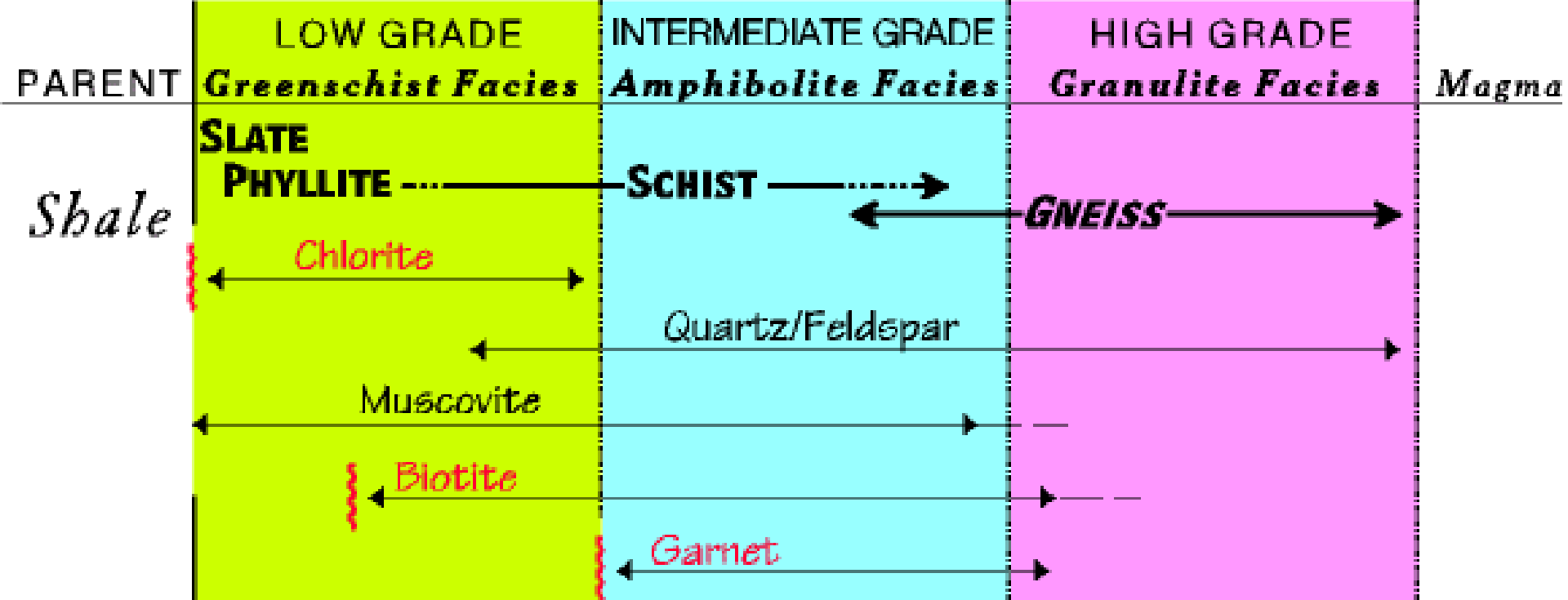
Facies Series: Med Pressure, High Temp Kyanite —Sillimanite type
BARROVIAN FACIES SERIES

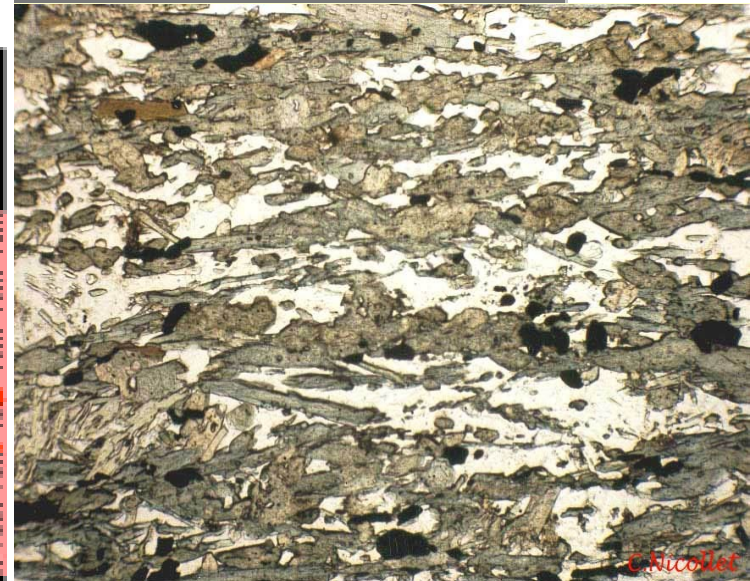
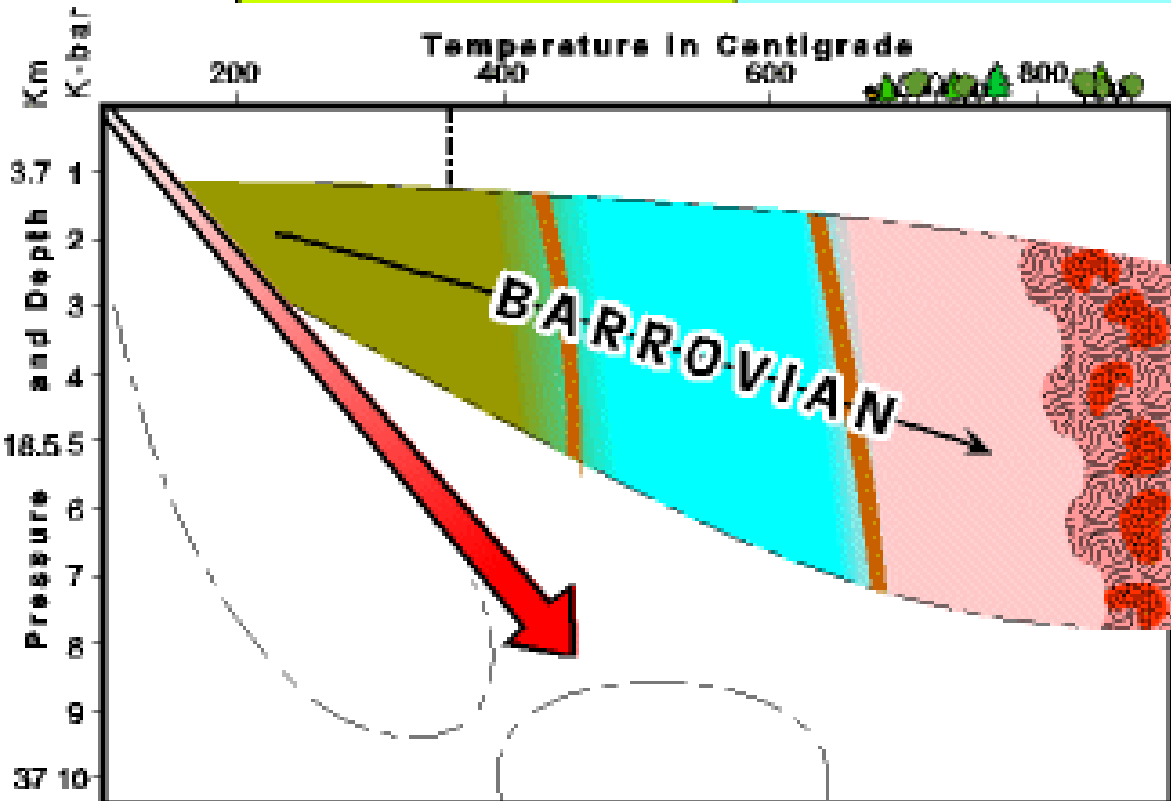
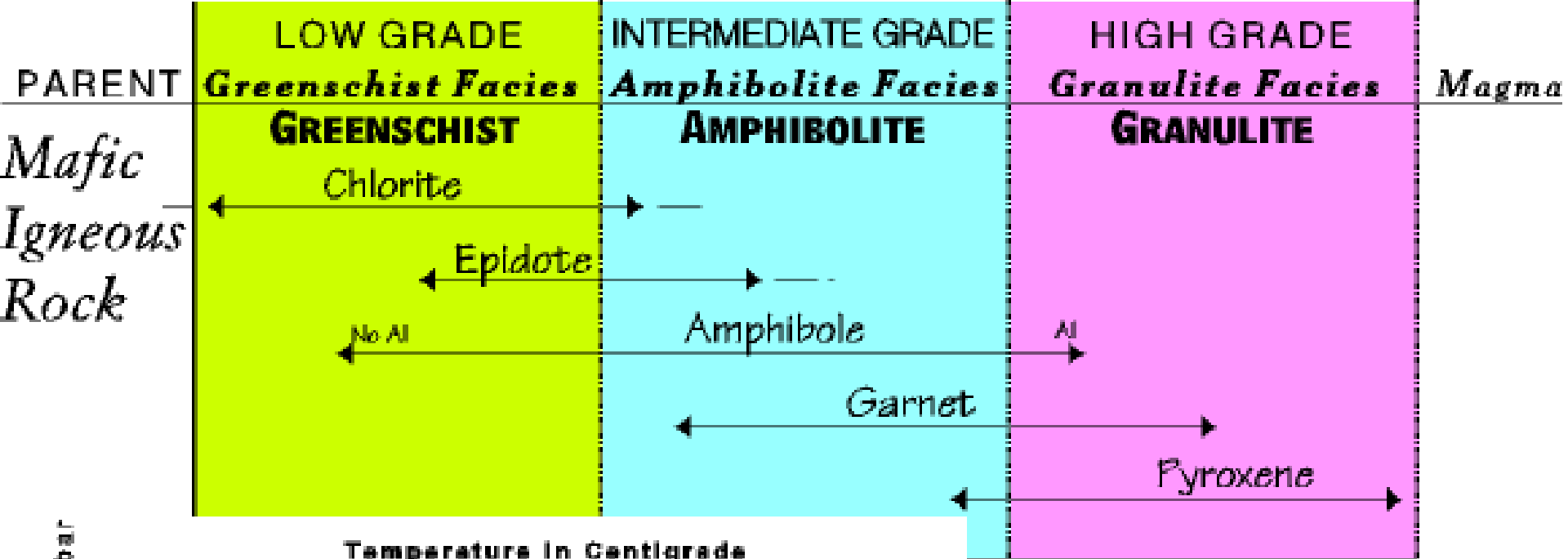


- 3) Barrovienská metamorfóza je střednětlaká regionální metamorfóza k níž dochází během kontinentální kolize.

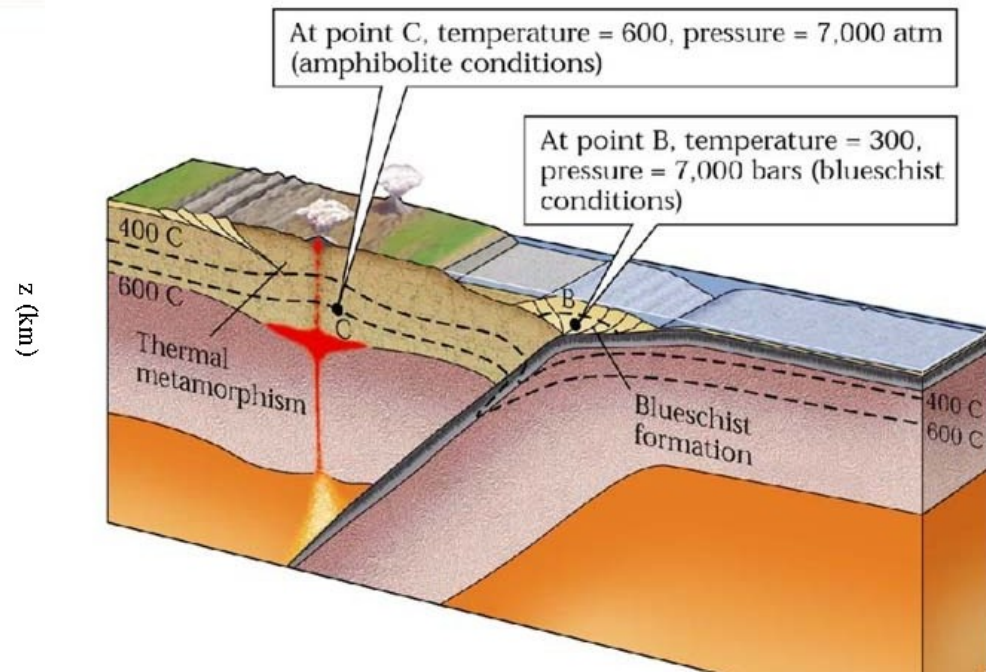
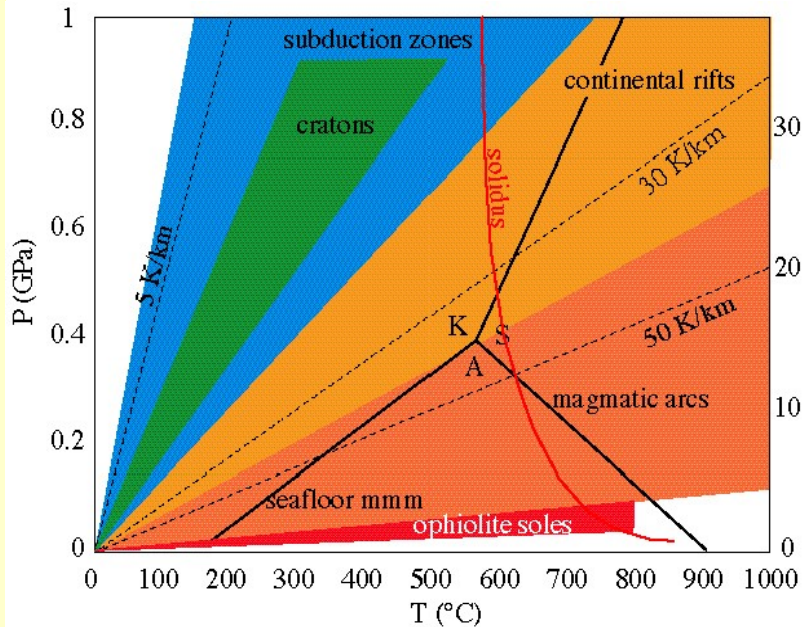
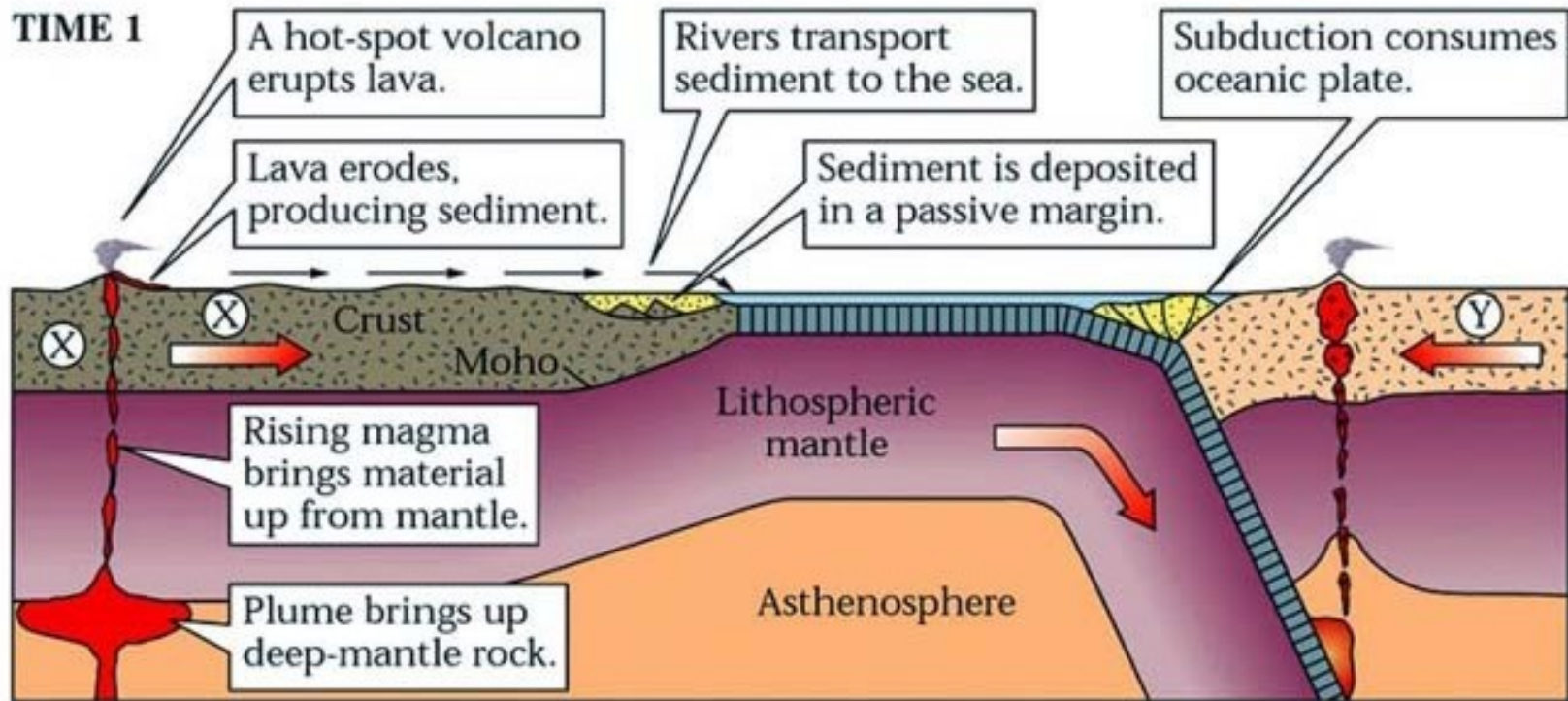
Regionální - orogenní pásma

- 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)

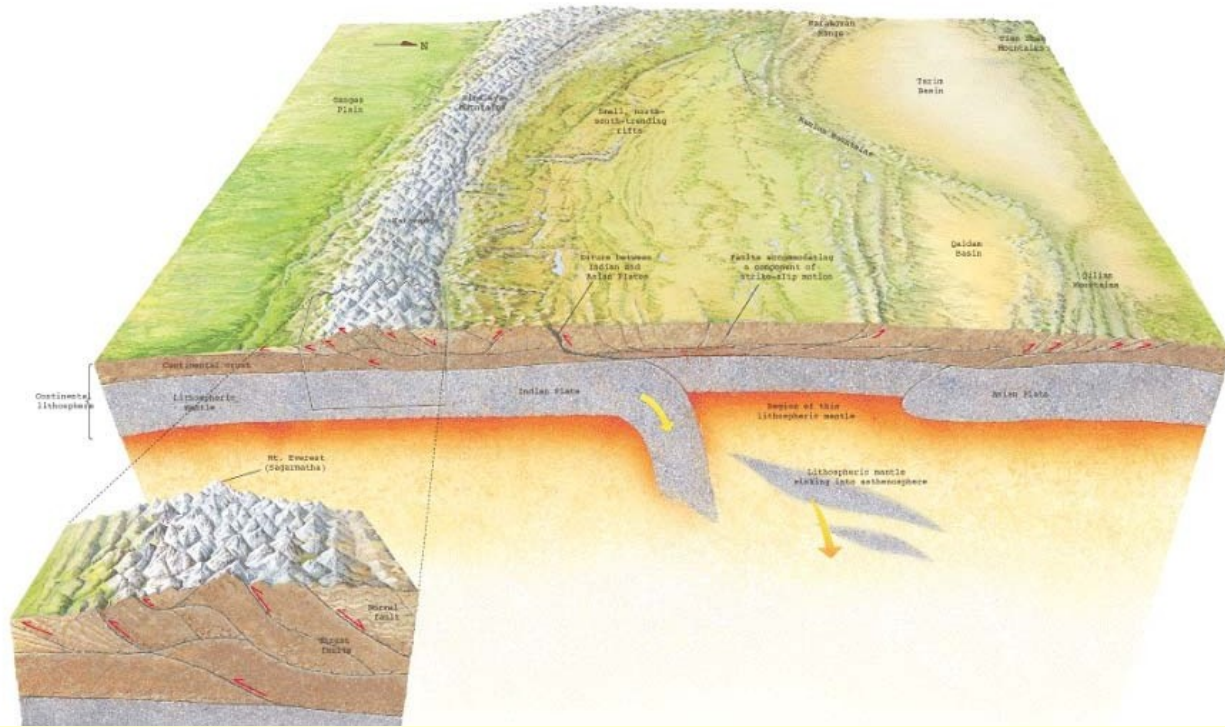
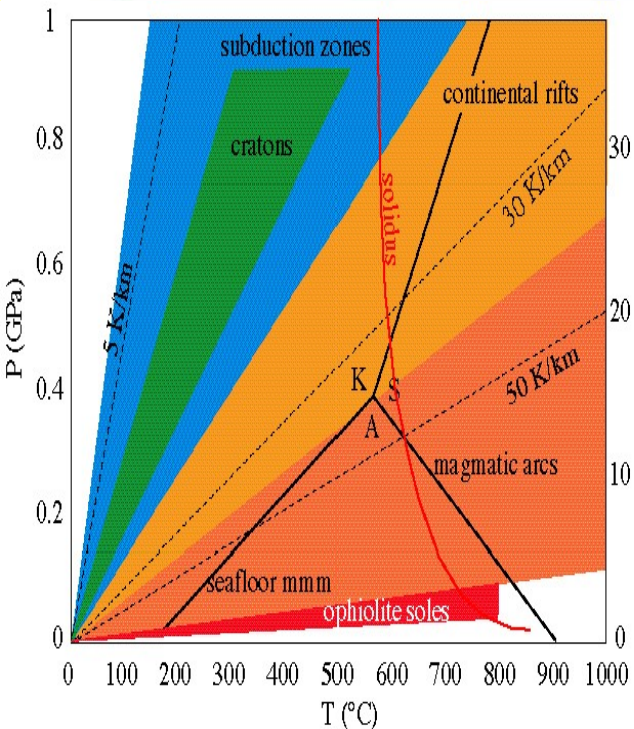
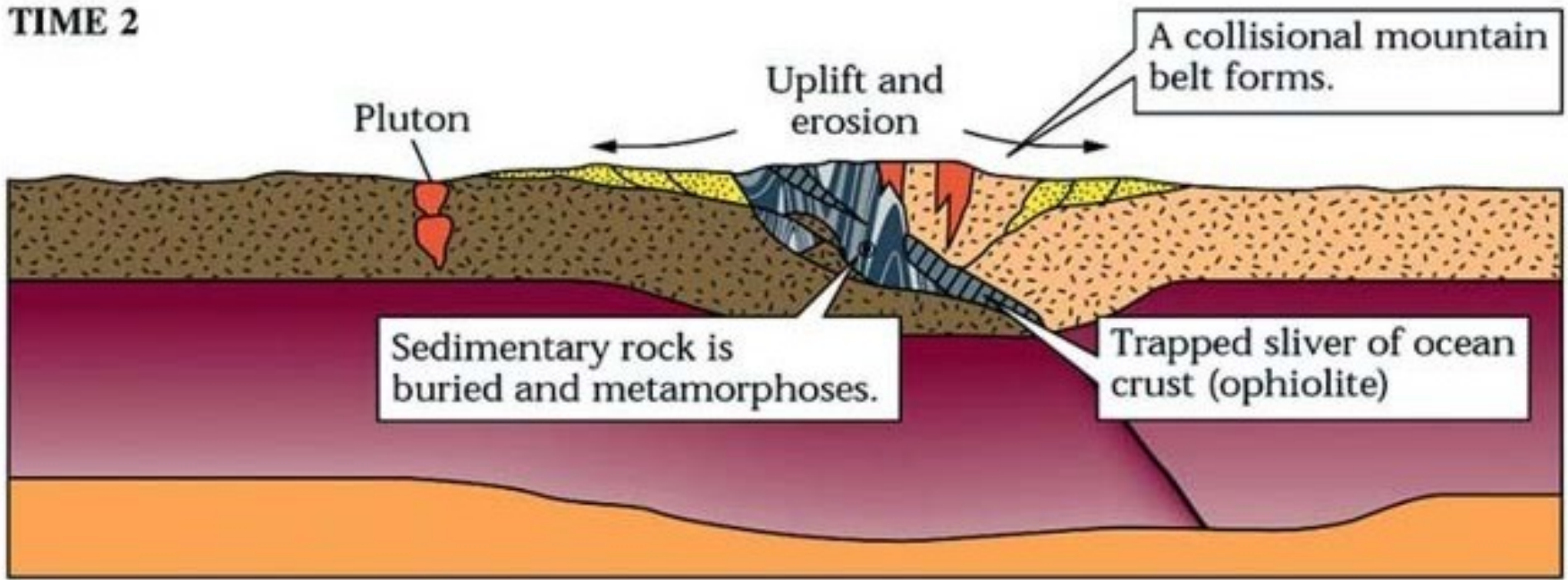


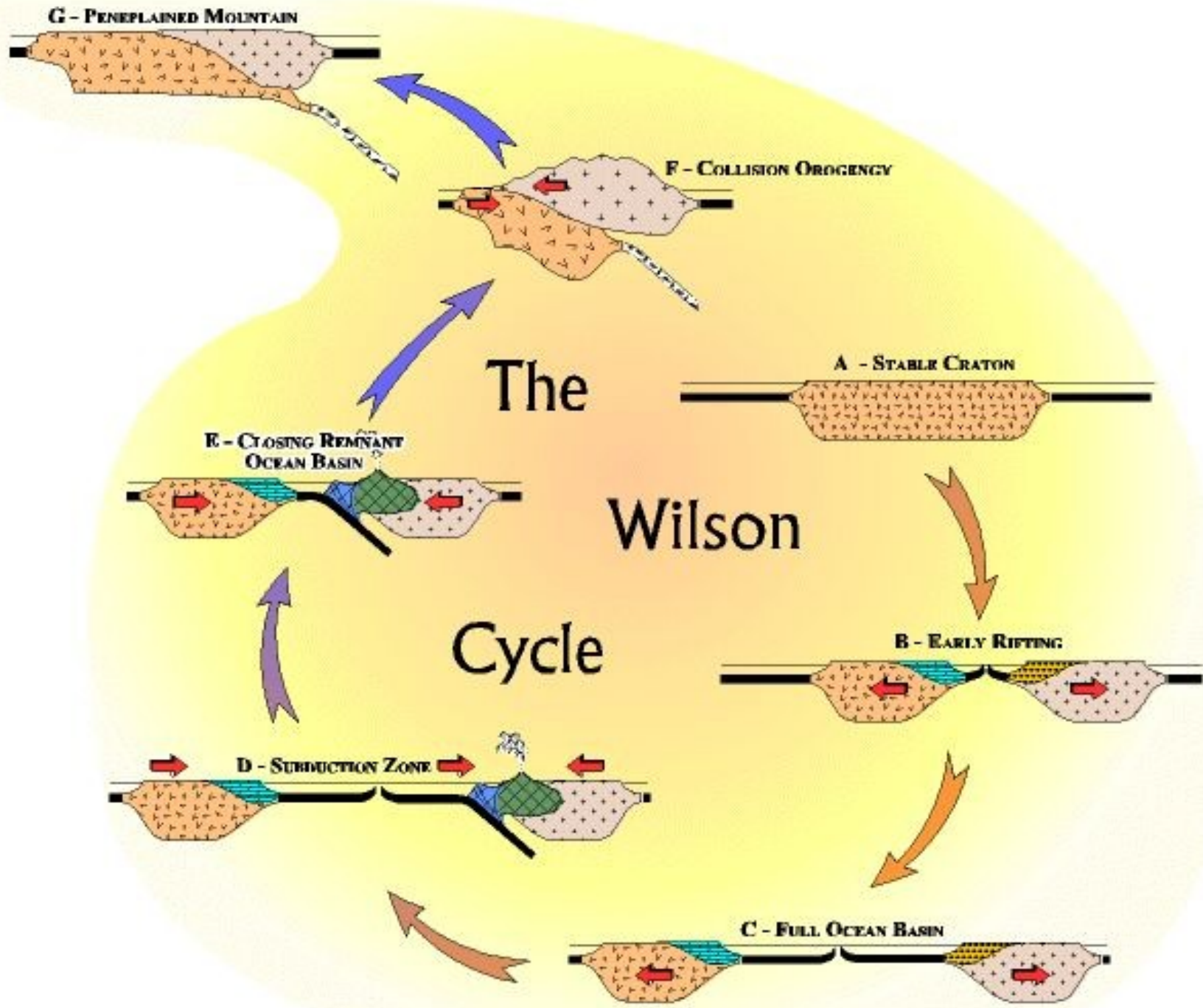


TIME 1

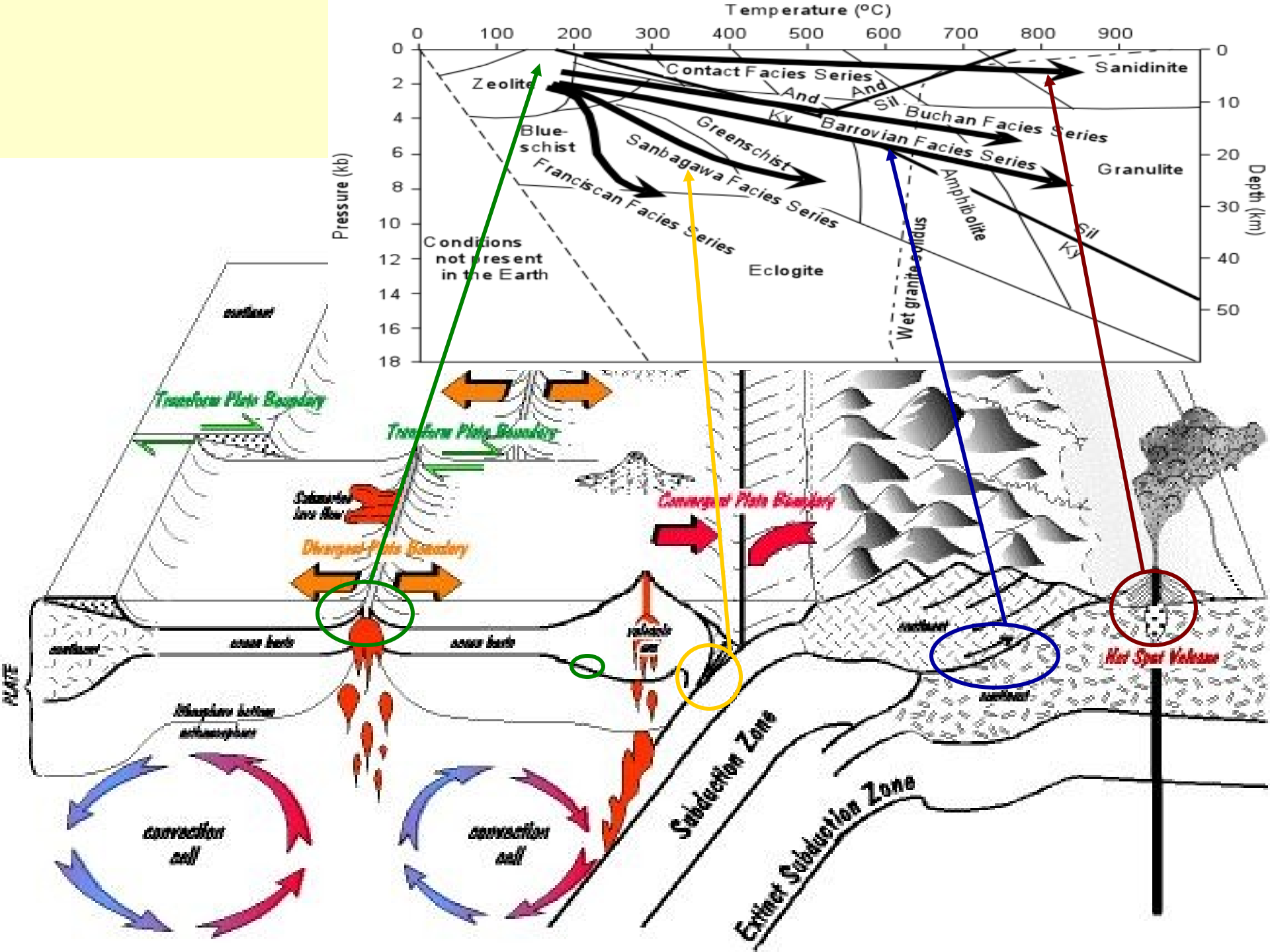


TIME 2





The
Wilson
Cycle



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