

# **Vulkanizmus a jeho následky**

## **IV.**

### **Postvulkanické procesy**

**David Buriánek**



# A. Doprovodné a postvulkanické jevy

průvodním jevem sopečné činnosti jsou různé plynné exhalace unikající z kráteru i tuhnoucí lávy

1. výrony horkých a chladných plynů – fumaroly
2. gejzír
3. termální prameny
4. bahenní sopky











Geotermální pole Hverir nedaleko islandského jezera Mývatn



# Výrony horkých až chladných plynů

- Z vulkanických systémů se uvolňuje hlavně vodní pára ( $H_2O$ ),  $CO_2$  a  $SO_2$ . V malém množství pak další složky:  $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $HCl$ ,  $HF$  a  $He$ .
- $SO_2$  : ovlivňuje skleníkový efekt a rozpad ozónové vrstvy, aerosoly v okolí sopky produkují vulkanický smog
- $H_2S$  : zdravotní obtíže
- $CO_2$  : skleníkový efekt a nad 30% ve vzduchu zahubí živočichy (Hathaway et. al., 1991).

- $HCl$  a  $HF$  : kyselé deště, dráždí sliznice, velké obsahy  $F$  jsou nebezpečné (ničí kosti).

vulkán	Kilauea	Erta` Ale	Momotombo
geotektonická pozice	horká skvrna	divergentní rozhraní	konvergentní rozhraní
teplota	1170°C	1130°C	820°C
$H_2O$	37,1	77,2	97,1
$CO_2$	48,9	11,3	1,44
$SO_2$	11,8	8,34	0,50
$H_2$	0,49	1,39	0,70
$CO$	1,51	0,44	0,01
$H_2S$	0,04	0,68	0,23
$HCl$	0,08	0,42	2,89
$HF$	---	---	0,26

Složení vulk. exhalací v obj. %  
(Symonds et. al., 1994)



# Fumarola (Fumarole)

- otvor či trhlina na povrchu pyroklastik nebo lávový proudů z nichž unikají vulkanické plyny do atmosféry
  - fumarola často funguje jen několik týdnů,
  - někdy může být činná celá desetiletí až staletí
  - produkuje sopečná exhalace, tj. výrony par a plynů v sopečných oblastech jejich teplota činí 100 až 800 °C (1000 °C)
  - 400-500°C - chloridy HCl, SO<sub>2</sub>
  - kolem 200°C - salmiak, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S
  - nejnižší T vodní páry, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S
1. unikají z kráterů a tuhoucích láv (páry chloridů, vodní pára, HCl, CO<sub>2</sub> )
  2. při postvulkanické činnosti (páry salmiaku, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, vodní pára)



Solfatar, Vulkáno



## Solfatary

- mají teploty 100 až 200°C (často uniká sirovodík a jeho oxidací vznikají nálety síry)

## Mofety

- výrony o teplotě pod 100 °C jsou bohaté vodní párou a CO<sub>2</sub>
- mohou být spjaty s výstupem teplých vod a ukládáním travertinu



Solfatary, Vulkáno







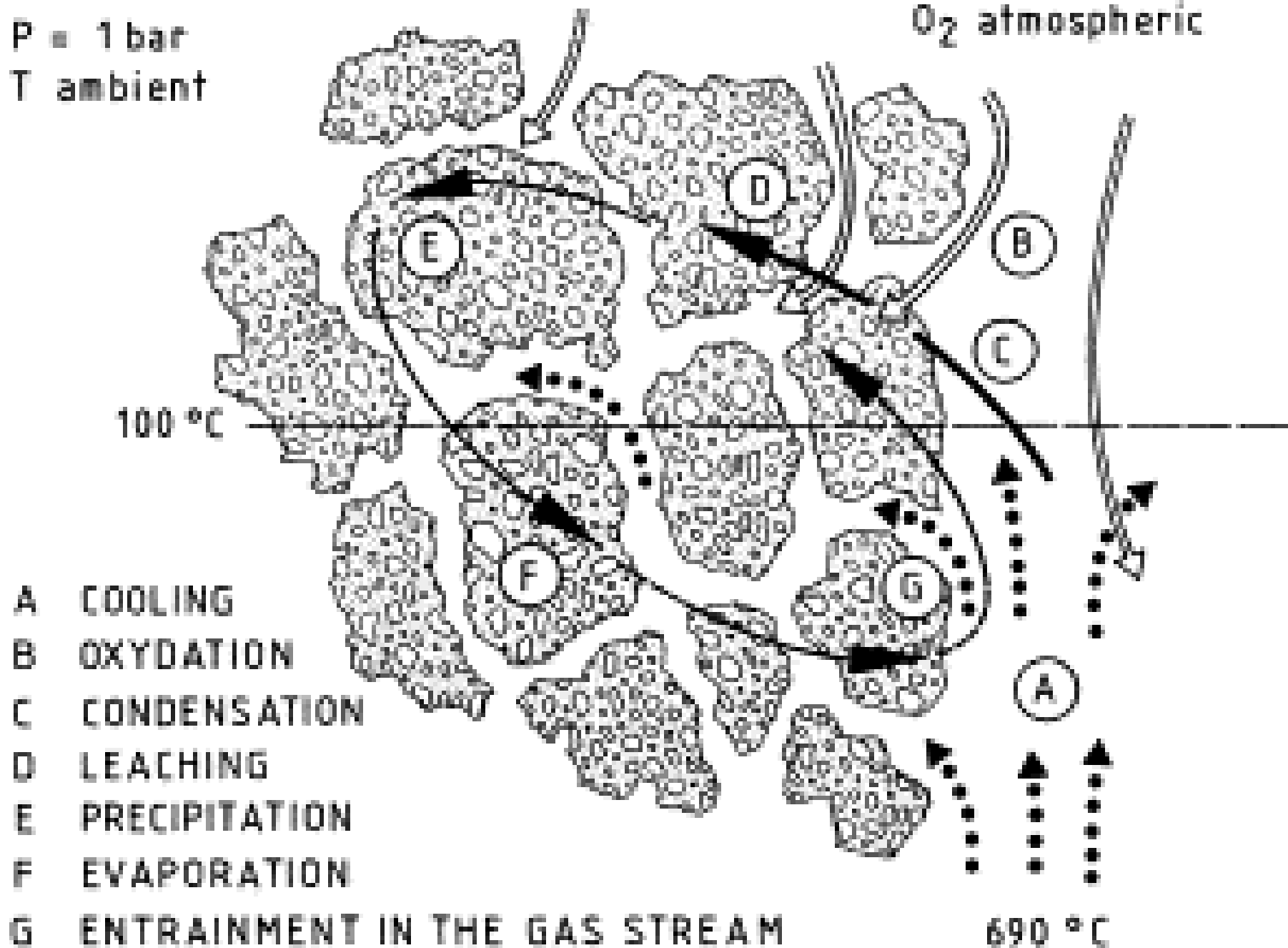
Přívodní kanál fumaroly –  
Vizsoly (Maďarsko)





P = 1 bar  
T ambient

O<sub>2</sub> atmospheric







Alterace způsobené výrony horkých plynů – Calimani (Rumunsko), vulkanity se mění na sekundární minerály a na puklinách je síra



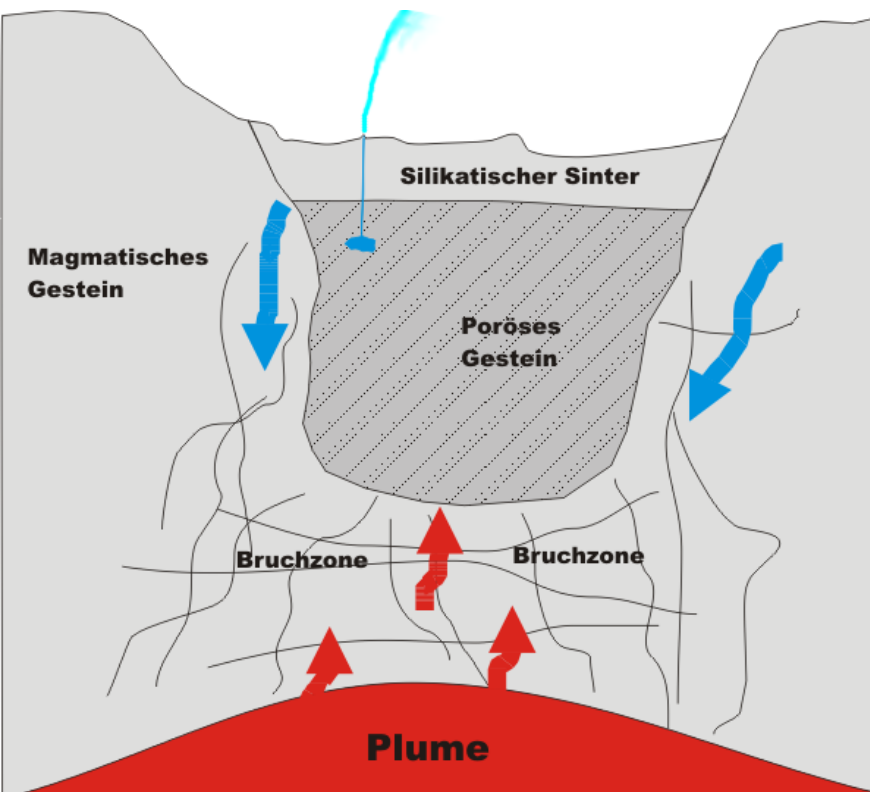


Brekcie silicifikovaných a alterovaných vulkanitů tmelená limonitem – Calimani (Rumunsko)



## 2) Gejzír

- vyvrhování horké vody a páry podzemních pramenů
- vodní erupce dosahují výšky i přes 50 m a často nastávají v pravidelných intervalech
- intervaly závisí na rychlosti akumulace a přehřátí vody v podzemních přívodových cestách
- z vod gejzíru se v jeho blízkosti ukládají různé vápnité nebo křemité usazeniny, tzv. sintry; křemitý sintr se nazývá gejzirit



















Gezirit



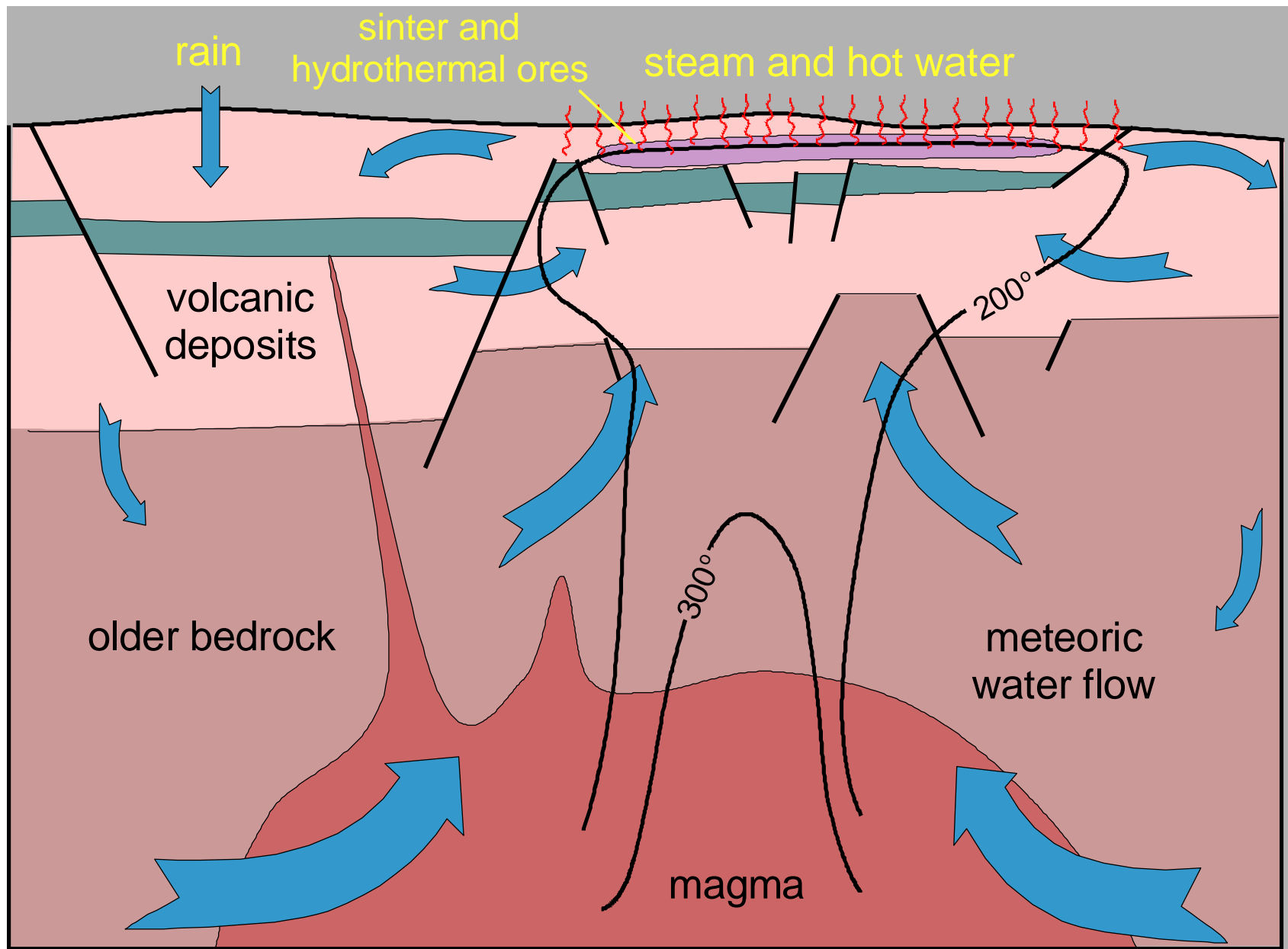
### 3) Termální prameny (horké prameny)

- termální pramen či horký pramen je druh pramenu kde vystupuje ohřátá voda často obohacená o minerální složky
- voda proniká puklinami v zemské kůře do značných hloubek a dostává do blízkosti magmatu, zde se ohřívá a vystupuje nahoru
- na povrchu se pramenů srážejí minerální látky vznikají travertiny atd.
  - a. vody juvenilní pochází z magmatu
  - b. vody vadosní pochází z atmosférických srážek
- patří sem většina horkých pramenů, podzemní vody rozpouštějí plynný  $\text{CO}_2$  exhalací - kyselky



Minerální prameny, Mongolsko





Schematický řez přes hydrotermální systém který vzniká nad magmatickým krbem ( Henley and Ellis (1983), *Earth Sci. Rev.*, **19**, 1-50.) Většina vody je meteorická a juvenilní voda má jen malý význam.



- termální prameny nejsou vázány pouze na suchozemské prostředí, ale vyskytují se na středoocéánských hřbetech (černí a bílý kuřáci)
- vlivem poklesu teploty dochází ke srážení nasycené vody, minerální složky vytvářejí pevná tělesa, která tvoří různé komíny, terasy, či valy

### **Travertin**

- je chemická usazená hornina vznikající na pevnině z horkých pramenů
- je pórovitý a tvořená kalcitem vzácně také aragonitem
- může obsahovat jílu a klastický křemen
- někdy fosilní zbytky

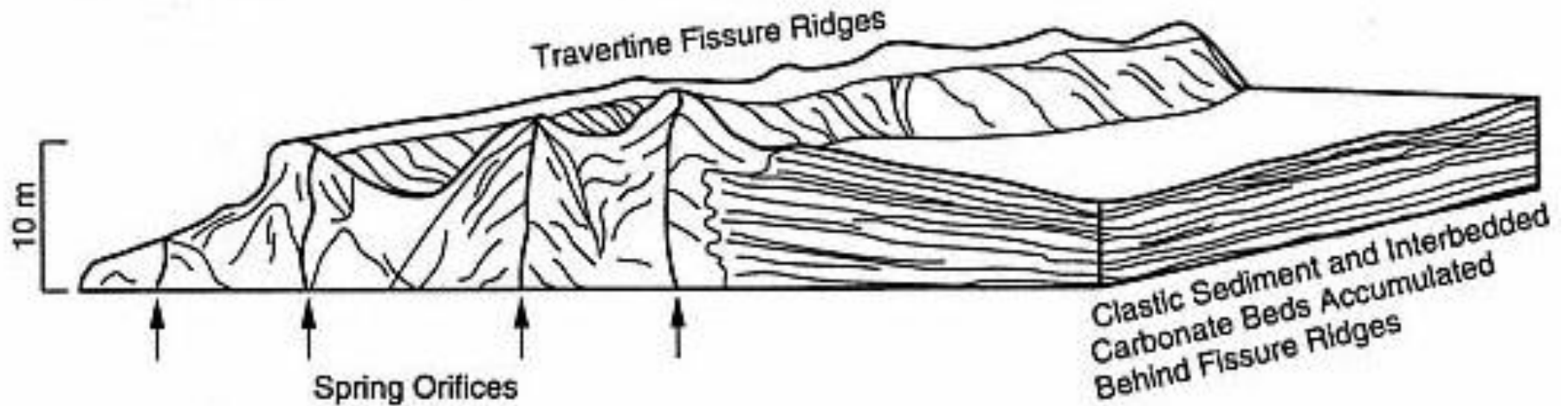


Minerální pramen, Mongolsko





Diagram of a travertine fissure ridge, showing the relationship between springs that rose along faults and fractures and the layered travertine deposited there. Where the travertine fissure ridge dammed a drainage, carbonate beds extend out as thin wedges from the fissure ridge and are interbedded with clastic sediments







Hydrotermální pramen, Jalapa, Nikaragua





Karbonátová žíla, Mongolsko



## 4. Bahenní sopky

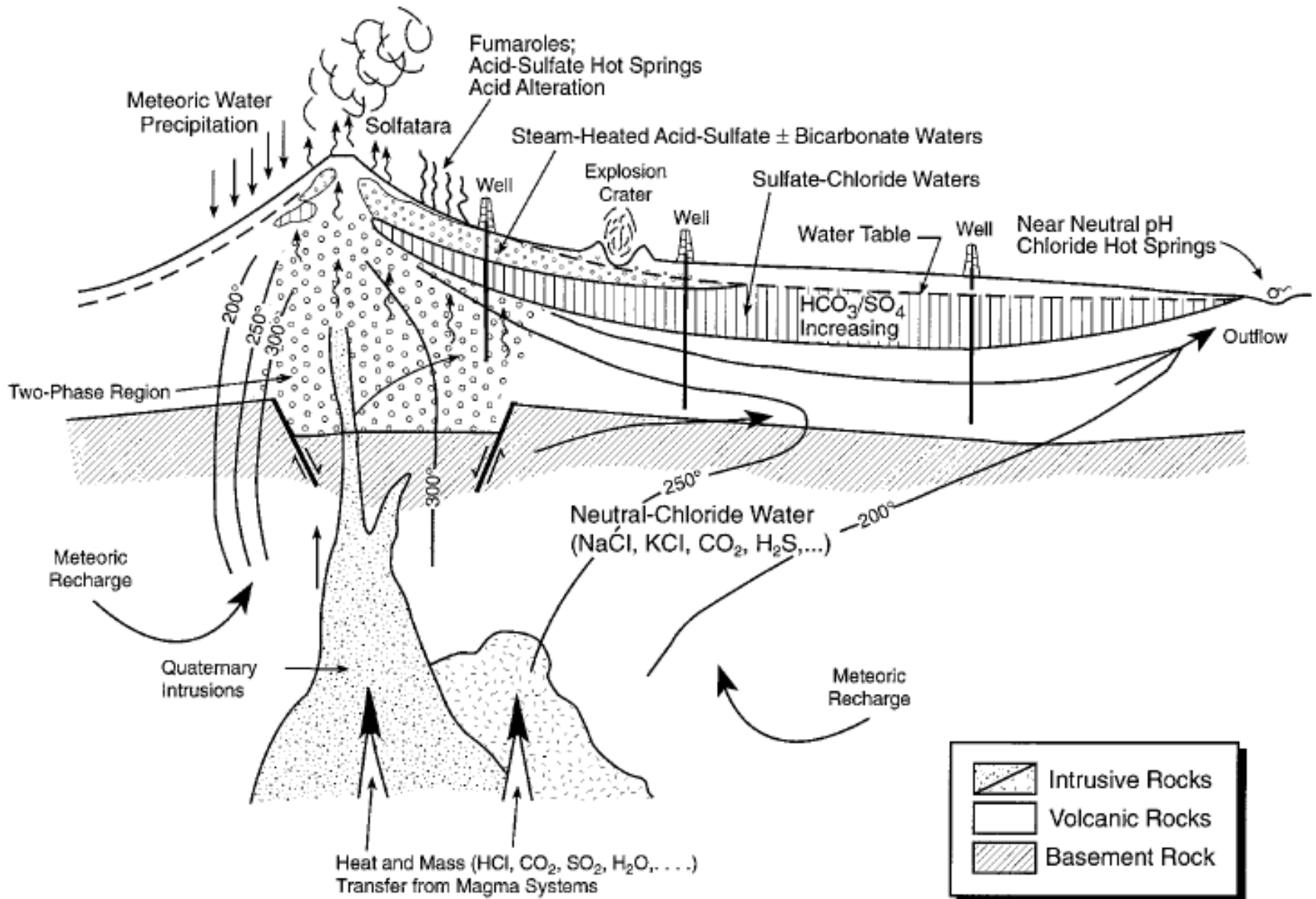
- plyny a pára probublávají bahnem



**Santa Clara, Nikaragua**



# B. Hydrotermální alterace

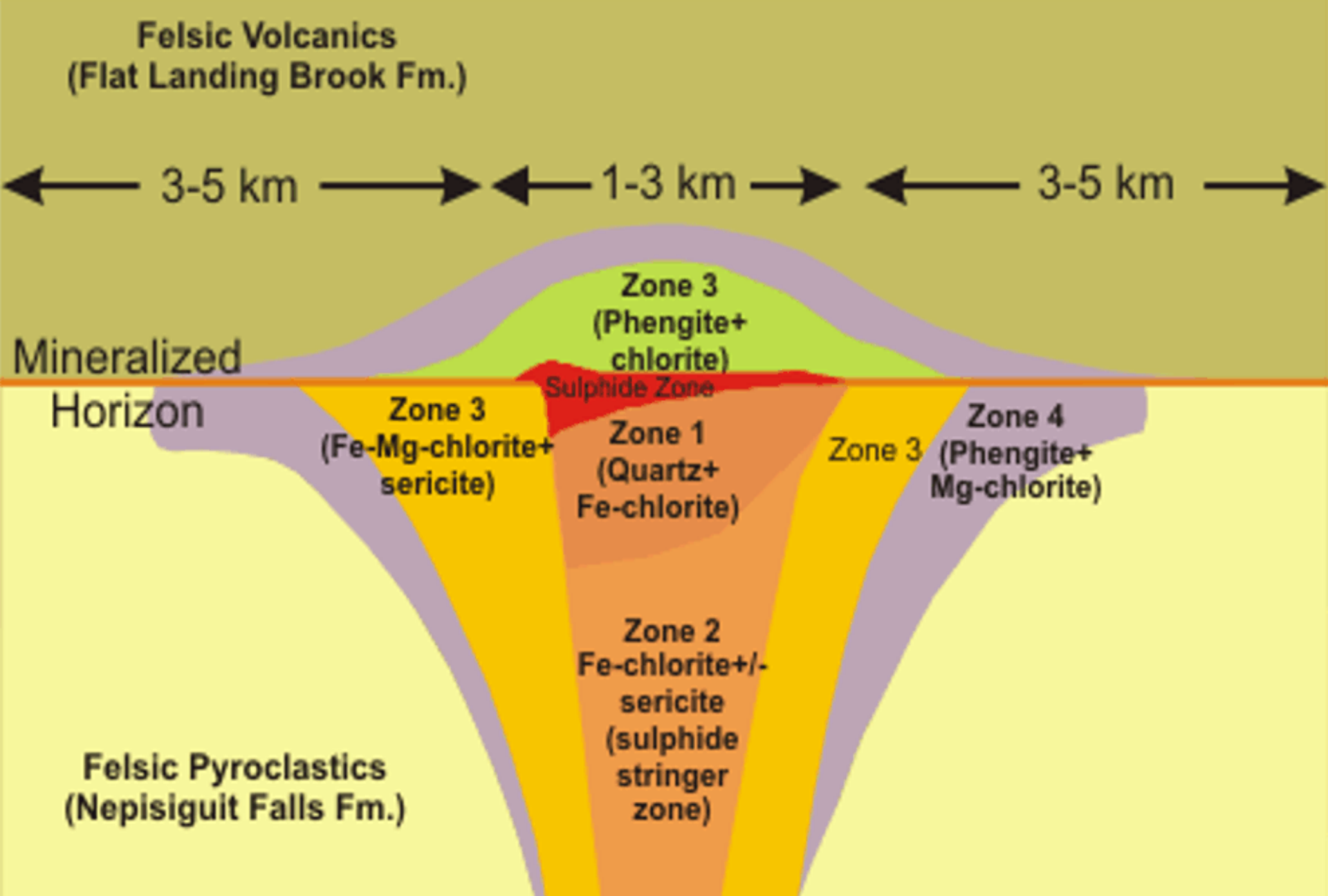






Hydrotermálně alterované pyroklastické horniny (Vulkano)





Průřez sulfidickým hydrotermálním ložiskem (VMS) s vyznačením alteračních zón (Goodfellow et al. 2003).





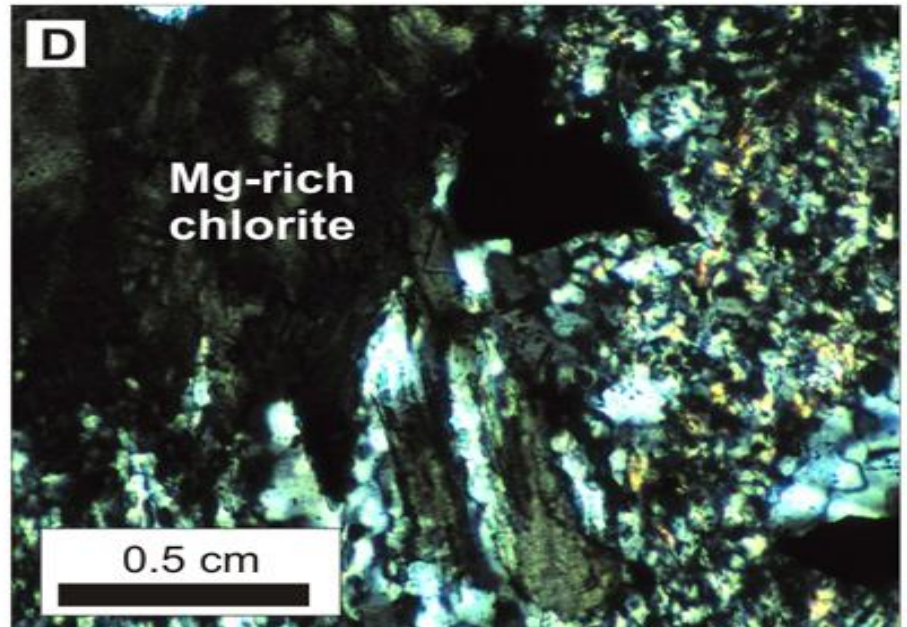
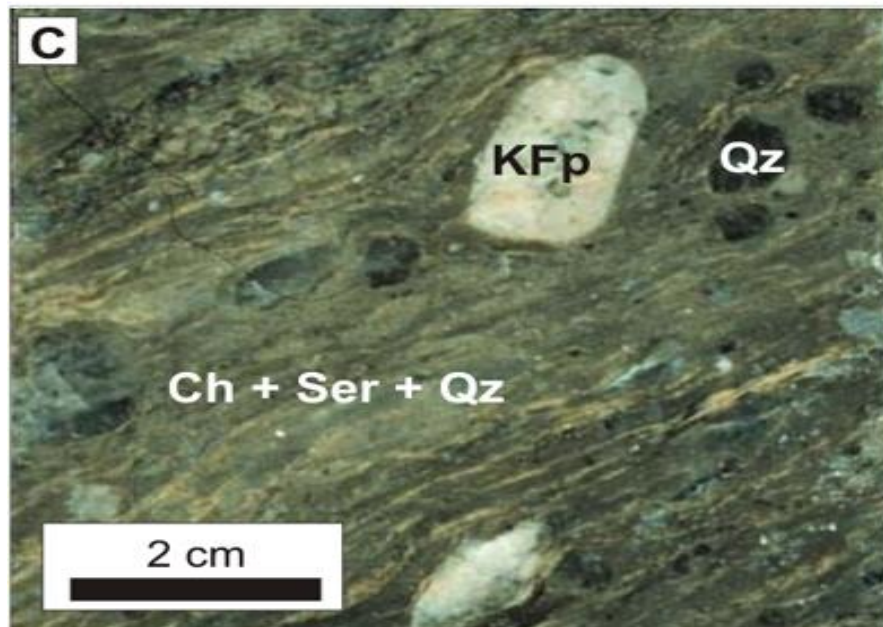
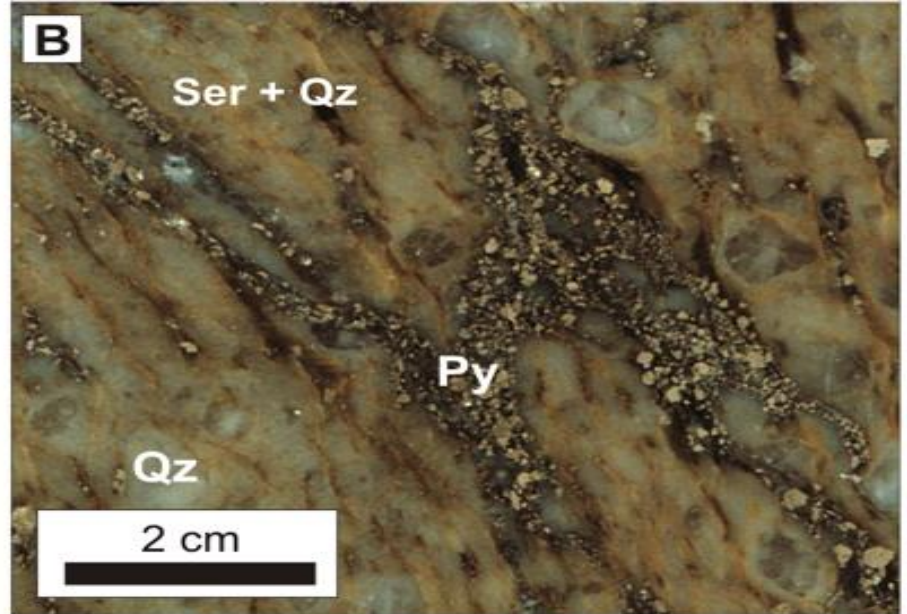
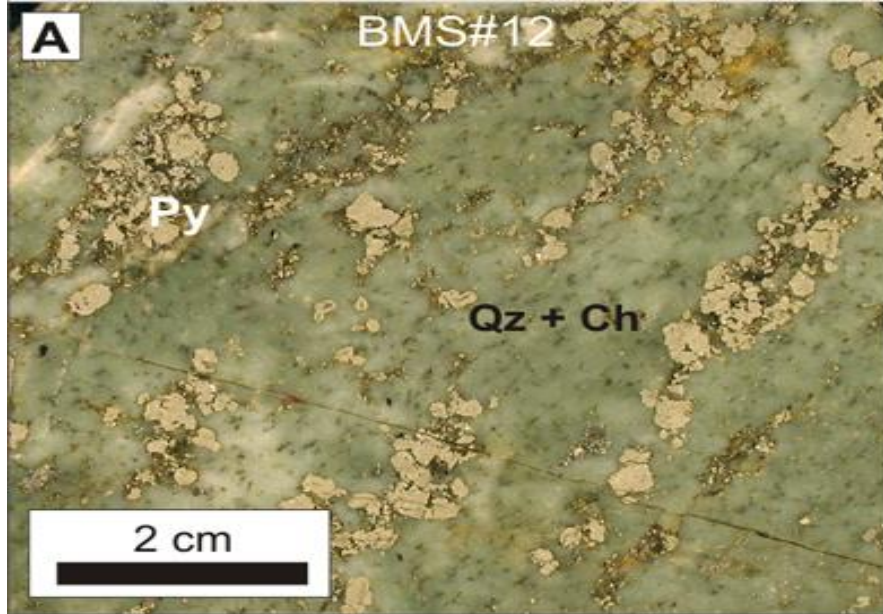
**Žilná výplň s galenitem, kalcitem**  
u Marie  
Západní upadající podložní žíla, 28. patro



**Klementska hlavní žíla**  
- styk s 1. podložní žílou  
důl Rudolf 10.patro



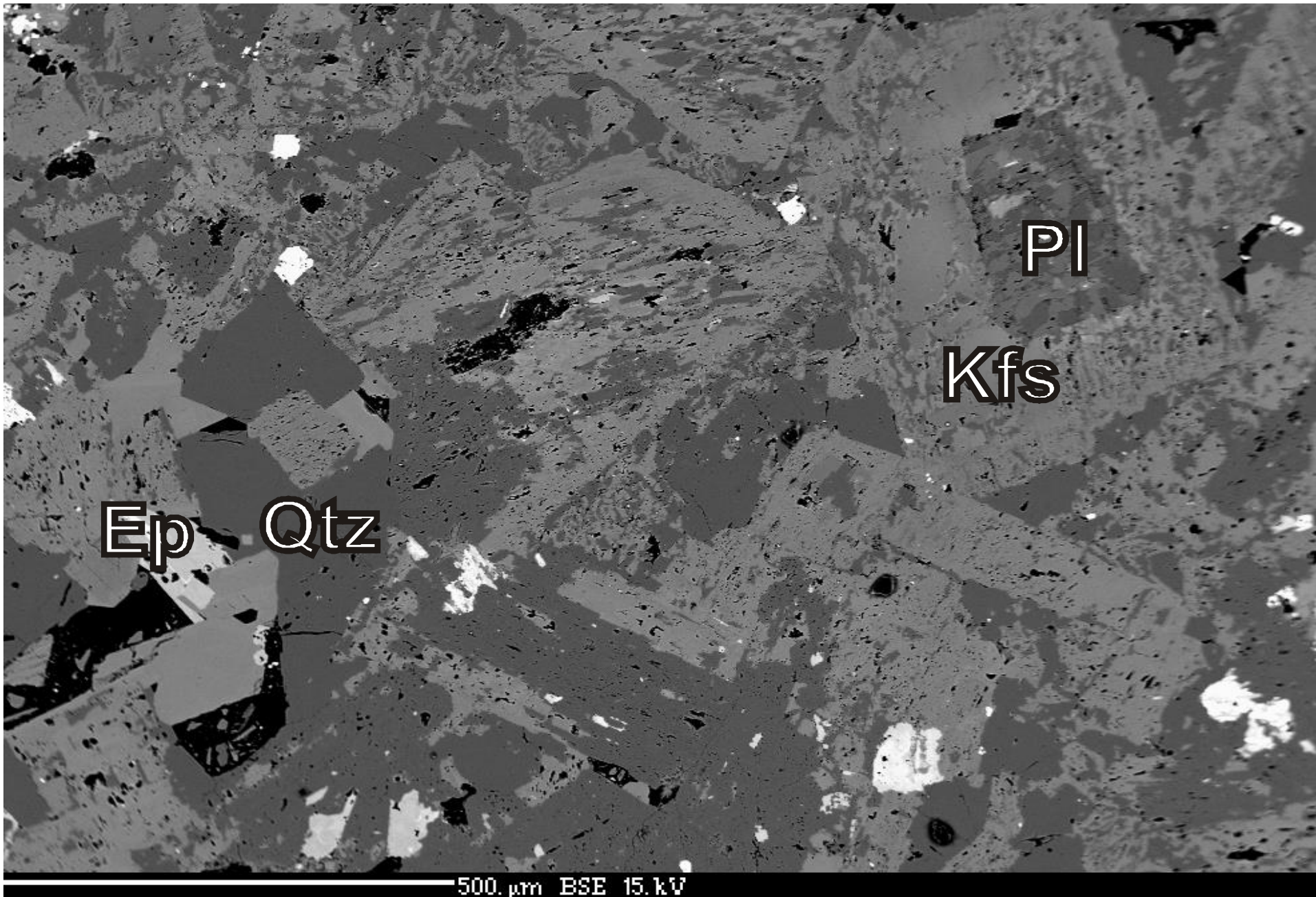




Hydrotermální alterace na ložisku Brunswick : A. silicifikace (Qz) a chloritizace (Ch) původního sedimentu vznikla kolem hydrotermálních akumulací pyritu (Py). B. Sericitizace (Ser) a silicifikace (Qz) pyroklastik kolem žilek s pyritem (Py), živec je zničen v důsledku hydrotermální alterace. C. Původní pyroklastická hornina je nahrazena směsí Chloritu, sericitu a křemene. D. Nově vzniklý Mg chlorit.

<http://gsc.nrcan.gc.ca/mindep/metallogeny>





Alterované gabro, plagioklasy jsou zatlačovány draselným živcem a na hranicích zrn se objevuje novotvořený epidot a křemen - vulkanická struktura La Luna (D0270), BSE snímek .





**Komňa (vrch Bučník) – alterovaný andezit**



**Komňa (vrch Bučník) –andezit**





- snadno dochází k oxidaci  $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$  buď jako důsledek oxidace atmosférickým kyslíkem nebo kyslíkem generovaným při rozpadu vody horkým magmatem
- v důsledku hydrotermální alterace dochází k hydrataci původně bezvodých minerálů:

**Olivín** → iddingsit (oxidy železa + jíly), serpentín, chlorit, kalcit

**Pyroxen** → chlorit, serpentín, jíly, kalcit

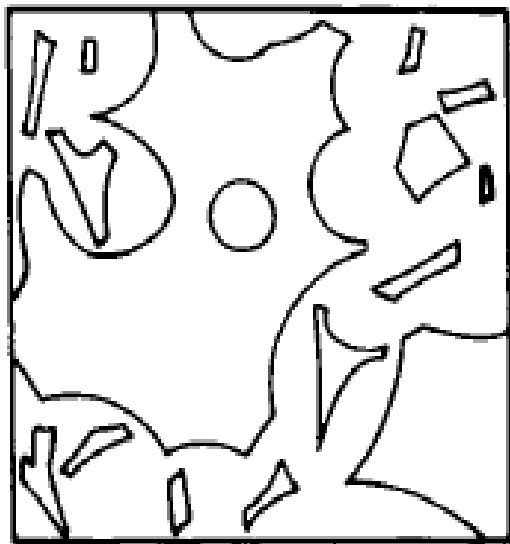
**Ca Plag** → jíly, světlá slída, hydratované Ca-Al silikáty, epidot, prehnit, pumpellyit, zeolity



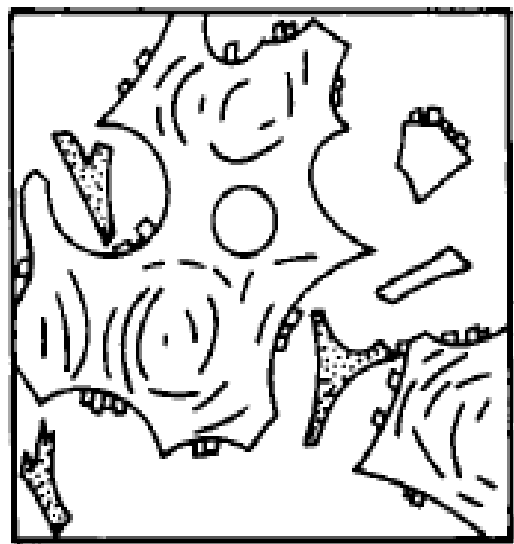
oxidace pyroklastik, Etna



• Rozpad vulkanického skla podle Fishera a Schminckeho (1984)



A



B



Fresh glass



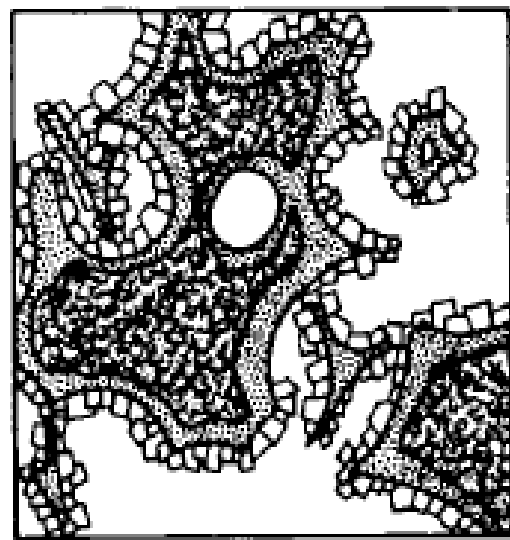
Hydrated and oxidized glass with perlitic cracks



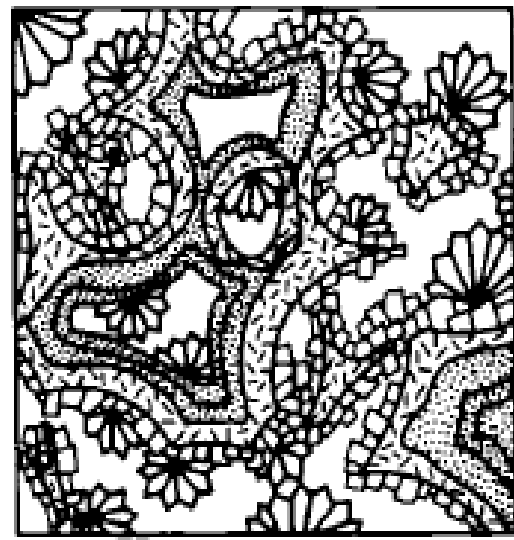
Highly altered glass



"Palagonite" bands



C



D



Birefringent "palagonite" bands



Chabazite



Phillipsite



Pore space

palagonit je rozložené, hydratované bazaltové sklo žluté až hnědé barvy



(b)

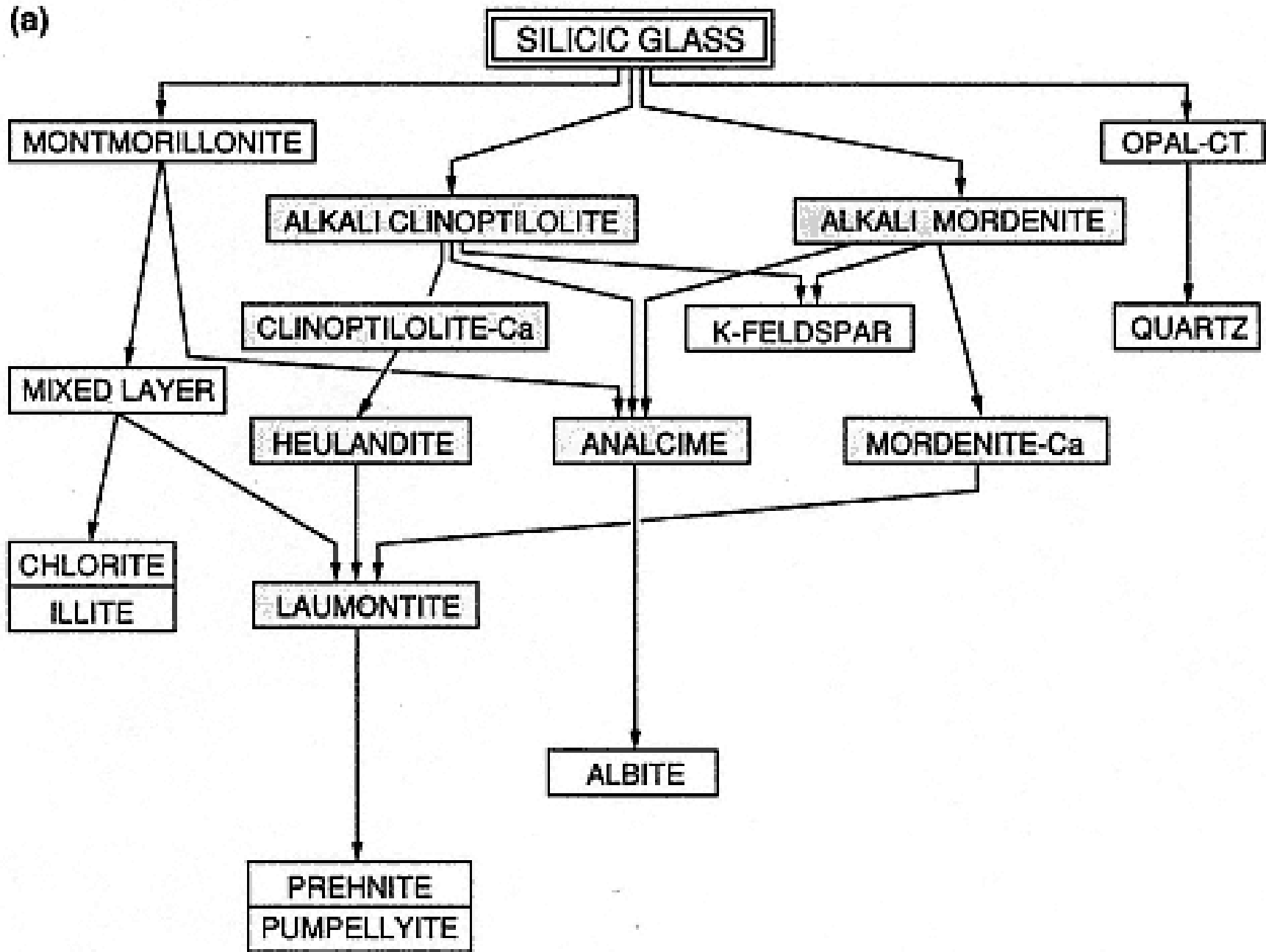
MINERAL SPECIES	ZONE			
	I	II	III	IV
			a	b
"SILICIC GLASS"	□ □ □ □			
ALKALI CLINOPTILOLITE		■	□ □	
CLINOPTILOLITE-Ca		■	■	
ALKALI MORDENITE		■	□ □	
MORDENITE-Ca		■	■	□ □ □ □
ANALCIME			■	■
HEULANDITE			■	
LAUMONTITE				■
K-FELDSPAR		■	■	■
ALBITE (FROM ANALCIME)				■
ALBITIZED PLAGIOCLASE				■
OPAL-CT	■	■	□ □	
QUARTZ		■	■	■
MONTMORILLONITE	■	■	□ □ □ □	
15-14 Å MIXED LAYER			■	■
CHLORITE			■	■
ILLITE			■	■
PREHNITE				■
PUMPELLYITE				■

■ STABLE OR METASTABLE

□ □ □ □ UNSTABLE



(a)



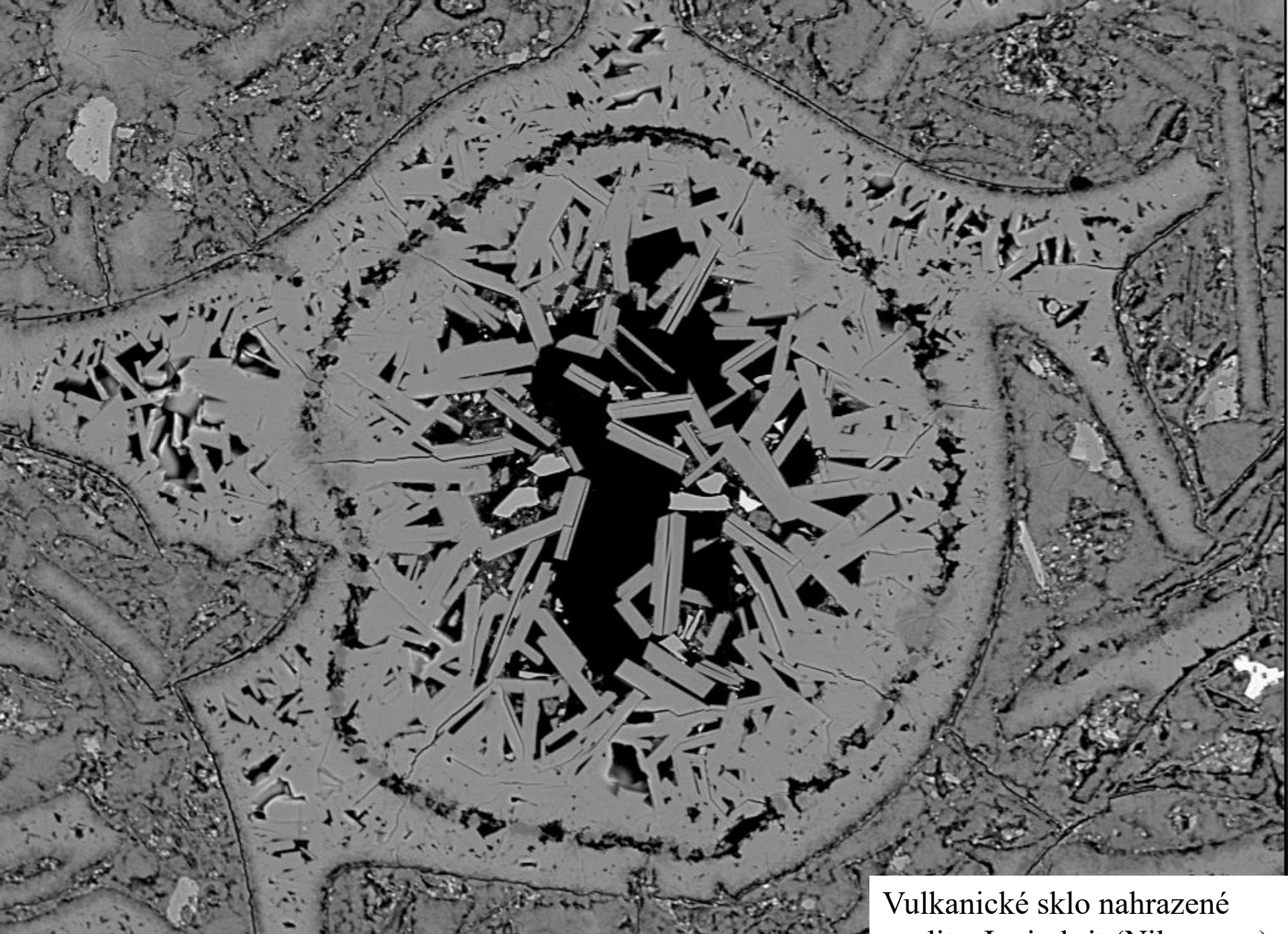
Increasing Temperature and Burial Depth





Zeolitizovaný tuf (V. Hrabovec)





Vulkanické sklo nahrazené  
zeolity, Ignimbrit (Nikaragua)

200.  $\mu\text{m}$  BSE 15.kV



# Typy hydrotermálních alterací

## Alunitizace

- přeměna horniny vlivem roztoků bohatých na  $\text{SO}_4^{2-}$
- vedle síranu alunitu se tvoří křemen, opál a jílové minerály většinou hlavně na úkor živců
- v horninách s vysokým obsahem Ca vzniká sádrovec nebo anhydrit

## Argilitizace

- přeměna sedimentů na jílové minerály
- typickým příkladem je kaolinitizace živců

## Bastitizace

- přeměna jiných tmavých minerálů než olivínu na minerály serpentínové skupiny (pyroxeny, amfiboly a flogopity)

## Baueritizace

- přeměna způsobující uvolnění železa z biotitu
- odbarvený biotit se podobá muskovitu a trhliny jsou lemovány limonitem

## Epidotizace

- epidot (zoisit nebo klinozoisit) vzniká na úkor jiných minerálů (plagioklasů a amfibolu)

## Chloritizace

- chloritizace postihuje tmavé minerály, (především biotitu, amfibolu, pyroxenu a granátu, nebo sklo).



## Propylitizace

- propylitizace postihuje vulkanické a vulkanoklastické horniny
- hydrotermální přeměna tmavých minerálů za vzniku sericitu, chloritu, epidotu, zeolitů, kalcitu a kaolinitu
- je doprovázena prokřemeněním a pyritizací

## Saussuritizace

- hydrotermální přeměna postihuje středně bazické a bazické plagioklasy
- vedoucí ke vzniku zoisitu, skapolitu, sericitu, kalcitu, křemene a albitu z anortitu

## Sericitizace

- hydrotermální přeměna živců (draselných i plagioklasů), při které vzniká jemně šupinkatá sericitu

## Serpentinizace

- přeměna olivínu na minerály skupiny serpentinu

## Skapolitizace

- hydrotermálně metasomatická přeměna spojená s přínosem roztoků s chlórem nebo sírany a vedoucí ke vzniku skapolitu

## Steatitizace (talkizace)

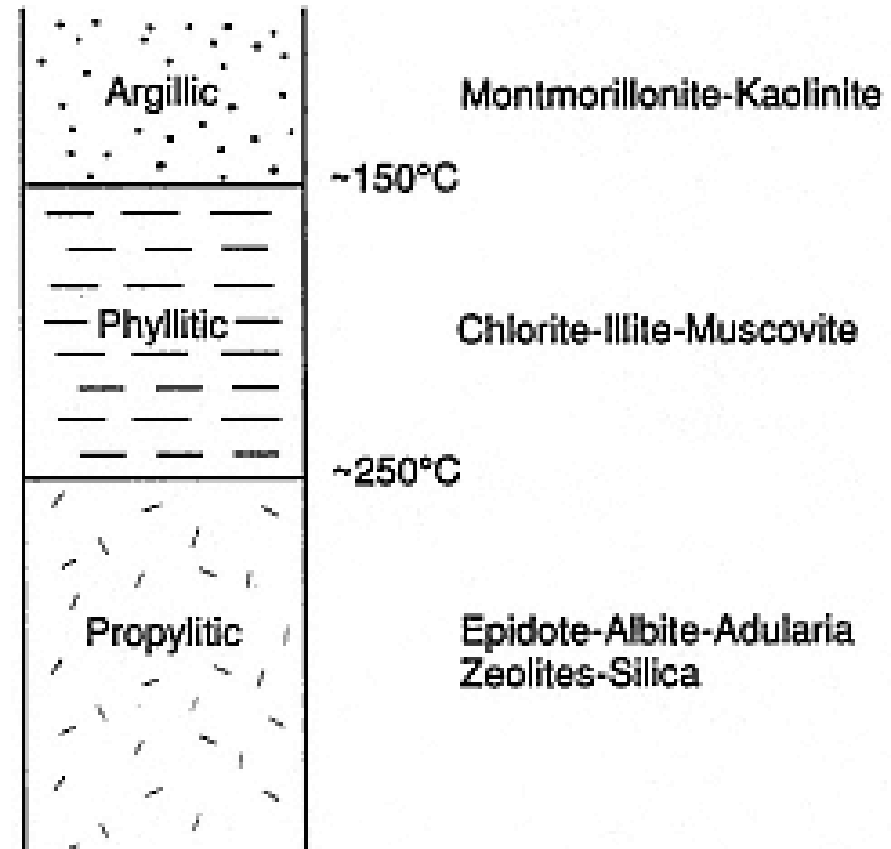
- přeměna tmavých minerálů na mastek (olivínu, pyroxenu, amfibolu, chloritu)

## Uralitizace

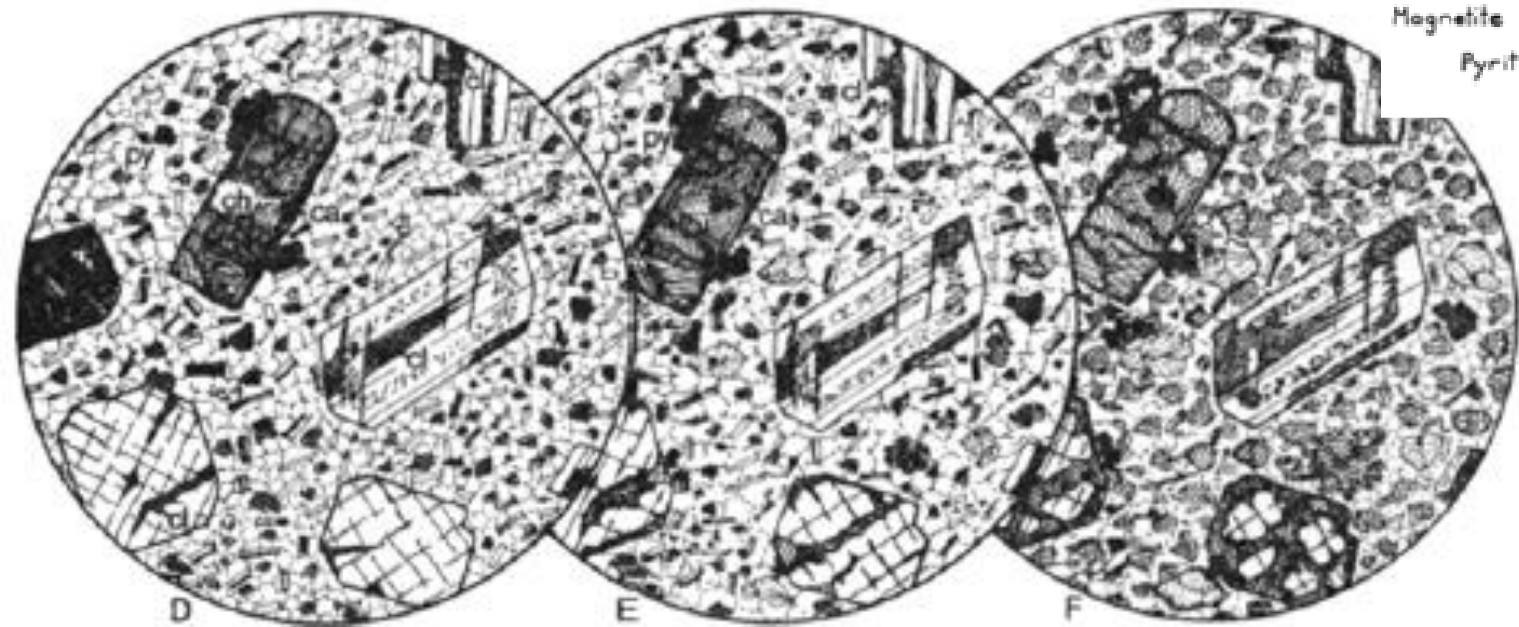
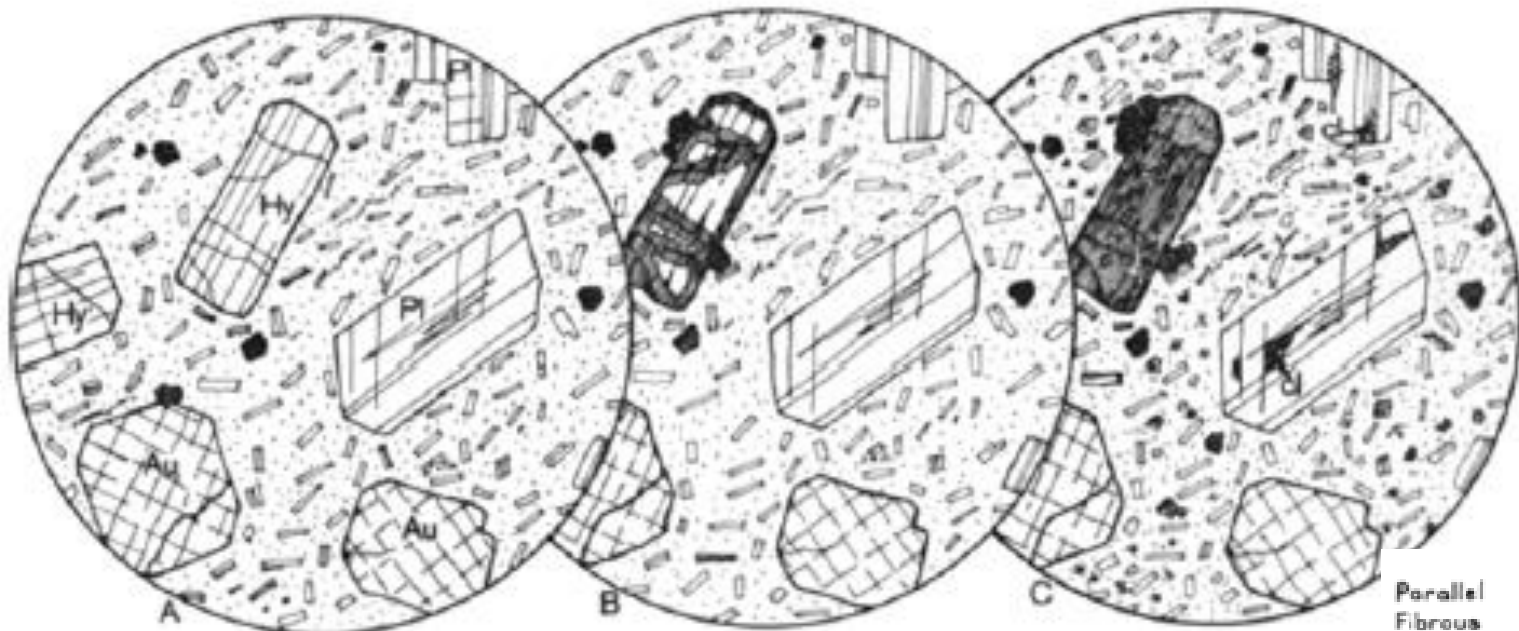
- přeměna pyroxenu v jemně vláknitý světle zelený amfibol (tremolit až aktinolit)

## Zeolitizace

- hydrotermální přeměna, při níž jsou původní minerály nahrazovány zeolity







Parallel  
Fibrous  
Chlorite

Magnetite

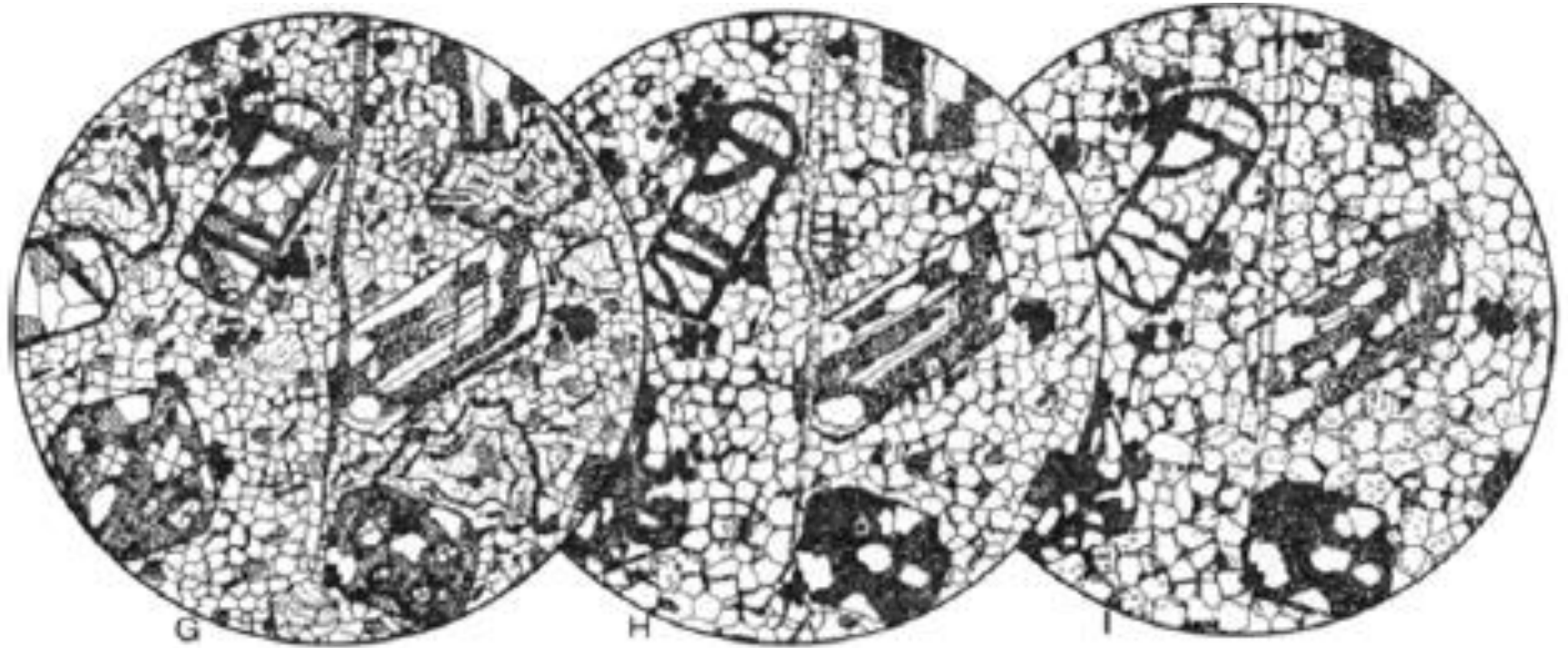
Pyrite

Vermiform  
Chlorite

Calcite







Parallel  
Fibrous  
Chlorite



Magnetite  
Pyrite

Vermiform  
Chlorite

Calcite

1mm

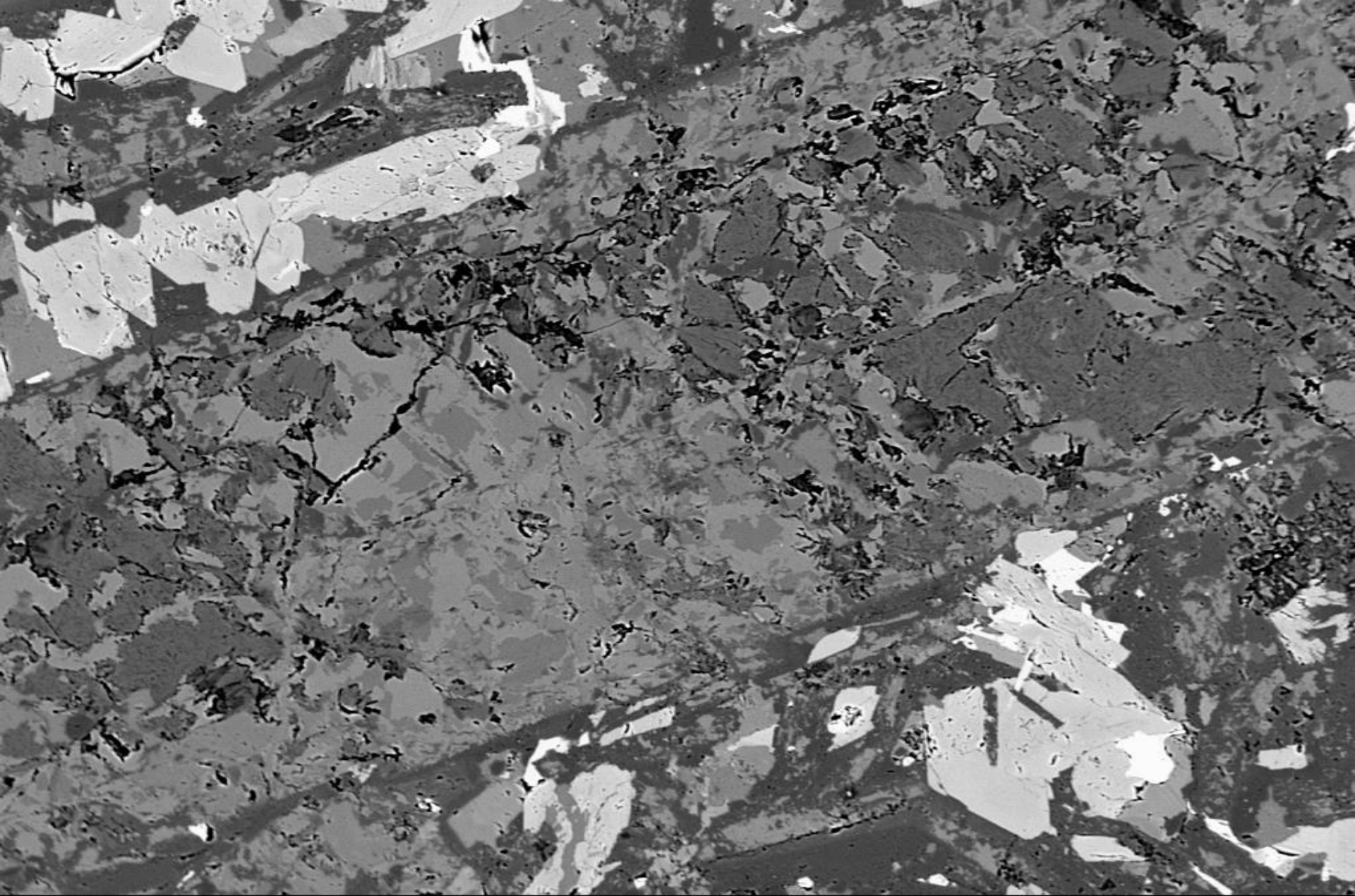
Undulose  
or  
Chalcedonic  
Quartz

Quartz  
Mosaic



Clay Minerals  
after  
Plagioclase

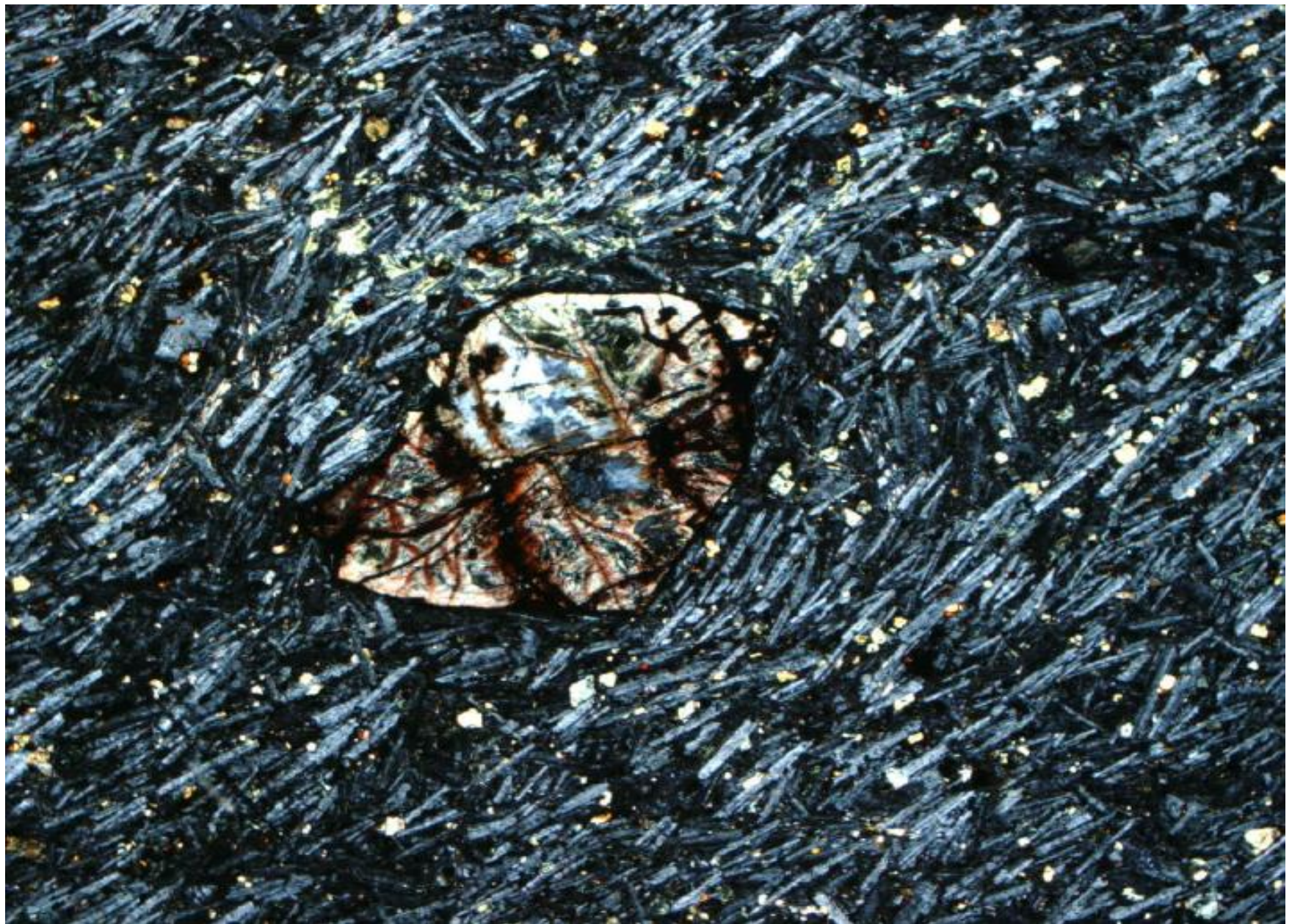
Clay Minerals  
after Pyroxenes



200.  $\mu\text{m}$  BSE 15. kV

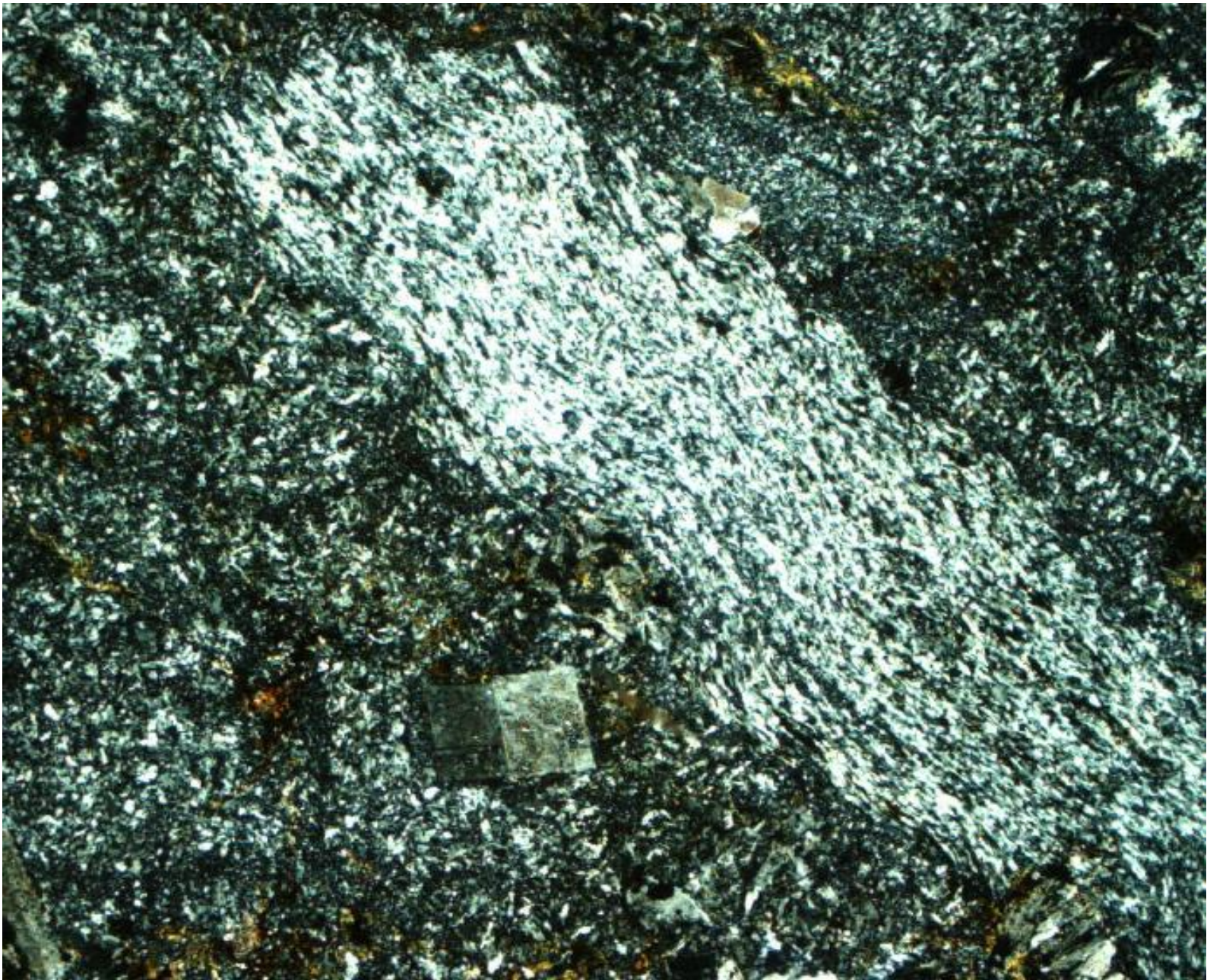
Saussuritizace plagioklasu b bazaltu, brněnský masiv (BB88), BSE snímek .





Serpentinizovaný olivín v bazaltu (Mongolsko K0061, P1DL)

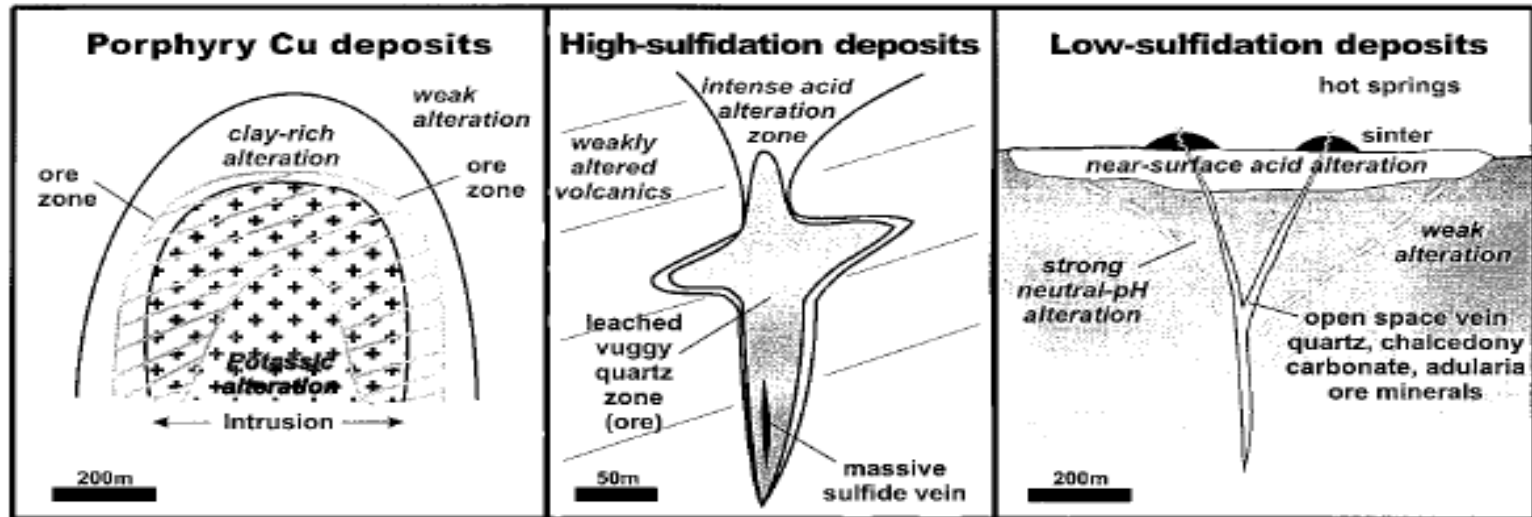
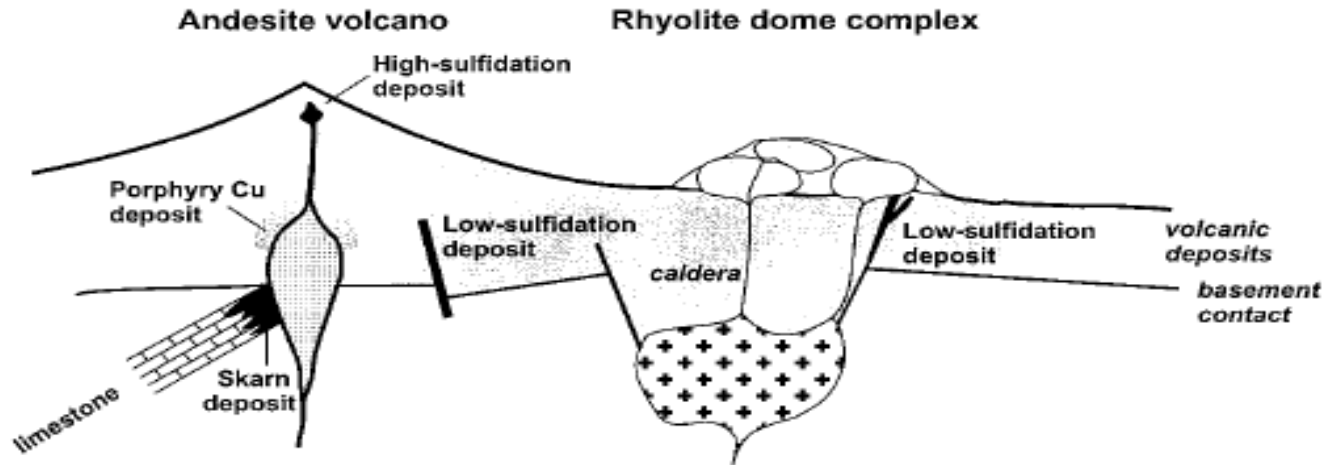




Sericitizovaný a chloritizovaný ryolitový tuf (Mongolsko D0074, P1DL)

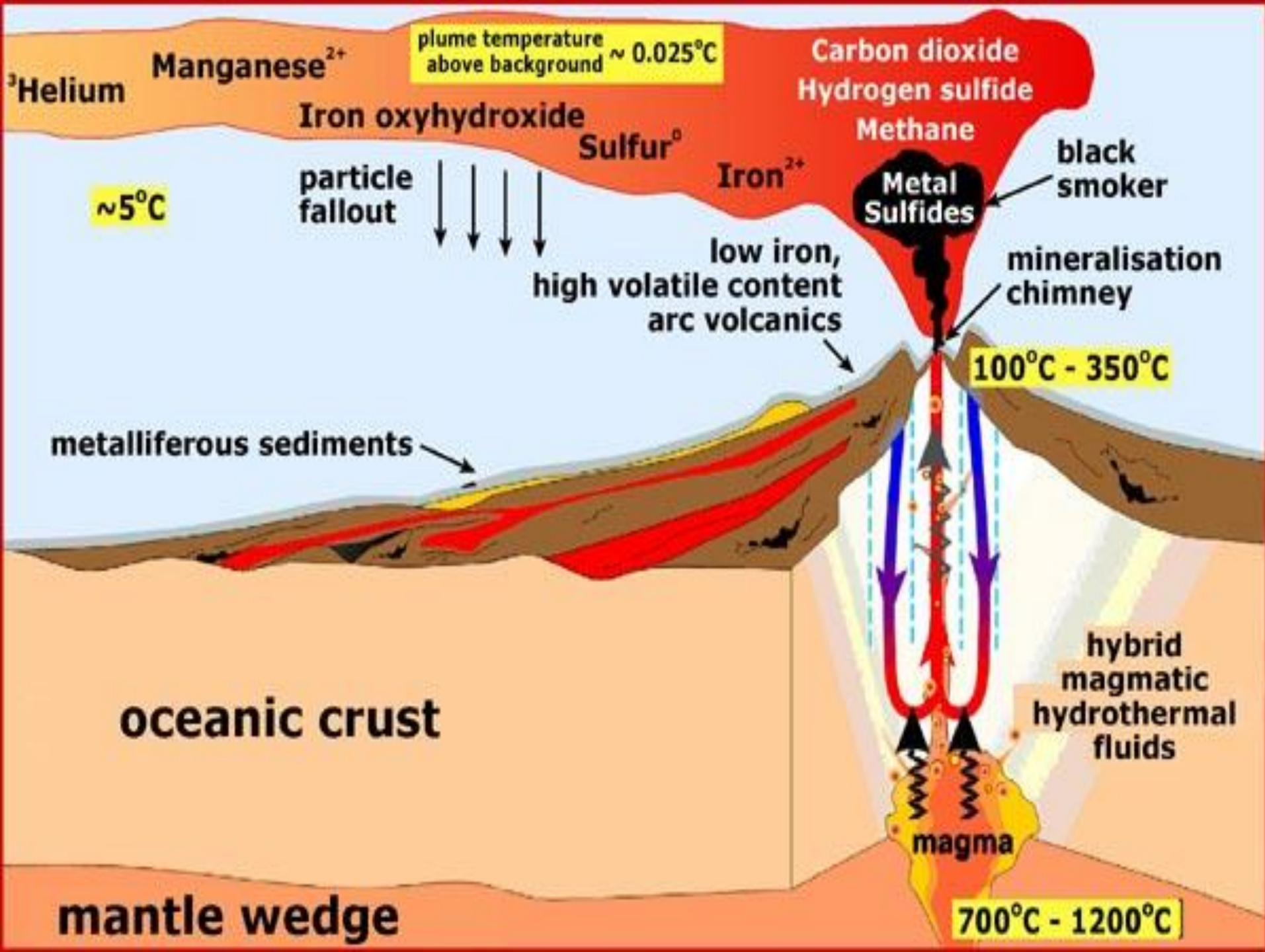


# Ložiska nerostných surovin vázaná na vulkanity

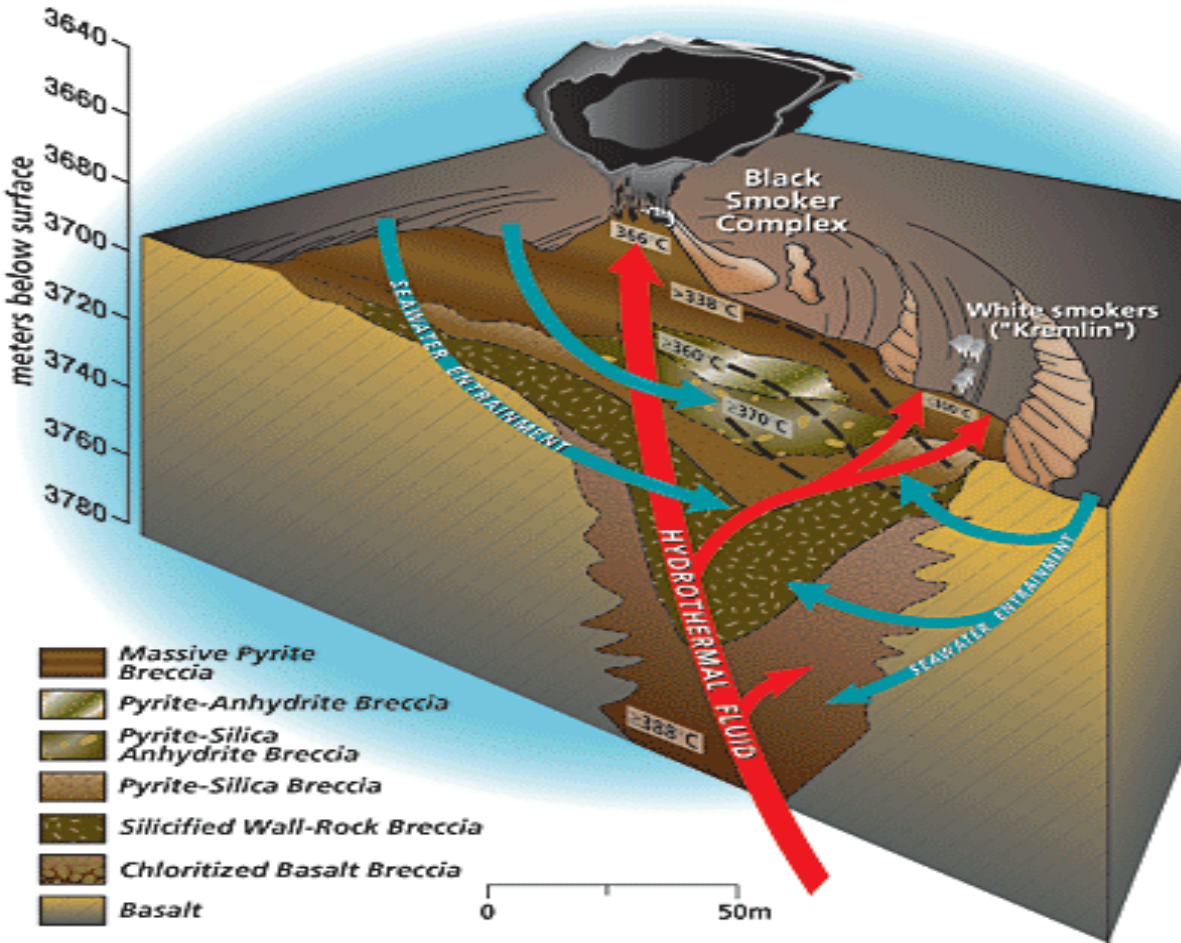


Setting of ore deposits in volcanic arcs (top). The small figures below show details of the most important deposit styles. (Left) Detail of a porphyry copper deposit. The intrusion is overprinted by zones of alteration; potassic (central), then clay-rich, and weak alteration of surrounding rocks. The ore zone overprints the alteration, typically focusing in the potassic zone or, more commonly, forming a shell around the contact between the potassic and clay-rich zones. (Middle) Detail of a high-sulfidation deposit. The vuggy quartz ore zone expands upward with irregular shape determined by permeability of the host volcanic rocks. It narrows at the top with a zone of clay-rich acid alteration. (Right) Detail of a low-sulfidation deposit. The ore is typically in structurally controlled veins, surrounded by neutral pH alteration.

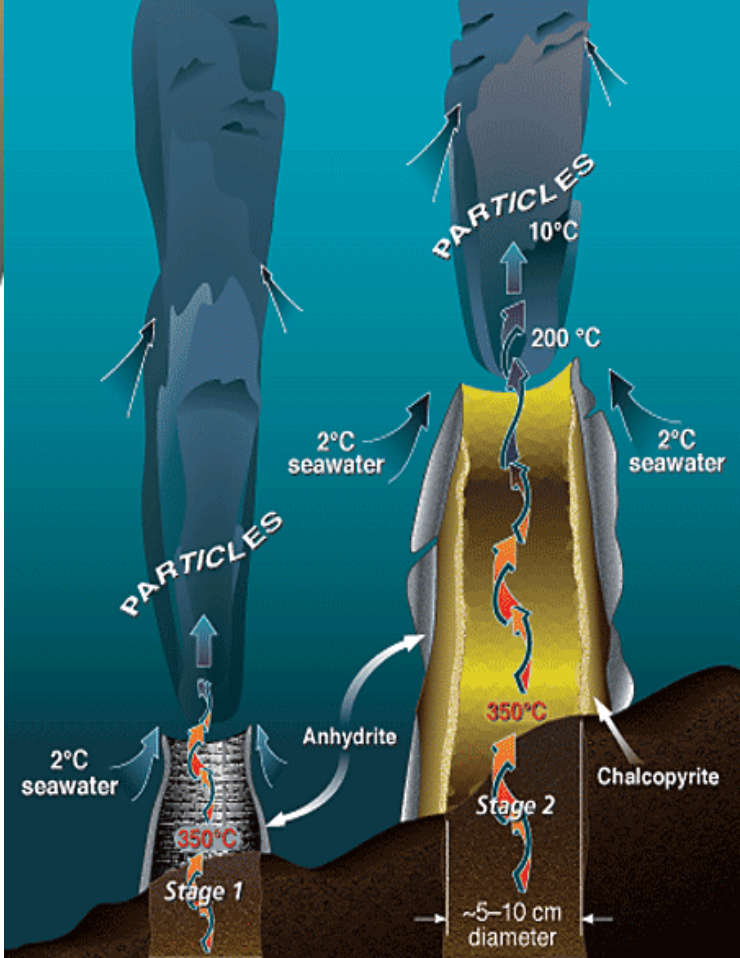




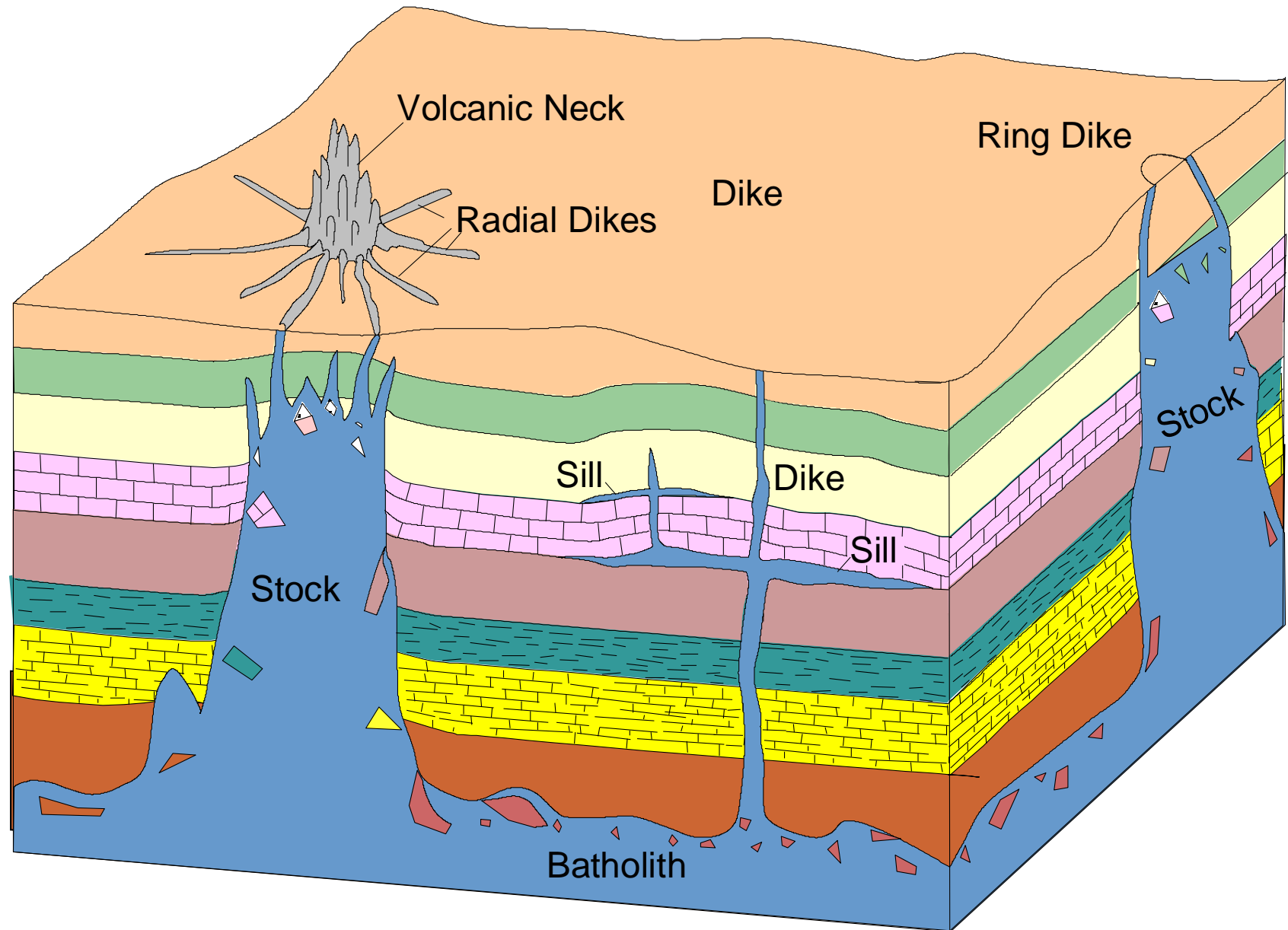




-  Massive Pyrite Breccia
-  Pyrite-Anhydrite Breccia
-  Pyrite-Silica Anhydrite Breccia
-  Pyrite-Silica Breccia
-  Silicified Wall-Rock Breccia
-  Chloritized Basalt Breccia
-  Basalt

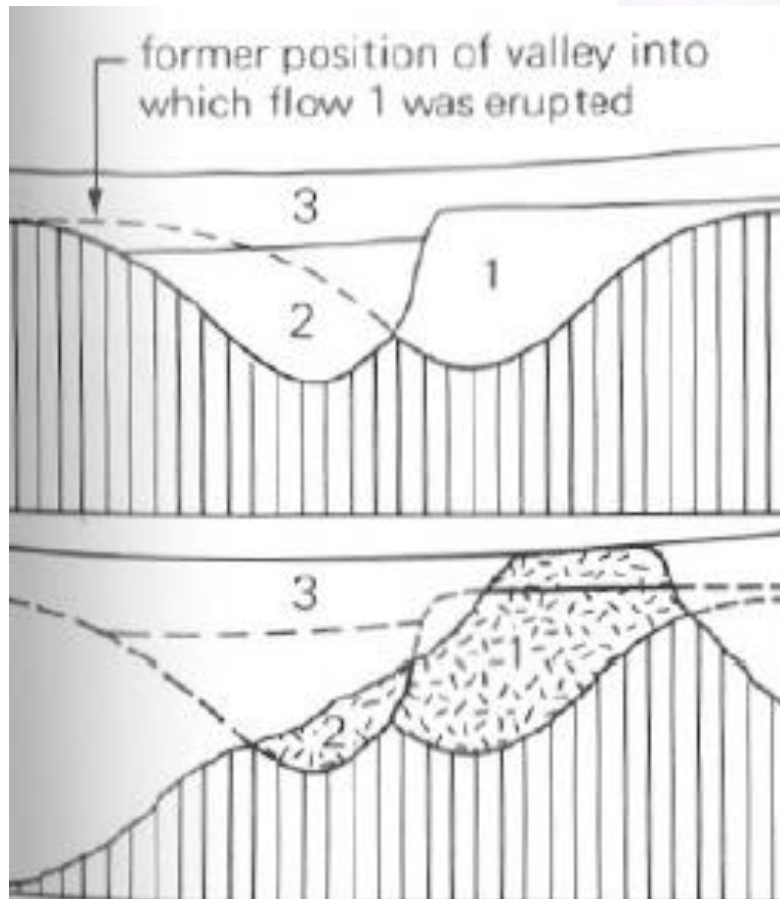
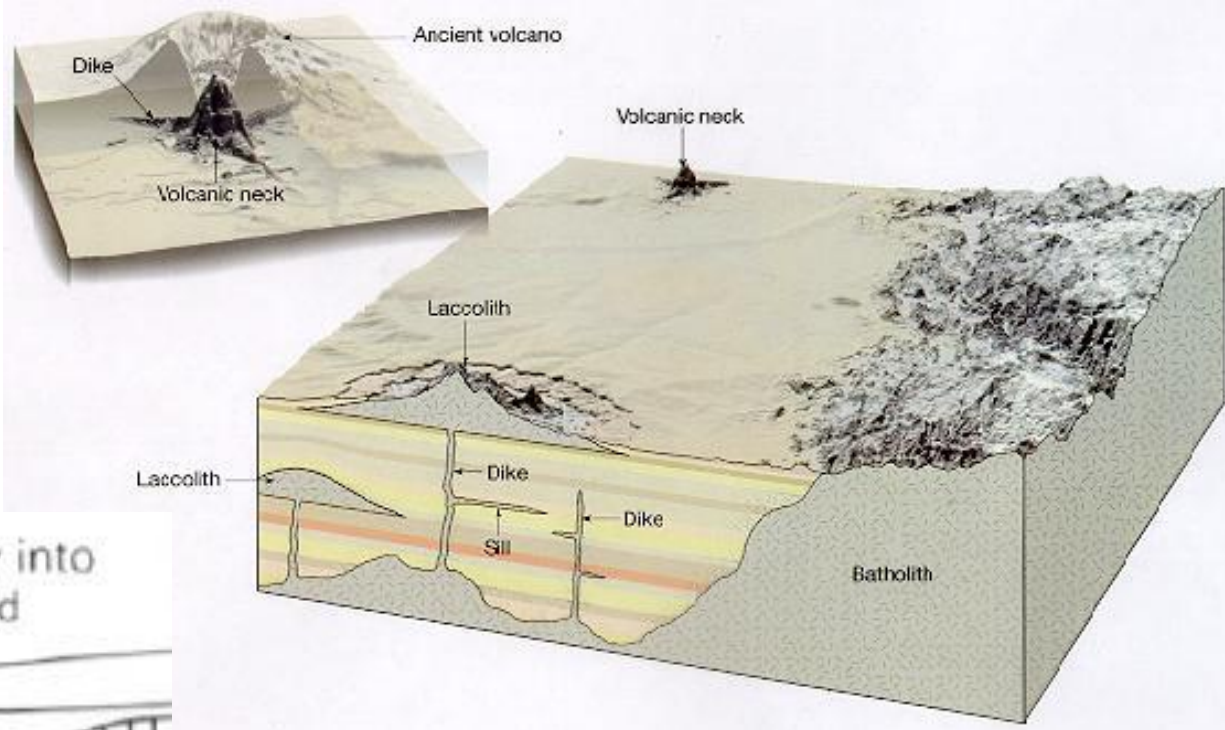


# C. Eroze a vulkanické tvary



Schematický blokdiagram intruzivních těles

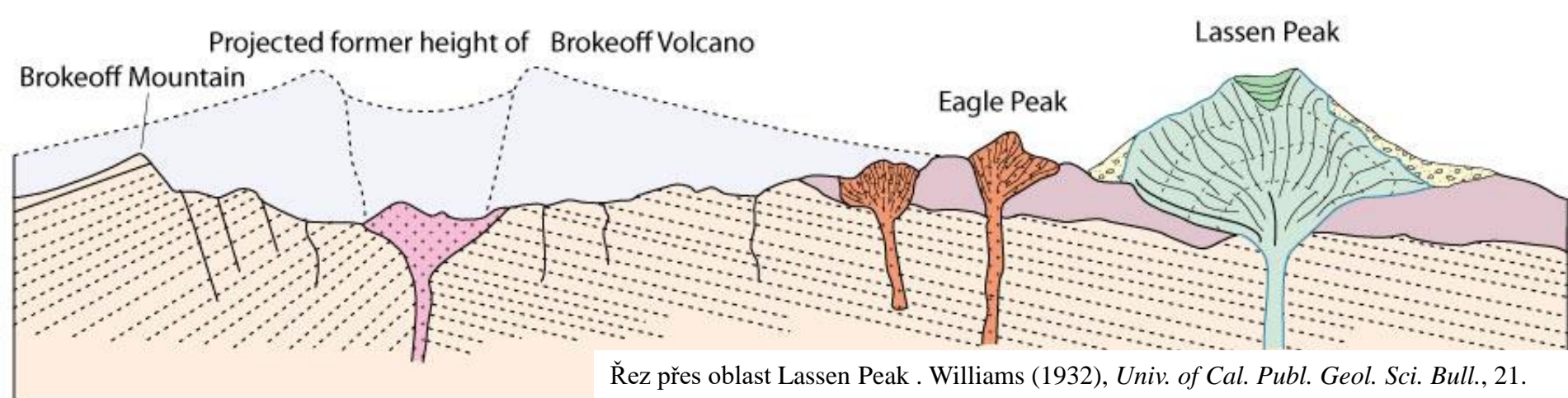




- eroze může značně změnit tvary vulkanických těles
- některé vrstvy ve stratovulkánech bývají erodovány snadněj (tefra) než jiné (láva)
- Velmi odolné vůči zvětrávání jsou přívodní kanály a žíly

Efekt rozdílné eroze lávových proudů 1-3: proud 2 využil erozní kanál v proudu 1 a oba proudy byly přelity proudem 3. Po erozi můžeme mít dojem že proudy po sobě od nejstaršího následují v tomto pořadí 2-1-3





Řez přes oblast Lassen Peak . Williams (1932), *Univ. of Cal. Publ. Geol. Sci. Bull.*, 21.



# Eroze stratovulkánu

A. Aktivní stratovulkán produkuje pyroklastika a lávu,

- tento materiál pokryje okolí sopky

B. Když vulkanická aktivita skončí začíná eroze snižovat výšku kuželu a během několika tisíc let může dojít k odkrytí přírodního kanálu.

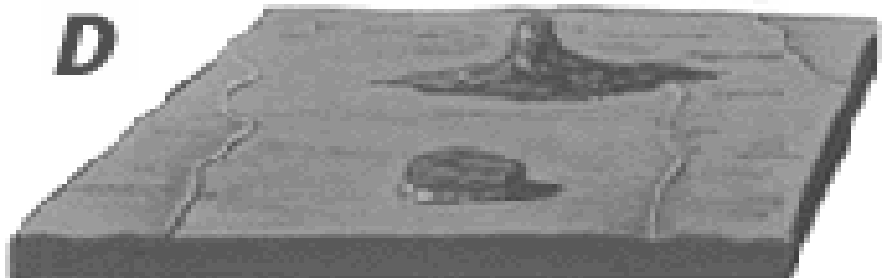
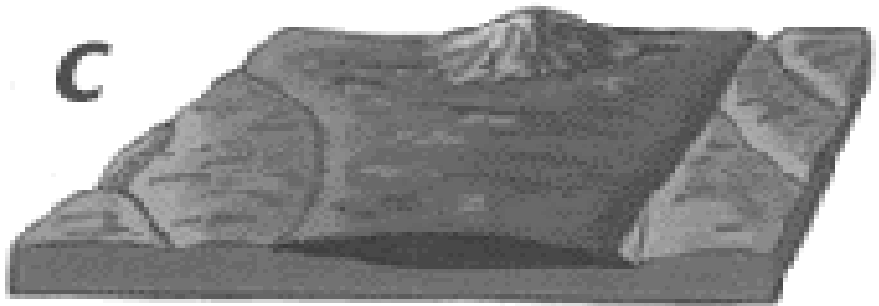
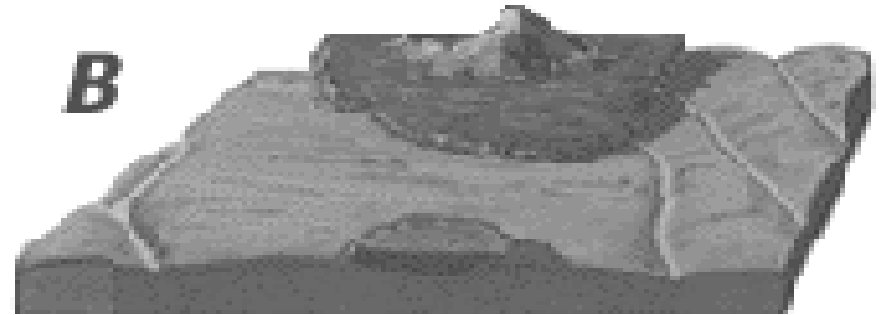
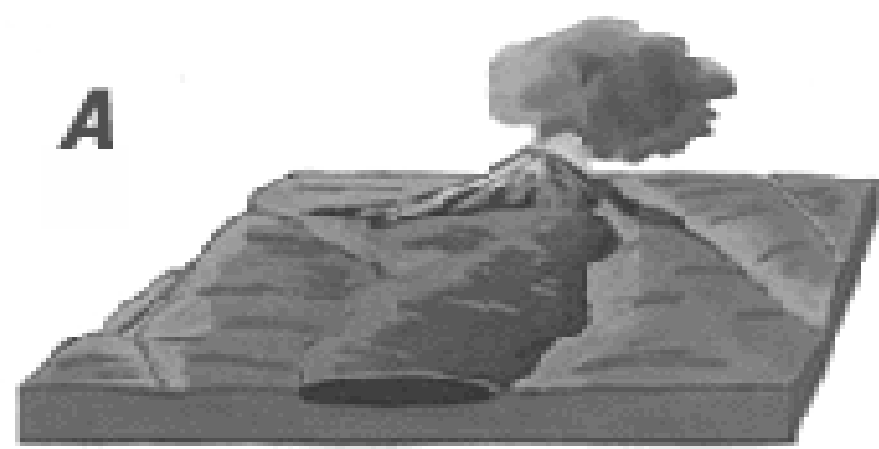
- V důsledku eroze se z původních lávových výlevů stanou izolované stolové hory kryté vrstvou lávy.

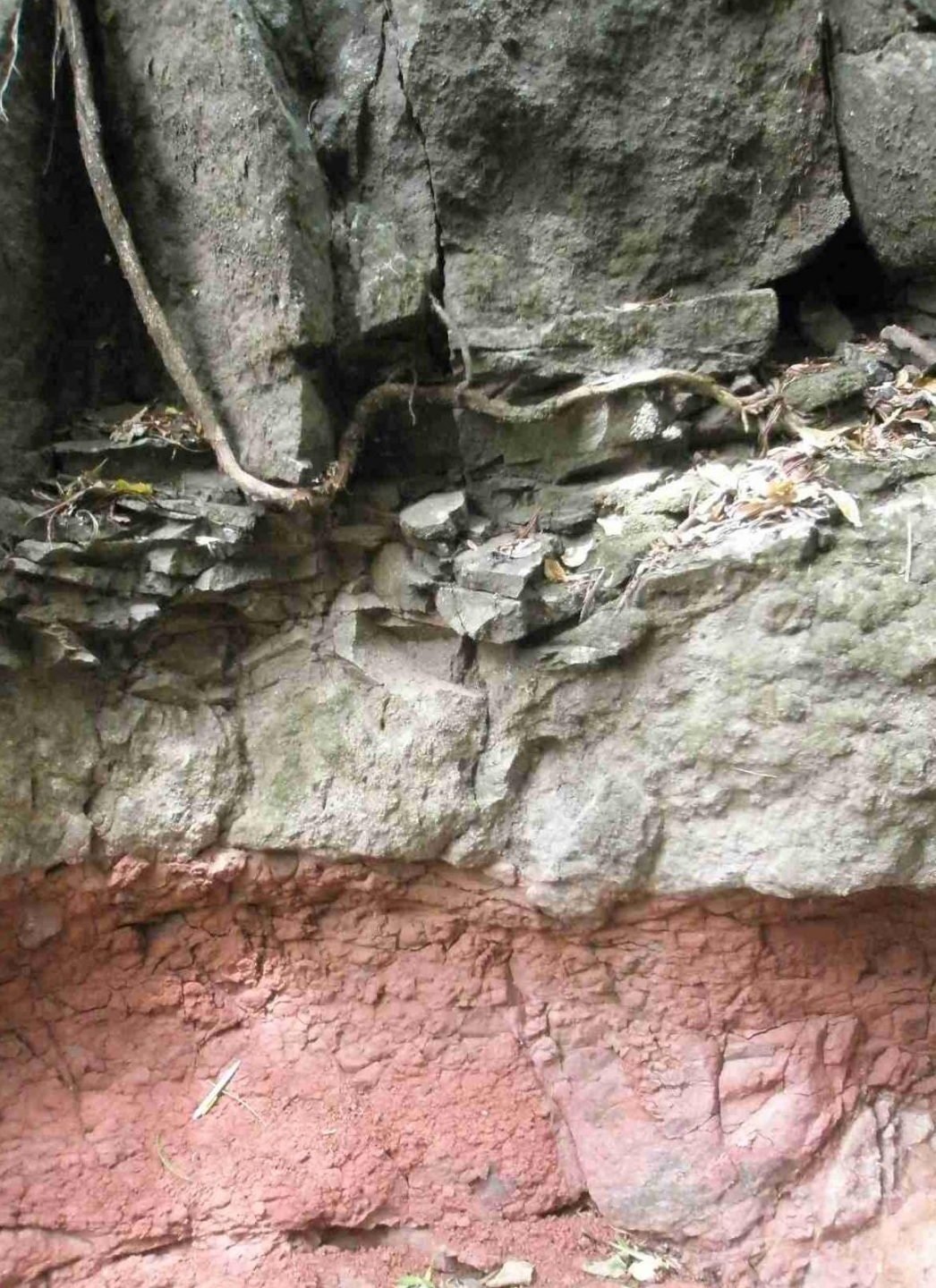
C. Vulkanická aktivita může pokračovat i řadu století.

- Vulkanický kužel roste a kolem vznikají lávová platá. zároveň jsou starší proudy erodovány.

D. Pokračující eroze odnese celý lávový kužel a odhalí původní reliéf.

- Zůstane zachován původní sopouch (volcanic neck) a stolové hory s relikty lávových proudů.





Sesuv intenzivně zvětralých pyroklastických horniny (Nikaragua)

Hranice dvou vulkanických proudů, starší je postížen lateritizací (Nikaragua)





Přívodní dráha vulkánu (Střeleč)





Andělská hora

Vladař



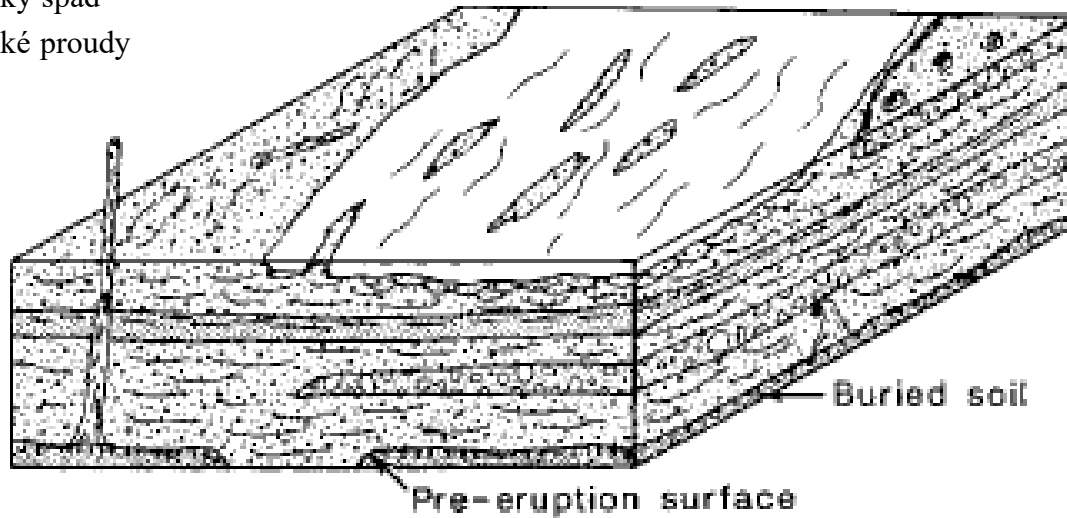


Andezity postižené zvětráváním a lateritizací (Nikaragua)

Diagram znázorňuje rozdíl mezi synerupční a intererupční seimentací v okolí stratovulkánů (SMITH 1991)

## Syneruption:

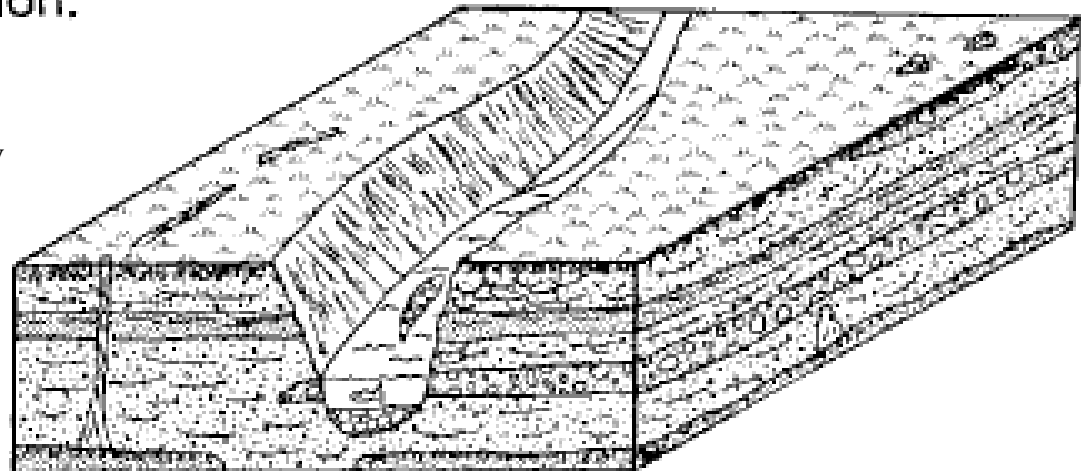
- > lávové proudy
- > pyroklastický spad
- > pyroklastické proudy
- > lahary



Shallow braided stream,  
debris-flow,  
hyperconcentrated-flow  
deposits.

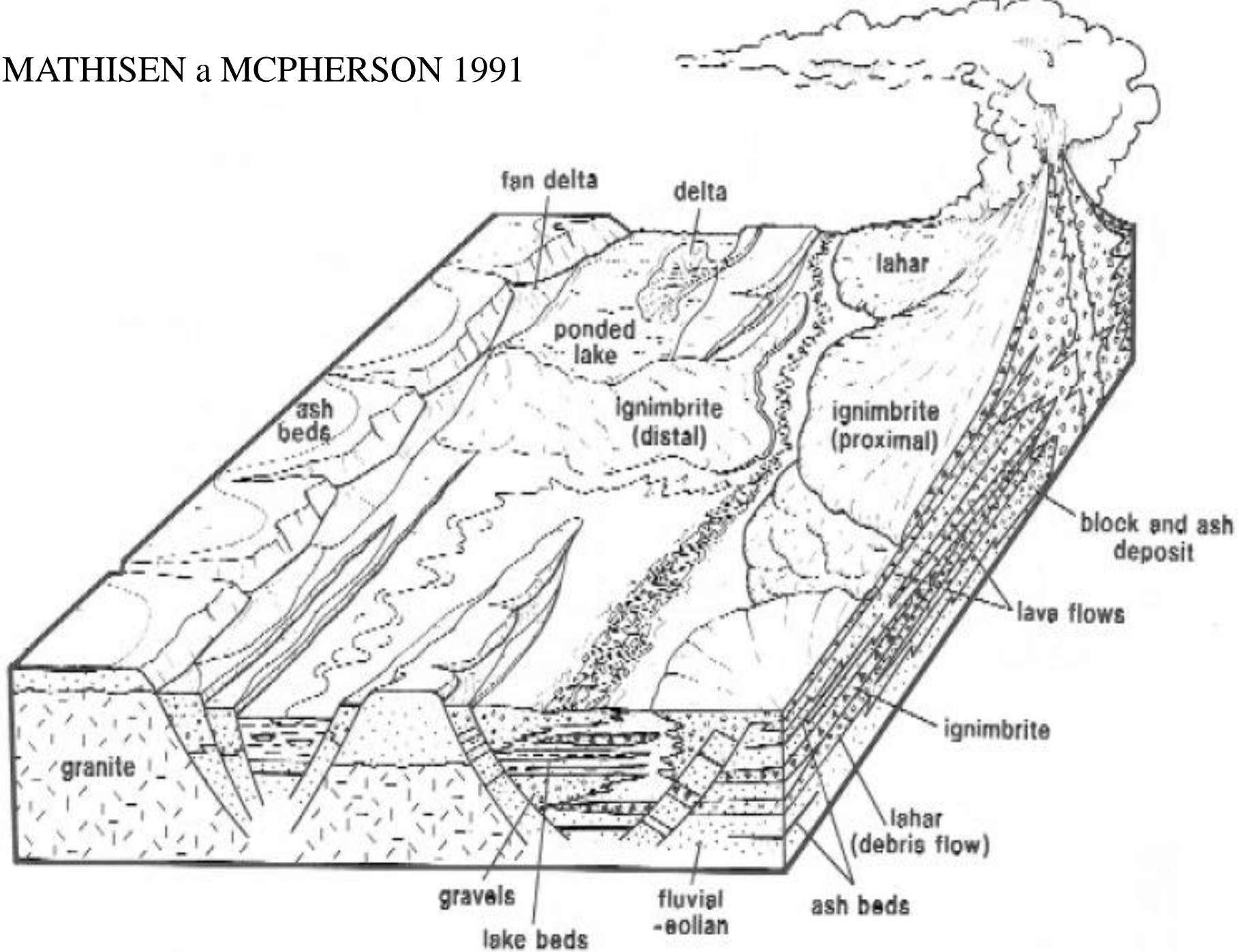
## Inter-eruption:

- > epiklastika
- > říční a jezerní sedimenty
- > lahary





MATHISEN a MCPHERSON 1991





Vulkanický sopouch, Mongolsko





Tektonicky predisponované údolí řeky Malacatoya, Nikaragua



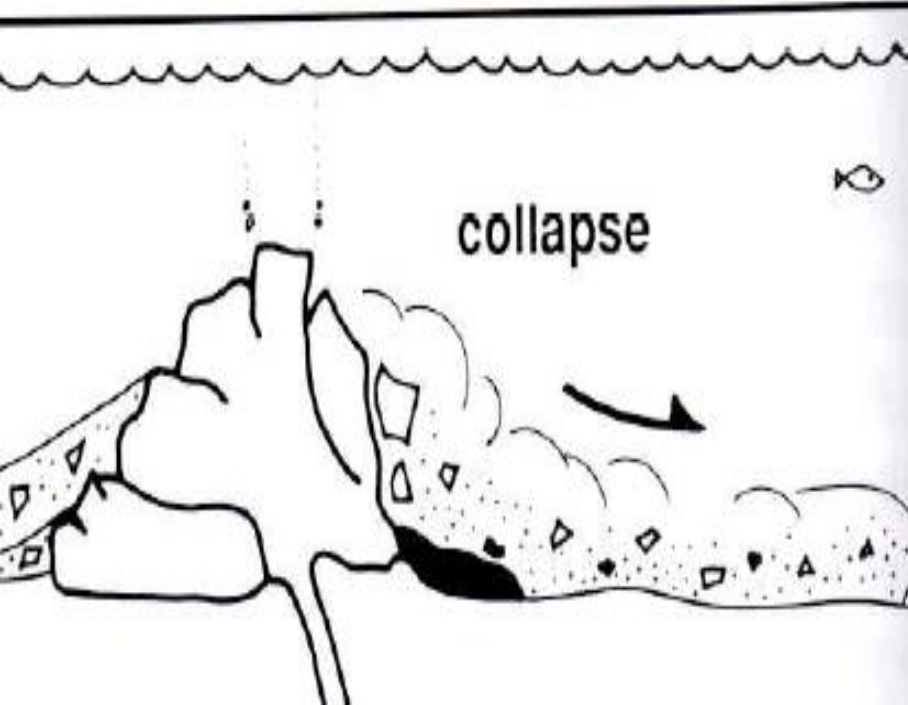
dome complex



volcaniclastic mass-flow deposit with sulfide clasts



collapse



clasts in outcrop

