

# 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 až chladných plynů - fumaroly
2. gejzír
3. termální prameny
4. bahenní sopky









# 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, ale 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



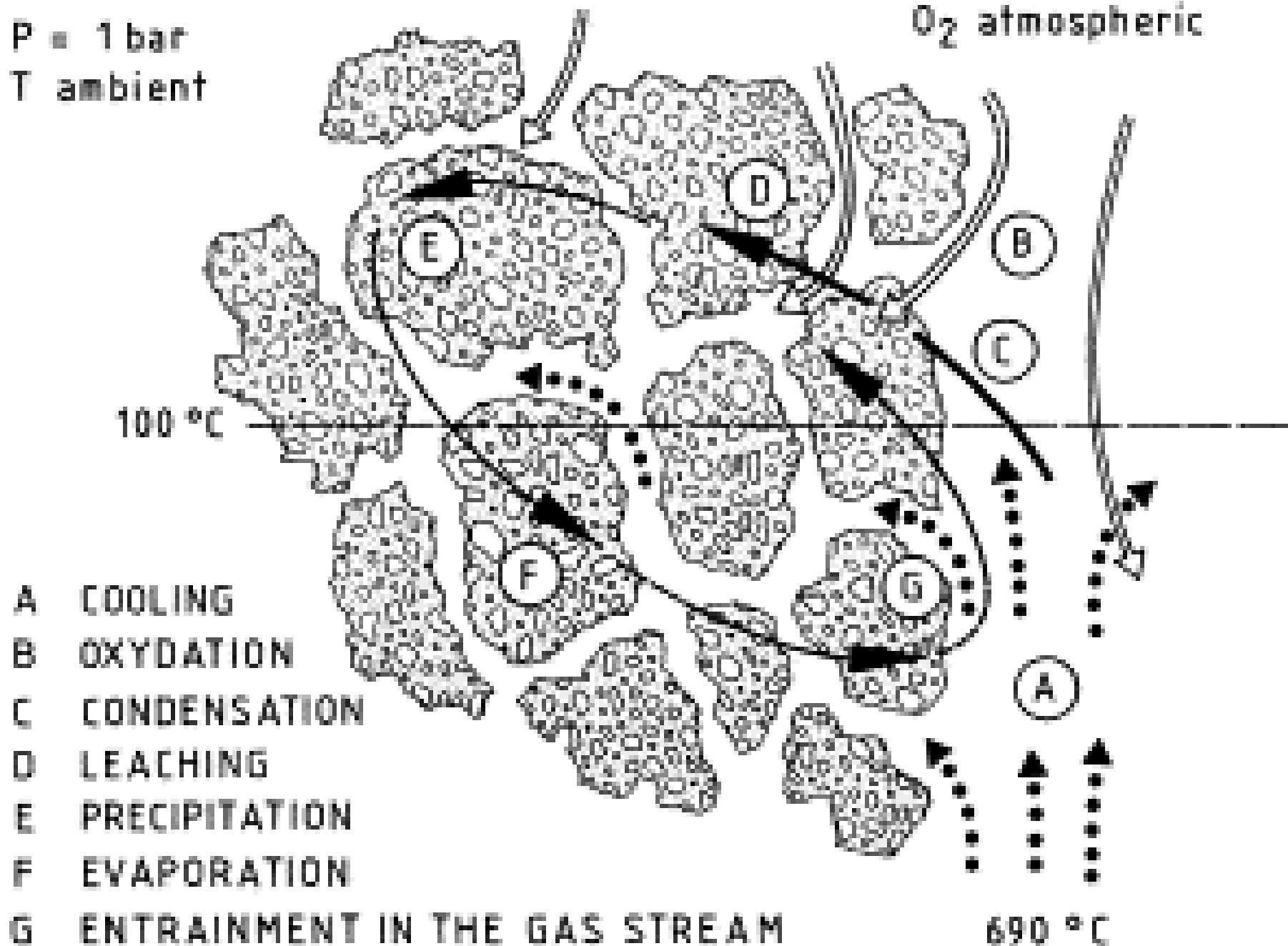


Alterace způsobené výrony horkých plynů – Calimani (Rumunsko), vulkanity se mění na sekundární minerály a na puklinách je síra



P = 1 bar  
T ambient

O<sub>2</sub> atmospheric





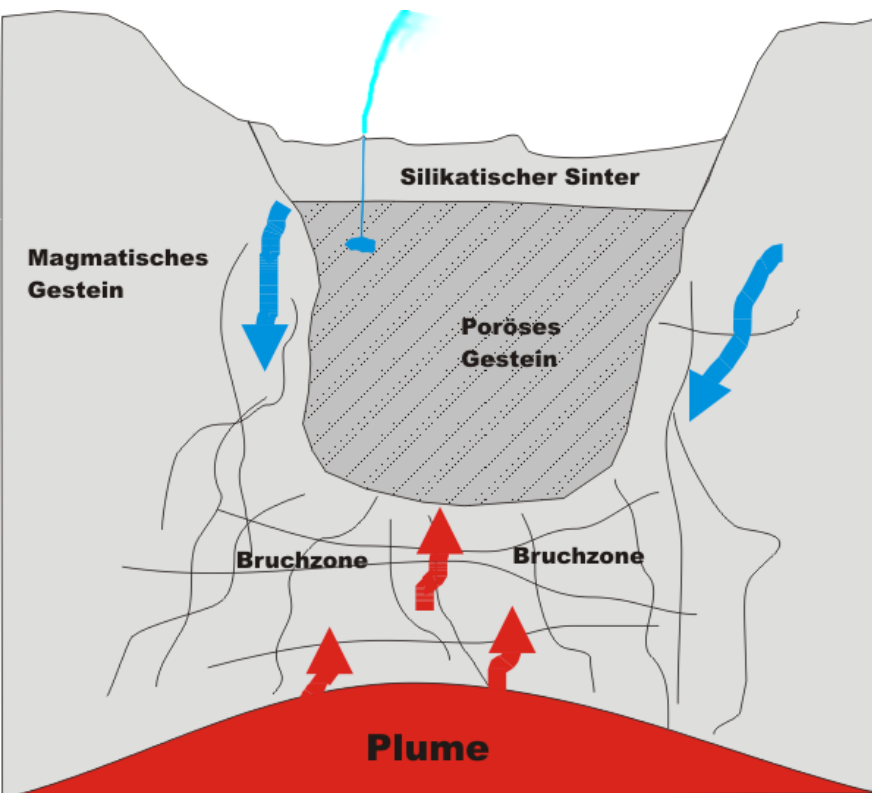


Brekcie silicifikovaných a alterovaných vulkanitů tmelená limonitem – Calimani (Rumunsko)



## 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 sinter se nazývá gejzirit



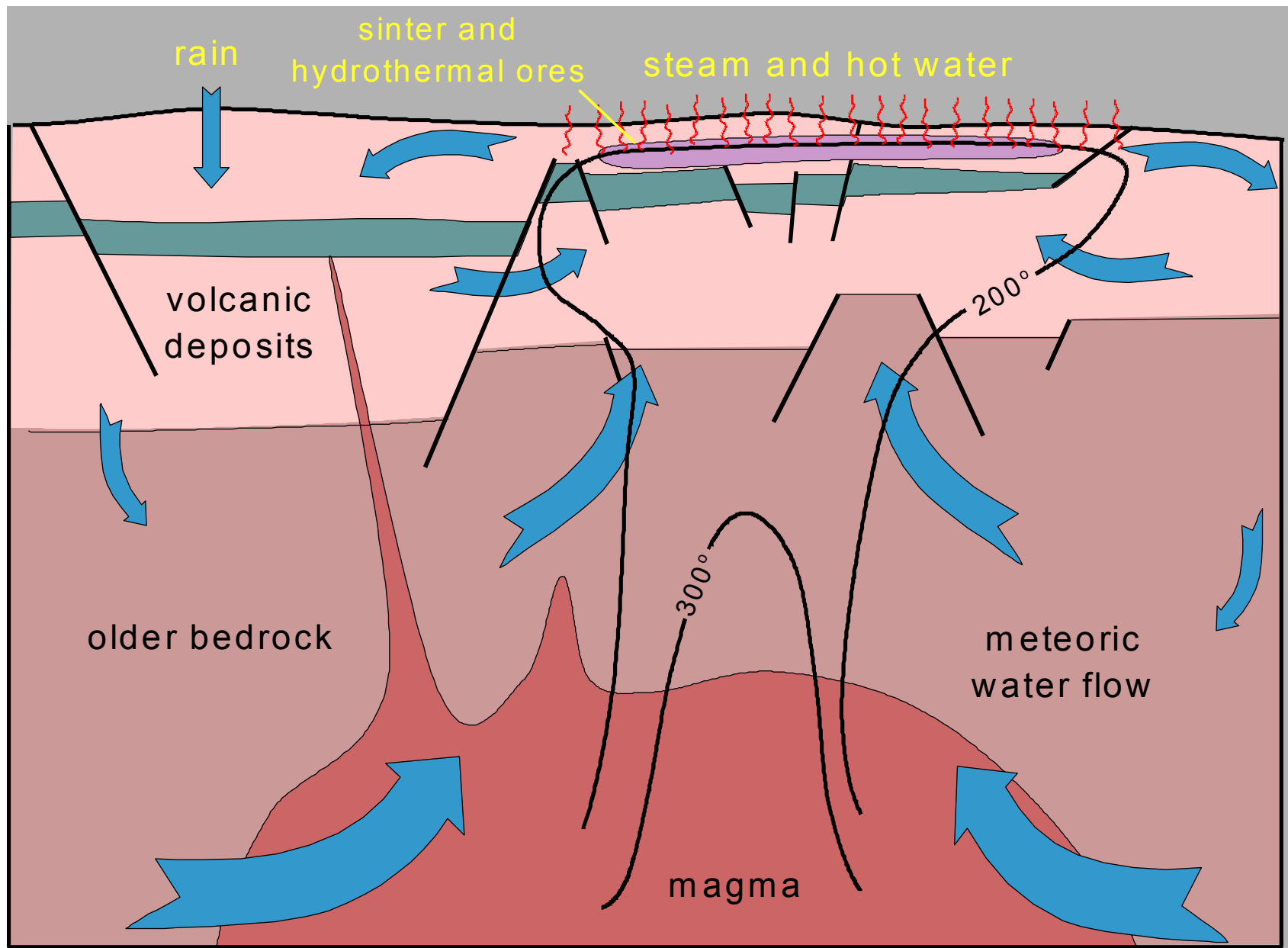


### 3) Termální prameny (horké prameny)

- 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 CO<sub>2</sub> 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 bílí kuřáci)
- vlivem poklesu teploty dochází ke srážení nasycené vody, minerální složky vytvářejí pevná tělesa, která tvoří různé komíny, terasy, či valy

### • **Travertin**

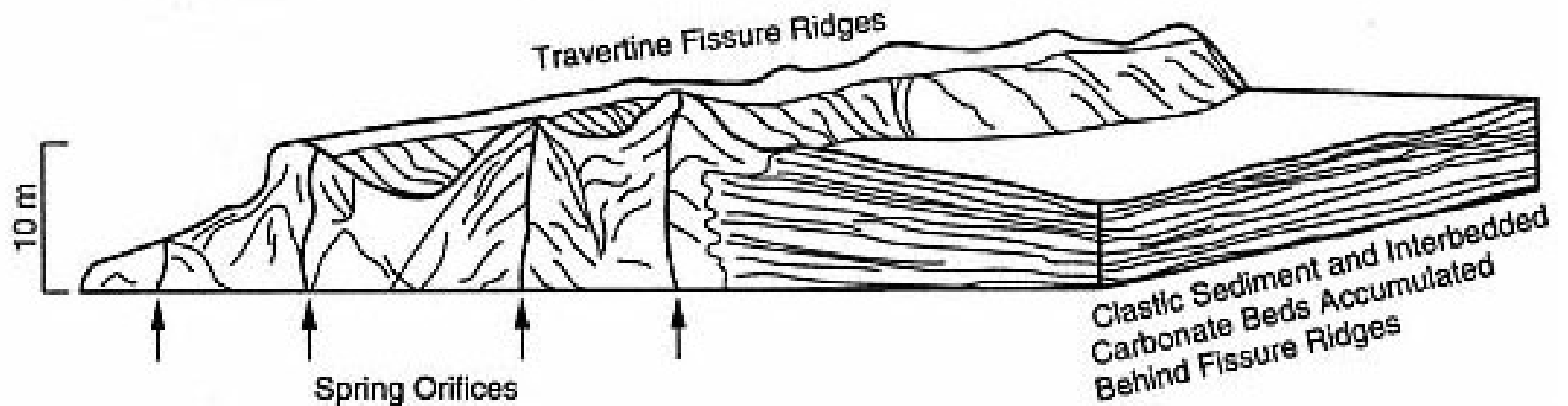
- je chemická usazená hornina vznikající na pevnině z horkých pramenů
- je pórovitý a tvořená kalcitem vzácně také aragonitem
- může obsahovat jílu a klastický křemen
- někdy fosilní zbytky



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



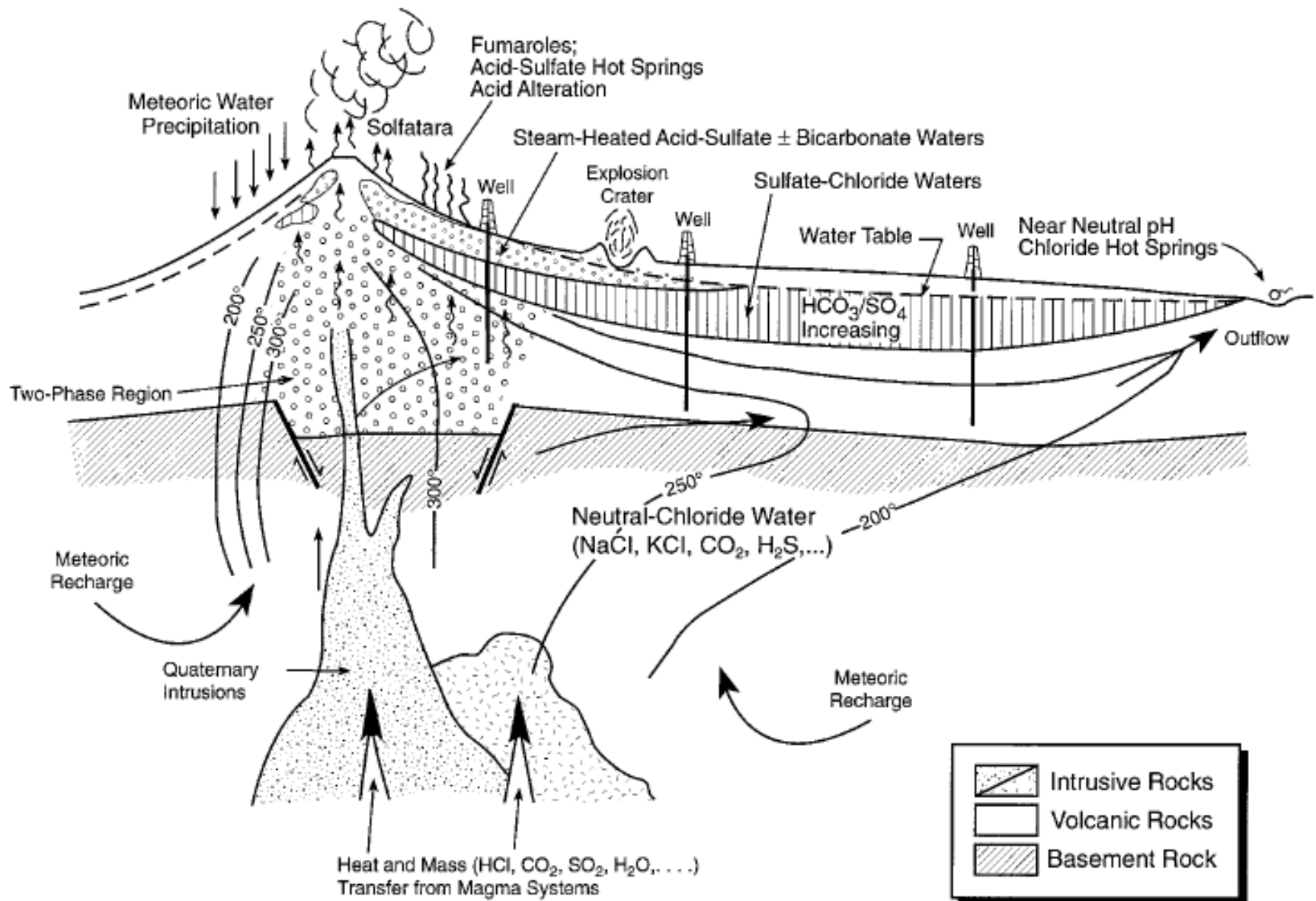
## 4. Bahenní sopky

- plyny a pára probublávají bahnem



**Santa Clara, Nikaragua**

# B. Hydrotermální alterace

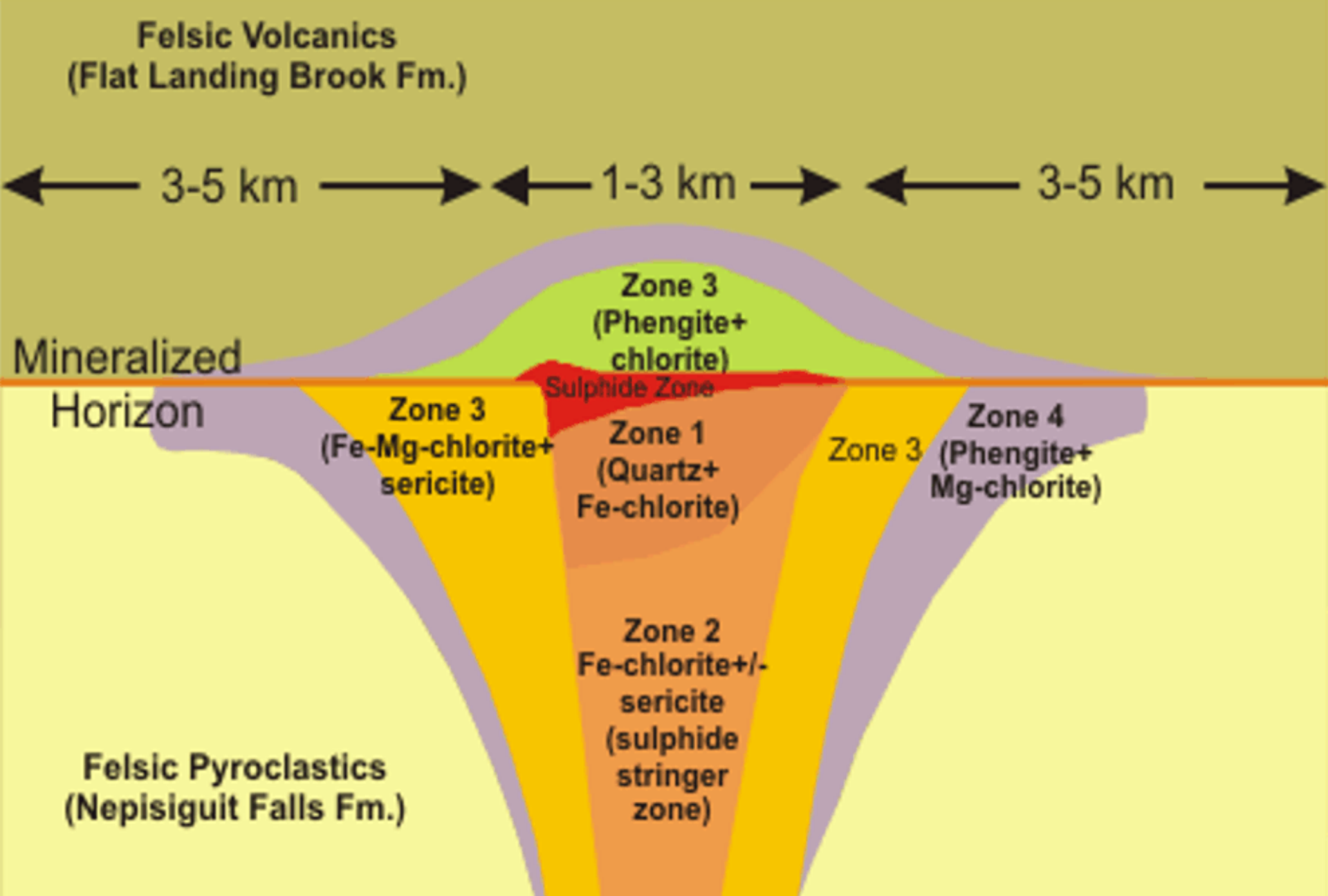






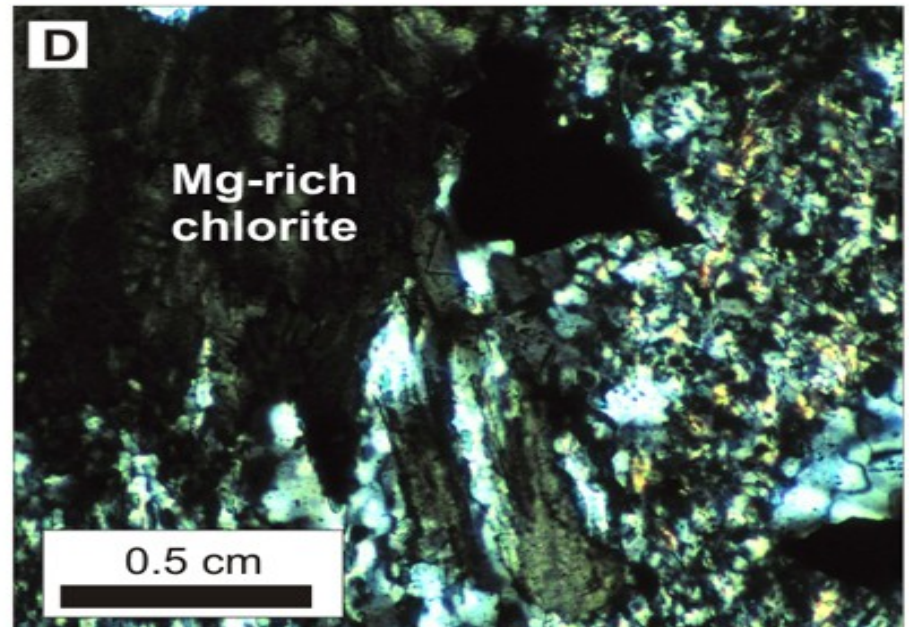
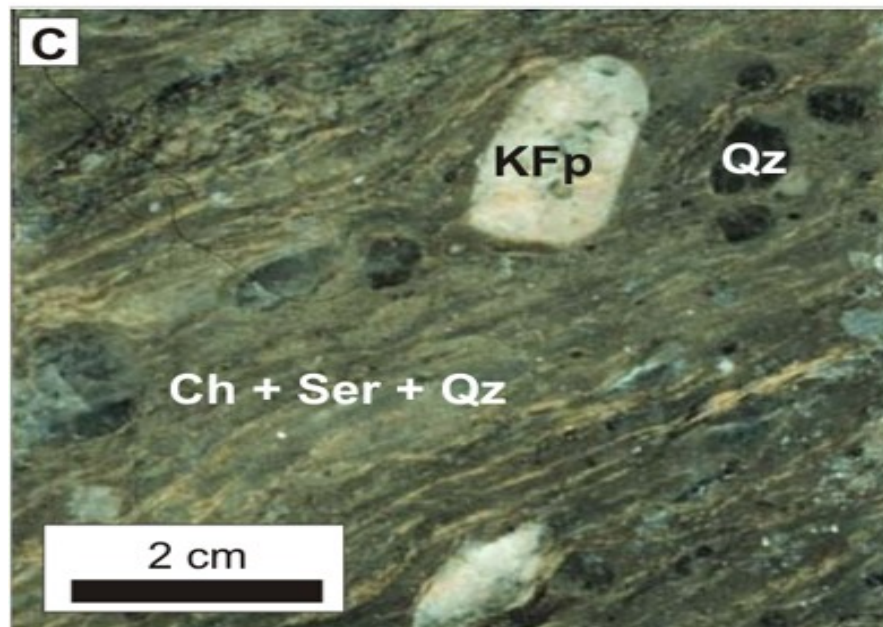
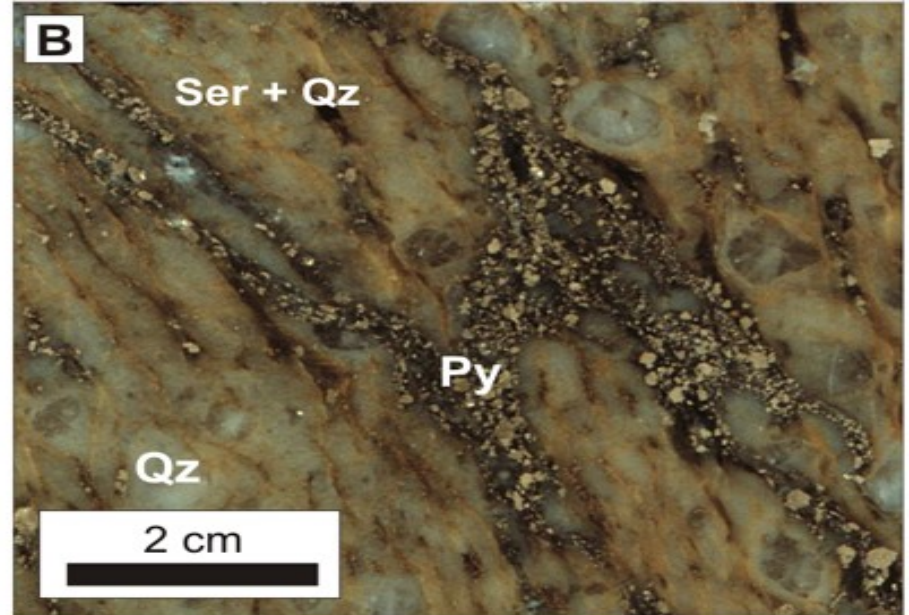
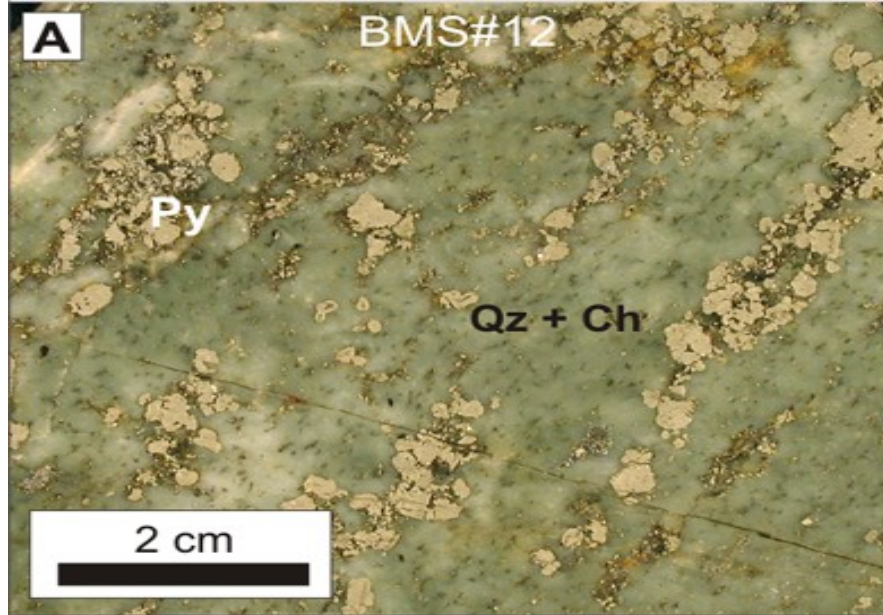
Hydrotermálně alterované pyroklastické horniny (Vulkano)





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

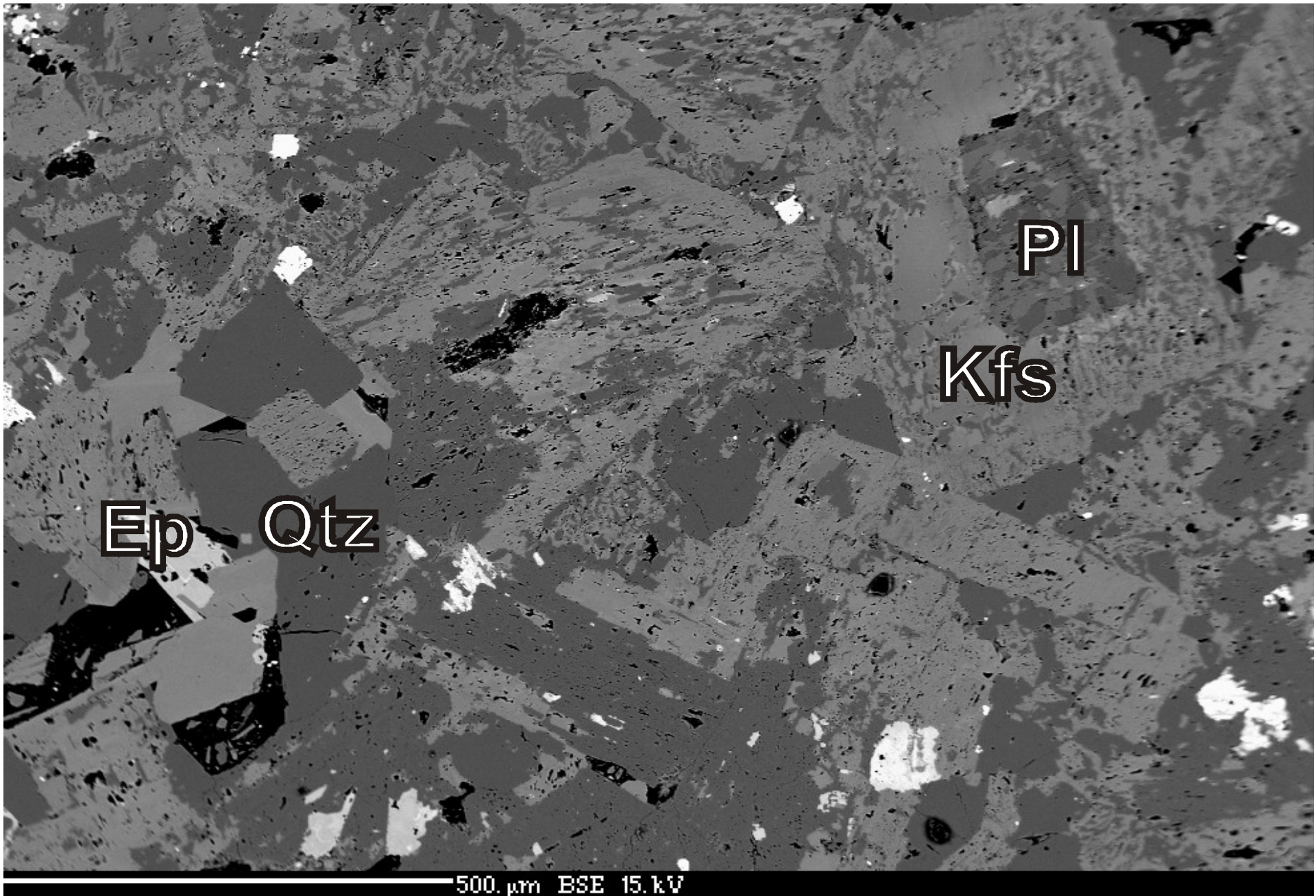




Hydrotermální alterace na ložisku Brunswick : A. silicifikace (Qz) a chloritizace (Ch) původního sedimentu vznikla kolem hydrotermálních akumulací pyritu (Py). B. Sericitizace (Ser) a silicifikace (Qz) pyroklastik kolem žilek s pyritem (Py), živec je zničen v důsledku hydrotermální alterace. C. Původní 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 .



- 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

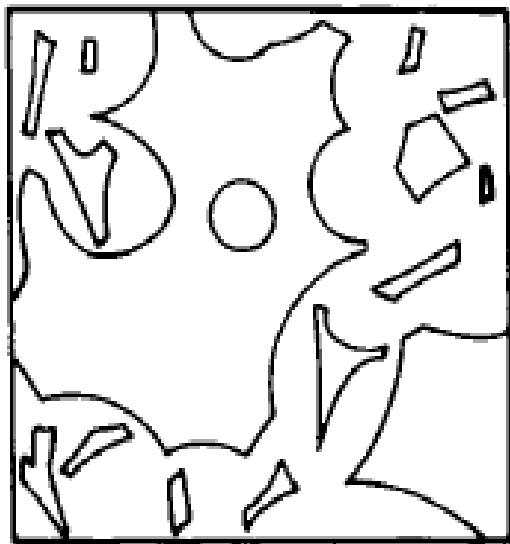
**Ca Plag** → jíly, světlá slída, hydratované Ca-Al silikáty, epidot, prehnit, pumpellyit, zeolity



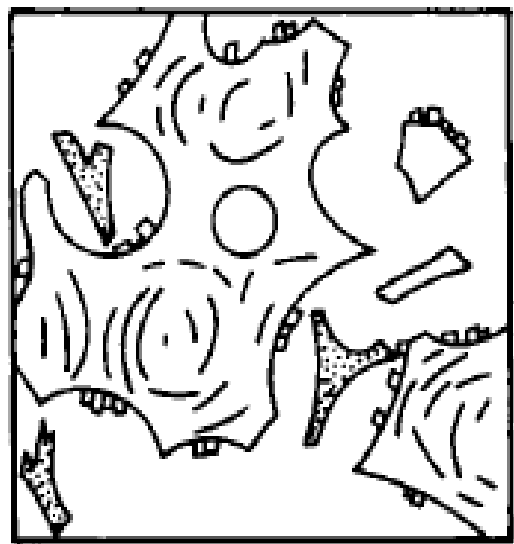
oxidace pyroklastik, Etna



Rozpad vulkanického skla podle Fishera a Schminckeho (1984)



A



B



Fresh glass



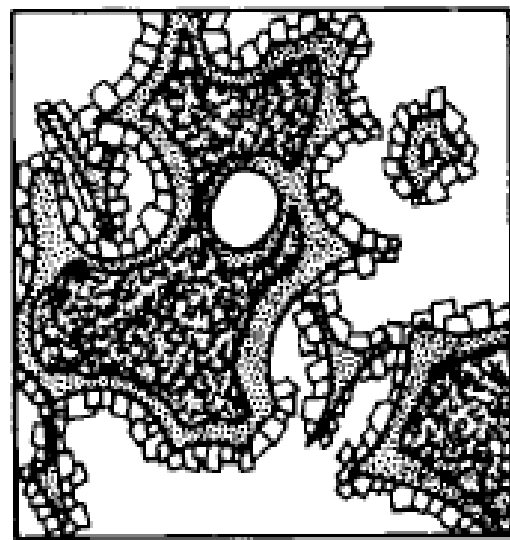
Hydrated and oxidized glass with perlitic cracks



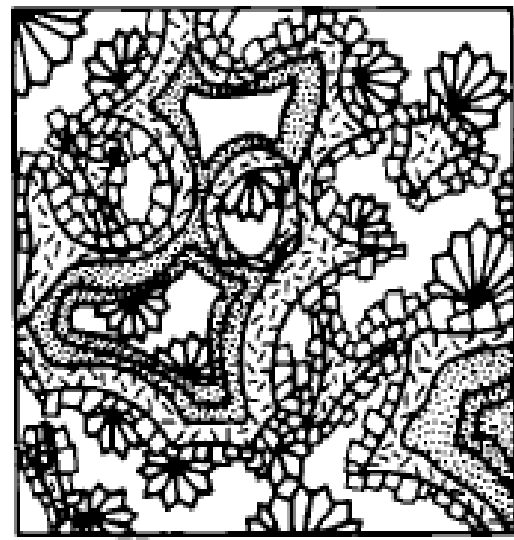
Highly altered glass



"Palagonite" bands



C



D



Birefringent "palagonite" bands



Chabazite



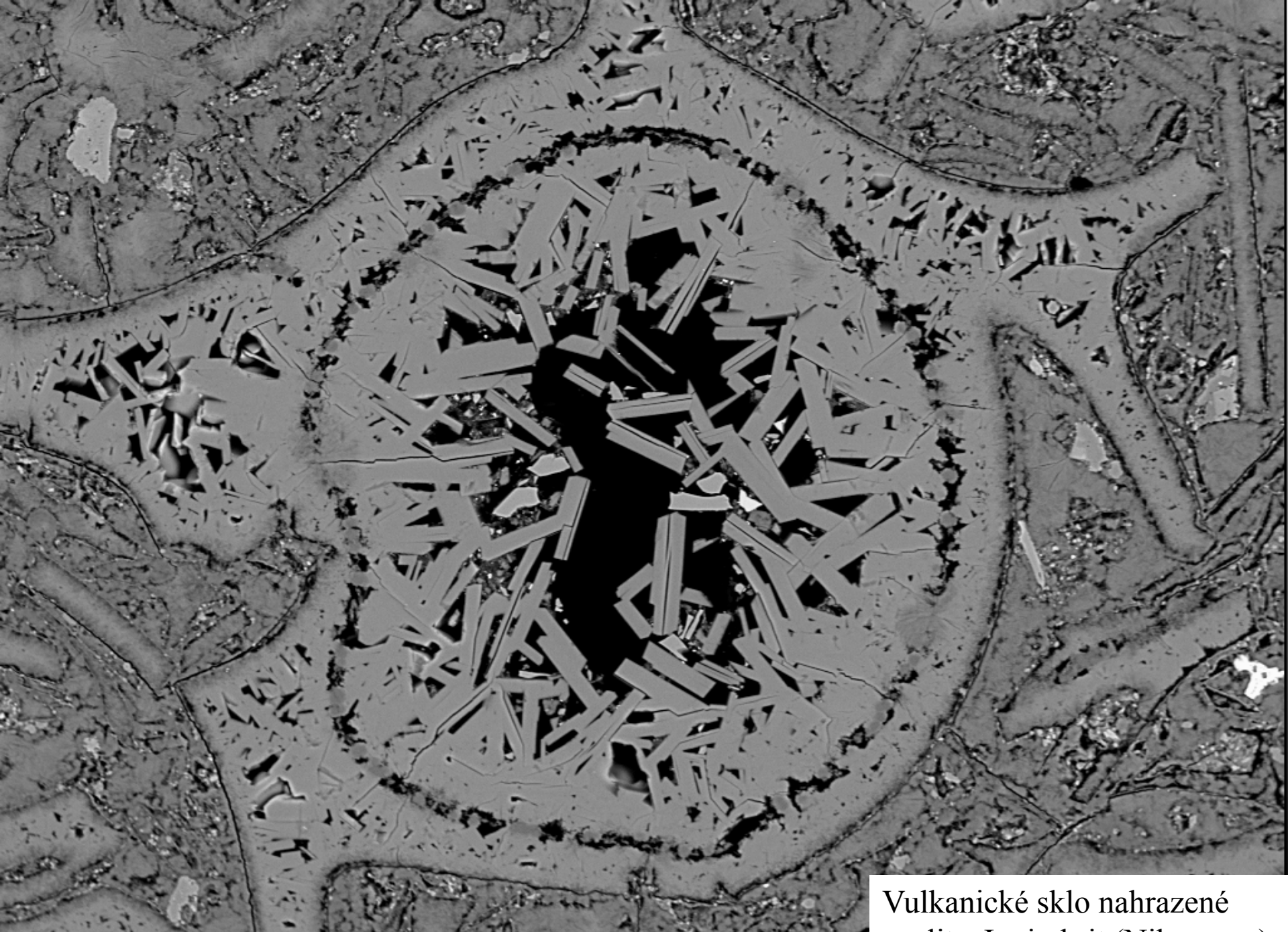
Phillipsite



Pore space

palagonit je rozložené, hydratované bazaltové sklo žluté až hnědé barvy





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

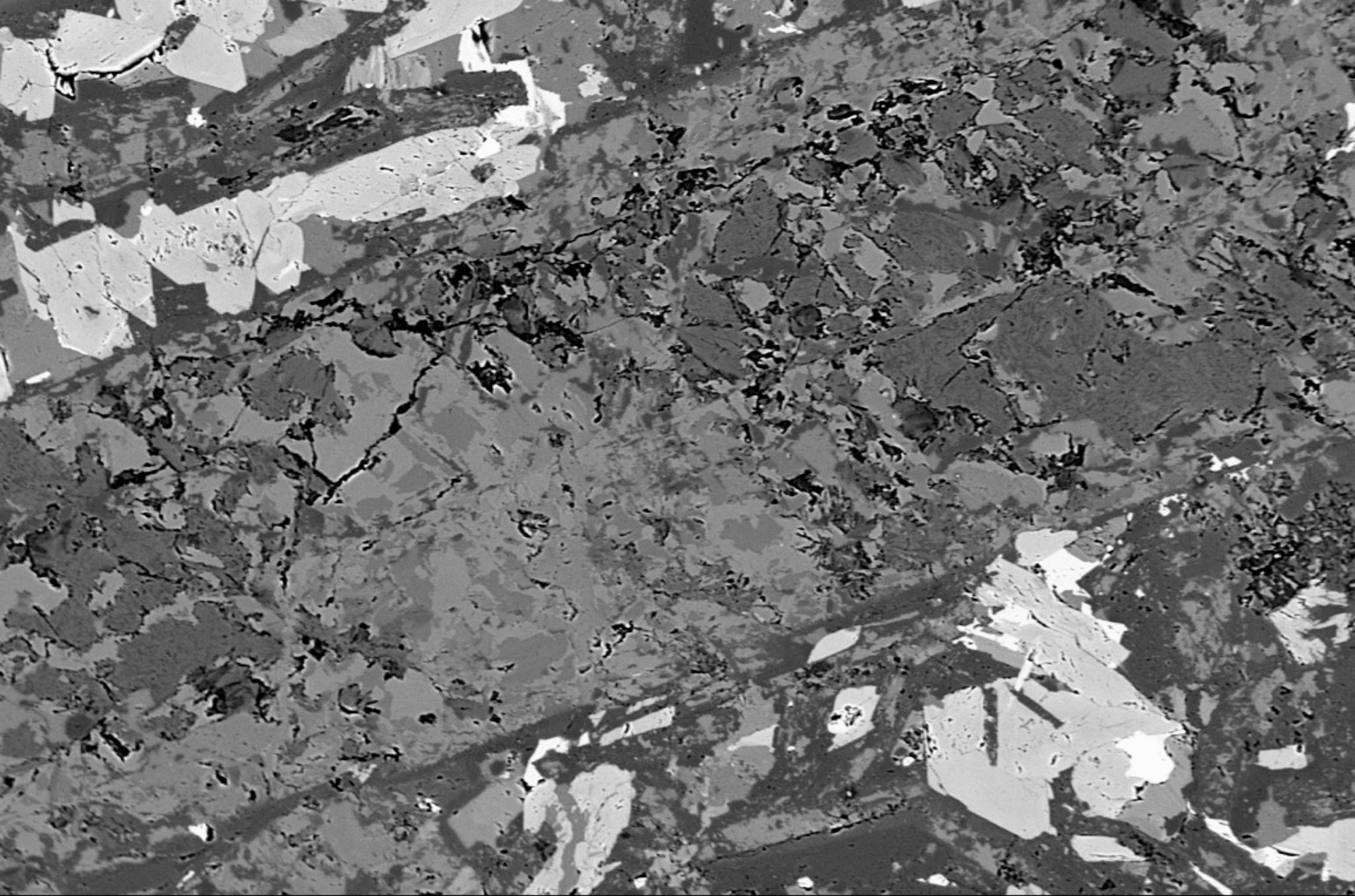
## Epidotizace

- 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).





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

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



## **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)**

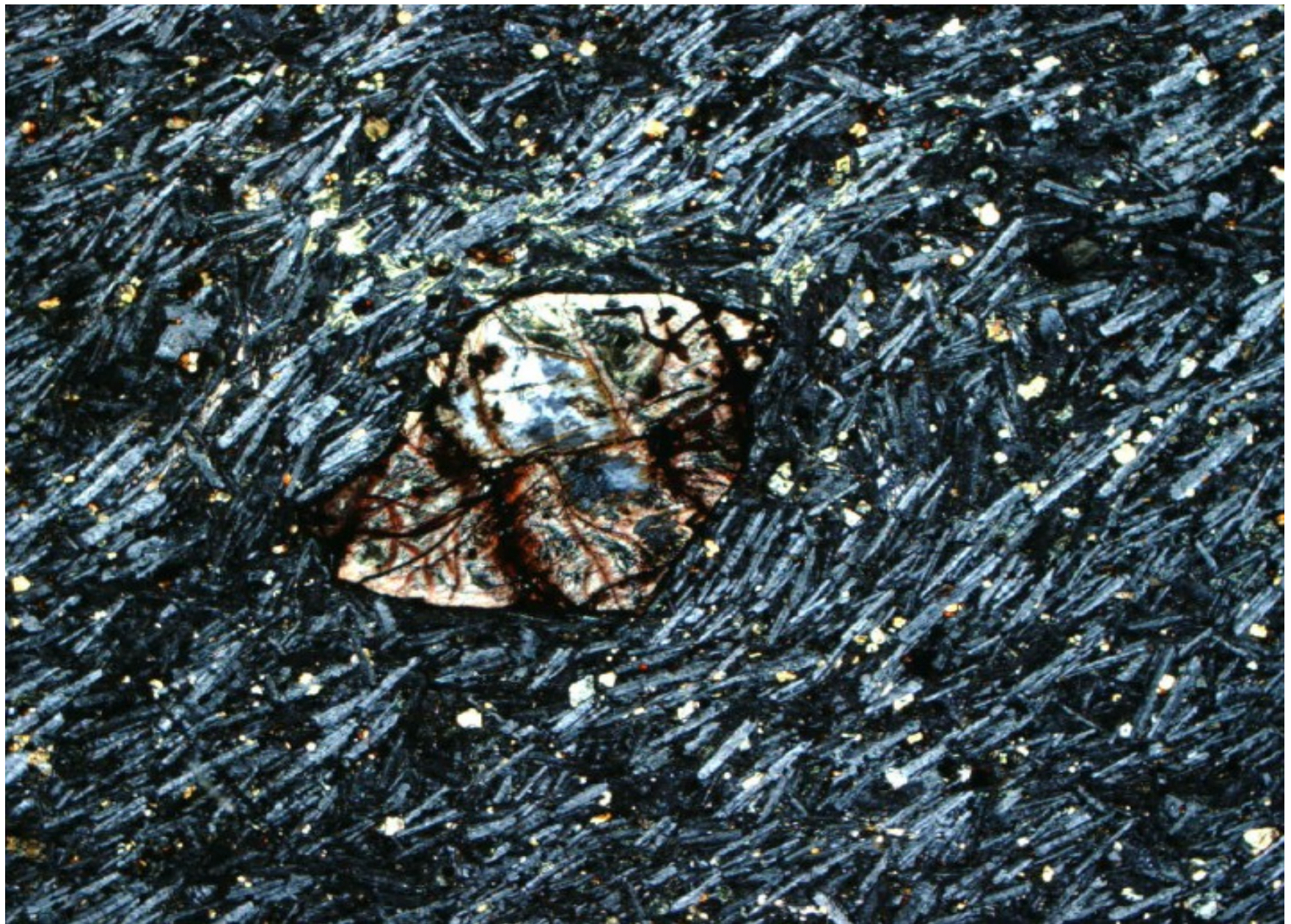
- přeměna tmavých minerálů na mastek (olivínu, pyroxenu, amfibolu, chloritu)

## **Uralitizace**

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

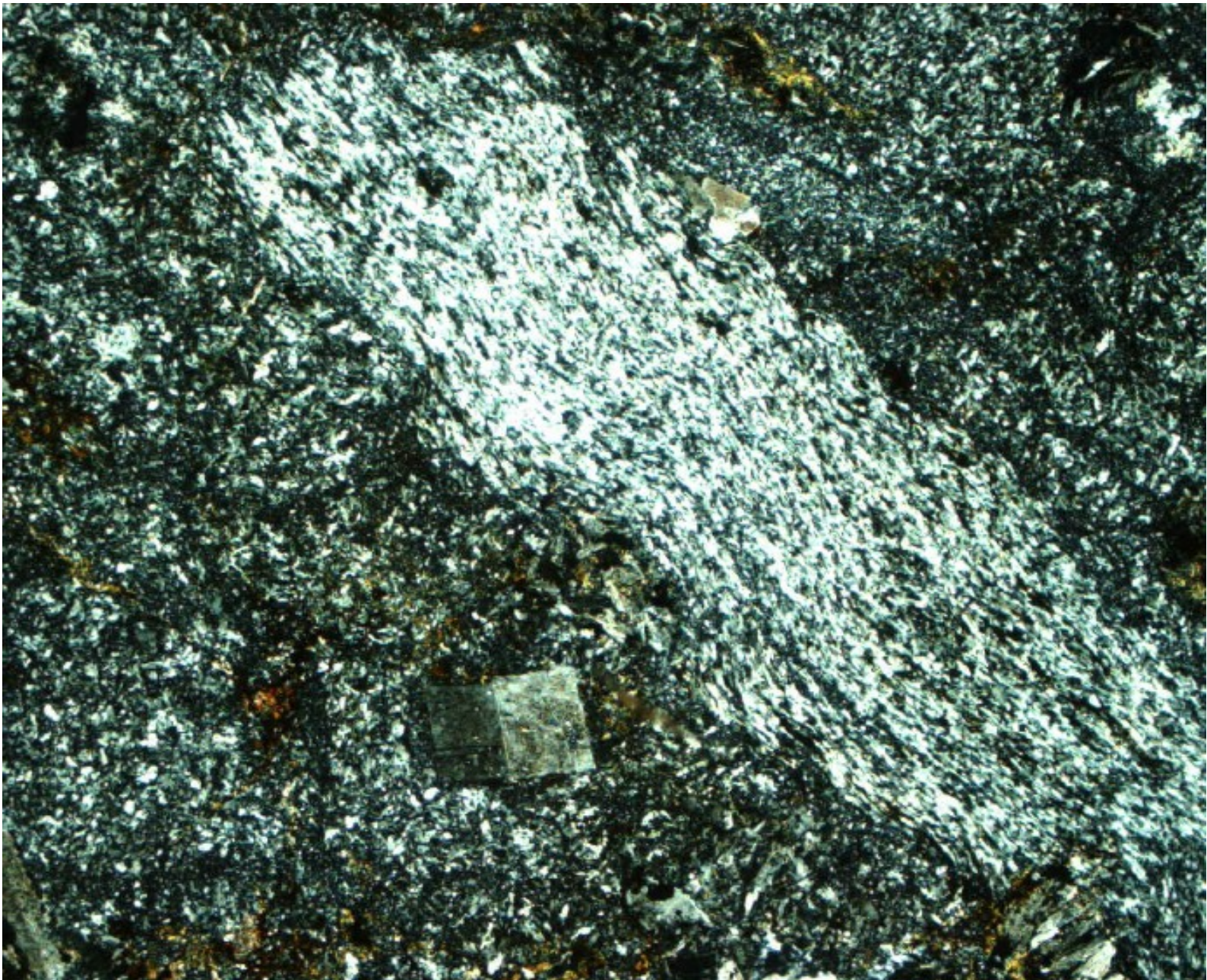
## **Zeolitizace**

- hydrotermální přeměna, při níž jsou původní minerály nahrazovány zeolity



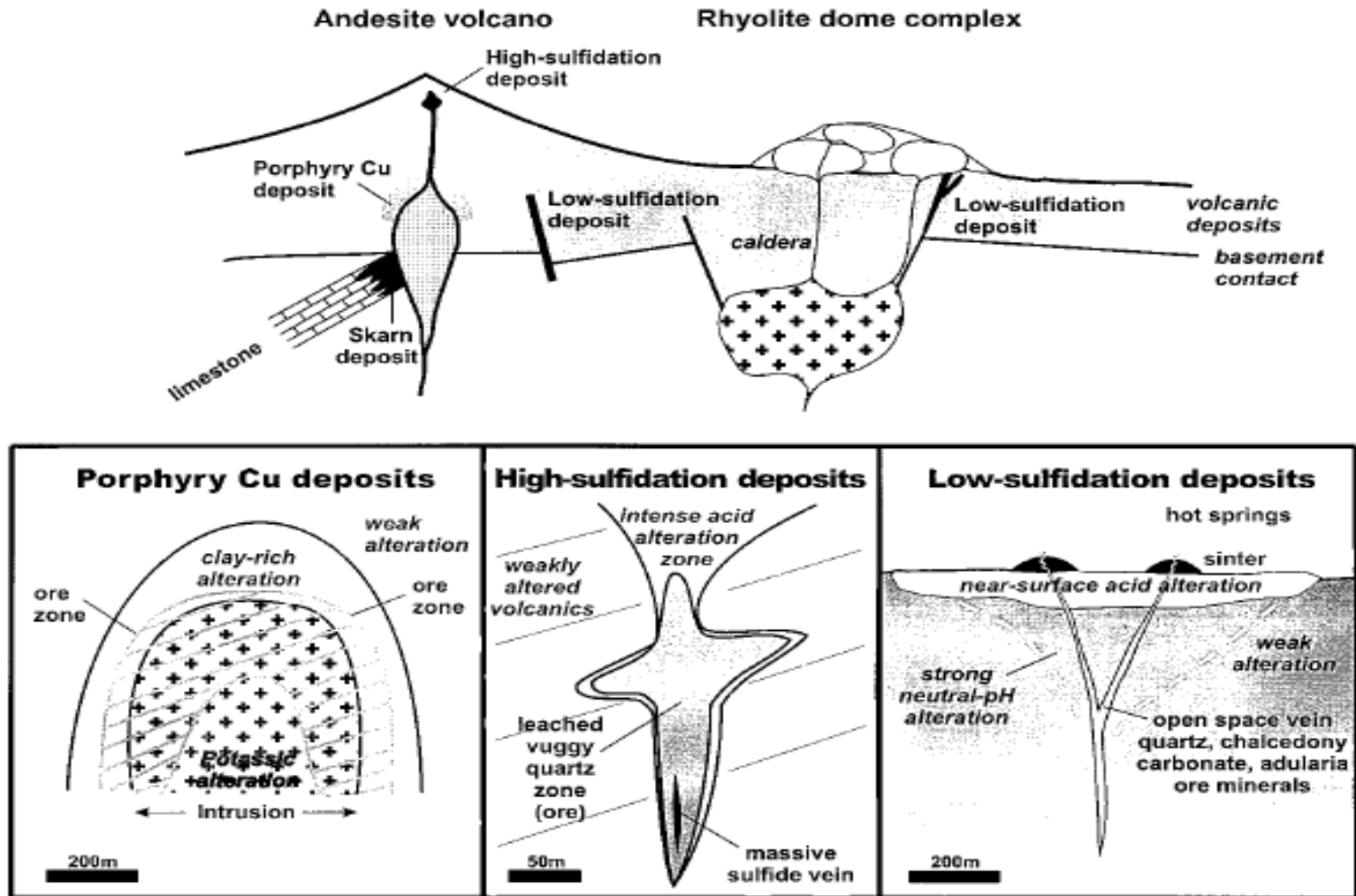
Serpentinizovaný olivín v bazaltu (Mongolsko K0061, P1DL)





Sericitizovaný a chloritizovaný ryolitový tuf (Mongolsko D0074, P1DL)

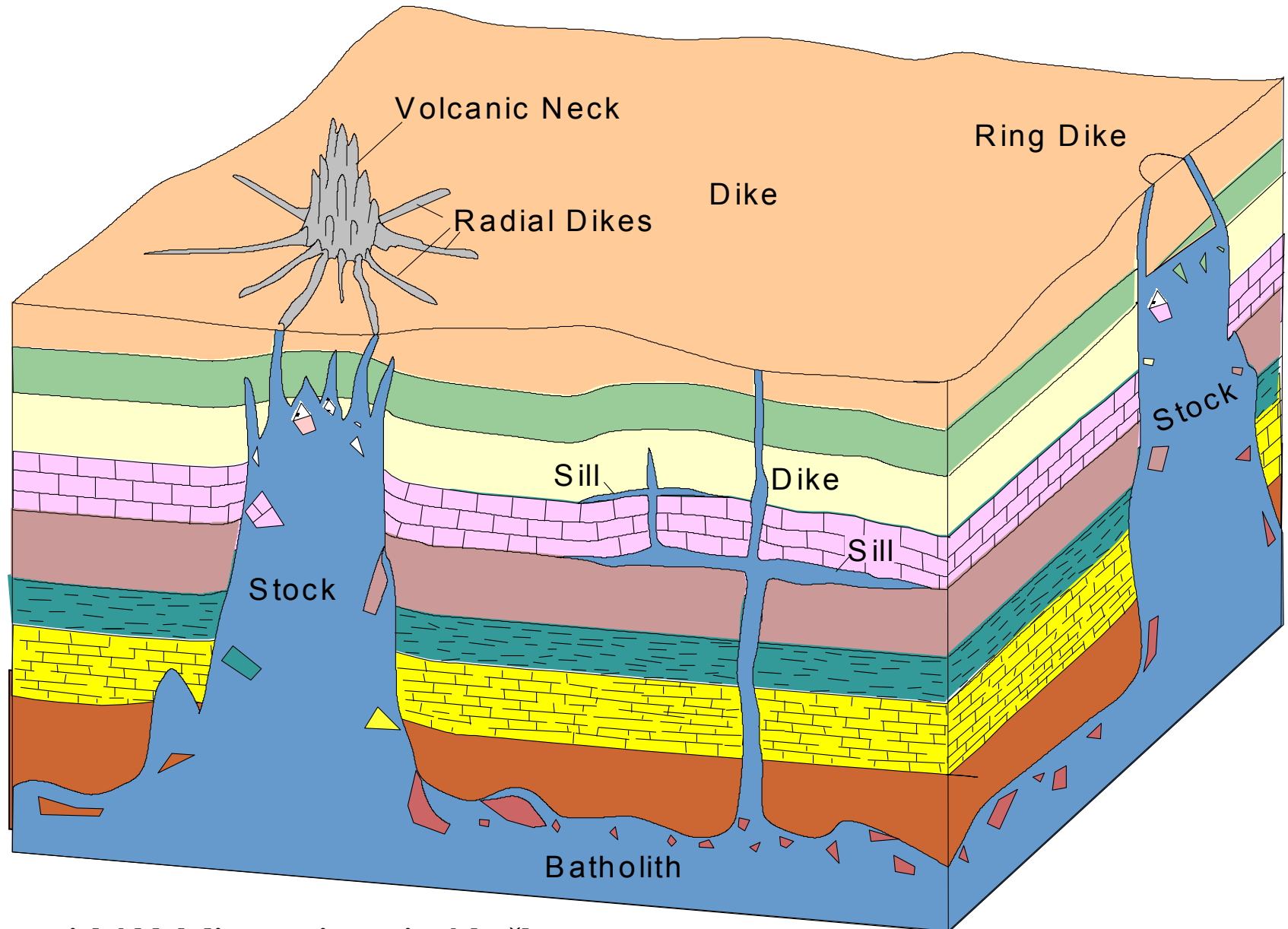
# Ložiska nerostných surovin vázaná na vulkanity



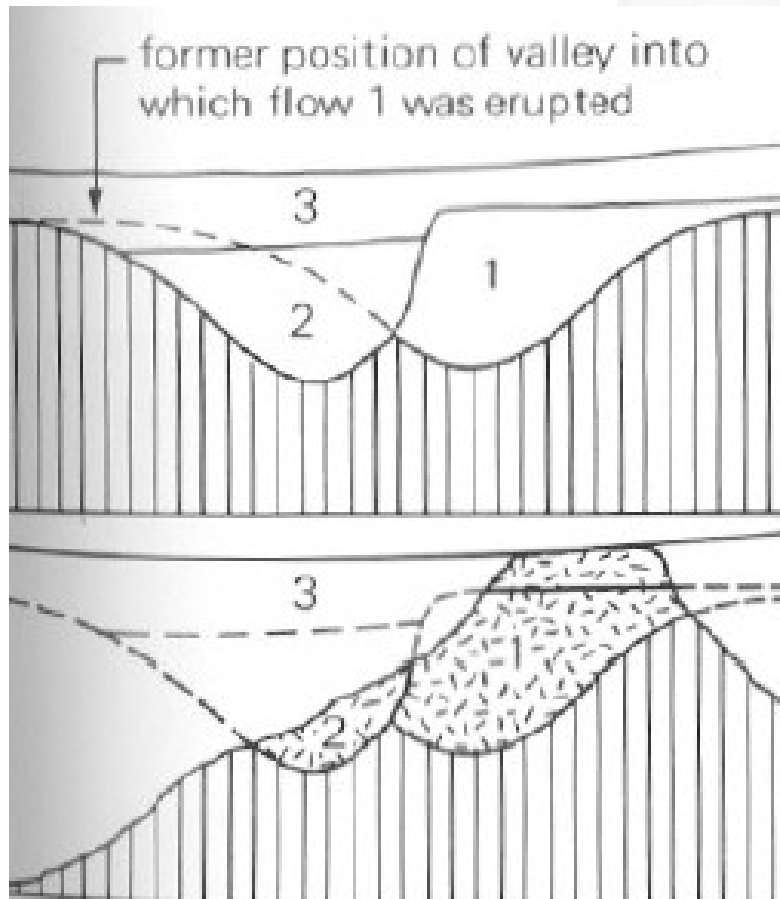
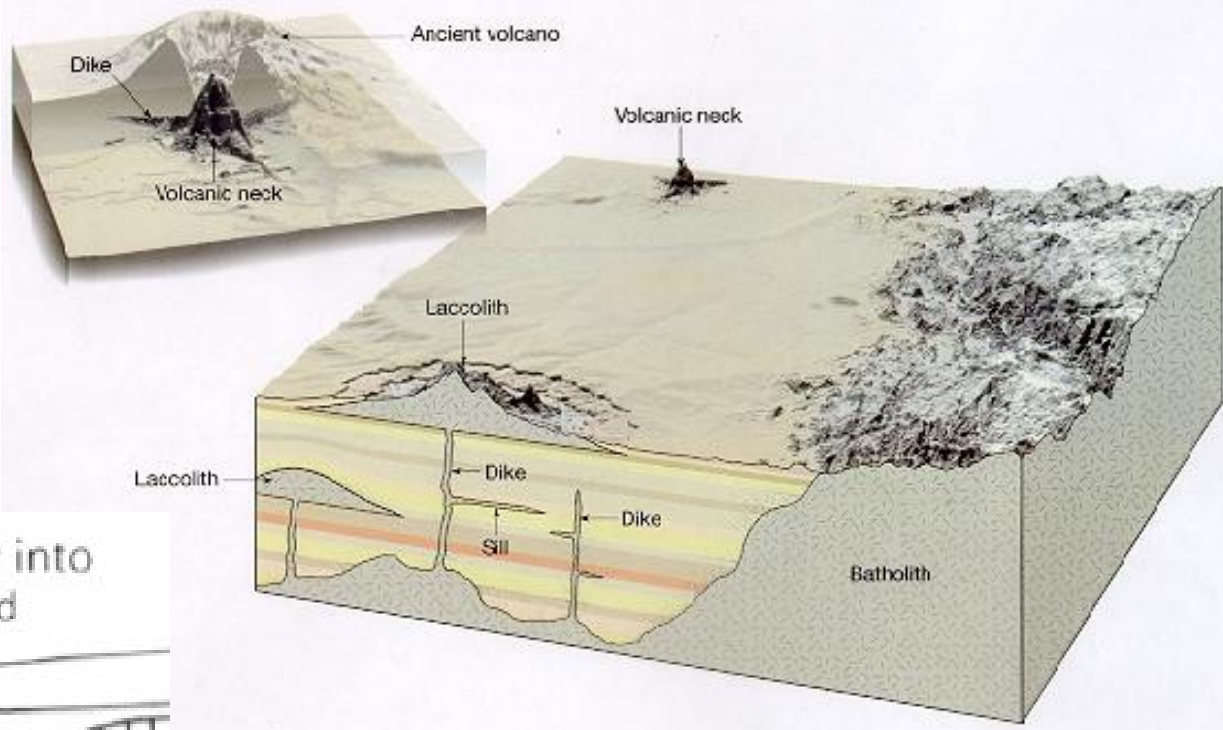
Setting of ore deposits in volcanic arcs (top). The small figures below show details of the most important deposit styles. (Left) Detail of a porphyry copper deposit. The intrusion is overprinted by zones of alteration; potassic (central), then clay-rich, and weak alteration of surrounding rocks. The 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.



# 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 přírodní 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



# 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.

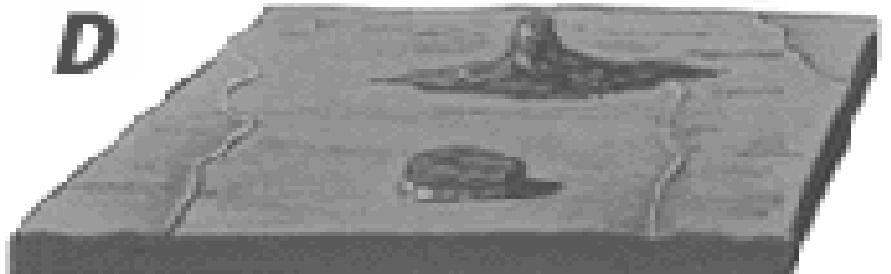
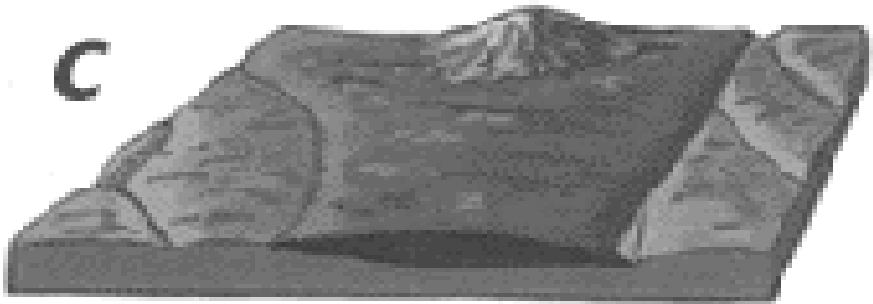
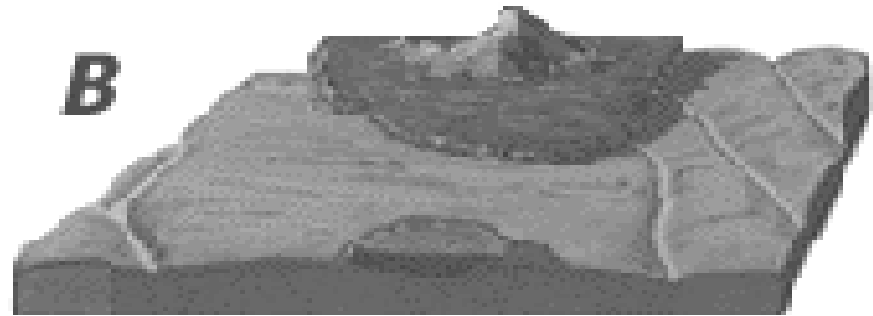
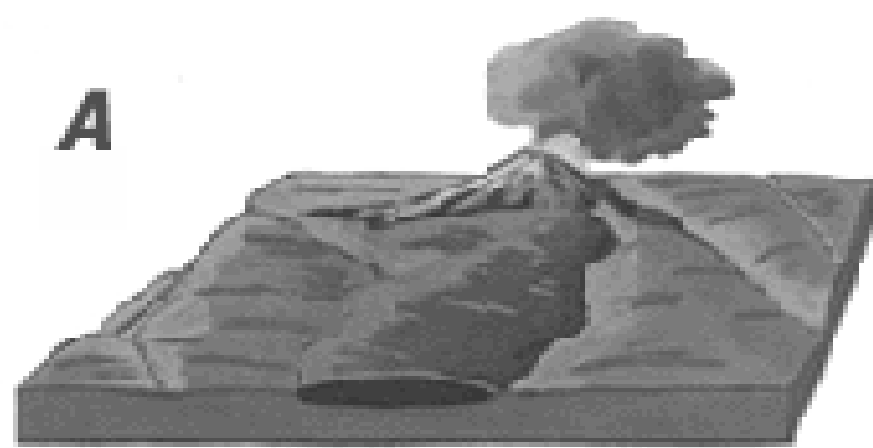
- V důsledku eroze se z původních lávových výlevů stanou izolované stolové hory kryté vrstvou lávy.

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 postižen lateritizací (Nikaragua)



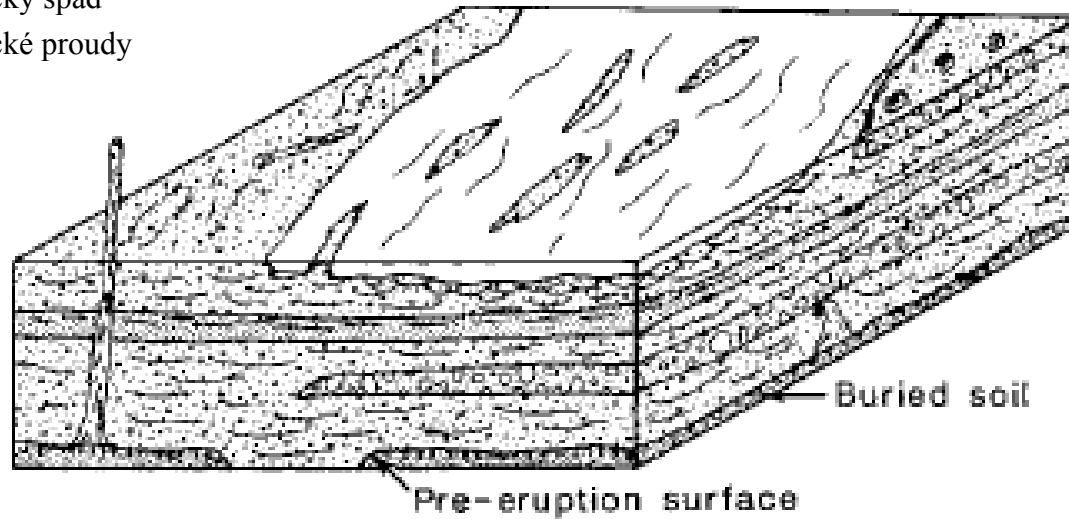


Andezity postižené zvětráváním a lateritizací (Nikaragua)

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

## Syneruption:

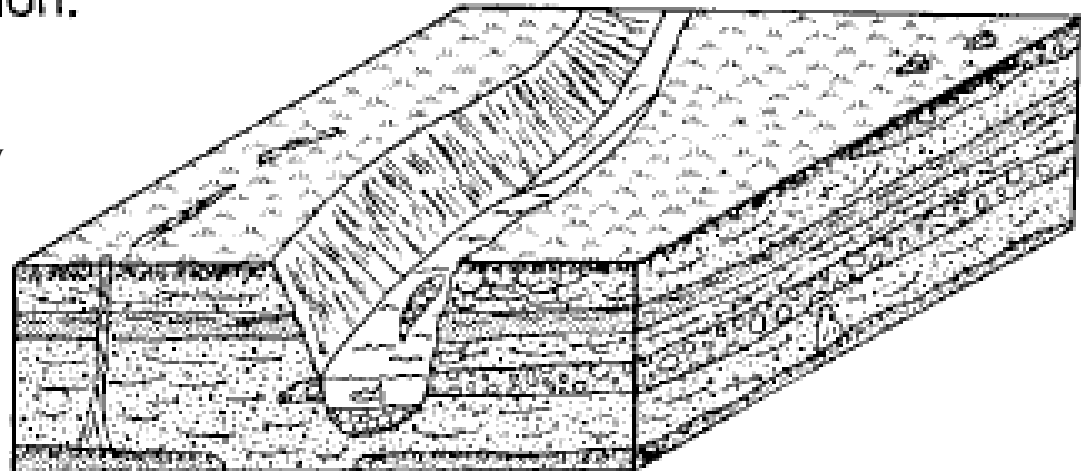
- > lávové proudy
- > pyroklastický spad
- > pyroklastické proudy
- > lahary



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

## Inter-eruption:

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







Vulkanický sopouch, Mongolsko





Tektonicky predisponované údolí řeky Malacatoya, Nikaragua