

Ústav geologických věd PřF MU, Brno

Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.

## **G8610 Petrologie magmatických a metamorfovaných hornin**

### Metasomatóza

Osnova:

1. Definice
2. Vybrané podmínky nutné pro metasomatický proces
3. Příklady metasomatických procesů
4. Závěr

Jednou ze základních otázek, jimiž se geologové zajímají, je to, zda byl jimi zvolený systém (hornina, minerál, minerální asociace) uzavřený nebo otevřený a do jaké míry. Metasomatóza reprezentuje typický případ procesů, který probíhá v otevřeném systému a většinou v pevném stavu.

#### 1. Definice:

Metasomatóza je proces, který vede ke změně celkového chemického a většinou i mineralogického složení horniny. Probíhá v pevném stavu a v širokém rozpětí tlaků a teplot od zemského pláště až po sedimentární horniny v blízkosti zemského povrchu.

Co je změna chemického složení?

Zahrnuje především prvky, které můžeme označit jako kationy, a to jak Na, Ca, Mg, Fe, Al, Si ale také H. Za změnu zpravidla nepovažujeme např. pokles obsahu H<sub>2</sub>O nebo CO<sub>2</sub> (např. diagenese), i když viditelná změna prvků (látek), které označujeme jako aniony, a to např. OH, F, B nebo CO<sub>2</sub> naznačuje i změny ve složení kationů. Už proto, že odnášená H<sub>2</sub>O obsahuje určité množství rozpuštěných látek.

Co je změna mineralogického složení?

Nahrazení např. grosularu klinozoisitem nebo kalcitu dolomitom je jasným příkladem mineralogické změny. Metasomatóza ale může probíhat i bez jasně prokazatelné změny

mineralogického složení, např. změna poměru  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  v granátu nebo poměru Fe/Mg v pyroxenu. Tyto změny mohou být velmi nenápadné a petrograficky těžko pozorovatelné.

Co je pevný stav?

Za pevný stav můžeme považovat běžné metamorfované a sedimentární (zpevněné) horniny v jejich přirozeném prostředí v zemské kůře. Metasomatóza ale může probíhat i v magmatické tavenině (zde jde o tekutý stav) nebo na hydrotermálních žilách (zde v pevném stavu).

Výše uvedené informace ukazují, že neexistuje ostře definovatelná hranice mezi metasomatózou a některými geologickými procesy, např. kontaktní metamorfóza *versus* vznik skarnů, diagenetické procesy *versus* metasomatické zatlačování karbonátů, krystalizace albitu z taveniny *versus* metasomatické zatlačování K-živce albitem v pegmatitech.

## 2. Vybrané podmínky nutné pro metasomatický proces

PT podmínky

I když metasomatóza probíhá obecně za velmi širokého rozpětí teplot a tlaků, pohyb určitých prvků nebo látek a jejich nahrazení jinými vyžaduje určitou výši teploty, pohyblivost obecně roste s rostoucí teplotou, zatímco úloha tlaku je komplikovanější. S nárůstem tlaku ubývá prostorů k migraci, tedy tlak působí spíše jako negativní faktor.

Čas

Pohyb látek je obecně poměrně pomalý a proto čas hraje velmi důležitou roli, např. kontaktní metamorfóza vulkanických hornin na povrchu nebývá spojena s metasomatickými změnami, není dostatek času.

Medium, které umožní přenos

Jednotlivé prvky nebo látky se většinou nemohou pohybovat sami, jsou přenášeny v různých komplexech složených hlavně z O a tzv. těkavých látek (F, B, Cl, S,  $\text{CO}_2$  aj.)

Pohyb může probíhat také difuzí kationů uvnitř krystalů jednotlivých minerálů, v tomto případě není nutné žádné medium pro přenos. Tento typ pohybu kationů se ale při metasomatoze téměř neuplatňuje!

Prostor, v němž přenos probíhá

Medium, které nese jednotlivé kationy nebo látky, potřebuje volný prostor (póry mezi zrny, trhliny). Je-li hornina extrémně masivní, je metasomatóza ztížena, naopak porézní horniny jsou velmi příhodné a porozita zřejmě hraje velmi významnou roli.

## Rezervoár prvků nebo jiných látek

Jestliže dochází k nahrazování jednoho prvku jiným, popř. jeden komplex prvků jiným komplexem, musíme mít zdroj, nejčastěji to bývá např. magma nebo fluida uvolněná při progresivní metamorfóze. Na druhé straně musí existovat také rezervoár nebo prostor pro prvky odnášené.

## Mechanismus přenosu látek

- Infiltrace je hlavním mechanismem při metasomatóze. Roztoky a fluida s rozpuštěnými látkami cirkulují těmi částmi hornin, kde je vyšší permeabilita (póry, trhliny a jiné oslabené zóny) a reagují s protolitem. Zároveň tato fluida odnáší uvolněné prvky a látky.
- Difuze v horninách je řízena rozdíly v chemických potenciálech a fluida nesoucí prvky jsou stacionární. Difuzní metasomatóza je méně častá a také méně výkonná.
- Difuze v minerálech, kdy dochází k pohybu atomů v rámci krystalové mřížky. Tento typ pohybu kationů se ale při běžné metasomatóze téměř neuplatňuje.

Obr. 1. Mechanismus difuze v minerálech.

## Hlavní faktory ovlivňující metasomatózu

- teplota (pozitivní) a tlak (spíše negativní)
- čas (pozitivní)
- chemické složení protolitu
- chemické složení a koncentrace infiltrujících fluid a např.  $X_{\text{CO}_2}$ ,  $f_{\text{O}_2}$ ,  $f_{\text{S}_2}$ , pH (pozitivní)
- permeabilita horniny (pozitivní)

## 3. Příklady metasomatických procesů

### 3.1. Metamorfní prostředí

Metamorfóza probíhá v metamorfovaných horninách, ale zdrojem fluid mohou být jak magmatické tak metamorfované horniny.

#### Karbonátové horniny a skarny

Metasomatické silikátové většinou bezživcové horniny bohaté Ca vznikající jako výsledek reakcí fluid s karbonáty bohatými litologiemi. Jejich typickým znakem je často polyfázový vývoj.

Můžeme je rozdělit podle několika kritérií:

- převládající mechanismu přenosu látek

infiltrační

difuzní

- původ fluid

magmatické

metamorfni

- pozice k magmatické hornině

proximální

distální

- protolit

exoskarn

endoskarn

- chemické složení

Ca-skarny

Mg-skarny

Fe-skarny

Mn-skarny

- oxidační stupeň

oxidační

redukční

Tab. 1. Přehled minerálů vyskytujících se ve skarnech.

Obr. 2. Schematický nákres různých typů vzniku skarnů.

Obr. 3. Část T- $X_{CO_2}$  diagramu zobrazující rozdílné typy skarnů.

Obr. 4. P-T diagram zobrazující důležité reakce v horninách bohatých Ca.

Obr. 5. Část T- $X_{CO_2}$  diagramu zobrazující podmínky vzniku skarnů.

Magnezity a siderity

Velká ložiska magnezitů a sideritů v Západních Karpatech a Alpách vznikla pravděpodobně metasomatickým zatlačením původně kalcitických, popř. kalcit-dolomitických vápenců v podmínkách nízkého stupně metamorfózy. Zdrojem Mg mohou být např. ultrabazické horniny v jejich okolí.

#### Na-K-Ca-Mg metasomatóza

Tento typ metasomatických změn je vázaný na vulkanismus oceanického dna. Dochází při ní k více typům zatlačování:

- látky

Mg – Fe

Na – Ca, K

Ca – Mg, Na, H

K – Na, Ca

- minerály

Ca-plagioklas – Na-plagioklas (analcim, skapolit)

amfibol – chlorit, aktinolit, epidot

Ca-plagioklas – epidot

živce – zeolity

#### H<sup>+</sup> - metasomatóza

Iont H<sup>+</sup> nahrazuje jiné kationty, především Na, K a Ca a někdy se uplatňují i další prvky např. F. To vede k destrukci živců a jejich nahrazení slídkami nebo topazem. Jako hlavní procesy můžeme označit:

sericitizace

greisenizace

#### Fenitizace

Tento proces je svázaný s alkalickým magmatismem a karbonatity. Dochází při něm k intenzivnímu přínosu Na a K. Vznikají minerály s vysokým obsahem Na, popř. K a také s vysokým poměrem Na+K/Al a Fe/Mg. Typickými minerály jsou např. alkalické amfiboly nebo nefelín.

Přínos B (Li, Cs aj.) v okolí komplexních pegmatitů

V závěru magmatické krystalizace dochází k odmíšení fluid bohatých B, ale také Li, Cs, F, Al aj. Fluida opouštějí pegmatit a reagují s okolní horninou (především s tmavými minerály) za vzniku holmquistitu, turmalínů složení dravit-elbait, Cs,Rb,F-obohaceného biotitu, aj.

Obr. 6. Koncentrace Rb v biotitu v metasomatické aureole v okolí pegmatitu Tanco.

Obr. 7. Složení turmalínu v kontaktních horninách v okolí pegmatitů Tanco a Bližná.

### 3.2. Magmatické prostředí

V tomto případě probíhá metasomatóza přímo v magmatické hornině a to v různých stádiích vývoje horniny a v různých PT podmínkách. Zdrojem fluid je téměř výhradně samotná magmatická hornina, popř. jiná asociující magmatická hornina.

#### Stádium pozdního solidu až ranného subsolidu

V tomto stádiu probíhá zřejmě většina metasomatických změn v magmatických horninách. Rozpoznání metasomatických změn je ale většinou velmi komplikované.

- Alterace granitoidních hornin působením postmagmatických fluid, např. alterace živců, při níž může dojít ke změně v jejich složení např. koncentrace Rb a Cs.
- Raně postmagmatické alterace v komplexních pegmatitech, např. nahrazení primárních Fe,Mn fosfátů širokou škálou mladších minerálů, zatlačení cordieritu turmalínem.
- Vznik metasomatických jednotek v pegmatitech, albit, lepidolit aj.

#### Tavení granitů za UHP (ultravysoké tlaky 15 a více kbar)

Granity se za těchto tlaků a přítomnosti vody chovají poněkud jinak, než předešlé taveniny. Nedochází k jejich tavení, ale postupně se rozpouštějí na fluidum, a to ne skokem, ale postupně. Za nepřítomnosti vody se ale uvolňuje postupně za nižších teplot ultrapotasické fluidum, leucitového složení, při kompletním rozpuštění se složení blíží granitu.

Obr. 8. PT diagram, ukazující kritické křivky haplogranitického složení (Schreyer 1999).

Obr. 9. Ternární diagram složení fluid při experimentech 40 – 45 kbar (Schreyer 1999).

### 3.3. Sedimentární prostředí

Především při diagenézi dochází často k metasomatickým změnám, např. dolomitizace kalcitických vápenců.

### 4. Závěr

Metasomatické procesy jsou velmi rozmanité a někdy mohou být velmi významné, např. metasomatické procesy v zemském plášti. Rozpoznání metasomatózy ale bývá často velmi komplikované mimo jiné i proto, že nelze jednoznačně definovat hranici mezi metasomatózou a jinými procesy. Při petrologickém a geochemickém studiu si jich ale musíme všimnout, protože petrograficky nenápadné metasomatické procesy mohou změnit složení horniny natolik, že je nelze využít ke geochemickým klasifikacím a geochemickým implikacím. Dále nám metasomatické procesy jasně ukazují, že námi studovaný systém byl po určitou dobu otevřený.