

Katedra mineralogie, petrologie a geochemie, přírodovědecká fakulta Masarykovy university,
Brno

Prof.RNDr. Milan Novák,CSc.

Pokročilá magmatická a metamorfní petrologie

Povinně volitelná přednáška 2001-2002, jarní semestr

Metasomatóza

1. Základní informace

1.1. Definice:

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

Co je změna chemického složení?

Zahrnuje především prvky, které můžeme označit jako kationty, a to jak Na, Ca, Mg, Fe, Al, Si ale také H.

Za změnu nepovažujeme např. pokles obsahu H₂O nebo CO₂ (např. diagenese), i když viditelná změna prvků (látek), které označujeme jako anionty, a to např. OH, F, B nebo CO₂ naznačuje i změny ve složení kationtů. Už proto, že odnášená H₂O 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 změny mineralogického složení,

např. změna poměru $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ v granátu nebo změna poměru Fe/Mg v pyroxenu. Tyto změny mohou být velmi nenápadné a 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 nebo na hydrotermálních žilách.

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.

1.2. 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 nahrazení jiných vyžaduje určitou výši teploty, pohyblivost obecně roste s rostoucí teplotou.

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.

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, CO_2 aj.)

Pohyb může probíhat také difuzí kationtů uvnitř krystalů jednotlivých minerálů, v tomto případě není nutné žádné medium pro přenos.

Prostor, v němž přenos probíhá

Medium, které nese jednotlivé kationty 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.

Pohyb může probíhat také difuzí kationtů uvnitř krystalů jednotlivých minerálů, v tomto případě není nutný volný prostor, kromě vhodné krystalové mřížky.

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. 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, a 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.

Difuze v minerálech, kdy dochází k pohybu atomů v rámci krystalové mřížky.

Obr. 1. Mechanismu difuze v minerálech.

Hlavní faktory ovlivňující metasomatózu

teplota a tlak

čas

chemické složení protolitu

chemické složení a koncentrace infiltrujících fluid a např. X_{CO_2} , $f\text{O}_2$, $f\text{S}_2$, pH

permeabilita horniny

2. Příklady metasomatických procesů

2.1. Metamorfní prostředí

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

2.1.1. Karbonátové horniny

Skarny

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

Tab. 1. Přehled minerálů vyskytujících se ve skarnech.

Obr. 2. Schematický náčrt 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.

2.1.2. Magnezity a siderity

Ložiska magnezitů a sideritů v Západních Karpatech 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.

2.1.3. 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

2.1.4. H⁺- metasomatóza

Iont H⁺ nahrazuje jiné kationty, především Na, K a Ca a někdy se uplatňují i další prvky např.

F. To vede k destrukci živců a jako hlavní procesy můžeme označit:

sericitizace

greisenizace

2.1.5. Fenitizace

Tento proces je svázaný s alkalickým magmatismem a 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.

2.1.6. 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, Cs,Rb,F-obohaceného biotitu, aj.

Obr. 6. Příklad změn

2.2. 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.

2.2.1. 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 granitů postmagmatickými fluidy, např. alterace živců, při níž může dojít ke změně ve 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.

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

Granity se za těchto tlaků a přítomnosti vody chovají poněkud jinak, než předešlé taveniny. Nedochozí 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).