

Mineralogie II

Milan Novák

Ústav geologických věd, PřF MU v Brně

Vznik minerálů II

C-2. Granitické pegmatity

Granitické pegmatity patří svým vznikem mezi magmatické hornin, ale kromě krystalizace z magmatické taveniny se při jejich vzniku uplatňují i procesy metasomatózy a krystalizace z fluid a z roztoků, především v pozdních fázích. Většinou jsou odvozeny od granitoidních masívů, ale přímý vztah granitů a pegmatitů není vždy jasný.

Pegmatity mají následujícími znaky:

- **typické minerály (většinou Al > Na,Ca,K)**

hlavní: křemen, K-živce, albit, plagioklas

vedlejší: muskovit, biotit, turmalín, granát

akcesorické: beryl, spodumen, lepidolit, apatit, granát, zirkon, kasiterit, kolumbit,

topaz, andalusit, trifylin, cordierit, monazit

- **pegmatitové textury (grafické srůsty, extrémně velké krystaly, cukrovitý nebo lupenitý albit, dutiny s krystaly)**
- **zonální stavba pegmatitových těles**
- **častá přítomnost vzácných minerálů obsahujících především litofilní prvky (Li, Be, Ta, B, F, Nb, Sn, Mn, Rb, Cs)**
- **místa metasomatické zatlačování starších minerálů a minerálních asociací**

Termíny:

- **texturní diferenciacce = změna textur od drobně zrnitých k hrubě zrnitým**
- **geochemická frakcionace = změna poměrů některých vybraných prvků, např. K/Rb, K/Cs, Fe/Mn, Zr/Hf, Nb/Ta, aj. v průběhu krystalizace**

Klasifikace pegmatitů

- podle pozice okolních hornin v PT diagramech
- podle vztahu ke mateřským granitoidům a jejich chemickému složení
- podle stupně frakcionace (mineralogické a chemické složení)

Obr. 1. P-T diagram hornin, v nichž jsou přítomny jednotlivé typy pegmatitových populací.

Tab. 1. Klasifikace granitických pegmatitů.

1. Abysální pegmatity

- žíly malých mocností (dm)
- většinou homogenní, zonálnost nevyvinuta nebo jen nedokonale
- primitivní chemické složení (akcesorie U, Zr, REE), většinou málo těkavých látek (B,F)
- nejasný vztah k mateřským granitoidům pokud vůbec existují (často jsou metamorfogenní)

Příklady: okolí Kutné Hory (Kuklík, Miskovice)

2. Muskovitové (keramické)

- mohutná zonální tělesa (desítky m)
- relativně jednoduché chemické složení (nedostatek akcesorických minerálů, hlavně Be), většinou málo těkavých látek (B,F,P)
- nejasný vztah k mateřským granitoidům

Příklady: u nás jsou jim nejbližší muskovitem bohaté ale jinak primitivní pegmatity v oblasti Orlíku v Hrubém Jeseníku.

3. Vzácnno-prvkové

- tělesa různých velikostí i tvarů
- typická zonální stavba a pegmatitové textury, místy přítomnost dutin
- často extrémně frakcionované (Be, Li, Rb, Cs, Ta), velké množství těkavých látek (F, B, P), velmi pestré mineralogické složení
- často nejasný vztah k mateřským granitoidům

Příklady: moldanubikum (Rožná, Dolní Bory, Písek, Třebíčský masív, Žulovský masív),

silezikum (Maršíkov).

4. Miarolitické

- čočky i nepravidelná tělesa malých velikostí, často zonální stavba a typomorfní je přítomnost dutin
- někdy extrémně frakcionované (Be, Li, Rb, Cs, Ta), velké množství těkavých látek (F, B) velmi pestré mineralogické složení
- většinou jasný vztah k mateřským granitoidům, protože jsou uloženy přímo v nich

Příklady: Liberecký masív, Vepice u Milevska

Tab. 2. Klasifikace vzácno-prvkových pegmatitů – LCT nebo NYF

Obr. 2. Příklady zonálnosti pegmatitů.

Obr. 3. Klasifikace a rozšíření granitických pegmatitů v moldanubiku.

Obr. 4. Příklady geochemické frakcionace.

C-3. Alkalické pegmatity

Vedle velmi rozšířených granitických pegmatitů vyskytujících se v asociaci s granity, vyskytují se i alkalické pegmatity vázané na alkalické a hyperalkalické vyvřelé horniny. Jejich textury jsou podobné, ale mineralogické složení zcela odlišné. Vedle živců (Na,K) a místy křemene obsahují hojný nefelín, foidy, alkalické amfiboly, natrolit a řadu dalších minerálů. (většinou $Al < Na, Ca, K$)

Příklady: Kola, Rusko, Mt. S. Hillaire, Kanada

C-4. Metamorfnní procesy

Při metamorfnních procesech dochází ke krystalizaci v pevném stavu za velmi širokých PT podmínek.

Obr. 1. Schematický PT diagram s vyznačením polí pro metamorfnní sedimentární a magmatické procesy

Typy metamorfnních změn

- Krystalizace nových minerálů (fázové změny)

- progradní
- retrogradní

Obr. 2. Schematický obrázek ukazující tři základní typy změn během metamorfózy.

- Texturní změny (změna velikosti zrna, deformace)

- Změny v chemismu

- izochemická metamorfóza
- metasomatóza – více či méně výrazná změna v chemickém složení horniny

Typy metamorfózy

- klasifikace podle geologické pozice

lokální metamorfóza

regionální metamorfóza

- orogenní metamorfóza (regionální metamorfóza)
- metamorfóza oceánského dna
- šoková metamorfóza
- hydrotermální metamorfóza

Hlavní činitelé metamorfózy

Teplota - nejdůležitější metamorfní činitel, protože většina metamorfních reakcí je ovlivňována především teplotou.

Litostatický tlak - druhý nejvýznamnější činitel. Je vlastně ekvivalentem hydrostatického tlaku, jeho velikost závisí na hloubce a hustotě nadložních hornin.

Orientovaný tlak (stress) - je podstatně nižší než litostatický tlak, max. 100 barů, proto neovlivňuje fázové rovnováhy. Je příčinou orientované stavby v horninách.

Složení fluid - hlavními fluidy v metamorfovaných horninách jsou H_2O , CO_2 , O_2 , H_2 , F_2 , N_2 , CH_4 a S, a to jako součást minerálů (např. slidy amfiboly, karbonáty nebo sulfidy), tak v pórech mezi jednotlivými zrny, popř. v inkluzích. Se vzrůstem metamorfózy jsou fluida z horniny (tedy i minerálů) vypuzována (dekarbonizace, dehydratace).

Hlavní metamorfní minerály

Většina minerálů má tak široké pole stability, že nelze jednoznačně označit minerály, které považujeme výhradně za metamorfní. Podle chemického složení metamorfovaných hornin lze za důležité horninotvorné minerály (kromě křemene, plagioklasů, K-živců, muskovitu a biotitu) považovat:

metapelity: chlorit, almandin, staurolit, kyanit, sillimanit, cordierit,

metabazity: chlorit, amfibol, pyroxen, epidot, granát, chlortoid

metakarbonáty: tremolit, diopsid, flogopit, forsterit, spinel, chlorit, epidot

metaultrabazické horniny: serpentin, olivin, chlorit, pyroxen, pyrop

Natavení (anatexe)

Natavení hornin je proces, který leží mezi magmatickými a metamorfními pochody. Pokud dojde k natavení horniny a tavenina neopustí mateřskou horniny, vznikají migmatity.

Typické minerály: cordierit, sillimanit, K-živec

C-5. Metasomatóza

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. Při metasomatických pochodech dochází ke krystalizaci z fluid.

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 Fe³⁺/Fe²⁺ v granátu nebo změna poměru Fe/Mg v pyroxenu. Tyto změny mohou být velmi nenápadné a těžko pozorovatelné např. ve výbruse.

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. Vliv tlaku je poněkud odlišný, za vysokých tlaků se uzavřou póry v horninách, takže metasomatóza probíhá mnohem pomaleji.

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, CO₂ aj.)

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 a není nutné žádné medium pro přenos. Tento proces je ale mnohem méně důležitý pro vznik metasomatických hornin!

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.

Příklady metasomatických procesů

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

Skarny

Metasomatické silikátové většinou bezživcové horniny bohaté Ca vznikající jako výsledek reakcí hydrotermálních fluid s karbonáty bohatými litologiemi. Jejich typickým znakem je často polyfázový vývoj, tedy starší skarny jsou pronikány mladšími žilami skarnů s jinou minerální asociací.

Typické minerály: granáty, pyroxeny,

Můžeme je rozdělit podle několika kritérií:

- a) chemické složení

Ca-skarny

Mg-skarny

Fe-skarny

Mn-skarny

b) oxidační stupeň

oxidační a redukční

Tab. 1. Přehled minerálů vyskytujících se ve skarnech.

Obr. 1. Schematický nákres různých typů vzniku skarnů.

Hlavní faktory ovlivňující vznik skarnů

a) tlak a teplota

b) chemické složení protolitu

c) chemické složení infiltrujících fluid

d) X_{CO_2} , fO_2 , fS_2 , pH

e) salinita, pórovitost horniny

Obr. 2. Část T- X_{CO_2} diagramu zobrazující rozdílné typy skarnů.

Minerální reakce většiny skarnů lze studovat v systému CAS(H₂O-CO₂), i když tyto horniny běžně obsahují zvýšená množství Mg, Fe²⁺ a Fe³⁺ ale také např. F.

Reakce v tomto systému lze většinou úspěšně aplikovat také na jiné vápenato-silikátové horniny (rodingity, skarnoidy, erlány).

Obr. 3. P-T diagram zobrazující důležité reakce v horninách bohatých Ca.

Obr. 4. Část T- X_{CO_2} diagramu zobrazující podmínky vzniku skarnů.

Zrudnění ve skarnech

Fe-skarny - magnetit

W-skarny - scheelit

Cu-skarny – chalkopyrit, tetraedrit

Zn-skarny - sfalerit

REE-skarny - allanit

Skarny v Českém masívu

Fe-skarny – Vlastějovice, Pernštejn

Mg-skarny – Borovina u Třebíče

Ca-skarny – Žulová, Moravské Bránice, Jáchymov

Greiseny

Metasomatické silikátové většinou bezživcové horniny bohaté Si (křemen) vznikající jako výsledek reakcí hydrotermálních fluid uvolněných z kyselých granitů s vlastními granity a okolními metapelity. Jejich typickým znakem je úzké provázání magmatické, metasomatické a hydrotermální fáze, která se projevuje přítomností křemenných žil s kasiteritem, molybdenitem, fluoritem a wolframitem.

Hlavním procesem při greisenizaci je 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 greisenizace můžeme označit:

vznik sericitu, topazu, Li-slíd většinou na úkor živců.

Typické minerály greisenů:

Křemen, fluorit, topaz, zinnwaldit, muskovit, apatit

Kasiterit, wolframit, arzenopyrit, molybdenit, chalkopyrit, stannin

Obr. 1. Příklady greisenových ložisek.

Další příklady metasomatických procesů

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.

Na-K-Ca-Mg metasomatóza

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

Typické minerály

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

amfibol – chlorit, aktinolit, epidot

Ca-plagioklas – epidot

živce – zeolity

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.