

Granitické pegmatity

1. Granitický pegmatit

Existuje několik definicí od různých autorů, které více či méně zvýrazňují texturní, mineralogické a/nebo geochemické rysy pegmatitů. Jako granitické pegmatity označujeme

- magmatické horniny (všechny nebo téměř všechny minerály pegmatitů vznikly utuhnutím ze silikátové taveniny), jejichž celkové složení (celého tělesa) je blízké granitu
- typickým znakem je zonální stavba pegmatitových těles, především těch více frakcionovaných (jen vzácně jsou tyto pegmatity téměř homogenní)
- dále je charakteristická přítomnost pegmatitových textur (např. grafické srůsty křemene a K-živce případně křemene a jiných minerálů, velké krystaly minerálů o objemu až několik m³; viz. termín Texturní diference).
- pegmatity tvoří spíše malá (maximálně zhruba 100 m mocná, většinou pouze několik m), převážně žilná tělesa (mohou mít také čočkovitý i zcela nepravidelný tvar)
- jako nejvíce frakcionované členy vývoje magmatických komplexů se ve složení granitických pegmatitů uplatňují ve větší míře tzv. inkompatibilní (litofilní) prvky a obsahují řadu vzácných v jiných horninách téměř neznámých minerálů (viz. termín Geochemická frakcionace).

Obr. 1 Idealizované řezy pegmatitovými tělesy

Obr. 2. Ukázky pegmatitových textur

2. Procesy produkující granitické taveniny

Podle původu taveniny můžeme pegmatity rozdělit do dvou hlavních skupin:

(i) pegmatitová tavenina je produktem diference a frakcionace granitické taveniny (magmatogenní pegmatit). Svým vznikem i složením jsou magmatogenní pegmatity příbuzné pegmatoidním granitům, od nichž jsou často odvozeny, u nás např. Čertovy kameny u Jeseníku nebo Příbyslavice u Čáslavi, a dále vysokoteplotním žilným ložiskům Sn, popř. W a Mo a greisenům (např. amblygonitový žilník s kasiteritem z Verného u Aše).

(ii) pegmatitová tavenina je produktem natavení (metamorfogenní pegmatit) jiné horniny (hlavně metapelitů) a k procesům diferenciaci a frakcionaci zde nedošlo vůbec nebo jen v malé míře. Některé metamorfogenní pegmatity jsou blízké metatektům v migmatitech (např. cordieritem bohaté hrubozrnné partie metatektu v Horních Borech) nebo i vysokoteplotní alpské paragenezi (např. primitivní „pegmatitové“ žíly s hojným křemenem, s andalusitem, turmalínem, chloritem, muskovitem a karbonáty z Horních Borů).

Obr. 3. PT podmínky natavení hornin

3. Procesy probíhající při vzniku pegmatitů

Při vzniku pegmatitů se uplatňují dva hlavní procesy (lépe komplexy procesů): texturní diferenciaci (stavba, textury) a geochemická frakcionace (chemické složení)

Texturní diferenciaci – typickým znakem většiny granitických pegmatitů (hlavně magmatogenních ale vzácně i metamorfogenních) je zonální stavba. Ta je produktem texturní diferenciaci, kdy během krystalizace vznikají postupně jednotlivé jednotky (zóny) s odlišnou texturou, velikostí zrna i mineralogickým (chemickým) složením. Tyto jednotky mohou tvořit jasně definovatelné a souvislé zóny (hlavně granitická jednotka nebo křemenné jádro) nebo jen nepravidelné partie i značných rozměrů (např. albitová nebo lepidolitová jednotka). Termín jednotka je obecnější než termín zóna, která nám už jasně definuje způsob vystupování v pegmatitovém tělese. Příkladem je zonálnost běžně vyvinutá od okraje do středu na pegmatitových žilách:

granitická zóna (velikost zrna ~ 0,1-2 cm, křemen + K-živec + kyselý plagioklas + biotit ± muskovit)

grafická zóna (velikost zrna ~ 0,5-5 cm, křemen + K-živec)

bloková zóna (velikost zrna až několik m, K-živec)

křemenné jádro.

Ve více diferencovaných pegmatitech se objevují také albitová jednotka jako jasně definovaná zóna nebo jen partie, ale někdy i značných rozměrů, lepidolitová jednotka popř. blokový

spodumen nebo blokový petalit většinou situované mezi blokovým K-živcem (zóna blokového K-živce) a křemenným jádrem.

Obr. 4. Příklady zonálnosti pegmatitů.

Geochemická frakcionace – během frakční krystalizace v taveninách dochází ke koncentraci některých prvků (bývají označovány jako inkompatibilní) v závěrečných fázích krystalizace. Tento vývoj lze velmi dobře dokumentovat poměry vybraných prvků, např. K/Rb, K/Cs, Fe/Mn, Mg/Fe, Al/Ga, Zr/Hf, Nb/Ta a řada dalších, které se s nárůstem frakcionace snižují, (často se používají také jiné poměry Ta/(Ta+Nb), Mn/(Mn+Fe) aj.), a dále také zvýšenou koncentrací některých prvků, např. Li, Be, Sn, Ta, Rb a Cs. Stupeň frakcionace se odráží jak ve vzniku nových fází, např. Be-minerálů (beryl, hambergit, fenakit aj.), Li-minerálů (trifylín, lepidolit, petalit, spodumen, elbait, amblygonit-montebrazit), Cs-minerálů (polucit), tak ve změně chemického složení u jednotlivých skupin minerálů s nárůstem stupně frakcionace, např. slídy: biotit → muskovit → trilithionit → polyolithionit, granáty: almandin → spessartin, columbit-tantalit: ferrocolumbit → manganocolumbit → manganotantalit, turmalíny: dravit → skoryl (foitit) → elbait → rossmanit. Právě v granitických pegmatitech (magmatogenních) byly popsány nejvyšší stupně frakcionace v magmatických horninách a také výrazný nárůst frakcionace v měřítku několika m (v rámci pegmatitového tělesa) nebo jen několika mm (v rámci jednoho zrna).

Obr. 5. Příklady frakcionace minerálů

V metamorfogenních pegmatitech je stupeň frakcionace velmi nízký. Geochemická frakcionace a texturní diferenciaci spolu většinou úzce souvisí, i když vysoký stupeň texturní diferenciaci nemusí být nutně spojen s vysokým stupněm frakcionace a naopak.

Dalšími procesy (lépe komplexy procesů) probíhajícími ve větší či menší míře v granitických pegmatitech jsou také kontaminace a desilikace.

Kontaminace – proces, při němž dochází k přínosu látek z okolních hornin do pegmatitu. Charakterickým rysem je přítomnost takových chemických látek, resp. minerálů, které tyto látky obsahují a které nemohou být produktem běžné frakcionace granitické taveniny. Typickým příkladem jsou např. pegmatity pronikající serpentinity, které jsou obohaceny Mg (obsahují např. hojný cordierit, dravit nebo biotit bohatý Mg), nebo pegmatity pronikající Fe-skarny, které jsou obohaceny Fe (obsahují Fe-bohaté amfiboly a pyroxeny nebo epidot). Vlastní proces kontaminace je ale jen velmi málo prozkoumaný. Nevíme přesně, ve kterých fázích vývoje pegmatitu a jakými mechanismy dochází ke kontaminaci. Protože se ukazuje, že hlavní část krystalizace více frakcionovaných granitických pegmatitů probíhá v uzavřeném nebo téměř uzavřeném systému, zdá se, že ke kontaminaci dochází především během pohybu pegmatitové taveniny od zdroje na místo krystalizace a/nebo okamžitě po vmístění taveniny do hostitelské horniny. Jakmile vznikne okrajová pegmatitová zóna, proces kontaminace se zastaví zhruba až do konce primární krystalizace z taveniny, potom se systém znovu otevře přínosu látek.

Obr. 6. Příklad kontaminovaného pegmatitu

Desilikace – proces, při němž dochází k odnosu křemíku z horniny. Projevuje se nízkým obsahem křemene, případně jeho úplnou absencí. V granitických pegmatitech, především v těch, které pronikají serpentinity nebo také dolomitické mramory, jde o běžný proces. Vlastní proces desilikace vyžaduje detailní studium, protože není jasné, ve kterých stádiích vývoje pegmatitu a jakým mechanismem k desilikaci dochází.

Obr. 7. Příklad desilikace

4. Mateřské granitoidní plutony

U magmatogenních pegmatitů se předpokládá existence mateřského (fertilního) granitického plutonu. Ve vztahu granit-pegmatit mohou poněkud zjednodušeně nastat následující možnosti.

a) Mateřský granit je spolehlivě definovatelný. V tomto případě je pegmatit uložen přímo v mateřském granitu a lze rozeznat postupný přechod texturní, mineralogický i chemický. Pegmatity tohoto typu vesměs tvoří čočky, kapkovitá tělesa, popř. žíly různých velikostí i nepravidelné partie.

Patří sem především miarolitické pegmatity:

např. Vepice u Milevska, a další lokality v okolí Kovářova u Milevska uložené v durbachitovém masivu Čertova břemene;

Ruprechtice a další lokality v libereckém plutonu.

pegmatitů vzácných prvků (NYF) v třebíčském plutonu, např. Pozďátka, Kožichovice

b) Jednoznačný mateřský granit je obtížně definovatelný, ale pegmatit je velmi pravděpodobně vázaný na určitý granitický pluton (batolit) s více intruzemi blízkého stáří.

Sem patří pegmatitové žíly s ostrými kontakty pronikající granitickými horninami velkých batolitů:

středočeský batolit, žulovský batolit, železnohorský batolit, centrální moldanubický batolit

Většina těchto pegmatitů je značně primitivních a k této skupině patří např. allanitové pegmatity nebo pegmatity s molybdenitem ve středočeském nebo žulovském batolitu.

c) Mateřský granit je velmi obtížně definovatelný, ale v blízkém okolí pegmatitu se vyskytují granitické horniny, které jsou geologicky, geochemicky i mineralogicky příbuzné určitým pegmatitům. Jsou srovnatelného stáří ověřeného geologicky a/nebo radiometrickým datováním, obsahují podobné volatilní prvky, např. B nebo stejné minoritní a akcesorické minerály, např. turmalín, andalusit, cordierit, granát, gahnit aj.

Do této skupiny lze zařadit např. pegmatity v oblasti Borů u Velkého Meziříčí, které (i) vykazují určitou prostorovou zonálnost, nárůst stupně frakcionace zhruba směrem k S až SV, (ii) byly zde zjištěny granitické horniny, které mohou být přívodními kanály pegmatitové taveniny, (iii) v blízkém okolí se ve směru snižování stupně frakcionace vyskytují leukokratní granity (např. Lavičky – Novák et al. 1997d, Jiang et al. 2003, Buriánek a Novák 2004), které mají podobné rysy – vysoká aktivita B, relativně hojný nodulární turmalín (byl zjištěn také v okrajových zónách pegmatitů v Dolních Borech a Dobré Vodě), apatit, primární andalusit a pseudomorfózy po cordieritu.

Dalším příkladem jsou berylové a příbuzné muskovitové pegmatity v Hrubém Jeseníku (Šumperk, Maršíkov, Česká Ves, aj.), kde jsou primitivní pegmatity s biotitem, granátem a muskovitem uloženy uvnitř granitických těles (šumperský pluton, tělesa granitů sv. od Jeseníku – Čertovy kameny, Mikulovice, aj), více frakcionané žíly s muskovitem a granátem bohatým Mn leží v blízkém okolí granitických těles a nejvíce frakcionané žíly s berylem, columbitem, zirkonem, gahnitem ve větší vzdálenosti. Jako akcesorické minerály byly v granitech zjištěny stejné minerály jako v pegmatitech např. granát, zirkon, gahnit a columbit. V této oblasti bylo pozorováno i zákonité rozmístění pegmatitů ve vztahu ke gravimetrickým anomáliím.

d) Mateřský granit pravděpodobně existuje, dokazuje to hlavně vysoký stupeň frakcionace pegmatitu, ale v okolí pegmatitu nebo skupiny pegmatitů nejsou granitické horniny, které by mohly odpovídat mateřským granitům, nebo zde magmatické horniny zcela chybí. To je velmi běžný případ a odpovídá mu značná část komplexních (Li) pegmatitů moldanubika, např. Rožná, Řečice, Strážek. S ohledem na značnou pohyblivost vysoce frakcionovaných pegmatitových tavenin mohl být jejich transport poměrně dlouhý (5-10 km) a mateřský granit může být skrytý jako v případě jiných vysoce frakcionovaných pegmatitů ve světě, např. Tanco. U některých komplexních (Li) pegmatitů (např. Dobrá Voda a Dolní Bory, žíla č. 21, nebo lepidolitové pegmatity na Jihlavsku) jsou ale známy potenciální mateřské granitoidy (některé leukokráttní turmalinické granity v moldanubiku - Lavičky v oblasti Borů nebo Bílá skála u Puklic v oblasti Jihlavy).

e) Poslední skupinou jsou abysální a „subabysální“ pegmatity, které jsou anatektického (metamorfogenního) původu. Mateřský granit se u nich nepředpokládá a jsou diskutovány v následující kapitole.

5. Regionální rozšíření pegmatitů

Pegmatity většinou tvoří zonální pole, kde stupeň frakcionace v pegmatitech roste se vzdáleností od mateřského plutonu.

Obr. 8. Regionální rozšíření pegmatitů.

6. Klasifikace pegmatitů

- A. podle pozice okolních hornin v PT diagramech
- B. podle vztahu ke mateřským granitoidům
- C. 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)

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

3. Vzácnoprvkové

- 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

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

Vzácnno-prvkové a miarolitické

Tab. 1. Klasifikace vzácnno-prvkových pegmatitů – LCT nebo NYF

Granitické pegmatity jsou podle mineralogického složení a pozice v zemské kůře řazeny do několika tříd - abysální, muskovitové, muskovitové-vzácných prvků, vzácných prvků a miarolitické (Černý a Ercit 2005).

V závislosti na chemické signatuře mateřské granitické horniny jsou pegmatity třídy vzácných prvků klasifikovány do tří genetických skupin (anglicky family; Černý 1991):

LCT typické prvky - Li,Rb,Cs,Be,Sn,Zr,Hf,W,Ga,Ta>Nb,F,B,P

NYF typické prvky - Nb>Ta,Ti,Be,Y,Sc,REE,Zr,U,Th,F

Mixed – nese společné geochemické rysy jak LCT a tak NYF skupin, s více či méně výraznou převahou jedné z nich. Pegmatity patřící do této skupiny jsou vzácné a většinou nejsou spolehlivě zařaditelné

7. Vznik granitických pegmatitů z taveniny

Obr. 9. Fázové vztahy v granitických systémech pro 2 kbar jako funkce T a obsahu H₂O.

Obr. 10. Fázové vztahy a krystalizační produkty v granitických pegmatitech podle Jahns a Burnham (1969) a London (1986).

Členění pegmatitů podle místa vzniku (Černý 1991)

Skupina	Typické stopové prvky	Metamorfní podmínky	Strukturní pozice těles
Abysální	U, Th, Zr, Nb, Ti, Y, REE, Mo	vyšší stupeň amfibolitová facie a granulitová facie (4-9 kbar, 700-800°C)	konformní a mobilizované žíly
Muskovitická	Li, Be, Y, REE, Ti, U, Th, Nb>Ta	vysokotlaká amfibolitová facie (5-8 kbar, 650-580°C)	konformní a diskordantní tělesa
Vzácných prvků	Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Hf, Nb, Ta, B, P, F, Y, REE, Ti, U, Th, Zr, Nb>Ta, F	nízkotlaká amfibolitová facie až svrchní facie zelených břidlic (2-4 kbar, 650-500°C)	konformní i diskordantní žíly
Miarolitická	Be, Y, REE, Ti, U, Th, Zr, Nb>Ta, F	nízkotlaké podmínky, blízko povrchu (1-2 kbar)	kapsy, čočky, diskordantní žíly

Podrobnější klasifikace skupiny pegmatitů vzácných prvků (upraveno podle Černý 1991 a 1998)

pegmatitový typ	pegmatitový subtyp	typické vedlejší prvky	typické minerály
vzácných zemin	allanit – monazitový	(L)REE, U, Th (P, B, Nb > Ta)	allanit, monazit
	gadolinitový	Y, (H)REE, Be, Nb > Ta F, (U, Th, Ti, Zr)	gadolinit, fergusonit, euxenit, (topaz, beryl)
berylový	beryl – kolumbitový	Be, Nb ↔ Ta (±Sn, B)	beryl, kolumbit-tantalit
	beryl – kolumbit - fosfátový	Be, Nb ↔ Ta, P (Li, F, ± Sn, B)	beryl, kolumbit-tantalit, tripilit, trifylin
komplexní	spodumenový	Li, Rb, Cs, Be, Nb ↔ Ta (Sn, P, F ± B)	spodumen, beryl, tantalit, (amblygonit, lepidolit, pollucit)
	petalitový	F, Li, Rb, Cs, B, Nb < Ta (Sn, Ga, P, F, ±B)	petalit, beryl, tantalit, (amblygonit, lepidolit)
	lepidolitový	F, Li, Rb, Cs, Be Nb < Ta, (Sn, P, ±B)	lepidolit, topaz, beryl, mikrolit, (pollucit)
	amblygonitový	P, F, Li, Rb Cs, Be, Nb < Ta (Sn, ±B)	amblygonit, beryl, tantalit, (lepidolit, pollucit)
	elbaitový	Li, B, Be Cs, Nb > Ta	elbait, hambergit, danburit, datolit
albit – spodumenový		Li (Sn, Be, Nb ↔ Ta, ±B)	spodumen, (kassiterit, beryl, tantalit)
albitový		Nb ↔ Ta, Be (Li, ±Sn, B)	tantalit, beryl, (kassiterit)

Dělení podle vztahu granitických pegmatitů v závislosti na geologické pozici okolních hornin a podle vztahu k mateřskému granitu (upraveno podle Černý a Ercit 2005)

třída	typ	geochemie	celk. složení	asociované granity
LCT	berylové, komplexní, albit - spodumenové, albitové	Li, Br Cs, Be, Sn, Ga Ta>Nb, (B, P, F)	peraluminické	synorogenní pozdně orogenní
NYF	vzácných zemin	Nb>Ta, Ti, Y, Sc, REE, Zr, U, Th, F	subalumin. až metaluminické	zejména anorogenní
smíšený		smíšená	metaluminické až slabě peraluminické	postorogenní až orogenní, slabě heterogenní