

Modifikace Al_2SiO_5 a příbuzné minerály

Prof. RNDr. Milan Novák, CSc.

1. Úvod

Velmi významná skupina horninotvorných minerálů, které se vyskytují v různých typech Al-bohatých hornin. Zahrnuje tři minerály:

Sillimanit $\text{Al}^6 \text{Al}^4 \text{O SiO}_4$

Andalusit $\text{Al}^6 \text{Al}^5 \text{O SiO}_4$

Kyanit $\text{Al}^6 \text{Al}^6 \text{O SiO}_4$

2. Fyzikální vlastnosti

Sillimanit rombický *Pbnm*, 2/m2/m2/m.

Andalusit rombický *Pnnm*, 2/m2/m2/m

Kyanit triklinický *C1*, 1

Sillimanit *a* 7.486, *b* 7.657, *c* 5.7729 Å, *V* 331.6 Å³, *Z* 4

Andalusit *a* 7.795, *b* 7.896, *c* 5.558 Å, *V* 342.1 Å³, *Z* 4

Kyanit *a* 7.112, *b* 7.844, *c* 5.574 Å, α 88.9, β 101.1, γ 105.9, *V* 292.9 Å³, *Z* 4

Vzhled, barva a optické vlastnosti:

Sillimanit – jehlicovité až vláknité, méně často i drobně až hrubě zrnité agregáty nebo sloupcovité krystaly, velikost až do několik dm

šedá, bílá, žlutá, hnědá, bezbarvý

Andalusit - sloupcovité krystaly, jehlicovité, drobně až hrubě zrnité agregáty, velikost až do velikosti 1 m

růžová, červenohnědá, bílá šedá, zelená, modrá, někdy je pleochroický

Kyanit - sloupcovité až tabulkovité krystaly, drobně až hrubě zrnité agregáty, velikost až několik dm

modrá, šedá, bezbarvý, vysoký index lomu

Variety:

viridin – zelený Mn-andalusit,
 chiasolit – andalusit se sektoriální zonálností z kontaktních rohovců,
 fibrolit – jehlicovitý sillimanit

3. Krystalová struktura

Obr. 1. Krystalová struktura sillimanitu, andalusitu a kyanitu I

Obr. 2. Krystalová struktura sillimanitu, andalusitu a kyanitu II

4. Chemické složení:

		minoritní a stopové prvky
Sillimanit	$\text{Al}^6 \text{Al}^4 \text{O SiO}_4$	B^{3+} , Mg, Fe^{3+} , Al, H
Andalusit	$\text{Al}^6 \text{Al}^5 \text{O SiO}_4$	Mn^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , H
Kyanit	$\text{Al}^6 \text{Al}^6 \text{O SiO}_4$	Cr^{3+} , V^{3+} , Fe^{3+} , H

Většinou jsou blízké koncovému členu, některé stopové až minoritní prvky jsou uvedeny výše. Pouze Mn^{3+} a v menší míře také Fe^{3+} v andalusitu dosahují významných koncentrací a existuje Mn^{3+} analog andalusitu - kanonait. Vysoké obsahy Al v sillimanitu vedou ke vzniku mullitu.

Andalusit-kanonait – Mn^{3+} - téměř úplná mísitelnost.

Sillimanit-mullit – Al - existuje pole nemísitelnosti.

Sillimanit-boralsilit – B - mísitelnost existuje, ale její rozsah není znám

Minoritní prvky většinou vstupují do obou pozic obsazovaných Al, většinou ale více do oktaedrické pozice (např. Mn^{3+} v Mn-andalusitu), B vstupuje do pozice T.

5. Petrologický význam jednotlivých modifikací Al_2SiO_5 a příbuzných minerálů

Typy výskytu:

Sillimanit – regionálně metamorfované horniny středního až vyššího stupně, migmatity

Andalusit – kontaktně metamorfované horniny, granity, pegmatity

Kyanit – regionálně metamorfované horniny středního až vyššího stupně, granulity

Obr. 3. Trojný bod - Al_2SiO_5 .

- a) Holdaway 1971
- b) Robie a Hemingway 1984
- c) Holland a Powell 1985
- d) Pattison 1989

Z obrázků je zřejmé, že pozice trojného bodu zůstává stále diskutabilní. V dnešní době je nejvíce uznáván trojný bod podle Holdaway (1971) popř. podle Pattison (1989). Především pozice univariantní křivky reakce andalusit=sillimanit je nejistá.

Problém fibrolitu

Jehlicovitý sillimanit-fibrolit je mnohem hojnější než prismatický sillimanit. Jeho pole stability velmi pravděpodobně zasahuje do pole andalusitu v trojných diagramech.

Obr. 4. Fázové vztahy v systému Al-Si-O-H za vysokých teplot
+ korund, mullit

Obr. 5. Fázové vztahy v systému Al-Si-O-H za nízkých teplot
+ korund, diaspor, pyrofylyt, kaolinit

6. Další příbuzné minerály

Kanonaite



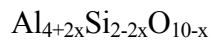
rombický, $Pn\bar{m}$, $2/m2/m2/m$, a 7.959, b 8.047, c 5.616 Å, V 359.6 Å³, Z 4

Vzhled, barva, optické vlastnosti a výskyt:

sloupcovité krystaly, drobně až hrubě zrnité agregáty, velikost do několika mm, tmavě zelená, velmi výrazný pleochroismus v barvách zelená až červenohnědá, velmi vzácný minerál v Mn-bohatých horninách.

Obr. 6. Pole stability Al-Mn andalusitu

Mullit



rombický, $Pbam$, $2/m2/m2/m$, a 7.5416, b 7.6942, c 2.8875 Å, V 167.5 Å³, Z 2,

Vzhled, barva a výskyt:

velmi jemné jehlicovité agregáty, bezbarvé až šedé, většinou mikroskopické v horninách vzniklých při kontaktní metamorfóze za velmi vysokých teplot.

Obr. 7. Pole stability mullitu

Boralsilit



rombický

Vzhled, barva a výskyt:

vzácný, většinou jen mikroskopický, velmi podobný sillimanitu, Al,B-bohatých horninách.

Staurolit

Typický horninotvorný minerál svorů a rul, výjimečně se objevuje v peraluminických granitech, popř. pegmatitech, typický těžký minerál vzhledem ke svojí mechanické a chemické odolnosti a hustotě.

Fyzikální vlastnosti:

Barva: hnědá, černohnědá až žlutá v různých odstínech

pleochroický: bezbarvý až žlutý

Indexy lomu: α 1.736-1.747, β 1.742-1.753, γ 1.748-1.761,

Hustota: 3.74-3.83

Tvrdost: 7-7½

Tvar: sloupcovité krystaly a jejich prorostlice

Struktura:

Obr. 1-1. Struktura staurolitu str 172.

monoklinický (pseudorombický)

$\beta = 90,00 - 90,64^\circ$

Staurolit je možno považovat za člen řady - plně uspořádaný monoklinický až plně neuspořádaný rombický

Krystalová chemie:

Obecný vzorec $A_4B_4C_{18}D_4T_8O_{40}X_8$

$A = \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \quad (> 2)$	M(4A),M(4B)
$B = \text{Fe}^{2+}, \text{Zn}, \text{Co}, \text{Mg}, \text{Li}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn},$	T(2)
$C = \text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}, \text{V}, \text{Mg}, \text{Ti}$	M(1A),M(1B),M(2)
$D = \text{Al}, \text{Mg}, \quad (> 2)$	M(3A), M(3B)
$T = \text{Si}, \text{Al}$	T(1)
$X = \text{OH}, \text{F}, \text{O}$	O(1A), O(1B)

složení teoretických koncových členů

A	B	C	D	T	O	X
4	Fe^{2+}_4	Al_{16}	$\text{Al}_2 \quad 2$	Si_8	O_{40}	$(\text{OH})_2\text{O}_6$
2Fe^{2+}_2	4	Al_{16}	$\text{Al}_2 \quad 2$	Si_8	O_{40}	$(\text{OH})_6\text{O}_2$
4	Fe^{2+}_4	Al_{16}	4	Si_8	O_{40}	$(\text{OH})_8$
4	Fe^{2+}_4	Al_{16}	$\text{Al}_2 \quad 2$	Si_4Al_4	O_{40}	$(\text{OH})_6\text{O}_2$
4	Fe^{2+}_4	$\text{Al}_{12}\text{Mg}_4$	$\text{Al}_2 \quad 2$	Si_8	O_{40}	$(\text{OH})_6\text{O}_2$
4	Li_4	Al_{16}	$\text{Al}_2 \quad 2$	Si_8	O_{40}	$(\text{OH})_6\text{O}_2$

Typické substituce:

homovalentní substituce:

Zn- Fe^{2+} , Co- Fe^{2+} , Mg- Fe^{2+}

heterovalentní substituce:

$\text{Fe} \quad 2(\text{OH})_2(\text{Fe}_2\text{O}_2)_{-1}$

$2(\text{OH})_6(\text{Al}_2\text{O}_6)_{-1}$

$\text{Al}(\text{OH})(\text{SiO})_{-1}$

$\text{Mg}(\text{OH})(\text{AlO})_{-1}$

$\text{Li}(\text{OH})(\text{FeO})_{-1}$

Tab. 1-1. str 611

Obr. 1-2. str 613

typické substituce v přírodních staurolitech:

$\text{Fe} \quad 2(\text{OH})_2(\text{Fe}_2\text{O}_2)_{-1}$

$\text{Li}(\text{OH})(\text{FeO})_{-1}$

$\text{MgAl}(\text{OH})_2(\text{SiAlO}_2)_{-1}$

koncentrace jednotlivých kationtů *apfu*

Si	7,09-8,09	Al	16,56-19,91	Mn	0-0,15	Cr	0-0,45
Fe	1,86-3,66 (0,16)	Mg	0-1,44 (3,01)	Co	0-1,94	Ni	0-0,20

Zn 0-1,54 (2,13) Ti 0-0,17 (0,34) Li 0-1,57 H 2,68-4,18

V přírodě existují stauroлиты s vysokým obsahem Zn, Co, Li, výjimečně Mg.
Do krystalové struktury staurolitu jsou přednostně vázány některé prvky (Fe, Li, Zn).

Výpočet chemického vzorce:

1. Při stanovení všech důležitých prvků včetně Li a H₂O – na 48 (O,OH,F)
2. Při běžných výsledcích z mikrosondy – na 46.5 O (H= 3.0 apfu).

Typické znaky chemismu přírodních staurolitů:

vysoký obsah Fe: pokles X_{Mg}

metapelite středního stupně

turmalín > cordierit > chlorit > biotit > **staurolit** > granát

pravděpodobně časté minoritní obsahy Li: pokles X_{Li}

metapelite středního stupně

staurolit > cordierit > biotit > muskovit > granat, turmalín, chloritoid

často zvýšený obsah Zn:

Poměr Zn/Fe ve staurolitu je 10x až 100x vyšší než v asociujících minerálech (granát, biotit, chlorit).

Safirín (Mg,Fe²⁺,Fe³⁺,Al)₈O₂ (Al,Si)₆ O₁₈ monoklinický, space group *P2₁/m*

Poměrně vzácný horninotvorný minerál v horninách vysokého stupně metamorfózy (granulitová až amfibolitová facie). vyskytuje se především v Al-bohatých a Si-chudých horninách spolu se spinelem, granátem, sillimanitem, kyanitem, korundem, ortopyroxenem a cordieritem.

Fyzikální vlastnosti:

Barva: světle zelená až modrá, šedá

pleochroický: bezbarvá, růžová, světle zelená, světle žlutá

Indexy lomu: α 1.701-1.726, β 1.703-1.728, γ 1.705-1.73415,

Hustota: 3.40-3.58 g/cm³

Tvrдость: 7/2

Tvar: nepravidelná zrna

Typická substituce MgSi Al₂

Yoderit Mg₂(Al,Fe³⁺)₆Si₄O₁₈(OH)₂ monoklinický, space group *P2₁/m*, class *2/m*.

Velmi vzácný horninotvorný minerál, známý dosud pouze z křemene-kyanite-mastkových břidlic (~ 10 kbar, ~ 800 ° C). Doprovázející minerály chlorit, hematit a dravit. Yoderit je indikátorem vysoké fO_2 ve velkých hloubkách zemské kůry.

Fyzikální vlastnosti:

Barva: tmavě fialový až smaragdově zelený
pleochroický: světle modrá, zelená, světle žlutá

Indexy lomu: α 1.689, β 1.691, γ 1.715,

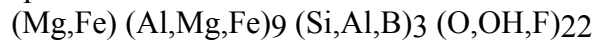
Hustota: 3.39 g/cm³

Tvrdość: 6

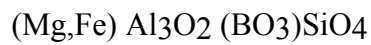
Tvar: protáhlá zrna

•**Další Al-bohaté minerály:**

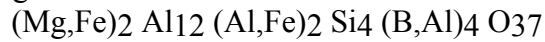
Kornerupin



Grandierit



Weringit



Vyskytují se ve vysoce metamorfovaných horninách bohatých Al a někdy také B.
Většinou se vyznačují výrazným pleochroismem.