

## INTERPRETACE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ TĚŽKÝCH MINERÁLŮ V SEDIMENTECH Z ŘEKY HODONÍNKY

Interpretation of chemical composition of heavy minerals in stream sediments of the Hodonínka river

David Buriánek

Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 59 Brno; e-mail: david.burianek@geology.cz

(24–12 Letovice)

*Key words: heavy minerals, chemical composition, provenance, stream sediments*

### Abstract

Heavy minerals represent a good tool for determination of the source area of stream sediments. Studied sediment derived from upper part Hodonínka river drainage area contain the following mineral association: garnets + amphiboles +  $Al_2SiO_5$  minerals + ilmenite (content of other minerals is below the 6 vol. %). The studied part of the Hodonínka river drainage area is located in the rocks of the Polička Crystalline Complex, Moravian micaschist zone and Olešnice Unit of Moravicum. Chemical compositions of garnet, amphibole, ilmenite and staurolite from possible source rocks and studied river sediment show remarkable similarity. In the case of small and geologically simple drainage area of the Hodonínka river this method even allows to approximately quantify degree the share of the individual source rock types on the modal composition of the heavy minerals in the sediments.

### Úvod

V současné sedimentární petrologii jsou velmi populární metody využívající chemické složení těžkých minerálů pro určení provenience studovaných sedimentů. Většina autorů se omezuje na pouhé konstatování přítomnosti minerálů, které jsou charakteristické pro určité horninové typy (Ehrmann – Polozek 1999). Pro některé minerály, jako jsou například granát nebo turmalín, existují diagramy umožňující na základě chemického složení identifikovat horninu nebo skupinu hornin, z nichž minerál pochází (Xie – Ding 2007, Čopjaková et al. 2005). Jiní autoři provádí srovnání zjištěného chemického složení minerálů s chemickým složením stejných minerálů v horninách, které považují za možný zdroj materiálu pro studované sedimenty (Acquafredda et al. 1997, Damiani – Giorgetti 2008). Na řadu otázek ale prozatím neznáme jednoznačnou odpověď. Mezi jedny z nejdůležitějších patří, zda můžeme kvantifikovat množství materiálů přinášených z různých geologických jednotek?

Tento problém můžeme dobře studovat v podmínkách povodí malých říčních toků v oblastech, kde máme dostatečné znalosti o chemickém složení těžkých minerálů v předpokládaných zdrojových horninách. Velmi vhodnou modelovou oblastí je horní tok říčky Hodonínky na Českomoravské vrchovině. Petrografické složení hornin jednotlivých jednotek je poměrně podrobně zpracováno (např. Mísař et al. 1995) a pro řadu hornin jsou k dispozici údaje o chemickém složení minerálů, které je tvoří.

### Metodika

Pro studium byl použit šlichový vzorek z aluviálního sedimentu toku Hodonínka. Tento tok leží na v. Českomoravské vrchoviny. Studovaný vzorek říčních sedimentů

byl lokalizován ssz. od Olešnice (GPS kordináty: y 607892 a x 1117826). Odběr a separaci těžkých minerálů provedli pracovníci družstva GEOMIN.

Odebíráno bylo 10 litrů nevytříděného aluviálního sedimentu ve dně toku do hloubky ca 30 až 40 cm. Odebraný materiál byl ve vodním prostředí propírán a síťován na síť s velikostí ok 2 mm. Frakce < 2 mm byla odkalením zbavena jílovité složky a vyrýžována do „šedého“ šlichu. V laboratoři byly usušené koncentráty těžkých minerálů zrnitostně upraveny na síť s velikostí ok 0,15 mm. Koncentrát o zrnitosti 0,15–2 mm byl magnetickou separací za použití permanentního magnetu rozdělen na ferromagnetickou frakci (FMF, obsahuje silně magnetické minerály), magnetickou frakci (MF, paramagnetické minerály) a nemagnetickou frakci (NF, diamagnetické a nemagnetické minerály). Následovala separace v těžkých kapalinách (bromoform,  $r = 2,85 \text{ g/cm}^3$ ). Dále byly studovány průsvitné minerály NF a ilmenit. Identifikace minerálů a zjištění jejich množství se provádí pomocí polarizačního mikroskopu. Procentuální zastoupení vychází z mikroskopického určení 400 zrn těžkých minerálů.

Analýzy minerálů byly provedeny na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 ve Státním geologickém ústavu Dionýza Štúra v Bratislavě (operátor V. Kollárová). Krystalochemické vzorce ilmenitu jsou vypočteny na 6 kyslíků, staurolitu na 46 kyslíků a granátu na 12 kyslíků. Při vyhodnocení bylo pro amfiboly užito platné klasifikace Leake et. al. (1997) a trojmocné železo bylo počítáno metodou 13eCNK (Schumacher 1996). Použití zkratky minerálu jsou podle Kretze (1983).

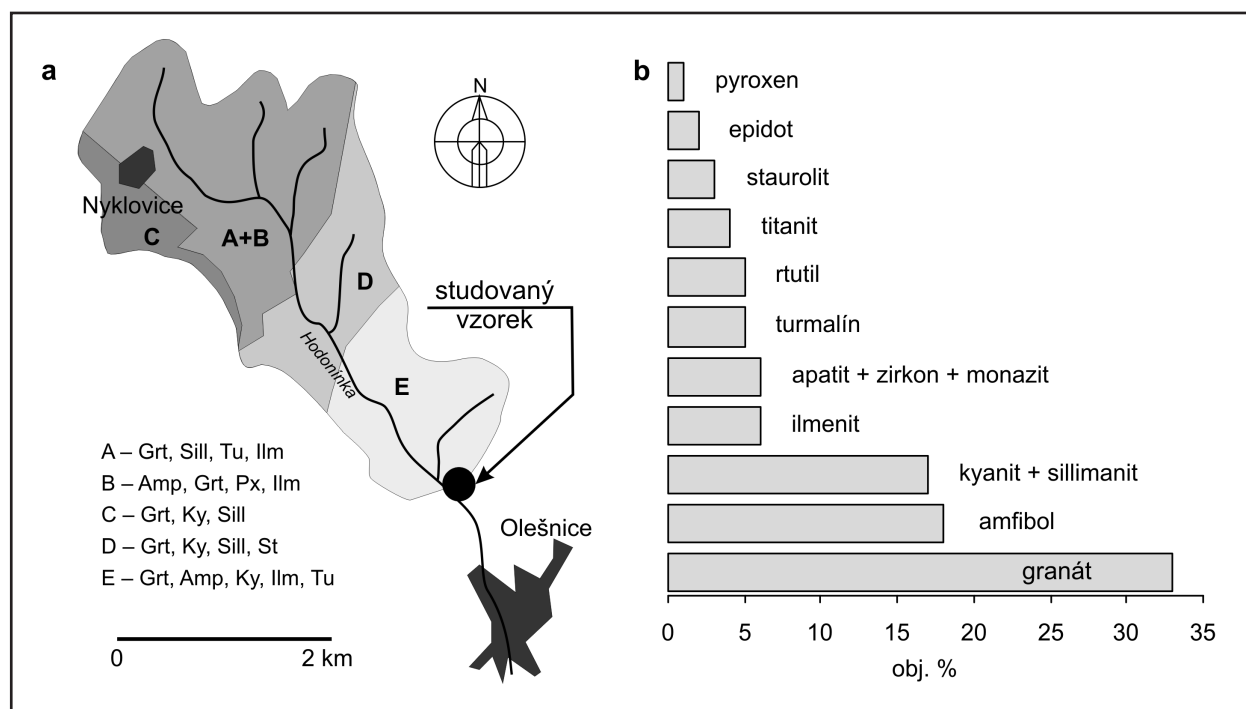
Pro porovnání byly podle archivních dat autora použity údaje publikované v pracích Štoudové (1998) a Tichého (1992).

## Geologická a mineralogická charakteristika snosové oblasti

Říčka Hodonínka pramení u obce Nyklovce, protéká přes Olešnici a u Štěpánova nad Svratkou se vlévá do řeky Svratky. Zvolená oblast studia je jedinečná díky své morfologii a geologické pozici. Povodí je relativně malé, avšak zároveň protíná hranice mezi odlišnými geologickými jednotkami. Odebraný vzorek by měl obsahovat materiál z horního toku říčky Hodonínky v délce zhruba 6 km. První polovina této části toku protéká horninami poličského krystalinika. Zbývající část toku je situována na horninách moravika a svorové zóny (obr. 1a).

Část povodí budovaná horninami poličského krystalinika obsahuje granulity, muskovit-biotitické až biotitické ruly, amfibolity a v malém množství svory až svorové ruly. Tento materiál dotuje tok v délce přibližně prvních 3 km. Charakteristickou horninou jsou drobnozrnité biotitické až muskovit-biotitické pararuly s různou mírou především injekční migmatitizace se sillimanitem, granátem a někdy turmalínem. Místy se mohou objevit polohy svorových rul až svorů. Tyto horniny obsahují almandinový granát (Alm 58–79 mol. %) s nízkým obsahem Grs (0–12 mol. %) a mírnou převahou Prp (8–21 mol. %) nad Sps (1–26 mol. %). Ilmenit z rul a svorů obsahuje většinou méně než 6 mol. % (pouze vzácně se objevují ilmenity s obsahem až 12 mol. % pyrofanitové komponenty a do 2 mol. % geikilitové komponenty). Ve svorech může

být přítomen staurolit. Pro granulity je charakteristický almandinový granát (Alm 48–82 mol. %) s vysokým obsahem pyropové komponenty (13–43 mol. %) a středním obsahem Grs (1–21 mol. %) a nízkým obsahem Sps (1–2 mol. %). Běžně se v nich vyskytuje kyanit i sillimanit. Poblíž granulitů také vystupují ortoruly, které někdy obsahují turmalín nebo granát (Alm<sub>88–93</sub> Sps<sub>1–5</sub> Pyr<sub>2–5</sub> Grs<sub>2–3</sub>). Dále jsou v poličském krystaliniku zastoupeny amfibolity a vápenatosilikátové horniny. Oba horninové typy obsahují amfibol, pyroxen a někdy také granát. V některých amfibolitech se vyskytuje také ilmenit s obsahem 2–10 mol. % pyrofanitové komponenty a až 2 mol. % geikilitové komponenty. Granát (obr. 2) v amfibolitech nebo příbuzných horninách má složení (Alm<sub>48–71</sub> Sps<sub>4–19</sub> Pyr<sub>5–15</sub> Grs<sub>6–28</sub> Adr<sub>0–4</sub>) a ve vápenatosilikátových horninách se vyskytuje granát s převahou grosulárové komponenty (Alm<sub>6–18</sub> Sps<sub>1–8</sub> Pyr<sub>0–1</sub> Grs<sub>71–91</sub> Adr<sub>1–5</sub>). V amfibolitech se granát vyskytuje v asociaci s amfiboly cummingtonit-gruneritové řady. Většina amfibolů z vápenatosilikátových hornin a amfibolitů má složení odpovídající magnesiohornblendu (obr. 3a). Ve studované části krystalinika vystupují tělesa mramorů, v nichž se vyskytuje tremolit a diopsid. Ruly jsou proráženy až několik m mocnými žilami pegmatitů, které někdy obsahují turmalín a granát. V řadě hornin poličského krystalinika se jako akcesorické minerály běžně vyskytují apatit, monazit, xenotim, zirkon, rutil a titanit.



Obr. 1: Pozice studovaného vzorku a rozsah snosové oblasti (a) a podíl hlavních těžkých minerálů (bez magnetitu) ve studovaném vzorku (b). Schéma geologických jednotek je upraveno podle Mísaře et al. (1995): A – ruly a svory poličského krystalinika, B – amfibolity a vápenatosilikátové horniny poličského krystalinika, C – granulity a ortoruly poličského krystalinika, D – svory moravské svorové zóny, E – svory a amfibolity moravika.

Fig. 1: Position of the studied sample and the range of the draining area (a) and proportion of main heavy minerals (without magnetite) in the studied sample (b). Sketch of geological units according to Mísař et al. (1995): A – gneisses and micaschist from the Polička Crystalline Complex, B – amphibolites and calc-silicate rocks from the Polička Crystalline Complex, C – granulites and orthogneisses from the Polička Crystalline Complex, D – micaschist from the Moravian micaschist zone, E – micaschist and amphibolite from the Olešnice Unit of Moravicum.

Ke svorům a rulám poličského krystalinika také řadíme horniny svorové zóny, protože chemické složení granátů a staurolitu je zde podobné jako chemické složení těchto minerálů ze svorů poličského krystalinika. Moravská svorová zóna zabírá asi 1 km délky toku.

Na dalších zhruba 2 km délky odvodňuje říčka oblast olešnické skupiny moravika. Převažují zde svory a biotitické pararuly, místy s granátem. Granáty z těchto hornin mají oproti granátům z poličského krystalinika vyšší obsahy almandinové komponenty (Alm 51–79 mol. %) a z ostatních komponent většinou převažuje Grs (7–28 mol. %) nad Prp (2–16 mol. %) a Sps (0–14 mol. %). V těchto horninách se vyskytuje kyanit a ilmenit. Dále jsou zde drobná tělesa kvarcitů, mramorů a amfibolitů. Ty však patrně nemají pro složení těžkého podílu zásadní význam. Mohou ovlivnit hlavně obsah amfibolů. Z mramorů může pocházet amfibol tremolit-aktinolitového složení a v malém množství může být přítomen obecný amfibol z amfibolitů.

#### Výsledky studia frakce těžkých minerálů v říčních sedimentu

Frakce průsvitných těžkých minerálů (+ ilmenit) ve studovaném vzorku obsahuje převahu granátu (33 obj. %), výrazně je také zastoupen amfibol (18 obj. %) a kyanit nebo sillimanit (17 obj. %). Minerály jako turmalín, ilmenit, rutil a titanit jsou zastoupeny v obsazích od 6 do 4 obj. %. Ostatní minerály (epidot, staurolit nebo pyroxen) jsou zastoupeny v obsazích mezi 1–3 obj. % (obr. 1b). Ve ferromagnetické frakci těžkých minerálů naprosto dominuje magnetit.

Mezi granáty (tab. 1) převažují dvě skupiny (obr. 2). Obě se vyznačují převahou almandinové komponenty (83–43 mol. %). V prvním případě (typ I) jde o granáty, které zároveň mají vyšší obsahy Prp (20–46 mol. %) a Grs (6–28 mol. %) komponent a obsah Sps komponenty je do 1 mol. %. Druhý typ granátů se vyznačuje obvykle nižšími obsahy Prp (10–30 mol. %) a vyššími obsahy Sps (1–12 mol. %) komponenty. Třetí typ granátů se vyznačuje převahou spessartinové komponenty (42–48 mol. %) a čtvrtý typ (pouze jedno zrno má vysoký obsah grosulárové komponenty, 40 mol. %).

Ilmenity ze studovaného vzorku mají poměrně homogenní chemické složení. Obsahují do 4 mol. % pyrofanitu a do 1 mol. % geikielitu. Chemické složení amfibolů většinou odpovídá magnesiohornblendu a méně je zastoupen tschermakit. Naprosto chybí amfiboly tremolit-aktinolitové řady. Zrna staurolitu mají poměrně homogenní chemické složení ( $Fe/(Fe+Mg) = 0,16–0,19$ ;  $Al = 17,6–18,0$  apfu).

#### Interpretace provenience těžkých minerálů ve studovaném vzorku

Studovaný vzorek zahrnuje snosovou oblast dvou geologických celků, a to poličského krystalinika (sem

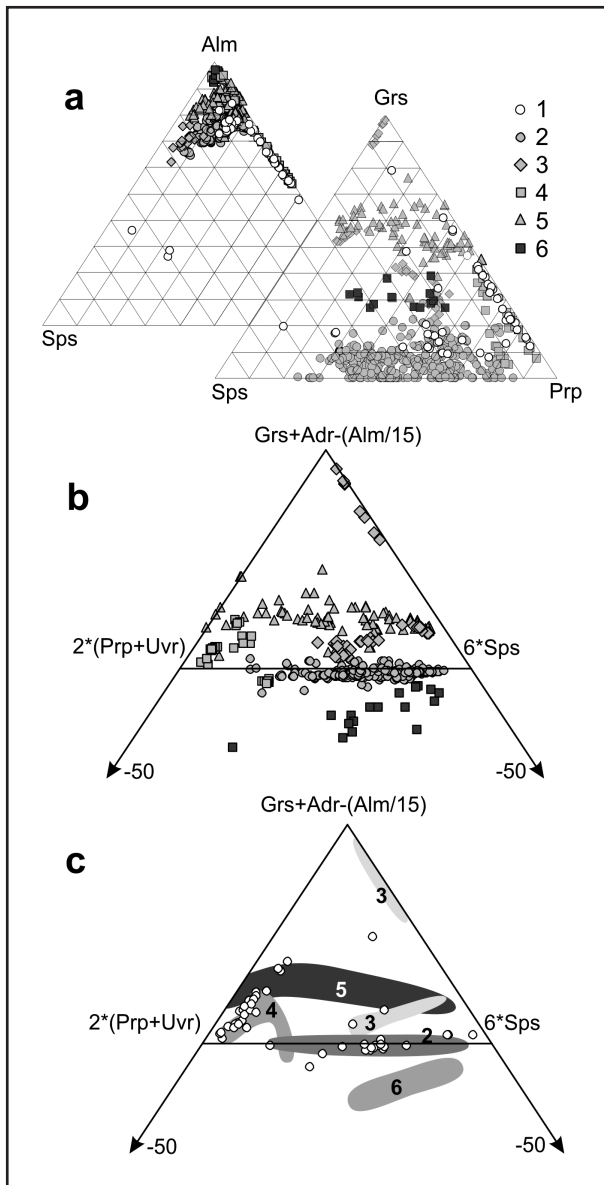
Vzorek	5_1	5_2	5_3	5_4	5_5	5_6	5_7	5_8	5_10
SiO <sub>2</sub>	39,41	37,94	38,01	39,82	37,80	39,30	39,58	37,75	38,76
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,03	0,04	0,05	0,12	0,07	0,08	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,03	21,72	21,32	22,20	21,29	22,04	22,06	21,18	21,82
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04
FeO	26,78	32,40	32,16	25,79	36,20	22,43	23,46	13,71	25,72
MnO	0,71	2,36	3,37	0,55	1,19	0,52	0,49	21,27	0,53
MgO	7,84	4,27	4,13	8,26	3,22	5,31	7,70	1,74	4,17
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,04	0,04	0,02	0,06	0,03	0,03	0,09	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	3,35	1,32	0,92	4,27	0,47	10,12	7,22	4,79	9,85
<b>Total</b>	<b>100,22</b>	<b>100,05</b>	<b>99,99</b>	<b>100,96</b>	<b>100,28</b>	<b>99,87</b>	<b>100,66</b>	<b>100,62</b>	<b>100,97</b>
Si <sup>4+</sup>	3,021	3,000	3,019	3,021	3,016	3,019	3,013	3,009	3,001
P <sup>5+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti <sup>4+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>T - site</b>	<b>3,021</b>	<b>3,000</b>	<b>3,019</b>	<b>3,021</b>	<b>3,016</b>	<b>3,019</b>	<b>3,013</b>	<b>3,009</b>	<b>3,001</b>
Al <sup>3+</sup>	1,991	2,024	1,995	1,986	2,001	1,995	1,979	1,990	1,991
Cr <sup>3+</sup>	0,005	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002
Ti <sup>4+</sup>	0,000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,007	0,004	0,005	0,003
Y <sup>3+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>B - site</b>	<b>1,995</b>	<b>2,024</b>	<b>1,998</b>	<b>1,989</b>	<b>2,004</b>	<b>2,002</b>	<b>1,986</b>	<b>1,996</b>	<b>1,999</b>
Fe <sup>2+</sup>	1,745	2,185	2,165	1,654	2,449	1,477	1,494	0,923	1,666
Mn <sup>2+</sup>	0,046	0,158	0,227	0,035	0,080	0,034	0,032	1,436	0,035
Mg <sup>2+</sup>	0,896	0,503	0,488	0,934	0,383	0,608	0,874	0,207	0,482
Ca <sup>2+</sup>	0,276	0,112	0,079	0,347	0,040	0,833	0,589	0,409	0,817
Na <sup>+</sup>	0,004	0,009	0,010	0,004	0,015	0,007	0,007	0,021	0,000
<b>A - site</b>	<b>2,967</b>	<b>2,967</b>	<b>2,969</b>	<b>2,975</b>	<b>2,968</b>	<b>2,959</b>	<b>2,996</b>	<b>2,996</b>	<b>2,999</b>
Alm	59	74	73	56	83	50	50	31	55
Andr	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grs	9	4	3	12	1	28	20	14	27
Prp	30	17	17	31	13	21	29	7	16
Sps	2	5	8	1	3	1	1	48	1
Uv	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 1: Chemické složení granátů z říčních sedimentů.

Tab. 1: Chemical composition of garnet from stream sediments.

řadíme i moravskou svorovou zónu, kterou na základě složení granátů nemůžeme od poličského krystalinika odlišit) a moravika. Dvě třetiny plochy povodí zabírají horniny poličského krystalinika společně s moravskou svorovou zónou.

Porovnáním plošného rozšíření jednotlivých horninových typů a obsahů těžkých minerálů v těchto horninách se můžeme pokusit odhadnout, které minerály by měly v těžkém podílu převažovat. Z tohoto odhadu vychází, že ve studovaném sedimentu by měl převažovat granát nad amfibolem. Tělesa amfibolitů jsou ve srovnání s rozsahem ostatních hornin malá. Může být také přítomen diopsid. Staurolit bude přítomen jen v zanedbatelném množství nebo bude zcela chybět. Výrazně by měl být zastoupen ilmenit a rutil, které jsou ve většině hornin v akcesorickém množství přítomny. Hojně by měly být zastoupeny kyanit a sillimanit. V chemickém složení amfibolů by měl dominovat obecný amfibol (magnesiohornblend až tschermakit) a v určitém množství by měl být přítomen také tremolit. Mezi granáty by měl převažovat granát z rul a svorů poličského krystalinika a moravské svorové zóny. Poměrně



Obr. 2: Diagramy a/ Sps – Grs – Prp, Sps – Alm – Prp; b–c/  $2^*(Prp + Uvr) - Grs + Adr-(Alm/15) - 6^*Sps$  pro granáty ze studovaných sedimentů a možných zdrojových hornin. Legenda: 1 – studovaný vzorek, 2 – ruly a svory poličského krystalinika a svory moravské svorové zóny, 3 – amfibolity a vápenatosilikátové horniny poličského krystalinika, 4 – granulity poličského krystalinika, 5 – svory a amfibolity moravika, 6 – ortoruly poličského krystalinika.  
 Fig. 2: a/ Plots Sps – Grs – Prp, Sps – Alm – Prp; b–c/  $2^*(Prp + Uvr) - Grs + Adr-(Alm/15) - 6^*Sps$  for garnets from studied sediment and possible source rocks. Explanation: 1 – studied sample, 2 – gneisses and micaschist from the Polička Crystalline Complex and micaschist from the Moravian micaschist zone, 3 – amphibolites and calc-silicate rocks from the Polička Crystalline Complex, 4 – granulites from the Polička Crystalline Complex, 5 – micaschist and amphibolite from the Olešnice Unit of Moravicum, 6 – orthogneisses from the Polička Crystalline Complex.

hojný by měl být granát z granulitů. Naopak granát v horninách moravika je rozmístěn značně nepravidelně a jeho zastoupení v sedimentech nemusí být vysoké. Některé z těchto předpokladů tato studie potvrdila.

Granát patří mezi minerály, které jsou pro provenienční studie nevhodnější. Avšak granát je většinou

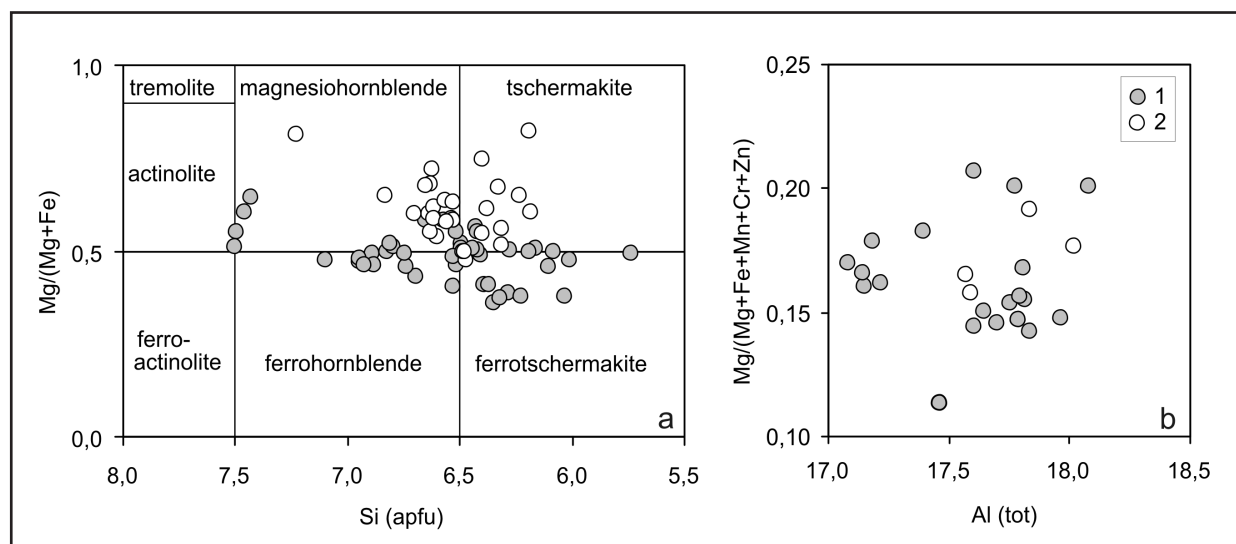
směsí tří až šesti koncových členů. Proto je často nutné zobrazovat chemické složení na dvou i více diagramech. Tato skutečnost často znesnadňuje jednoznačné srovnání jednotlivých vzorků, protože trojúhelníky zobrazují vztah pouze mezi třemi koncovými členy. V takových diagramech se často překrývají pole chemického složení granátů z různých horninových typů (obr. 2a). Velký problém také představuje zonálnost granátů. Okraj zrna granátu má často velmi odlišné složení ve srovnání se středem. V sedimentech nacházíme jen fragmenty z různých částí granátových zrn. Mnohdy mohou mít dva fragmenty ze stejného krystalu značně odlišné chemické složení. Tuto situaci do určité míry řeší trojúhelníkový diagram  $2^*(Prp+Uvr) - Grs+Adr-(Alm/15) - 6^*Sps$  (obr. 2b–c). Jeho nespornou výhodou je, že zobrazuje vztah mezi všemi hlavními komponentami v běžných granátech. Tento diagram byl vytvořen tak, aby co nejlépe zobrazoval rozdíly mezi granáty z jednotlivých horninových skupin na studovaném území. Většina rozdílů, způsobených zonálností granátových zrn, je potlačena a granáty z jednotlivých horninových typů se koncentrují do skupin, které jsou protaženy v podobě trendových linií (obr. 2c). V tomto diagramu se podařilo většinu zrn granátů přiřadit k některé z možných zdrojových hornin. Zhruba 40 % těchto granátů může pocházet ze svorů a rul poličského krystalinika nebo svorové zóny a asi 14 % může pocházet z hornin moravika. Překvapivé je, že přibližně 40 % zrn granátů pravděpodobně pochází z granulitů poličského krystalinika a asi 6 % pochází z pegmatitů a aplitů (patrně opět z poličského krystalinika). Granát z ortorul poličského krystalinika nebyl zjištěn.

Chemické složení ilmenitu velmi dobře odpovídá chemickému složení ilmenitu ze svorů a rul poličského krystalinika. Avšak zhruba polovina studovaných zrn může pocházet také z amfibolitů poličského krystalinika.

Chemické složení amfibolů (obr. 3a) je poměrně široké a při vyhodnocení výsledků nebyly k dispozici údaje z amfibolitů v moraviku. Přesto zhruba polovina zrn ze studovaných vzorků odpovídá chemickému složení amfibolu z amfibolitů poličského krystalinika. Velmi zajímavá je naprostá absence amfibolů tremolit-aktinolitové řady, které by se v této oblasti měly běžně vyskytovat vzhledem k výskytu řady drobných těles mramorů a vápenatosilikátových hornin.

Také databáze chemického složení staurolitů ze zdrojových hornin není kompletní. Navíc chemické složení staurolitů ze svorů poličského krystalinika a moravské svorové zóny je velmi podobné. Zjištěné chemické složení staurolitu ale dobře koreluje s chemickým složením staurolitu z předpokládaných zdrojových hornin (obr. 3b).

Chemické složení těžkých minerálů tedy v malých povodích poměrně dobře odráží geologickou stavbu snosové oblasti. Avšak i na takto malé ploše povodí říčky Hodonínky nemůžeme na základě procentuálního zastoupení jednotlivých typů granátů přesně odhadovat plošný rozsah horninových typů ve snosové oblasti. Takové odhady jsou jen přibližné a bývají ovlivněny řadou vedlejších faktorů, jako je například stupeň zvětrání jednotlivých horninových typů nebo přítomnost starších sedimentů.



Obr. 3: a/ Klasifikační diagram a/ Si – Mg/(Mg + Fe) (Leake et al., 1997) pro amfiboly; b/ diagram Al – Mg/(Mg + Fe + Mn + Cr + Zn) pro staurolity ze studovaného sedimentu (1) a možných zdrojových hornin poličského krystalinika a svory moravské svorové zóny (2).  
 Fig. 3: a/ Classification plot Si – Mg/(Mg + Fe) (Leake et al., 1997) for the amphiboles; b/ plot for staurolites from studied sediment (1) and possible source rocks from Polička Crystalline Complex and Moravian micaschist zone (2).

Jako velmi zajímavé se ukázalo srovnání výsledků interpretace chemického složení granátů s výsledky získanými pro jiné minerální skupiny. Bohužel tyto interpretace velmi často naráží na skutečnost, že chemické složení minerálů z jednotlivých geologických jednotek je velmi podobné a v klasifikačních diagramech se překrývá. Přesto kombinace více typů minerálů umožňuje komplexněji hodnotit přínos z různých horninových typů. Typickým příkladem jsou amfiboly. V poličském krystaliniku obsahují amfiboly granát jen vzácně, a to v asociaci s amfiboly cummingtonit-gruneritové řady. Díky tomu tento typ granátu a s ním asociované amfiboly nebyly ve studovaném vzorku sedimentů vůbec zjištěny. Avšak chemické složení amfibolů a do určité míry i ilmenitů můžeme interpretovat jako důkaz, že amfiboly bez granátů ovlivnily složení těžkého podílu sedimentů poměrně výrazně.

Výsledky interpretace provenience těžkého podílu z recentního říčního sedimentu přinesly řadu zajímavých podnětů pro další studium. Překvapivé je například vysoké zastoupení granátů z granulitů nebo nepřítomnost amfibolů tremolit-aktinolitového složení. Tyto odlišnosti oproti očekávanému složení těžkého podílu mohou souviset například s odlišnou morfologií terénu. V oblasti výskytu granulitů jsou větší výškové rozdíly než v ostatních částech snosové oblasti. Vyloučen není ani vliv eroze starších říčních sedimentů bohatých na materiál z této oblasti. Konečně určitý vliv může mít také vytržení zrn během fluvialního transportu.

### Závěry

Chemické složení těžkých minerálů bývá využíváno pro provenienční studie různě starých sedimentárních komplexů. Spolehlivost těchto výsledků však většinou není možné ověřit. Pro testování této metody bylo zvoleno poměrně malé a geologicky jednoduché povodí říčky Hodonínky, která se nachází ve v. části Českomoravské vrchoviny. Studovaný sediment obsahoval poměrně pestré spektrum těžkých minerálů, mezi nimiž dominovala minerální asociace: granát + amfibol + minerály  $Al_2SiO_5$  + ilmenit (obsah ostatních minerálů byl pod 6 obj. %).

Chemické složení granátů v případě drobných povodí s jednoduchou geologií odráží zastoupení horninových typů ve snosové oblasti. Použitím vhodných diagramů dokonce můžeme kvantifikovat zastoupení granátů různých kontrastních horninových typů. Zjištěné procentuální zastoupení jednotlivých typů granátů však nemusí přesně kopírovat plošné rozšíření dané horniny. Tyto odlišnosti mohou mít řadu příčin a často odráží morfologii terénu a odlišnou odolnost jednotlivých zdrojových hornin vůči erozi. V mnoha případech to může být důsledek eroze reliktních starších zvětralin a sedimentů (například říční terasy), které překrývají podložní krystalické horniny.

### Poděkování

Autor děkuje Z. Táborskému za kritické přečtení rukopisu. Práce byla vypracována s finanční podporou projektu GACR205/06/1431 (Model látkové bilance těžkých kovů a radiogenních elementů v oblasti malých povodí kolem nádrže Vír) a úkolu ČGS č. 390000.

**Literatura**

- Acquafredda, P. – Fornelli, A. – Piccarreta, G. – Summa, V. (1997): Provenance and tectonic implications of heavy minerals in Pliocene–Pleistocene siliciclastic sediments of the southern Apennines, Italy. – *Sed. Geol.*, 113 (1–2), 149–159.
- Čopjaková, R. – Sulovský, P. – Paterson, B. A. (2005): Major and trace elements in pyrope-almandine garnets as sediment provenance indicators of the Lower Carboniferous Culm sediments, Drahaný Uplands, Bohemian Massif. – *Lithos*, 82 (1–2), 51–70.
- Damiani, D. – Giorgetti, G. (2008): Provenance of glacial-marine sediments under the McMurdo/Ross Ice Shelf (Windless Bight, Antarctica): Heavy minerals and geochemical data. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 260, 1/2, 262–283.
- Ehrmann, W. – Polozek, K. (1999): The heavy mineral record in the Pliocene to Quaternary sediments of the CIROS-2 drill core, McMurdo Sound, Antarctica. – *Sed. Geol.*, 128, 3/4, 223–244.
- Kretz, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. – *Amer. Mineral.*, 68, 277–279.
- Leake, B. E. – Woolley, A. R. – Arps, C. E. S. – Birch, W. D. – Gilbert, M. C. – Grice, J. D. – Hawthorne, F. C. – Kato, A. – Kisch, H. J. – Krivovichev, V. G. – Linthout, K. – Laird, J. – Mandarino, J. A. – Maresch, W. V. – Nickel, E. H. – Rock, N. M. S. – Schumacher, J. C. – Smith, D. C. – Stephenson, N. C. N. – Ungaretti, L. – Whittaker, E. J. W. – Youzhi, G. (1997): Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. – *Amer. Mineral.*, 82, 9/10, 1019–1037.
- Mísař, Z. – Nekovářík, Č. – Zelinka, P. (1995): Geologická mapa ČR 1 : 50 000, 24-12, Letovice. ČGS, Praha.
- Schumacher, J. C. (1996): The estimation of the proportion of ferric iron in the electron-microprobe analysis of amphiboles. – *Can. Mineral.*, 34, 238–246.
- Štoudová, S. (1998): Kontrastní PT a strukturní vývoj granulitové megabudiny a okolních metapelitů: poličské krystalinikum, východní okraj Českého masivu. – MS, PřF UK, 64 str. Praha.
- Tichý, M. (1992): Inverzní metamorfóza v severním křídle svratecké klenby. – MS, PřF UK, 52 str. Praha.
- Xie, J. – Ding, Z. 2007: Compositions of heavy minerals in Northeastern China sandlands and provenance analysis. – *Science in China Series D: Earth Sciences*, 50 (11), 1715–1723.