ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
LXXXIX (2004): 149–159, 2004

CHEMISMUS DETRITICKÝCH GRANÁTŮ A TURMALÍNŮ – příspěvek k určení provenience jemnozrnných neogenních sedimentů karpatské předhlubně

CHEMISTRY OF GARNET AND TOURMALINE
– contribution to provenance studies of fine grained Neogene deposits of the Carpathian Foredeep

SLAVOMÍR NEHYBA, DAVID BURIÁNEK

Abstract

Nehyba, S., Buriánek, D., 2004: Chemismus detritických granátů a turmalínů – příspěvek k určení provenience jemnozrnných neogenních sedimentů karpatské předhlubně. Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 89, 149–159 (with English summary).

Chemistry of garnet and tourmaline – contribution to provenance studies of fine grained Neogene deposits of the Carpathian Foredeep

The study of chemistry of heavy minerals can be an effective tool for provenance analyses of clastic deposits. The chemistry of garnet and tourmaline from Neogene deposits of the Carpathian Foredeep (peripheral foreland basin) provided important data for the basin analyses. Chemistry of tourmaline points to the provenance from the Bohemian Massif (especially the Moldanubicum and the Moravicum). Study of garnet revealed significant differences of its chemistry in the Eggenburgian+Ottnangian deposits and Karpatian+Lower Badenian deposits. These differences together with the fact that Eggenburgian+Ottnangian deposits are typical with heavy mineral assemblages with relative low content of garnet whereas Karpatian and Lower Badenian deposits are typical with heavy mineral suite rich in garnet reflect important variation in the provenance and in the basin configuration. Rocks of the Bohemian Massif (passive margin) were the source of the studied Eggenburgian+Ottnangian deposits. Rocks of Western Carpathian orogenic wedge (active margin) are supposed to form the dominant source of the studied Karpatian and Lower Badenian deposits.

Key words: Provenance, heavy minerals, Neogene, peripheral foreland basin, active and passsive margin.

Slavomír Nehyba, Inst. of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, e-mail: slavek@sci.muni.cz

David Buriánek, Czech Geological Survey, Leitnerova 22, Brno, e-mail: burianek@cgu.cz

Úvod

Těžké minerály (TM) jsou citlivým indikátorem provenience, podmínek zvětrávání, transportu, depozice i diageneze klastických sedimentů (Morton 1985) a tak mají význam pro poznání paleogeografie a distribuce materiálu v nejrůznějších typech pánví. Nejefektivnější metodou determinace zdrojové oblasti na základě TM a eliminace dalších vlivů ovlivňujících jejich výskyt i celkovou asociaci v klastických sedimentech je studium

Obr. 1. Lokalizace vzorků pro chemické studium těžkých minerálů.
Fig. 1. Location of the samples/drill holes in the studied area.

vybraného minerálu, obvykle ze spektra průsvitných TM. K relativně oblíbeným postupům patří chemická analýza turmalínu a granátu (např. AUBRECHT, MÉRES 2000, ČOPJAKOVÁ et. al. 2001, OTAVA 1998, OTAVA et al. 1997, 1998, 2000, SABEEN et al. 2002, atd.). Tato metoda dosud nebyla použita při studiu terciérních sedimentů karpatské předhlubně.

V sedimentech karpatské předhlubně jsou asociace průsvitných TM většinou velmi bohaté a pestré. Tato pestrost platí pro sedimenty všech zastoupených regionálních stratigrafických stupňů (tj. eggenburg – spodní baden). Stratigrafický význam mají změny v asociaci společenstva TM, které jsou v této depoziční pánvi obvykle spojené s hranicí ottnang/karpat (KRYSTEK 1981, 1983, NOVÁK 1978, 1986, atd.). Sedimenty eggenburgu a ottnangu mají až na výjimky poměrně nízký obsah granátu a většinou výrazné zastoupení staurolitu často s kyanitem a zirkonem. V sedimentech karpatu a spodního badenu však zastoupení granátu výrazně roste, většinou na více než 80–90%. Ostatní minerály jsou zastoupeny v podřadném množství (KRYSTEK, TEJKAL 1968, KRYSTEK 1981 atd.). Vznik společenstev TM bohatých staurolitem bývá spojován s „předspodnomiocenními" klimatickými podmínkami zejména pak allitickým zvětráváním západomoravského krystalinika. NEHYBA, LEICHMANN (1997) vysvětlují původ staurolitu erozí sedimentů křídového stáří. Změna asociace na hranici ottnang/karpat je pak vysvětlována ukončením sno-

su zvětralin do pánve ve spojitosti s rychlejší subsidencí sedimentačního prostoru a relativně rychlejším zdvihem západního okraje pánve (KRYSTEK 1981). NEHYBA et al. (2001) vysvětlují tuto změnu rozdílem ve zdroji materiálu a přestavbou sedimentární pánve.

Vzhledem k řadě vlivů ovlivňujících výsledné spektrum TM, jsou k určení provenience často užívány statistické postupy (např. MORTON, HALLSWORTH 1994, STATTEGGER 1986). Asociace TM sedimentů eggenburgu a ottnangu v jz. části karpatské předhlubně zhodnotili faktorovou analýzou KRYSTEK (1981) a NEHYBA, LEICHMANN (1997). Výsledkem bylo vyčlenění několika asociací TM s typickým prostorovým rozšířením a vyčlenění možných zdrojových oblastí (především moravika a moldanubika, dále křídových hornin a brněnského masívu). Názory týkající se provenience i změn asociace TM bylo třeba konfrontovat s výsledky chemických analýz vybraných minerálů.

Metodika práce

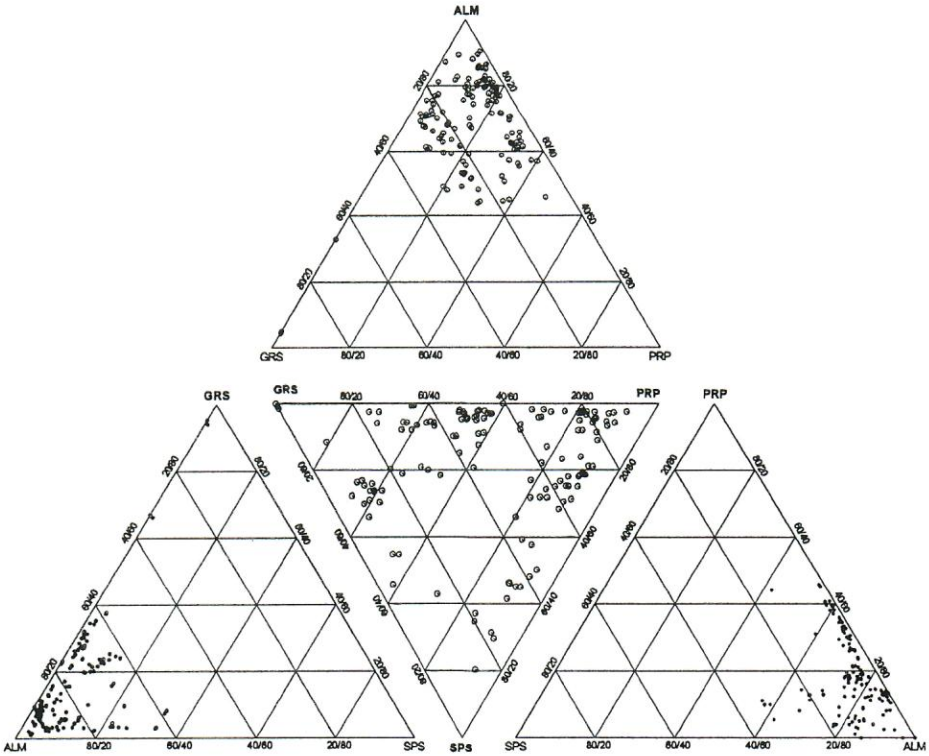
Separací v těžké kapalině (tetrabrometan – $C_2H_2Br_4$) byl získán koncentrát TM z jednotlivých vzorků/lokalit. Rozložení vzorků je patrné z obrázku číslo 1, kde je zřejmé, že naprosto dominuje jižní část předhubně přibližně mezi Brnem, Znojmem a Mikulovem. Byla zvolena zrnitostní frakce 0,063 mm až 0,125 mm (tj. velmi jemnozrnný písek). Studované vzorky byly nezpevněné a zrnitostně se pohybovaly od drobnozrnných štěrků k siltům s dominancí písků. Chemické složení detritických granátů a turmalínů bylo analyzována pomocí elektronového řádkovacího mikroskopu CamScan 4DV s připojeným EDS analyzátorem LINK AN10000, (urychlovací napětí 20 kV, proud 2,5 nA, načítací čas 40 sekund, analyzoval V. Vávra).

Zrna granátu byla analyzována na obsah všech hlavních prvků a analýzy byly přepočteny na 16 kationtů. Výsledný krystalochemický vzorec byl rozpočten na pět hlavních koncových členů – tj. almandin (Alm), spessartin (Sps), grossular (Grs), pyrop (Prp), andradit (Adr). Z každého zrna byla provedena analýza okraje zrna a jeho centra. Nebyly zjištěny podstatné rozdíly v hodnotách takto provedených analýz v rámci jednoho zrna. Získané údaje jsou prezentovány ve formě trojúhelníkových diagramů a to odděleně pro horniny eggenburgu + ottnangu, karpatu a spodního badenu. Pro sedimenty eggenburgu + ottnangu bylo hodnoceno 136 analýz, pro sedimenty karpatu 85 analýz a pro sedimenty spodního badenu 62 analýz detritických granátů. Analýzy pro každý regionální stupeň pochází z několika lokalit. Důvodem volby granátu byla především jeho relativní hojnost ve studovaných vzorcích, výrazná změna v jeho zastoupení při bázi karpatu, možná mineralogická pestrost i srovnávací data z některých hornin okraje Českého masívu.

Dále byla provedena chemická analýza 67 zrn turmalínu z klastických sedimentů karpatské předhlubně (34 zrn pocházelo z hornin eggenburgu a ottnangu, 10 z hornin karpatu a 13 z hornin spodního badenu). Analýzy pro každý regionální stupeň pochází z několika lokalit. Krystalochemické vzorce turmalínu byl vypočteny na 31 aniontů (B a OH byly dopočítány podle stechiometrie: B = 3, OH = 4). Obsahy jednotlivých prvků v krystalochemických vzorcích minerálů jsou v textu označeny zkratkou apfu (atom per formula unit - atomů na vzorcovou jednotku). Turmalín byl zvolen pro značné množství dat z potenciálních zdrojových hornin Českého masívu. V asociaci průhledných TM hornin karpatské předhlubně je tento velmi stabilní minerál obvykle zastoupen pouze několika procenty.

Chemismus detritických granátů a turmalínů

Složení studovaných detritických granátů je výsledkem izomorfního míšení koncových členů granátové řady (ve studovaných případech především Alm, Grs, Prp a Sps). Ve velké většině případů byla výrazná zejména role Alm složky. Výsledky studia graná-



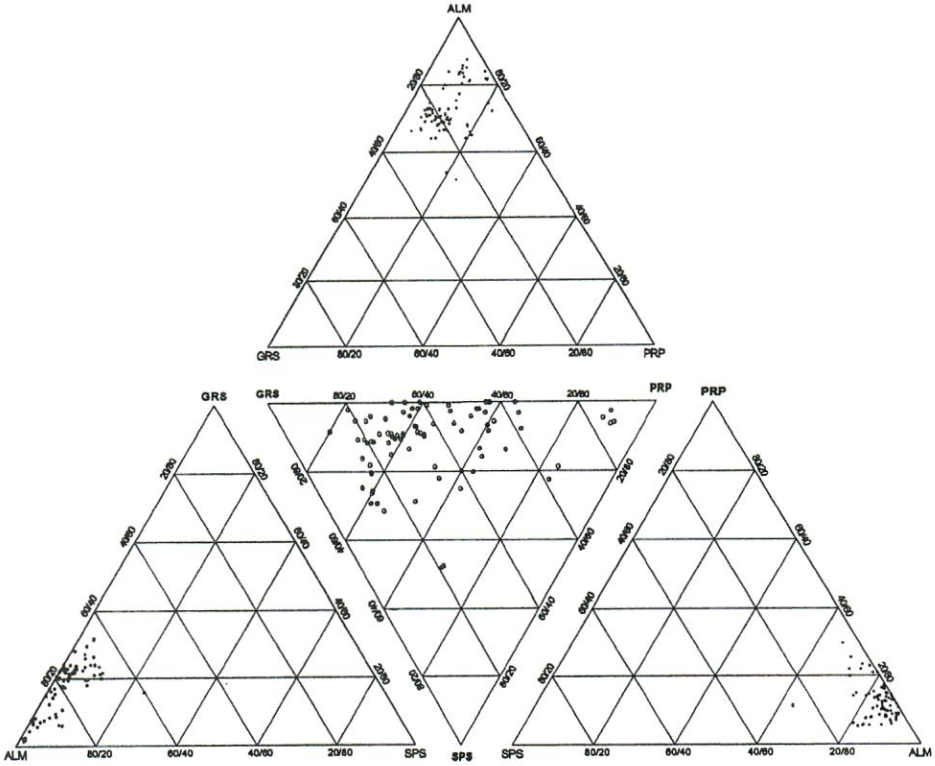
Obr. 2. Diagram složení granátů sedimentů eggenburgu a ottnangu karpatské předhlubně.
Fig. 2. Composition of garnets from Eggenburgian and Ottnangian deposits of the Carpathian Foredeep.

tu ukázaly rozdíly v chemismu granátů ze sedimentů eggenburgu a ottnangu na jedné straně a granátů ze sedimentů karpatu a spodního badenu na straně druhé.

Pro granáty ze sedimentů eggenburgu a ottnangu (obr. 2) je typická polymiktní asociace s podstatným zastoupením nejrůznějších variet granátů. Nejvýraznější zastoupení mají granáty Prp-Alm (Prp: 10–40 %, Alm: 55–85%), které tvoří 36,3 % studovaného spektra granátů. Důležité je zastoupení granátů Prp-Grs-Alm či Grs-Prp-Alm (Prp: 10–25 %, Grs: 11–25 %, Alm: 49–78 %), když tyto variety tvoří 18,5% a 13,2 % spektra. Nelze opomenout ještě zastoupení Grs-Alm (Grs: 10–25 %, Alm: 75–85 %) tvořících 12,6 % spektra. Zastoupení do 5 % ve sledovaném spektru detritických granátů měly i další variety tj. Sps-Alm, Alm, Sps-Grs-Alm, Grs-Sps-Alm, Prp-Sps-Alm, Sps-Prp-Alm, Adr-Grs, Alm-Grs, Sps-Prp-Alm, Alm-Prp.

Pro granáty sedimentů karpatu (obr. 3) je naopak typická výrazně monotónnější asociace s dominantní rolí almandinové komponenty. Nejvýraznější zastoupení mají granáty Grs-Alm (Grs: 10–30 %, Alm: 64–78 %), které představují 36,6% studovaného spektra. Důležité je zastoupení Prp-Grs-Alm (Prp: 10–22 %, Grs: 11–26 %, Alm: 49–75 %), tvořící 28,3 % spektra, a dále Alm (Alm: 78–85 %), které tvoří 11,8 % spektra granátů. Ostatní zjištěné variety granátů Grs-Alm, Prp-Alm, Adr-Grs-Alm a Grs-Sps-Alm jsou zastoupeny 2,4 až 9,4 % v rámci sledovaného spektra detritických granátů.

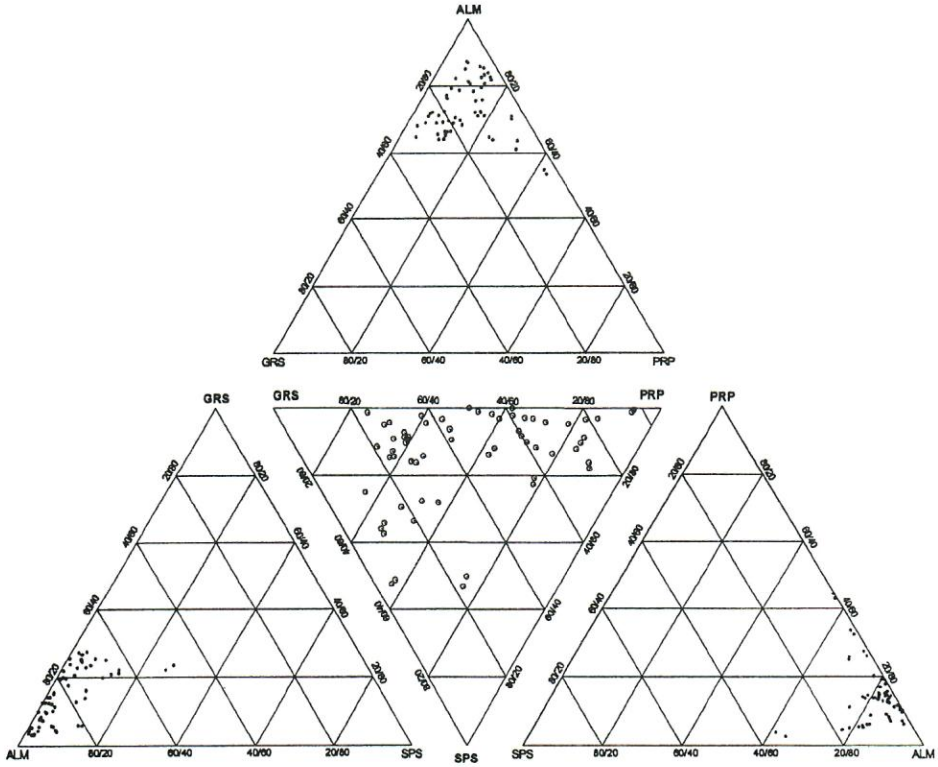
Pro granáty sedimentů spodního badenu (obr. 4) je zjištěná asociace mírně pestřejší než v případě sedimentů karpatu, přičemž role almandinové složky je také dominantní.



Obr. 3. Diagram složení granátů sedimentů karpatu karpatské předhlubně.
Fig. 3. Composition of garnets from Karpatian deposits of the Carpathian Foredeep.

Nejvyšší zastoupení mají granáty Prp-Alm (Prp: 10–45 %, Alm: 50–85 %), které představují 33,6 % studovaného spektra. Výraznější zastoupení mají granáty Prp-Grs-Alm (Prp: 10–20 %, Grs: 11–26 %, Alm: 49–70 %), tvořící 20,8 % spektra, a dále Grs-Alm (Grs: 10–25 %, Alm: 60–81 %), které tvoří 19,2 % spektra granátů. Další zjištěné variety granátů tj. Grs-Prp-Alm, Sps-Alm, Sps-Grs-Alm, Alm a Grs-Sps-Alm jsou zastoupeny 3,2 až 9,6 %. Mezi chemismem granátů karpatu a spodního badenu lze vysledovat určitou podobnost.

Na základě výsledků studia chemismu detritických granátů lze doložit, že změna asociace průsvitných TM minerálů z asociace relativně chudé granátem (typicky horniny eggenburgu a ottnangu) na asociaci velmi bohatou granátem (typicky horniny karpatu a spodního badenu) je současně i změnou v jejich chemickém složení. Pro horniny eggenburgu a ottnangu předpokládáme dominantní provenienci z hornin Českého masívu tj. z oblastí ležících západně a jihozápadně od depoziční pánve. Výsledky chemismu granátů pro tyto sedimenty lze srovnat zejména s hodnotami pro horniny moravika a moldanubika (Čopjaková 2001). Výsledky studia chemismu granátu sedimentů karpatu a spodního badenu lze obtížně srovnat s dostupnými výsledky pro horniny východního okraje Českého masívu (Čopjaková et. al. 2001, Otava 1998, Otava et al. 1997, 1998, 2000). Pro sedimenty karpatu a spodního badenu předpokládáme dominantní provenienci z hornin karpatského flyše (depozice klastického klínu v předpolí orogenní fronty – Nehyba, Šikula 2002), tedy z oblastí ležících generelně východně či jihovýchodně od depoziční pánve.

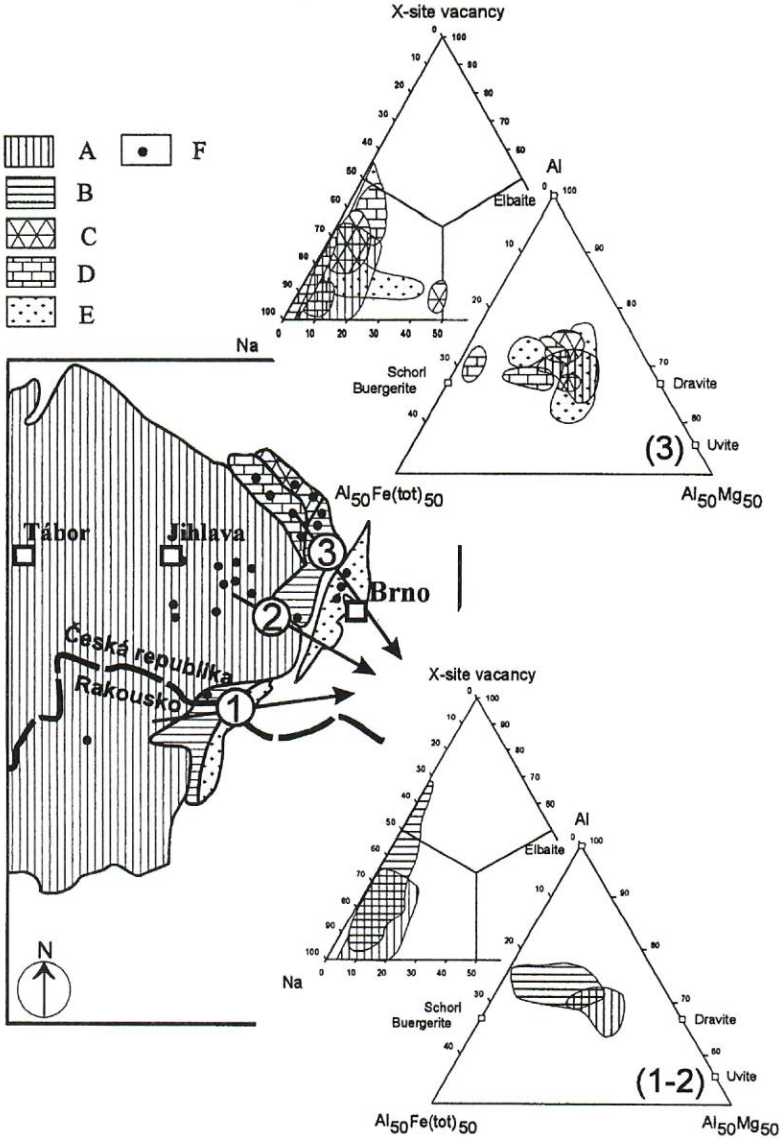


Obr. 4. Diagram složení granátů sedimentů spodního badenu karpatské předhlubně.
Fig. 4. Composition of garnets from Lower Badenian deposits of the Carpathian Foredeep.

Rozlišení široké škály paragenetických typů turmalínů z krystalinických hornin geologicky pestrého východního okraje Českého masívu dovoluje blíže specifikovat předpokládanou zdrojovou oblast terciérních sedimentů. Na základě chemického složení turmalínu můžeme krystalinika na východním okraji Českého masivu rozčlenit do dvou sektorů, které by mohly být potencionální zdrojem terciérních sedimentů:

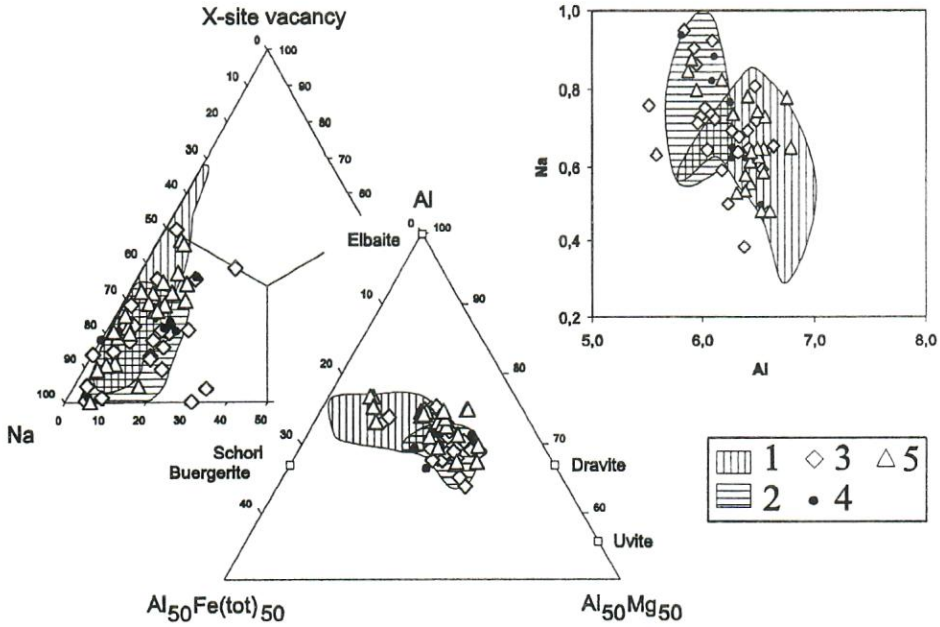
1) Sedimenty transportované z jihozápadu a západu budou obsahovat turmalíny z (meta)granitů moldanubika a metapelitů moravika (vranovsko-olešnická skupina, případně svorová zóna). Srovnávací data z této části moravika prozatím chybí, ale je velmi pravděpodobné, že zde jsou turmalíny o podobném chemickém složení jako turmalíny ze severní části moravika (viz. sektor 2). Turmalíny z moldanubika a moravika chemicky odpovídají dravitu až hliníkem bohatému skorylu, případně foititu (X_{Fe} 0,93–0,31). V pozici X převládají vakance, nebo Na (0,30–0,95 apfu). Obsahy Ca dosahují maximálně do 0,3 apfu (obr. 5).

2) Sedimenty transportované ze severozápadu obsahují pestřejší směs turmalínů (obr. 5). Mohou zde být přítomny turmalíny z moravika (olešnická skupina – ČOPJAKOVÁ, NOVÁK 2003), z metabazitové zóny brněnského masivu (FILIP et al. 2003), svrateckého krystalinika (HOUZAR et al. 1998 a NOVÁK et al. 1998), případně poličského krystalinika. Chemické složení turmalínu kolísá od dravitu až ke skorylu (X_{Fe} 0,31–0,97), chybí turmalíny foititového složení. Naopak jsou přítomny hliníkem bohaté dravity (Al 5,36–6,75 apfu). V pozici X téměř vždy převažuje Na (1,0–0,45 apfu). Vzácně se mohou



Obr. 5. Na-Ca-vakance v pozici X a Al-Fe(tot)-Mg diagramy pro turmalíny z geologických jednotek ležících v pravděpodobných snosových oblastech terciérních sedimentů: A) moldanubikum, B) moravikum, C) poličské krystalinikum, D) svratecké krystalinikum, E) brněnský masiv, F) studované lokality zdrojových hornin s turmalínem. Šipky označují tři možné hlavní směry přínosu materiálu z krystalinik na jihovýchodním okraji Českého masivu: 1) sedimenty transportované z jihozápadu, 2) sedimenty transportované ze západu, 3) sedimenty transportované ze severozápadu.

Fig. 5. Na-Ca-vacancy in position X and Al-Fe(tot)-Mg diagrams for tourmalines from geological units of possible source areas for Neogene deposits: A) Moldanubicum, B) Moravicum, C) Polička Crystalline, D) Svratka Crystalline, E) Brno Massif, F) Location of studied samples of source rocks with tourmaline. Arrows represent orientation from possible source rocks of the southeastern margin of Bohemian Massif: 1) transportation from southwest, 2) transportation from west, 3) transportation from northwest.



Obr. 6. Na-Ca-vakance v pozici X a Al-Fe(tot)-Mg diagramy pro turmalíny z terciérních sedimentů (3–6) a předpokládaných snosových oblastí (1, 2): 1) moldanubikum, 2) moravikum, 3) eggenburg-ottnang, 4) karpat, 5) baden.

Fig. 6. Na-Ca-vacancy in position X and Al-Fe(tot)-Mg diagrams for tourmalines from studied Tertiary deposits (3–6) and supposed source areas (1, 2): 1) Moldanubicum, 2) Moravicum, 3) Eggenburgian-Ottnangian deposits, 4) Karpatian deposits, 5) Lower Badenian deposits.

vyskytnou turmalíny z vápenato-silikátových hornin a mramorů s vysokými obsahy Ca (až 0,52 apfu).

Chemické složení turmalínu z obou sektorů (1 a 2) se v klasifikačních diagramech (obr. 5) výrazně překrývá. Rozdílné složení turmalínů z ortorul svrateckého krystalinika a granitů moldanubika, však umožňuje sedimenty transportované z těchto dvou oblastí odlišit (obr. 6).

Turmalíny v jednotlivých vzorcích mají velmi podobné chemické složení. Výrazně se neliší vzorky různé stratigrafické pozice (eggenburg až spodní baden), ani vzorky z různých částí studovaného území. Převládají turmalíny bohaté na dravitovou komponentu (X_{Fe} 0,23–0,53, Al 5,52–6,56 apfu) a v menším množství jsou zastoupeny hliníkem bohaté skoryly (X_{Fe} 0,66–0,78; Al 6,43–6,82 apfu). Obsahy Ca v pozici X jsou nízké (0,00–0,34 apfu) a obsahy Na se pohybují v rozmezí 0,39–0,95 apfu.

Chemické složení turmalínů z terciérních sedimentů poměrně dobře koresponduje se složením turmalínů, které pocházejí z krystalinik na jihozápadě a západě (moldanubikum a moravikum). Naopak zcela chybí sodíkem bohaté skoryly typické pro svratecké krystalinikum a vápníkem bohaté turmalíny z poličského krystalinika. Proto je nepravděpodobný výraznější přínos materiálu z této oblasti. Při hledání zdroje materiálu pro terciérní sedimenty, však musíme brát v úvahu přítomnost staršího sedimentárního pokryvu, zejména paleozoického (především kulm Drahanské vrchoviny) a křídového stáří. Kulmská sedimentární pánev byla výrazně dotována materiálem z krystalinik na východním okraji Českého masivu (HOUZAR, NOVÁK 2002; KOTKOVÁ et al. 2001).

Diskuse

Změna asociace průsvitných TM minerálů v horninách karpatské předhlubně z asociace relativně chudé granátem (typicky horniny eggenburgu a ottnangu) na asociaci velmi bohatou granátem (typicky horniny karpatu a spodního badenu), spolu se změnou chemismu granátů odráží, dle našeho názoru, zásadní přestavbu sedimentární pánve a změnu zdrojových hornin. Zdroj z pasivního okraje pánve byl nahrazen zdrojem z aktivního okraje pánve. Jako důležitý se pak jeví nástup dominantně granátických asociací v různých částech pánve v poněkud jiném čase. BURBANK et al. (1988) považují změnu složení sedimentů díky nástupu orogenní fronty jako nové zdrojové oblasti za velmi rychlou v široké oblasti. V JV části předhlubně byl zjištěn nástup granátických asociací již v rámci sedimentů svrchního eggenburgu (NEHYBA et. al. 2001). Generelně směrem k SZ lze sledovat změnu asociace TM a nástup granátické asociace v mladších horninách především pak karpatu. Také z výsledků KRYSTKA (1981) vyplývá v podstatě nárůst zastoupení granátů ve spektru TM pro sedimenty spodního miocénu generelně směrem k JV. Uvedené poznatky ukazují na postupnou přestavbu pánve (pánev na pasivním okraji/„residual basin" vs. předpolní pánev), odlišný vývoj protilehlých částí („pasivní/aktivní okraj") pánve a případně i na existenci několika depozičních zón (EINSELE 2000).

Tyto interpretace lze určitým způsobem podpořit srovnáním typických depozičních prostředí sedimentů jednotlivých stratigrafických stupňů. Sedimenty eggenburgu a ottnangu jsou produktem deltového, mělkomořského (břežní pásmo) a fluviálního prostředí. V takových podmínkách lze předpokládat výraznou roli lokálních zdrojů materiálu a značné rozdíly v rámci pánve. Sedimenty karpatu jsou produktem mělkomořské (šelf) až pánevní sedimentace, což jsou podmínky typické pro míšení materiálu a uniformní populaci v rámci celé pánve. Sedimentace spodního badenu je spojena s další přestavbou pánve a částečnou kanibalizací starších sedimentů. Sedimenty spodního badenu vznikaly v deltovém, mělkomořském i pánevním prostředí.

Složitější otázkou je určením konkrétních zdrojových hornin. Problémem je totiž nedostatečná znalost chemismu granátu možných zdrojových hornin především pak flyšových hornin ždánické a pouzdřanské jednotky. Dále je potřeba zvážit roli kulmských a především pak křídových sedimentů tvořících starší sedimentární pokryv Českého masívu. Především křídové horniny, typické vyššími obsahy staurolitu, turmalínu a kyanitu, mohly být významným zdrojem sedimentů karpatské předhlubně (NEHYBA 1997, NEHYBA, LEICHMANN 1997).

Závěr

Výsledky studia chemismu detritických granátů a turmalínu z hornin karpatské předhlubně pomohly upřesnit představy o zdrojových oblastech a vývoji pánve. Výsledky studia turmalínu lze vysvětlit proveniencí z JZ a Z ležících zdrojových oblastí tj. hornin moldanubika a moravika. Nepravděpodobný je přínos ze svrateckého krystalinika. Nebyly zjištěny výrazné rozdíly pro sedimenty jednotlivých stratigrafických stupňů ani různých částí zájmové oblasti. Tuto uniformitu můžeme vysvětlit buď stabilním přínosem materiálu ze stejných zdrojových oblasti, nebo míšením materiálu z řady rozdílných zdrojů. Chemické složení turmalínu je v některých typech hornin značně podobné a v klasifikačních diagramech se jednotlivé skupiny výrazně překrývají. Proto v některých případech nemusí být ani výrazná změna ve skladbě zdrojových hornin v klasifikačních diagramech patrná.

Na základě výsledků studia chemismu detritických granátů lze doložit, že změna asociace průsvitných TM minerálů z asociace relativně chudé granátem (typicky horni-

ny eggenburgu a ottnangu) na asociaci velmi bohatou granátem (typicky horniny karpatu a spodního badenu) je současně i změnou v jejich chemickém složení. Toto zjištění interpretujeme jako změnu provenience, která je důsledkem zásadní přestavby sedimentární pánve. Pro horniny eggenburgu a ottnangu předpokládáme dominantní provenienci z hornin Českého masívu tj. z oblastí ležících západně a jihozápadně od depoziční pánve tj. moravika a moldanubika. Výsledky studia chemismu granátu sedimentů karpatu a spodního badenu lze obtížně srovnat s dostupnými výsledky pro horniny východního okraje Českého masívu a předpokládáme dominantní provenienci z hornin karpatské orogenní fronty. Lze dokumentovat postupný nástup granátických asociací v čase a prostoru jako odraz postupné přestavby pánve.

SUMMARY

Chemistry of garnet and tourmaline from the Neogene deposits of the Carpathian Foredeep was the source of important data about the provenance and development of the basin.

Chemistry of tourmaline points to the source situated W and SW from the depositional basin. Geological units of the Bohemian Massif (especially the Moldanubicum and the Moravicum) were the dominant source areas. Provenance from the Svratka crystalline is very improbable. Chemistry of tourmaline from various parts of the basin and deposits of various ages (Eggenburgian+Ottnangian, Karpatian, Lower Badenian) provided similar results without any important differences. Such result can be explained as "stable" source areas. But the chemistry of tourmaline is very similar in some source rock and so some variations in the provenance can be hardly visible. Tourmaline represents only a few percentages of the heavy mineral spectra of the studied Neogene deposits.

The study of garnet proved significant differences in its chemistry between the Eggenburgian+ Ottnangian deposits on one side and Karpatian and Lower Badenian deposits on the other side. Such result reflects, that the turnover from the heavy mineral assemblages with relative low content of garnet (typically Eggenburgian+Ottnangian deposits) to the heavy mineral assemblages rich in garnet (typically Karpatian and Lower Badenian deposits) is also connected with the change in the garnet chemistry. We suppose that it reflects important variation in the provenance and also the change in the basin configuration. Rocks of the Bohemian Massif (especially Moldanubicum and Moravicum) were the sources for the studied Eggenburgian and Ottnangian deposits. The provenance area was located W and SW of the depositional basin and represented its passive margin. Results of garnet chemistry from Karpatian and Lower Badenian deposits can be hardly compared with possible source rocks on the eastern margins of the Bohemian Massif. For that reason we suppose the provenance from the Western Carpathian orogenic wedge. Provenance from the passive margin of the foreland basin had been replaced by the provenance from the active margin. The turnover in the heavy mineral assemblage (from garnet poor one to the garnet rich one) happened in different parts of the basin in slightly different stratigraphic level. This change of the heavy mineral suite was recognised in the most SE part of the basin during the Upper Eggenburgian, whereas to the W and NW (in the main part of the basin) it can be followed in Karpatian. Continuos reconstruction of the basin shape and character (marginal part of the residual basin vs. foreland basin) together with different history of the passive and active margin and existence of several subsidence centres can be supposed.

Recognition of the definite provenance rocks from the active margin is complicated because of the poor knowledge of Outer Carpathian Flysch Zone (Pouzdřany and Ždánice unit) garnet chemistry. The quantitative analyses of the heavy mineral spectra of the Outer Carpathian Flysch units confirm that they are rich in garnet.

Podporováno grantem GA ČR č. 205/03/1204

LITERATURA

AUBRECHT, R., MÉRES, Š., 2000: Exotic detrital pyrope-almandine garnets in the Jurassic sediments of the Pieniny Klippen Belt and Tatric Zone: where did they come from?. – *Mineralia Slovaca*, 32, 17–28.

BURBANK, D. W., BECK, R. A., RAYNOLDS, R. G. H., HOBBS, R., TAHIRKHELL, R. A. K., 1988: Thrusting and gravel progradation in foreland basins: A test of post-thrusting gravel dispersal. – *Geology*, 16, 1143–1146.

ČOPJAKOVÁ, R., 2001: Využití chemismu detritických granátů při určování provenience sedimentů Drahanské vrchoviny. – *MS, Diplomová práce*, Přf MU, Brno.

ČOPJAKOVÁ, R., NOVÁK, M., 2003: Příspěvek k poznání provenience valounů ve slepencích svrchnoviséského stáří na Drahanské vrchovině: IV. Granátický svor s turmalínem. – *Acta Musei Moraviae, Sci. Geol.*, 88, 167–175.

ČOPJAKOVÁ, R., SULOVSKÝ, P., OTAVA, J., 2001: Využití chemismu detritických granátů pro určení provenience a litostratigrafii kulmu Drahanské vrchoviny. – *Mineralia Slovaca*, 33, 509–511.

EINSELE, G., 2000: Sedimentary basins. Evolution, Facies and Sediment Budget. – Springer Berlin.

FILIP, J., BURIÁNEK, D., NOVÁK, M. 2003: Tourmaline-bearing versus axinite-bearing veins within metabazite zone, Brno batholith, Czech Republic; role of CO_2. – *LERM 2003, Book of abstract*, 20.

HOUZAR, S., NOVÁK, M., 2002: Příspěvek k poznání provenience valounů ve slepencích svrchnoviséského stáří na Drahanské vrchovině: II. Kalcitické mramory. – *Acta Musei Moraviae, Sci. geol.*, 86, 137–144.

HOUZAR, S., NOVÁK, M., SELWAY, J. B., 1998: Compositional variation in tourmaline from tourmalinite and quartz segregations at Perstejn near Nedvědice (Svratka Unit, western Moravia, Czech Republic). – *Journal of the Czech Geological Society*, 43/1–2, 53–53.

KOTKOVÁ, J., NOVÁK, M., LEICHMANN, J., HOUZAR, S., 2001: Nature and Provenance of the Exotic Rock Types from the Lower Carboniferous Conglomerates (eastern Bohemian Massif). – *Geolines*, 13, 81–82.

KRYSTEK, I., 1981: Použití výzkumu společenstev těžkých minerálů v sedimentárních komplexech. – *Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Purk. Brun, XXII, 3, Geologia* 3, 101–107. Brno.

KRYSTEK, I., 1983: Výsledky faciálního a paleogeografického výzkumu maldšího terciéru na jv. svazích Českého masívu v úseku „Jih". – *Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Purk. Brun, Geologia* 24, 9, 1–47. Brno.

KRYSTEK, I., 1986: Poznámky k vývoji karpatské předhlubně. – *MS* PřF MU Brno.

KRYSTEK, I., TEJKAL, J., 1968: K litologii a stratigrafii miocénu jihozápadní části karpatské předhlubně na Moravě. – *Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Purk. Brun, Geologia* 9, 7, 1–31. Brno.

MORTON, A. C., 1985: Heavy minerals in provenance studies. – In Zuffa, G. G. (Ed.): *Provenance of arenites*, 249–277.

MORTON, A.C., HALLSWORTH, C., 1994: Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. – *Sedimentary Geology*, 90, 241–256.

NEHYBA, S., 1997: Výsledky sedimentologického studia spodnomiocénních rohovcových štěrků v jz. části karpatské předhlubně. – *Acta Mus. Moraviae, Sci.geol.*, 82, 79–92.

NEHYBA, S., LEICHMANN, J., 1997: Statistické zpracování asociací těžkých minerálů spodního miocénu v jz. části karpatské předhlubně. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 82, 51–61.

NEHYBA, S., PETROVÁ, P., ŠIKULA, J., 2001: Litofaciální analýza jižní části karpatské předhlubně na základě podpovrchových dat. – *MS* Česká geologická služba Brno, 1–30.

NEHYBA, S., ŠIKULA, J., 2002: Litofaciální analýza jižní části karpatské předhlubně na základě podpovrchových dat – II. část. – *MS* Česká geologická služba Brno, 1–22.

NOVÁK, M., SELWAY, J. B., HOUZAR, S., 1998: Potassium-bearing, fluorine-rich tourmaline from metamorphosed fluorite layer in leucocratic orthogneiss at Nedvědice, Svratka Unit, western Moravia. – *Journal of the Czech Geological Society*, 43/1–2, 37–44.

NOVÁK, Z., 1978: Petrografická charakteristika sedimentů neogénu na listu 34-113 Znojmo. – *MS* Geofond Praha.

NOVÁK, Z., 1986: Litologická charakteristika sedementů neogénu (vrty PMK). – *MS* ČGS Brno.

OTAVA, J., 1998: Trendy změn ve složení siliciklastik drahanského kulmu a jejich geotektonická interpretace. – *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1997*, Masarykova univerzita Brno, 19–21.

OTAVA, J., KREJČÍ, O., SULOVSKÝ, P., 1997: První výsledky studia chemismu granátů pískovců račanské jednotky magurského flyše. – *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1996*, Masarykova univerzita Brno, 39–42.

OTAVA, J., SULOVSKÝ, P., ČOPJAKOVÁ, R., 2000: Změny provenience drob drahanského kulmu: statistické posouzení. – *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1999*, Masarykova univerzita Brno, 94–98.

OTAVA, J., SULOVSKÝ, P., KREJČÍ, O., 1998: Výsledky studia detritických granátů křídových sedimentů račanské jednotky magurské skupiny. – *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 1997*, Masarykova univerzita Brno, 10–12.

SABEEN, H. M., RAMANUJAM, N., MORTON, A. C., 2002: The provenance of garnet: constrains provided by studies of coastal sediments from southern India. – *Sedimentary Geology*, 152, 279–287.

STATTEGGER, K. 1986: Die Beziehungen zwischen Sediment un Hinterland: mathematisch-statistische Modelle aus Schwermineral daten rezenter fluviatiler aun fossiler Sedimente. – *Jb. Geol. B.-A.*, 128, 449–512. Wien.

ŠTELCL, J., SVOBODA, L., STANĚK, J., FOJT, B. 1977: Akcesorické minerály předpokládaných provenientních oblastí autochtonního paleozoika, mesozoika a paleogénu v podloží karpatské předhlubně. – *Folia Fac. Sci. Natur. Univ. Purk. Brun*, XVIII, 11, Brno.