

## Kryštalínikum Malých Karpát – vývoj poznatkov od Mateja Belu po súčasnosť

M. Kohút<sup>1</sup>, P. Uher<sup>2</sup>, M. Putiš<sup>2</sup>, Š. Méres<sup>2</sup>, P. Ivan<sup>2</sup>, I. Broska<sup>3</sup> & M. Kováčik<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, milan.kohut@geology.sk

<sup>2</sup>Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

<sup>3</sup>Geologický ústav Slovenskej akadémie vied, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava

<sup>4</sup>Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno

Malé Karpaty (MK) ako typické jadrové pohorie tatrídnej zóny Západných Karpát (ZK) je stálym objektom geologických a montanistických štúdií už takmer 3 storočia. V známom diele Mateja Bela (*Notitia Hungariae novae historico geographica*) z 1. polovice 18. storočia sa nachádzajú len zmienky o stavbe kryštalínika MK budovaného žulou a kryštalickými bridlicami, ako aj o baníctve v Pezinku. Obdobné poznatky sú v prácach Fichtel (1780) a Beudant (1822). Systematickejší geologický výskum Malých Karpát začali až pracovníci Ríšskeho geologického ústavu vo Viedni (Kenngott, 1852; Foetterle, 1863; Paul, 1863; Andrian, 1864; Andrian & Paul, 1864). Ich základné terénne informácie boli využité pri zostavení mapy Rakúska (Hauer, 1869, 1871; Uhlig, 1903; Beck & Vettors, 1904) neskôr aj Uhorska (Lóczy, 1922). Dôležité sú práce Richarza (1908) a Toborffého (1916) pre poznanie metabázických a granitických hornín MK. V medzivojnovom období je najdôležitejšia práca „Vysvetlivky ku geologickej mape 1 : 75 000 list Bratislava“ od Koutka & Zoubka (1936). Kryštalínikum Malých Karpát terénne a laboratórne študoval Cambel (1954, 1976) so spolupracovníkmi (Cambel & Kupčo, 1952; Cambel & Valach, 1956). Z novších prác sú to najmä „Vysvetlivky k prehľadnej geologickej mape ČSSR 1 : 200 000 list Wien – Bratislava“ (Buday et al., 1962). Neskôr Mahelom (1972) bola publikovaná mapa v mierke 1 : 50 000, kde autorom kryštalínika bol B. Cambel. Následne bolo územie kartograficky spracované v Geologickej mape 1: 25 000 Veľká Bratislava (Vaškovský et al., 1988). Zjednodušený obraz kryštalínika MK sa predostrel aj v ZK veľkoplošných mapách (Biely et al., 1996; Lexa et al., 2000; Bezák et al., 2008).

Litologicko-štruktúrnemu výskumu kryštalínika MK sa venoval Putiš (1987, 1991). Exaktným petrologickým a geochemickým spôsobom sú spracované granitoidné a metamorfované horniny v prácach: Vilinovič (1981), Vilinovič & Petřík (1984), Cambel & Khun (1983), Korikovskij et al. (1984) ako aj Cambel & Vilinovič (1987), Putiš et al. (2004), Ivan et al. (2001), Ivan & Méres (2003, 2006), Méres et al. (2008). V rámci štúdia ZK granitoidov boli spracované aj vzorky z MK vid' Cambel et al. (1982). Ojedinelé izotopické charakteristiky (Rb/Sr, Sm/Nd, O) granitov ZK z študovaného územia možno nájsť v práci Kohút et al. (1999), Kohút & Nabelek (2008). Datovaním hornín kryštalínika za pomoci Rb/Sr a K/Ar sa zaoberajú práce Bagdasarijan et al. (1982, 1983) ako aj Kantor et al. (1987). V ostatných rokoch boli zo zirkónov U-Pb metódou na SHRIMP-e datované gabroidné a granitické horniny MK (Putiš et al., 2006, in print; Kohút et al., in print).

Kryštalínikum Malých Karpát je budované komplexom metabazaltov, metasedimentov, bratislavským a modranským granitoidným masívom. Metamorfný komplex pozostáva najmä z amfibolitov, aktinolitických bridlíc, fylitov, rúl, kontaktných rohovcov, ako aj metakarbonátov. Metabazity vystupujú zväčša v úzkej asociácii s čiernymi bridlicami a stratiformnými pyrotitovo-pyrotitovými ložiskami tzv. *produktívnej zóny*. Výskyty metabazitov situovaných v metasedimentoch sú obmedzené len na malé telesá výlučne v okolí Harmónie (Cambel, 1952, 1954; Cambel & Khun, 1983). V porovnaní s ostatnými tatrídskymi jadrami sa kryštalínikum Malých Karpát vyznačuje viacerými špecifikami, ku ktorým patria najmä: 1) prítomnosť aj relatívne slabšie metamorfovaných hornín, 2) zachovalé sedi-

mentárne textúry v metasedimentoch, 3) relatívne veľké rozšírenie čiernych bridlíc, 4) jasne intruzívny vzťah granitoidov voči metamorfnému plášťu a 5) rozšírené prejavy kontaktnej a periplutonickej metamorfózy (Cambel et al., 1961, 1989; Korikovskij et al., 1984). Vek komplexu magmatických a sedimentárnych hornín kryštalinika Malých Karpát bol určený na základe paleontologického výskumu ako devónsky (Andrusov, 1958), vrchnodevónsky až karbónsky (Čorná, 1968; Cambel & Čorná, 1974) alebo vrchnosilúrsky až spodnodevónsky (Planderová & Pahr, 1983; Cambel & Planderová, 1985). V spodnokarbónskom období bol komplex intrudovaný granitoidmi bratislavského a modranského masívu (SHRIMP U-Pb datovanie zirkónov  $355 \pm 5$  Ma, respektívne  $347 \pm 4$  Ma Kohút et al., in print). Metamorfná premena komplexu mala polyštádiálny charakter. Cambel (1962, in Buday et al., 1962) ju charakterizoval ako kombináciu regionálnej predgranitovej epizonálnej, respektívne alpínskej retrográdnej metamorfózy a hlbinej kontaktnej (periplutonickej) metamorfózy. Cambel (1954) považoval komplex metasedimentov a metabazitov kryštalinika Malých Karpát za viac-menej jednotný litostratigrafický celok a zaviedol preň označenie *pezinsko-pernecké kryštalinikum*. Z dôvodov prevažne litologicko-faciálnych odlišností vyčlenil v tomto celku osobitnú jednotku - *harmónsku sériu*.

Na základe výsledkov geochemického štúdia metabazitov a metasedimentov je kryštalinikum MK budované dvomi staropaleozoickými litostratigrafickými jednotkami: 1) perneckou skupinou a 2) pezinskou skupinou (Ivan et al., 2001; Méres & Ivan, 2000, 2003; Ivan & Méres, 2003, 2006). *Perneckú skupinu* budujú horniny, ktoré primárne predstavovali bazalty, dolerity, gabrá a hlbokovodné oceánske sedimenty spolu so stratiformnými hydrotermálnymi sulfidickými polohami. Pernecká skupina predstavuje metamorfovanú nekompletnú rozčlenenú ofiolitovú sekvenciu, relikť vrchnej časti kôry oceánskeho bazéna v rozvinutom štádiu evolúcie. *Pezinskú skupinu* tvorí komplex primárne klasických sedimentárnych hornín peliticko-psamitického charakteru s menším podielom pelitov s organickou hmotou a karbonátických sedimentov, lokálne so synchronným bázičným vulkanizmom. Pezinská skupina predstavuje relikť výplne riftogénneho bazéna, ktorý sa otvoril pravdepodobne v tle magmatického oblúka. Zdrojom sedimentov pezinskej skupiny bola vrchná kontinentálna kôra, pravdepodobne acidne až intermediálne magmatity a ich sedimentácia sčasti flyšoidného charakteru prebiehala v distálnej časti bazéna. Vek pezinskej skupiny je pravdepodobne spodný devón, vek perneckej skupiny nie je známy, je však starší ako visean. Obe skupiny boli v tektonickom (prikrovovom) styku už v období tournaian-visean, keď boli intrudované bratislavským a modranským granitoidným masívom. Nízko až strednostupňová metamorfná premena oboch skupín sa viaže na výstup granitoidných telies a má charakter kontaktnej až periplutonickej metamorfózy. Indície staršej premeny typu oceánskych riftov sa zachovali len v metagabrách perneckej skupiny. *Metabazalty pezinskej skupiny* sa vyznačujú obohatením LREE/HREE ( $La_N/Yb_N=4,8-9,58$ ) a obohatením o HFSE. Distribúcia stopových prvkov a Nd izotopové zloženie ( $\epsilon Nd_{370} =$  cca. +3, Ivan et al., 2007) poukazujú na ich pôvod v obohatenom plášťovom zdroji a ich blízkosť k vnútro-plaňovým alkalickým bazaltom oceánskych ostrovov (OIB) resp. ku kontinentálnym tholeiitom (CT). *Metasedimenty pezinskej skupiny* majú variabilné obsahy  $SiO_2$  (58-75 hm.%) a  $Al_2O_3$  (12-20 hm.%). Relatívne vysoký pomer  $Th/U > 1$  poukazuje na prevažne oxidačné podmienky počas sedimentácie. Podobné hodnoty  $Th/U$  ako aj iných geochemických parametrov (Méres 2005, 2007; Kohút et al., 2008) v metasedimentoch a v metabazaltoch tejto skupiny indikujú spoločnú zdrojovú oblasť a sedimentačný bazén. Hodnoty pomerov metasedimentov  $Th/U > 1$ ,  $Th/Sc$  0,3-0,8;  $La_N/Yb_N > 5$  a  $Eu/Eu^* 0,6-0,9$  poukazujú na zdrojovú oblasť protolitu v mladom diferencovanom vulkanickom oblúku (Méres 2005, 2007, Méres & Ivan, 2008). Rovnaké rozpätie hodnôt geochemických parametrov ( $Th/U$ ,  $La/Sc$ ,  $La/Ce$ ,  $Th/Sc$ ,  $Th/Yb$ ,  $Ta/Yb$ , REE) pre všetky petrografické typy metasedimentov tejto skupiny (čierne bridlice, fylity, ruly, kontaktne metamorfované bridlice) poukazuje na rovnakú zdrojovú oblasť protolitu, podobné materské horniny a spoločné sedimentačné prostredie (Méres, 2005, 2007, Kohút et al., 2008). *Metabazalty perneckej skupiny* majú chemické zloženie typické pre N-MORB bazalty. Chondritovo normalizované REE týchto hornín majú charakteristické ploché tvary ( $La_N/Yb_N=0,87-1,39$ ) a sú ochudobnené o LREE ( $La_N/Sm_N=0,66-0,89$ ). Na pôvod z ochudobneného plášťového zdroja poukazuje aj distribúcia iných imobilných prvkov

(napr. HFSE; Ivan & Méres, 2006) ako aj izotopické zloženie Nd ( $\epsilon\text{Nd}_{370}$  = cca. +9; Ivan et al., 2007). *Metasedimenty perneckej skupiny* majú nízke obsahy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (do 12 hm%) a relatívne vysoké obsahy  $\text{SiO}_2$  (60-96 hm%). Nízke obsahy Th (<5 ppm) a vysoké obsahy U (5-60 ppm) v metasedimentoch tejto skupiny poukazujú na redukčné podmienky počas sedimentácie. Podobné hodnoty pomeru Th/U, La/Sc, La/Ce, Th/Sc, Th/Yb, Ta/Yb, REE v týchto metasedimentoch a v metabazaloch N-MORB typu indikujú synchronny bázičný vulkanizmus počas sedimentácie protolitu metasedimentov perneckej skupiny. Variabilné zloženie, pomer Th/U < 1, pomer Th/Sc < 0.25, pomer  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  < 6 a hodnota  $\text{Eu}/\text{Eu}^* \sim 1$  poukazuje na to, že mali zdrojovú oblasť v mladom nediferencovanom vulkanickom oblúku (Méres 2005, 2007, Kohút et al., 2008). Obrazy REE normalizované na PAAS vykazujú typickú negatívnu Ce-anomáliu, pozitívnu, alebo žiadnu Eu-anomáliu a sú výrazne ochudobnené oproti PAAS o LREE v porovnaní s HREE. Takéto charakteristiky REE sú typické pre pelagické sedimenty.

Granitické horniny MK tvoria dva samostatné celky: bratislavský masív (BM) – tvoriaci JZ časť MK a modranský masív (MM) – nachádzajúci sa na SV časti MK. Kým BM predstavuje typický peraluminózný S-typový granodiorit/granit, MM reprezentuje bázičnejšiu vápenato-alkalickú (granodiorit/tonalit) I-typovú skupinu kyslých magmatitov (Cambel & Viliňovič, 1987; Broska et al., 2006). BM tvorí zonálny masív v smere predĺženia SV-JZ, na stavbe ktorého sa podieľa 5 typov granitických hornín. Drobné- až strednozrné biotitické granodiority s časťami xenolitmi a žilami pegmatitov/aplitov tvoria vrchnú časť masívu a nachádzajú sa na JV časti BM. Strednozrné, neporfyrické muskoviticko-biotitické granodiority podstielajú vrchnú časť masívu a v súčasnom eróznom zreze sa nachádzajú v SZ masívu. Porfyrické hrubozrné muskoviticko-biotitické granodiority až granity tvoriace hlbšiu časť plutónu prerážajú nadložné typy najmä v osovej časti BM. Leukokratné muskovitické a dvojsľudné granity lemujuce BM zo SZ časti sú skôr produktom deformácie a alterácie ako magmatickej frakcionácie. Suiu granitických hornín dopĺňajú biotiticko-amfibolické diority vo forme malých te-

lies a žil v JJV časti BM. Granitické horniny BM vo všeobecnosti obsahujú 25-45 obj.% plagioklasu, 10-35 obj.% perthitického K-živca, 27-38 obj.% kremeňa, 4-16 obj.% biotitu a 1-6 obj.% muskovitu. Zirkón, apatit, monazit-(Ce), xenotím-(Y), ilmenit a granát (almandín-spessartín) sa vyskytujú ako akcesórie. Geochemicky granitoidy BM môžeme charakterizovať ako stredno-draselnú granodioritickú suiu vápenato-alkalickej série svetlých magmatitov. Shandov index dokumentuje typickú peraluminóznosť granitických hornín BM. Klasifikačný diagram R1-R2 indikuje príslušnosť študovaných hornín k orogénnym kolíznym granitoidom. Ojedinelé izotopické dáta (Sr, Nd, O, Li) sa zhodujú s ich S-typovým pôvodom (Kohút et al. 1999, 2001, 2009; Kohút & Nabelek, 2008; Magna et al., in review). Ich spodnokarbónsky vek (350 Ma) bol doložený datovaním monazitu a zirkónu (Finger et al., 2003; Uher et al. in print; Kohút et al., in print). V pegmatitoch BM bola lokálne zistená vzácno-prvková mineralizácia s berylom a Nb-Ta oxidmi. MM je dominantne budovaný strednozrnými biotitickými granodioritmi až tonalitmi, menej muskoviticko-biotitickými granodioritmi. Zloženie: plagioklas 47-64 obj.%, kremeň 25-37 obj.%, K-živec 0-4%, biotit 8-12 obj.%, muskovit 0-3 obj.%, ± amfibol. Akcesórie: zirkón, apatit, allanit-(Ce), epidot, magnetit ± monazit-(Ce). MM geochemicky patrí k trondhjemitickej, nízko draselnej suiu vápenato-alkalickej série magmatitov, subaluminózneho charakteru (Cambel & Viliňovič, 1987; Broska et al., 2006). Klasifikačný diagram R1-R2 indikuje príslušnosť MM k postkolíznym orogénnym granitoidom. I-typový charakter podporujú aj zriedkavé izotopové údaje (Sr, Nd, O, Li) a pri ich genéze sa okrem starších metamorfovaných magmatitov a sedimentov uplatnil aj mafický infrakrustálny komponent (Kohút et al. 1999, 2001, 2009; Petrik, 2000; Kohút & Nabelek, 2008; Magna et al., in review). Vek intrúzie MM granitoidov (347-345 Ma) podľa ostatných zistení (datovanie monazitu a zirkónu) mierne postdatuje intrúziu BM (Finger et al., 2003; Kohút et al., in print).

**Pod'akovanie:** Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0549-07, APVV-0557-06, APVV-0279-07, APVV-0571-06