

že uvedená zhoda obsahov vybraných skupín stopových prvkov je dôsledkom „ochudobnenia“ vzniknutej magmatickej taveniny o niektoré prvky v porovnaní so zdrojovým materiálom pláňa Zeme. Z uvedeného vyplýva, že termín „primitívna magma“ je okrem prípadov, keď sa vzťahuje na určitý konkrétny model či horninovú suitu, mnohoznačný.

V súvislosti s termínom primitívna magma či primitívna magmatická tavenina sa najmä v geochemicky zameraných prácach používajú aj označenia „ochudobnený“ či „obohatený“. Uvedené adjektíva sa uvádzajú v súvislosti s diskusiou obsahov najmä prvkov skupiny vzácnych zemín (TR či REE), ale aj ďalších (najmä kompatibilných) prvkov v stopových kon-

centráciách vo vzťahu k obsahom týchto prvkov v chondritických meteoritoch. Toto porovnávanie vyplýva z predstáv, že zloženie chondritických meteoritov reprezentuje primárne zloženie Zeme pred uplatnením sa procesov gravitačnej diferenciácie zemského telesa.

Problematika obsahu diskutovaných termínov a najmä vzájomných vzťahov rôznych typov magiem je v detaile podstatne zložitejšia. Účelom tejto informácie je poskytnúť čitateľom nešpecialistom na problematiku eruptívnych hornín základnú informáciu v záujme porozumenia zahraničnej literatúry na jednej a v záujme správnej formulácie vlastných záverov vyplývajúcich zo štúdia eruptívnych hornín na druhej strane.

Diskuse k příspěvku D. Hovorky: Typy magiem; význam termínov

PETR JAKEŠ

Ústřední ústav geologický, Malostranské nám. 19, 118 21 Praha 1

Doručené 6. 8. 1988

Príspevok D. Hovorky je výtečne načatý a som presvedčen, že vyvolá toľko potrebnú diskusiu. I keď je napsaný ako určité vodítko pre nespecialistov, objavujú sa v ňom niektoré prevzaté tvrdenia, ktoré je nutno odmietnuť, ač pochádzajú od veľkých autorít svetovej petrologie. Pripočujúc teda riadky, v ktorých sa pokúšim objasniť niektoré problémy s vedomím, že v ktorom mne Hovorkov príspěvek utvrdil: že totiž do svojej, t.j. českej a slovenskej literatúry často preberáme koncepty a terminológiu, stavíme sa k nim málo kriticky a príliš často podľaháme slovu autorít. Vnášame si tak do svojej terminológie i smet.

Domnívam sa, že terminológia v petrologii vyvrelin by mala byť obecná, t.j. pla-

netárne platná, zejména základní termíny, které Hovorka probírá: primární magma, primitivní magma, matečné magma. Proto se domnívám, že zavedení „měřítek primitivnosti“, jako je například poměr Fe/Mg, je ošidné a nesprávné. Totéž se týká kritérií mineralogických.

Magma, které vzniká zcela nepochybně při prvotní diferenciaci planety na plášť, kůru a jádro, není zřejmě nikde v původní formě zachováno ani na Zemi, ani na jiných planetách. Je to magma staré $4,6 \times 10^9$ let, vzniklé ještě při akreci. K jeho tvorbě přispívá teplo vznikající z kinetické energie dopadajících částic (planetesimál) i teplo radioaktivních, zejména krátkodobě existujících radioaktivních

prvků (^{26}Al). Toto magma je nejen promíseno s dopadajícím kosmickým materiálem, ale často též zastřeno pozdějšími geologickými procesy. Pokud bychom chtěli takové magma označovat zvláštním termínem, pak doporučuji výraz „primordiální magma“.

Magma (magmatická tavenina), která vzniká z pevné hmoty, a to jak v plášti, tak v kůře (v litosféře nebo i astenosféře), částečným (jen vzácně úplným) tavením a zanechává po sobě reziduální krystalickou pevnou hmotu, je zřejmě nejčastějším předmětem sporu a diskuse v literatuře. Chemické složení a popřípadě i jeho vlastnosti mechanické jsou výsledkem mnoha proměnných: chemické i mineralogické povahy zdroje, teplotních a tlakových podmínek tavení, obsahu těkavých složek, rozsahu tavení, způsobu oddělení taveniny od rezidua (může, ale nemusí být dosaženo rovnováhy). Není pochyb o tom, že existuje řada tavenin takto vzniklých. Každá taková tavenina je magma primární, vzniklo-li z pevného materiálu. Pokud z takového magmatu jakýmkoliv procesem, tj. diferenciací, frakční krystalizací atd. vznikají další, odvozená, je to magma matečné. Ale i magma odvozené, pokud je zdrojem další magmatické taveniny, může být matečné.

Do definice primárního magmatu by se nemělo v žádném případě zavádět slovo „bazaltické“, jak se třeba uvádí v ohromném kompendiu „Basaltic volcanism“, protože vždy záleží na tom, jaký zdrojový materiál se taví. Každou epizodu tavení, parciální, frakční či úplné tavení v plášti anebo v kůře lze tedy pokládat za událost produkující primární magma. Vracet se k bowenovským, případně i dalším koncepcím, které uvažují o jediném primárním magmatu, je anachronické. Víme totiž, že k tavení dochází v různých částech Země (planety) (plášť, kůra), a že tyto části jsou nejen vertikálně, ale i laterálně

ve svém chemickém i mineralogickém složení proměnlivé. Pokusím se o ilustraci tohoto tvrzení:

Taví-li se zčásti peridotitový svrchní plášť, pak je pravděpodobné, že vznikne primární bazalt sensu lato, což je nejčastější případ. Při extrémně nízkém stupni parciálního tavení a v přítomnosti vody a oxidu uhličitého už primární taveninou nemusí být bazalt, ale může to být kimberlit (odlišující se od něho nízkým obsahem SiO_2 a vysokým obsahem alkálií). Při rozsáhlejší tavení peridotitového pláště zase dostaneme komatiit či případně pikrit. Přitom jde ve všech případech o taveninu primární. Někteří autoři se například domnívají, že parciálním tavením mokrého pláště lze získat i andesitové magma. V kůře pak je nespočetné množství výchozích materiálů k tavení, které však za relativně nízkých teplot a podmienečné přítomnosti těkavých složek konvergují ke granitovému složení. V této souvislosti je vhodné připomenout, že petrologie vyvřelin v minulosti podléhala módním vlivům a kladla důraz tu na složení zdroje, tu na procesy, nebo na tlakové a teplotní podmínky. Tak před dvaceti či patnácti lety měla jedna z petrologických škol (reprezentovaná skupinou Ringwooda a Greena) za dané homogenní složení pláště — pyrolit, lišácky definovaný jako peridotit, schopný při částečném natavení produkovat bazalt. Vznik rozdílných bazaltických hornin tato škola vysvětlovala, a experimentálně dokumentovala, rozdílnými tlakovými a teplotními podmínkami a různým rozsahem parciálního tavení. Další skupina (např. O'Hara) šla směrem „bowenovským“. Předpokládala se existence jednoho magmatu, ze kterého se frakční krystalizací vytváří více druhů magmatu, předpoklad, který lze také experimentálně podpořit. Z hlediska petrologie a geochemie byly později v sedmdesátých letech tyto koncepce mo-

difikovány a poukázalo se na existenci rozdílů ve složení hornin svrchního pláště. Přítomnost těkavých složek (H_2O , CO_2 , CH_4) či fází, jako je flogopit, zcela mění podmínky fázové rovnováhy při tavení. Dnešní petrologie právě k těmto rozdílům a heterogenitám tíhne, a proto většina rozdílů v bazaltických horninách se připisuje (pravděpodobně módně) tomuto heterogennímu — metasomatickému faktoru. Aniž bych byl pro kompromisy „en large“, myslím si, že na každém z těchto aspektů „je něco zdravého“; žádnému z uvedených tří směrů nelze upřít právo na existenci, ale váha, kterou přikládáme rozdílným faktorům ve vzniku hornin, je dána subjektem. Proto by však definice primárního magmatu neměla záviset na subjektu. Primární magmatická tavenina (primární magma) je tedy taková tavenina, která vznikla na úkor pevných látek a nebyla změněna procesy frakční krystalizace, asimilace či míšením. (Je ovšem otázka, zda se vůbec na povrchu Země či jiné planety s takovým magmatem setkáme).

Přesně, byť s trochou nadsázky, charakterizuje D. Hovorka situaci, kdy do terminologického zmatení v obecných termínech magmatických hornin vstupují geochemikové. Značně subjektivní terminologie petrologů i experimentálních petrologů se zásahem geochemiků dále komplikuje. Jako primitivní totiž označují geochemici takovou magmatickou taveninu, která má charakter distribuce vzácných zemin podobný distribuci vzácných zemin v chondritických meteoritech. V této primitivnosti je jeden háček. Primitivnost distribuce vzácných zemin je mimo primitivní

zdroj dána i nepřítomností krystalických fází (v reziduu), které přednostně koncentrují vzácné zeminy. Modelový peridotit — pyrolit — má ve svrchní části pláště mineralogické složení olivín — spinel — ortopyroxen — klinopyroxen. Částečným natavením této horniny (pokud tavenina dosáhla rovnováhy s reziduem) je bazalt s „primitivním“ charakterem (rozumí se: charakterem distribuce vzácných zemin). Tentýž peridotit bude mít v hlubší části pláště (tedy za vyššího tlaku) mineralogické složení olivín — granát — pyroxeny. Při částečném natavení, za předpokladu rovnováhy s reziduem (reziduum obsahuje granát), vznikne bazalt s „diferencovaným“ charakterem distribuce vzácných zemin. Přitom je to téměř tatáž „primitivní“ hornina, ale protože vznikla v rovnováze s granátem, má „diferencovaný“ charakter distribuce vzácných zemin. Prostými geochemickými prostředky nelze tedy tento bazalt odlišit od horniny „kontaminované“ a nikdo ji neoznačí jako primitivní. Přitom však například iniciálním poměrem izotopů stroncia $^{87}Sr/^{86}Sr$ lze prokázat primitivní, nediferencovaný původ horniny v plášti. Na tomto příkladě bych rád ilustroval nevhodnost používání adjektiva „primitivní“ bez další charakteristiky (např. „s primitivním poměrem stronciových izotopů“ nebo „s primitivním charakterem distribuce vzácných zemin“), jinak by se „primitivní“ mohlo chápat ve významu „primární“ (což se ostatně v literatuře velmi často stává).

Co je magma odvozené, smíšené, kontaminované vyplývá jednoznačně z významového obsahu uvedených přídavných jmen a netřeba se jimi zabývat.