

Alkalické subvulkanity Českého středohoří ve srovnání se subvulkanity pohoří Kaiserstuhl (Německo) a Montereian Hills (Kanada): petrologicko-geochemická studie

Alkaline subvolcanic rocks of České středohoří Mts. compared to those of Kaiserstuhl (Germany) and Montereian Hills (Canada): petrological-geochemical study

ROMAN SKÁLA¹⁾, JAROMÍR ULRYCH¹⁾, EMIL JELÍNEK²⁾ A ZDENĚK ŘANDA³⁾

¹⁾ Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6

²⁾ Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2

³⁾ Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i., 250 68 Řež

SKÁLA R., ULRYCH J., JELÍNEK M., ŘANDA Z. (2010): Alkalické subvulkanity Českého středohoří ve srovnání se subvulkanity pohoří Kaiserstuhl (Německo) a Montereian Hills (Kanada): petrologicko-geochemická studie. - *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 18/1, 42-50. ISSN: 1211-0329.

Abstract

The Roztoky Intrusive Centre (RIC) represents a complicated multiple intrusive structure combining large elliptical crater vent (3 km by 1.5 km) filled by products of superficial trachytic and minor basaltic volcanism with trachytic and phonolitic intrusions, accompanied by hypabyssal intrusions of trachybasaltic (essexite, monzodiorite) and syenitic character (sodalite syenite), as well as a radial dyke swarm of lamprophyres, semilamprophyres and felsic derivatives. Magmatic activity of a deeply eroded central part of the intrusive centre is dated as 33 - 28 Ma; associated dyke derivatives are dated as up to 24 Ma old. Geochemical characteristics of the evolved subvolcanic essexite - monzodiorite - sodalite syenite - differentiated (semi)lamprophyre / felsic derivative suite corresponds to the trachybasalt - basaltic trachyandesite effusive suite of the Děčín Formation in the České středohoří Mts. The geochemic and Sr-Nd isotopic signatures of the RIC rock suite confirm its mantle origin.

Key words: Roztoky intrusive centre, České středohoří Mts., alkaline subvolcanic rocks, geochemistry, petrology, mineralogy

Úvod

Přestože alkalickým subvulkanickým, zejména (ultra)bazickým horninám a karbonatitům byla v posledních padesáti letech věnována značná pozornost, jejich charakteristické výskyty v alkalických komplexech byly zpracovány převážně z geologického a petrografického hlediska. Specializované geochemické práce jsou zaměřeny především na výjimečné alkalické horninové typy, jako karbonatity, draselné kalsilitické horniny kamafugitové série, foidolity urtit - ijolit - melteigitové série či kimberlity. Značné množství článků je pak zaměřeno na výsledky mineralogického studia vzácných a nových minerálů mimořádného chemického složení, pocházejících zejména z oblastí Kolského poloostrova. Méně hojné jsou již studie o běžných horninotvorných minerálech. Komplexní práce poskytující souborný pohled jsou spíše výjimkou. Příkladem může sloužit pouze souborné petrografické zpracování vulkanitů pohoří Kaiserstuhl v Německu (Wimmenauer 1974) a komplexní studie magmatitů provincií Montereian Hills v Quebecu v Kanadě a White Mountain v New Hampshire v USA (Eby 1987; Eby et al. 1992).

Geologicko-petrografická charakteristika alkalických subvulkanitů

Kaiserstuhl

V pohoří Kaiserstuhl v jižní části hornorýnského příkopu (Oberrheingraben) je odkryto významné subvulkanické intruzivní centrum. Představuje nejvýznamnější intruzivní

centrum (5.5 × 3.5 km) kenozoické evropské vulkanické provincie mimo oherský rift. Subvulkanická horninová asociace (essexit / theralit - monzonit - sodalitický / nefelinický syenit - lamprofyry - felzické žilné deriváty - karbonatit), doprovázená též extruzivními horninovými produkty výrazně připomíná horninové asociace roztockého intruzivního centra v Českém středohoří. Ke geneticky nejzajímavějším patří draslíkem bohaté trachyty interpretované Sutherlandovou (1967) jako pseudotrachyty vzniklé působením karbonatitové intruze na okolní korové horniny. Obecně zde převládají středně alkalické horniny bohaté plagioklasy (leucitické tefrity, limburgity a jejich subvulkanické formy - essexity až therality) protínané množstvím diferenciovaných horninových žil. Wimmenauer publikoval o vulkanitech této oblasti celkem devět základních, převážně petrograficky orientovaných publikací, jejichž výsledky jsou shrnuty v kompendiu z roku 1974. Základní práci o karbonatitech této oblasti přináší Keller (1981). Postavení vulkanitů Kaiserstuhlu v rámci rýnského příkopu a porovnání s vulkanity jz. Německa (oblastí Hegau a Urach) řeší Keller (1984a,b).

Subvulkanické horniny jsou vlivem pozdně magmatických až postmagmatických autohydrotermálních procesů značně přeměněny. Z horninových žil převládají essexitové a theralitové porfyry, dále se vyskytují světlé deriváty jako „gauteity“ a „mondhaldeity“ (oba jsou podstatně acidnější než jejich analogy v Českém středohoří a jsou složením blízké spíše bostonitům), vzácně tinguita a hauynofyry. Dále jsou z oblasti uváděny lamprofyry,

zastoupené camptonity a monchiquity, výjimečně i melilit-obsahujícími bergality. V těsném genetickém sepětí s touto asociací se nacházejí zejména fonolity a karbonatitové lapillové tufy. Karbonatitová intruze (sövit) v Badbergu u Schellingen (Wambeke et al. 1964), v samém centru vulkanismu Kaiserstuhlu s četnými karbonatitovými žilami (alvikit, beforisit), náleží k nejmladším derivátům tohoto intruzivního centra. Výsledky Sr-Nd (Kramm et al. 1991; Schleicher et al. 1984, 1990), Pb-Sr (Schleicher et al. 1991) i C-O (Hubberten et al. 1988) izotopového studia potvrdily jednotný plášťový zdroj celého komplexu spjatého s plášťovým vyklenutím a částečnou metasomatózou jeho litosférické části. Přítomnost plášťových chocholů byla z výsledků plášťové tomografie v oblasti střední a západní Evropy odvozena pouze pod French Massif Central a Eifel (Granet et al. 1995; Ritter et al. 2001). Avšak model tzv. „hot fingers“ ve smyslu Wilsonové a Pattersona (2001) rozšiřuje definici plášťového chocholu na lokální pasivní diapirická vyklenutí částečně nataveného svrchního pláště bez významných termálních anomálií. Genetické sepětí karbonatitických hornin s olivinickými nefelinity / melility v této oblasti je nejspíše pravděpodobné, naznačující astenosférický původ karbonatitových tavenin.

Monteregian Hills a White Mountain

Velká skupina paleozoických alkalických komplexů tvořených karbonatity, fenity, syenity a nefelinickými horninami je vázána na riftový systém St. Lawrence (Kanada). Stejněho stáří je i známý komplex Cape Aillik na Labradorském poloostrově s karbonatity, žilnými alnöity a aillikity, dále komplexy Umanak, Sendre Isortog a další.

Riftový systém St. Lawrence zahrnuje též intruze karbonatitů, ijolitů, gaber a alnöitů křídového stáří, které vystupují v oblasti Monteregian Hills v provincii Quebec. Vyskytují se na křížení dvou systémů zlomových struktur Ottawa (V - Z) a St. Lawrence (SSV - JJZ). K desítkám nejvýznamnějších intruzí stáří cca 120 Ma (patří masívy Oka, Mt. Johnson a Mt. Yamaska - Philpotts 1974; Eby 1987).

Na Monteregian Hills navazuje na území USA geneticky sblížená provincie White Mountain tvořící součást Appalachian Fold Belts. Zde se vyskytují dvě magmatické série stáří 180 Ma a 120 Ma (Eby et al. 1992). Mladší série tvořená malými mafickými i felzickými plutony je analogem magmatitů oblasti Monteregian Hills, avšak alkalické SiO_2 nenasycené horniny se v ní vyskytují jen zřídka (nefelinická až sodalitická gabra a diority od Cuttingsville). Žilny mafických alkalických hornin, vyskytující se v obou provinciích, lze rozdělit do tří skupin: (1) alnöity, (2) SiO_2 nenasycené monchiquity až camptonity a bazanity a (3) SiO_2 kriticky nasycené camptonity a alkalické olivinické bazalty. Magmata žil posledních dvou skupin vznikají různým stupněm natavení metasomatizovaného spinelového lherzolitu, zatímco magma skupiny první nejspíše z karbonatizovaného granátického lherzolitu. Izotopické poměry $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.7030 - 0.7037) a $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (19.05 - 19.72) primitivních bazaltických hornin obou oblastí pocházejí z ochuzeného pláště OIB typu (Eby 1985).

Strukturně-texturní vývoj intruzivních těles v Monteregian Hills podává důkazy o kumulátovém a postkumulátovém vývoji krystalizace (Bédard 1989), které navozují analogie s krystalizačním vývojem subvulkanitů v roztockém intruzivním centru v Českém středohoří. Roztockým intruzím essexitických a sodalitických hornin je složením nejbližší intruze Mount Johnson. Tato je v centru tvořena essexitem s lemy pulaskitu (nefelin obsahující alkalicko-živcový syenit) a odpovídá subvulkanickým intruzím v

Českém středohoří u Roztok i svojí velikostí (cca 750 m v průměru). Pro essexit je typické vertikální rytmičné páskování s pásy tvořenými mafickými a felzickými minerály (Bhattacharji, Nehru 1972; Philpotts 1972), podobně jako v centrální části tělesa monzodioritu v Roztokách.

Roztocké intruzivní centrum

Roztocké intruzivní centrum (RIC) se nachází v oblasti mohutné přírodní dráhy (kaldery ve smyslu Kopeckého 1987) vyplněné trachytickou brekcí (trachyt - trachyandezit) s karbonátovým tmelem, pronikanou intruzemi trachytického a fonolitického složení. RIC je tvořeno hypabysálními intruzemi alkalických hornin (série monzodiorit / essexit - sodalitický syenit) a dvěma systémy (silně a slabě alkalickou sérií) převážně radiálně uspořádaných žil, vzácně i žil kuželových (Ulrych, Balogh 2000).

Mrlina a Cajz (2006) geofyzikálně prokázali v RIC přítomnost jediné mafické intruze s větším počtem dílčích průniků, která je však zlomem rozdělena na monzodioritovou na levém břehu a essexitovou část na pravém břehu Labe, reprezentující patrně různé hloubkové úrovně. Vznik subvulkanické horninové asociace je obvykle spojován (např. Tvrdý 1986; Jelínek et al. 1989; Ulrych 1998) s frakcionací bazanitového až olivinického nefelinitového magmatu ve zvrstveném korovém magmatickém krbu. Alternativní model vývoje horninových asociací intruzivního centra v genetické asociaci s předpokládaným skrytým tělesem karbonatitu a s významným podílem fentitizačních (feldspatizace) a „reomorfních“ procesů (ve smyslu schopnosti pohybu magmatických hornin tokem bez roztažení). K jejich uplatnění dochází při vývoji mohutné přírodní dráhy vyplněné trachytickou brekcí s karbonátovým tmelem, pronikanou intruzemi trachytického a fonolitického složení a tělesem monzodioritu („rongstockitu“) při jejím okraji (Kopecký 1987).

V širší oblasti RIC byly Ulrychem (1998) a Ulrychem a Baloghem (2000) rozlišeny čtyři intruzivní horninové série:

I. problematická starší felzická série reprezentující intruzivní aktivitu předcházející vzniku vlastních horninových sérií RIC je v současnosti zastoupena pouze bostonitem I (38.6 ± 1.7 Ma). Bostonit je felzický diferenciat (ultra)mafických lamprofyřů kumulátového charakteru ve smyslu Rocka (1991). Fonolit Kozí hory u Neštěmic řazený dříve k této sérii (42.7 ± 1.8 Ma; Ulrych et al. 2000) a tzv. „starším fonolitům“ Hibsche (1926) se při detailním studiu (celková hornina a anortoklas) ukázal jako mladší (32.1 ± 1.3 Ma). Avšak vysoká stáří bostonitu a dalších felzických hornin souvisejí nejspíše s retencí přebytečného Ar, preferenčně zachycovaného v sodalitu a/nebo nefelinu (Balogh et al. 1999, 2005; Kelley 2002; Ulrych et al. 2006).

II. hypabysální slabě alkalická horninová série (33 - 28 Ma): essexit - monzodiorit (s žilným diferenciatem leukomonzonitu) - sodalitický syenit (s diopsid - kaersutitovými kumuláty, vyskytujícími se též v camptonitech a gautitech). Sodalitické syenity odpovídají současným modálním složením analcimickým syenitům s prokazatelnými pseudomorfózami analcimu po sodalitu, včetně jeho nehojných reliktů,

III. silně alkalická žilná série (31 - 26 Ma): (tefrit) - monchiquit / camptonit - tefrifonolit - fonolit / tinguit / nefelinický syenitový porfyr (tinguit je strukturní varianta fonolitu ve smyslu klasifikace Le Maitre ed. 2002),

IV. slabě alkalická žilná série (28 - 24? Ma): (trachybazalt) - gauteit / mondhaldeit / camptonit - (bostonit II) / sodalitický syenitový porfyr - (trachyt); mondhaldeit je

podle Hibsche (1930) i Trögera (1935) strukturní varianta camptonitu, v Českém středohoří jde však o mezotypní ekvivalent lamprofyru blízký gauteitu (*sensu* Rock 1991).

Ulrych a Balogh (2000) vyčlenili v RIC čtyři skupiny žilných hornin:

- (i) lamprofyry (57.5 %) výrazně převládající nad
- (ii) semilamprofyry (28 %), oboje pak nad minoritními
- (iii) felzickými deriváty (9 %) a
- (iv) bazaltoidy (5.5 %), které patrně nejsou přímo spjata s vývojem intruzivního centra.

Hibsch (1911) publikoval klasické schéma intruzivního centra u Roztok, kde akcentoval radiální uspořádání horninových žil k centru (obr. 1a). Ze statistického zpracování Hibschovy dat vyplývá, že orientace těchto žil je do značné míry ovlivněna regionálním napětovým polem (s charakteristickými přednostními směry, viz níže). Většina (91 - 98 %) všech žil (100 % felzických) se vyskytuje do vzdálenosti 7 km od centra. Kumulativní maximum (85 %) viskóznějších felzických hornin je ve vzdálenosti do 4 km, u ostatních hornin (83 %) až ve vzdálenosti do 5 km. Žíly (semi)lamprofyru a bazaltických hornin vykazují přednostní směry 90° a 0°; felzické deriváty 330° a 0° (obr. 6 v práci Ulrycha, Balogha 2000). Analogickou preferenci dvou základních směrů radiálních žil z klasického intruzivního centra Alnö (Norsko) uvádí Kresten (1980) a spojuje ji s preexistujícím puklinovým systémem okolních hornin. Puklinový a žilný systém širší oblasti RIC je výsledkem více faktorů. Byl ovlivněn regionálním napětovým polem existujícím ve svrchní kůře při výstupu magmatu (cf. Adamovič, Coubal 1999), orientacemi již existujícího zlomového systému v oblasti (viz Kresten 1980) a lokálním napětovým polem vyvolaným vystupujícími hypabysálními intruzemi. Napětové pole může být podle Wyk de Vriese a Merle (1998) však ovlivněno také zatížením oblasti masou hornin celého vulkanického komplexu. Cajz (2003) předpokládá, že uspořádání žil v oblasti RIC vzniklo pouze vlivem účinků paleostresového pole a strukturních predispozic podloží, bez závislosti na mechanismu výstupu hypabysálních těles RIC.

K nejkritičtějším horninovým typům pro interpretaci geneze RIC patří žíly tinguaitů ze III. silně alkalické serie. Podle Hibsche (1930) z geologického i petrologického hlediska tinguaity reprezentují jeho nejmladší a nejvyspělejší deriváty. Jedná se o horniny fonolitového chemismu s tinguaitovou strukturou, tj. s jehličkovitými klinopyroxeny uspořádanými radiálně, nebo křížovitě do tzv. bunčnaté struktury. Existují i přechodné strukturní typy od tinguaitů, přes porfyrické tinguaity, do zonálních fonolit - tinguaitových žil.

Podle výsledků K-Ar datování (31 - 28.5 Ma) jsou tinguaity současné s ostatními subvulkanickými členy celého RIC (33 - 24 Ma). Rozpory mezi jejich mladší geologickou pozicí v modelu centra a jejich zvýšeného K-Ar stáří souvisejí patrně s retencí nadbytečného Ar vázaného nejspíše na hojný nefelín a sodalit (Balogh et al. 1999; Ulrych et al. 2006).

Tinguaity jsou bohaté na inkompatibilní prvky a vysoké jsou i koncentrace Cl, SO₃, CO₂ a H₂O. Akcesorický silikát REE-perrierit a Zr-silikát blízký eudialytu patří ke koncentrátorům zejména HFSE (high-field strength elements).

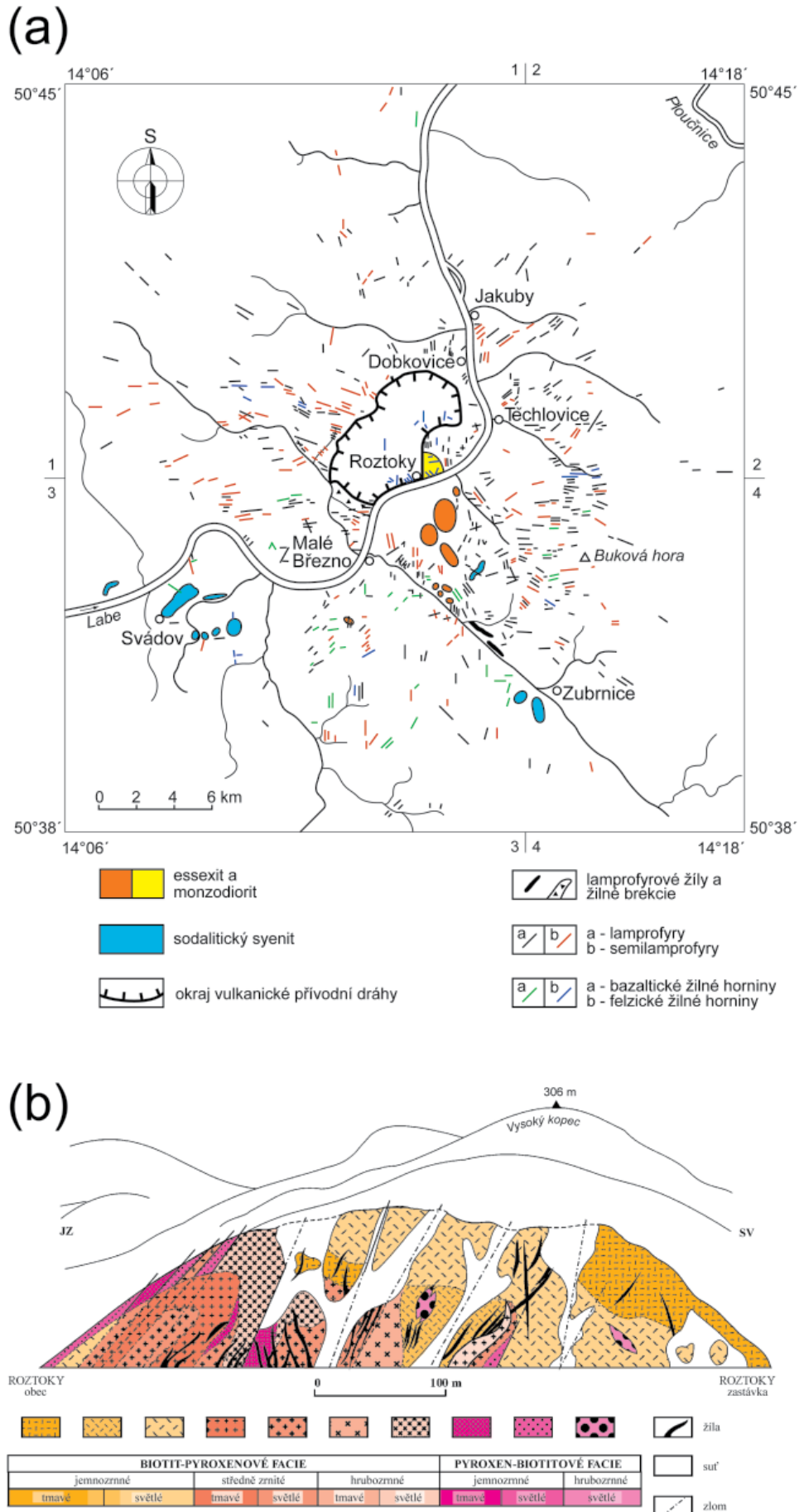
Alkalický index tinguaitických hornin je značně vysoký (0.79 - 0.96). Iničiální poměry ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (0.7034 - 0.7042) a hodnoty ε_{Nd}^t (+2.1 až +4.3) indikují středně ochuzený plášťový zdroj (Ulrych et al. 2006).

Roztocká monzodioritová intruze (hypabysální slabě

alkalická horninová série II) - rongstockit (essexit s plagioklasem bazicity <An₅₀ sensu Tröger 1935) vykazuje nehomogenní vývoj (obr.1b). Charakteristické je vertikálně upadající rytmičné zvrstvení odrážející zrnitostní, modální i skryté jevy (např. mikrozvrstvení). Rytmičné zvrstvení zebrového typu se střídajícími se tmavými (pyroxenicko-biotitický melamonzodiorit) a světlými pásy ([biotitický] leukodiorit) je typickým rysem intruzí riftových oblastí (např. Monteregean Province - Bhattacharji, Nehru 1972; Philpotts 1974). Schéma faciálního vývoje nehomogenní intruze monzodioritu od Roztok s vývojem izostrukturní a anizostrukturní série hornin bylo vypracováno Ulrychem (1998). Tento vývoj souvisí nejspíše s termální difúzí v magmatu, eventuálně s pomalou intruzí dvou omezeně mísitelných magmat. Krystalizační vývoj roztockého tělesa monzodioritu (s nově prokázanými kumuláty meladioritového složení) vykazuje typické znaky krystalizace s primárním kumulátovým, postkumulátovým i subsolidovým stádiem (*sensu* Irvine 1986).

Charakteristickým projevem kontaktních tepelných účinků hypabysálního tělesa roztockého monzodioritu je existence jeho mohutné metamorfni aureoly ve svrchnoturonských slínovcích v šířce 200 - 220, eventuálně až 280 m (Ulrych, Pivec 1999). Rekrystalizační efekt na kalcitu a křemeni je průkazný ve slínovcích až do vzdálenosti 850 m od kontaktu (Ulrych, Pivec 1999). Facie pyroxenových rohovců je vyvinuta do maximální vzdálenosti jednoho metru od kontaktu, zatímco zcela převládající facie amfibolových rohovců se nachází v rozpětí 1 - 220 m. Facie albit-epidotických rohovců, s přispěním aktivity hydrotermálních fluid, se vytvořila ve vzdálenosti 220 - 280 m od kontaktu. Nerovnovážné vztahy minerálních fází v kontaktních horninách odrážejí relativně krátkou dobu termálního efektu intruze, eventuálně následné vlivy hydrotermálních fluid. Výrazná hydrotermální migrace Na, (Mg, Fe) a K z intruze se projevila do vzdálenosti 300, respektive 150 m. Negativní korelace těchto elementů s CO₂ i S vylučují jejich transport v karbonátových či sulfidických komplexech.

S tělesem monzodioritu v Roztokách je spjatá, v Českém masivu i celé alkalické středoevropské vulkanické provincii ojedinelá, neoidní epitermální žilná, lokálně i rozptýlená Pb-Zn-Cu-(Ag,Te) hydrotermální mineralizace (Pivec et al. 1984, 1998; Ulrych, Pivec 1988). Vyskytuje se ve třech paralelních žilách (směru SV - JZ) v tělese roztockého monzodioritu a jeho pláště. Zrudnění je tvořeno sfaleritem > galenitem >> chalkopyritem a tetraedritem; žilovina obsahuje rodochrozit > dolomit >> kalcit > chalcedon, křemen a baryt (Pivec et al. 1998). Na základě vysokých obsahů Te ve stříbrnosném galenitu byl hledán a prokázán hlavní nositel Ag-mineralizace - hessit. Hodnoty δ¹³C žilných karbonátů indikují přítomnost CO₂ z hlubinného zdroje, avšak hodnoty izotopového složení O (vypočtené δ¹⁸O_{fluid} = -3 až -7 ‰ SMOW podle frakcionační rovnice Zhenga et al. 1998 a homogenizačních teplot fluidních inkluzí: 220 - 285 °C) ukazují na převahu vod relativně mělké cirkulace. Do pole PIC (Primary Igneous Carbonatites) podle Deinese a Golda (1973) spadá jediný vzorek xenolitu, na rozdíl od většiny hydrotermálních karbonátů (Pivec et al. 1998). Zvýšené poměry ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr v hydrotermálních karbonátech - rodochrozitu (0.7052) a kalcitu - dolomitu (0.7051) ukazují na příměs radiogenního Sr z korových zdrojů lokálního původu. Hydrotermální žíly u Roztok vznikly nejspíše v důsledku relativně mělké hydrotermální cirkulace fluid nízké až střední salinity a zápornou hodnotou δ¹⁸O_{fluid}, s přínosem CO₂ z hlubinného



Obr. 1 Schéma geologické situace roztockého intruzivního centra v Českém středohoří [a]. Profil tělesem monzodioritu v železničním zářezu u stanice Povrly - Roztoky [b].

původu. Magmatická aktivita RIC představovala dominantní tepelný zdroj iniciující tvorbu této rudní mineralizace.

Mineralogie hornin roztockého intruzivního centra

Výsledky podrobného studia všech horninotvorných minerálů hornin RIC byly souborně prezentovány Ulrychem et al. (1983) a Ulrychem (1998).

V subvulkanických horninách RIC byly vyčleněny tyto mineralní asociace (Ulrych et al. 1983):

- raně magmatická (olivín?, diopsid, magnezioferit, kaersutit, labradorit / bytownit),
- hlavní magmatická (andezín, anortoklas?, hastingsit, Mg-bohatý biotit, titanový magnetit, ilmenit),
- pozdně magmatická (oligoklas, K-živec, analcim, nefelín, sodalit, magnetit, ilmenit, karbonáty, apatit, Zr-minerály) a
- postmagmatická (natrolit, thomsonit, analcim, karbonáty).

Důležitou vlastností je rytmická zonálnost klinopyroxenů (diopsid - „fassaít“), jejíž četnost a výraznost stoupá od hypabysálních hornin monzodioritu a essexitu (s nevýrazným parabolickým typem zonality) k žilným (semi)lamprofyřům, zejména monchiquitům. Vývoj zonality pyroxenů v těchto typech hornin svědčí pro různý vývoj teplotního spádu při jejich krystalizaci (Ulrych 1983, 1998). Teploty krystalizace aproximované na základě distribučních vztahů mg_{cpx} vs. mg_{amf} resp. mg_{amf} vs. mg_{bio} [$mg = Mg/(Mg + Fe_{tot} + Mn)$; $cpx =$ klinopyroxen, $amf =$ klinoamfibol, $bio =$ biotit] a ca_{plg} vs. ca_{amf} [$ca = Ca/(Ca + Na + K)$; $plg =$ plagioklas] podle Perčuka (1970) in Ulrych et al. (1983) v monzodioritu a sodalitickém syenitu (1150 - 1050 °C) a mírně nad 1200 °C u monchiquitů jsou sblížené s údaji (1200 - 1150 °C) vypočtenými na základě distribuce Ni a Co mezi klinopyroxenem a taveninou v téže hornině (Tvrdý 1986; Jelínek et al. 1989). Srovnatelné hodnoty pro analogické mineralní páry hornin alkalického komplexu Monchique uvádí Rock (1979). Zjištěné teplotní údaje o klinopyroxenech podporují i experimentální výsledky Mori a Greena (1975) na pyroxenech enstatit - diopsidového složení při vysokých tlacích. Amfiboly jednotlivých horninových typů se zásadně odlišují v zastoupení zejména titanu. V hypabysálních horninách i hornblenditových kumulátech odpovídají hastingsitům, limitně až kaersutitům (3 - 6 hm.% TiO_2). Pro lamprofyry jsou typické amfiboly s vyššími obsahy TiO_2 (5 - 7 hm.%) odpovídající kaersutitu; nejvyšší obsahy TiO_2 byly zjištěny v případě amfibolů základní hmoty monchiquitu (až 8 hm.%).

Titanem a hořčíkem bohaté tmavé slídy jsou charakteristické též mimořádně vysokým zastoupením titanu - odrůda woddanit. Tyto biotity v monzodioritu dosahují až 10.5 hm.% TiO_2 . Vysoké zastoupení Ti, spolu s nízkou sumou (OH + F + Cl) svědčí pro jejich primární vznik s vyššími teplotami krystalizace a nižší fugací f_{H_2O} a f_F (cf. Bachinski, Simpson 1984). Fenokrysty flogopitu v camptonitech s vysokým zastoupením Cr_2O_3 (0.6 - 0.75 hm.%) ukazují na klasickou lamprofyrickou taveninu (cf. Bédard 1989; Rock 1991).

Plagioklasy v monzodioritu náležejí k neuspořádanému až přechodnému typu živců ve smyslu Slemmonse (1962); index uspořádanosti O_i (0 - 69) významně negativně koreluje s bazicitou An_{23-78} plagioklasu (Ulrych 1998). Fenokrysty alkalických živců v monzodioritu odpovídají stabilnímu sanidinu, zatímco v základní hmotě sanidinu s přechody do sanidinového mikroklinu (*sensu* Smi-

th 1974). V případě patrně rychleji chladnoucích intruzí essexitů převládají stabilní sanidiny s přechody do nestabilních sanidinových mikroklinů nad nestabilními sanidinovými mikrokliny. V mělce intruzivních sodalitických syenitech jsou zastoupeny pouze nestabilní sanidinové mikrokliny.

Chemismus nefelínu v essexitech, sodalitických syenitech a tinguaitových porfyrech svědčí, ve smyslu kritérií Wilkinsona a Hensela (1994), pro vysokoteplotní charakter krystalizace (>700 °C při p_{H_2O} 1 kbar).

Fluor-hydroxylapatity až fluorapatity v monzodioritu, sodalitických syenitech i lamprofyrických horninách jsou charakteristické podstatnými obsahy CO_2 (karbonát-apatitová složka), ale též SO_3 a Cl. Zvýšené zastoupení CO_2 , Si, ΣREE a absence Eu-anomálie zřetelně připomínají apatity hornin karbonátové suity, ve smyslu kritérií Sommerauer a Katz-Lehnertové (1985).

Vzácné (REE,Ti,Zr)-silikáty jako hainit v sodalitických syenitech spolu se vzácným perrieritem a minerálem blízkým eudialytu ve fonolitických žilných derivátech - tinguaitech reprezentují vzácnou pozdně magmatickou mineralizaci (Ulrych 1998; Ulrych et al. 1992). Hainit (a jeho patrně alterační produkt fluorový eudialyt) je obecně nejrozšířenějším reprezentantem Zr-mineralizace ve fonolitech Českého masivu. Krystalizace Zr-minerálních fází závisí na podmínkách transportu Zr, REE a dalších inkompatibilních elementů ve F-obsahujících roztocích (Ulrych et al. 1992).

Hliníkem a hořčíkem-bohaté titanové magnetity vystupují ve třech generacích, lišících se zejména zastoupením ulvöspinelové složky. Klasický aproximativní magnetit - ilmenitový termometr podle Buddingtona a Lindsleye (1964) použitý Ulrychem et al. (1983) vykazuje střední krystalizační teploty (710 - 640 ± 50 °C) pro horniny hypabysální série a vysoké teploty (1130 °C) pro monchiquity. Pro ilmenit hypabysálních hornin je naopak určující obsah pyrofanitové složky. Vysoké zastoupení magnesioferitové a pikroilmenitové složky je obecně charakteristické pro (Fe,Ti)-oxidy camptonitů.

Přítomnost tří typů karbonátů byla prokázána zejména v hypabysálních horninách jako: (i) primární (Fe,Mg)-obsahující kalcity tvořících nehojná samostatná zrna a uzavřeniny v horninotvorných silikátech ($\delta^{13}C$ -3.5 ‰ PDB a $\delta^{18}O$ +8.1 ‰ SMOW), (ii) sekundární čisté kalcity a Mn-obsahující kalcity ($\delta^{13}C$ -0.6 ‰ PDB a $\delta^{18}O$ +15.0 ‰ SMOW) tvořící žilky v alterovaných hypabysálních horninách (a jako součást oček vyplněných karbonáty v camptonitech); karbonátové ocelární útvary mohou rovněž dokládat nemisivost primární plášťově derivované silikátové a karbonátové taveniny (např. Vichi et al. 2005) a (iii) hydrotermální dolomity, rodochrozy a kalcity v mladých polymetalických karbonátových žilách ($\delta^{13}C$ -1.8 až -5.0 ‰ PDB a $\delta^{18}O$ +4.4 až +6.3 ‰ SMOW). Obsahy typomorfních elementů jako REE v těchto karbonátech ($\Sigma REE = 101 - 132$ ppm) je obecně nízké, v případě SrO (0.12 - 0.15 hm.%) a BaO (0.21 - 0.88 hm.%) mírně zvýšené.

Geochemická charakteristika

Mafické subvulkanické horniny RIC spadají v klasifikačním diagramu De La Roche et al. (1980) do polí essexitu až theralitu, zatímco felzické do polí syenogabra až nefelinického syenitu (obr. 2a). Tytéž horniny v klasifikačním TAS diagramu pro vulkanity podle Le Maitre ed. (2002) mají větší rozptyl. Mafické horniny spadají do polí tefritu až fonotefritu a felzické s charakteristikým přechodným chemismem do polí fonotefritu - tefrifonolitu

- trachybazaltu - bazaltického trachyandezitu (obr. 2b). Subvulkanity RIC svým makrochemismem i distribucí stopových elementů přísluší k trachybazalt - (bazaltický) trachyandezitové sérii extruzivních vulkanitů Českého středohoří (Ulrych et al. 2001). Horniny subvulkanické suity jsou oproti extruzivním horninám děčínské formace charakteristické vyšším zastoupením alkálií a zvýšenými obsahy inkompatibilních elementů (viz Ulrych 1998).

Základním geochemickým znakem hornin suity essexit - monzodiorit - sodalitický syenit - (mafické a felzické) žilné deriváty je nízký stupeň diferenciace s mírným obohacením inkompatibilními elementy. Primitivním pláštěm normalizované obsahy inkompatibilních elementů (Ulrych 1998) ukazují na jejich postupné obohacování v uvedené řadě. Podstatné rozdíly v zastoupení stopových elementů, včetně REE, mezi jednotlivými horninovými typy (s výjimkou geochemicky anomálních tinguitů) nebyly zjištěny (obr. 3). Výrazné ochuzení o P ve všech horninových sériích (mimo monzodioritů) souvisí s jeho prokázanou koncentrací v hojném apatitu v hornblenditových

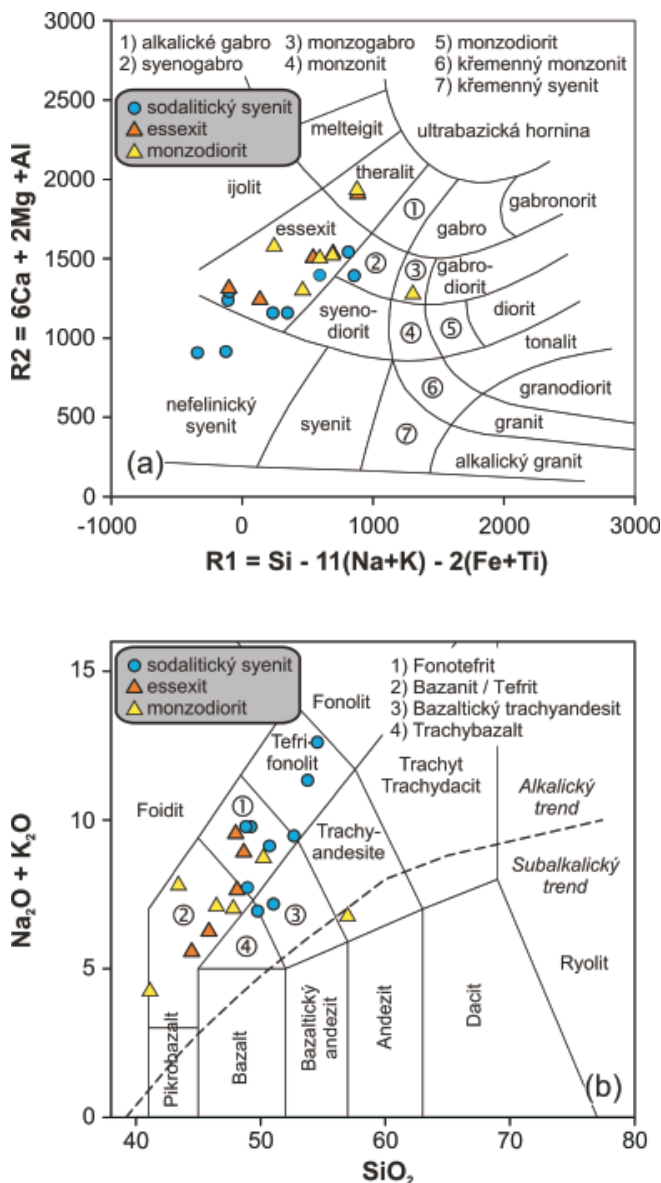
kumulátech.

Ochuzení o Rb v lamprofyrech je odrazem jejich (relativně) primitivního složení (viz vysoký poměr K/Rb zvláště u nejpřimitivnějších přítomných lamprofyřů - monchiquitů). Nevýrazná obecně přítomná pozitivní anomálie Zr (vysoká pouze v případě žilných hornin silně alkalické série) souvisí s jeho koncentrací v pozdně magmatické fázi, případně s jeho dodatečným přínosem (Ulrych et al. 1992).

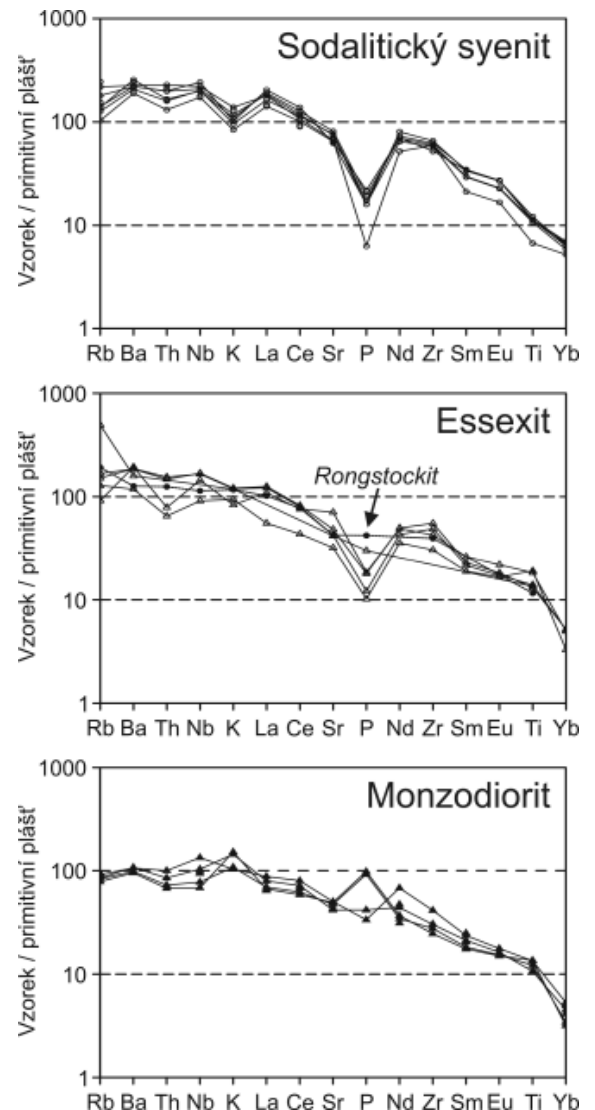
Chondrity normalizované křivky zastoupení REE (Ulrych 1998) vykazují obohacení LREE (lehkými vzácnými zeminami) v celé horninové suité reprezentované vysokými poměry La/Yb (42 - 19); Eu-anomálie není přítomna (obr. 4).

Diskuse a závěr

Horniny subvulkanické série essexit / monzodiorit - sodalitický syenit RIC se na základě geochemických, i zatím nemnohých izotopových, charakteristik řadí k trachybazaltickým horninám děčínské formace Českého

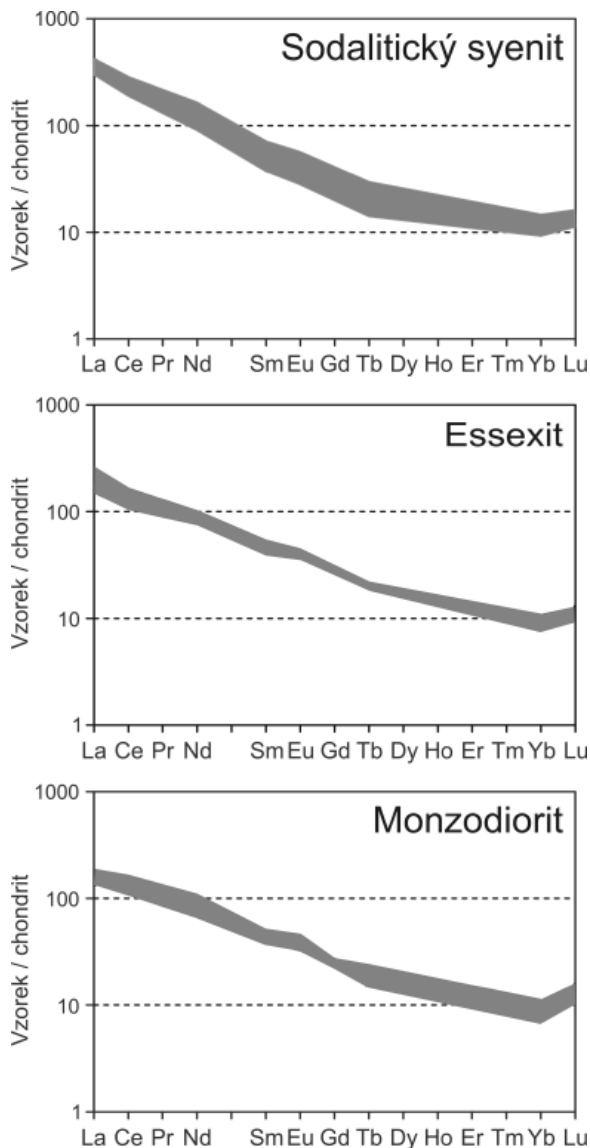


Obr. 2. Horniny roztockého intruzivního centra v klasifikačním diagramu plutonických hornin podle De LaRoche et al. (1980) [a] a srovnání s jejich pozicí v klasifikačním diagramu vulkanických hornin (Le Maitre ed. 2002) [b].



Obr. 3 Porovnání zastoupení stopových prvků v horninách roztockého intruzivního centra se složením primitivního pláště (Sun, McDonough 1989).

středohoří (Cajz 2000). Ulrych et al. (2000, 2001) prezentují izotopická data stroncia a v malé míře i neodymu v subvulkanitech RIC. V Sr-Nd diagramu horniny sledují charakteristický plášťový trend (Ulrych et al. 2000). Nižší hodnoty poměru Sr izotopů ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \sim 0.7037 - 0.7038$) ve felzických horninách patrně souvisí s nižším stupněm jejich alterace ve srovnání s mafickými deriváty ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \sim 0.7041 - 0.7044$). Odlišný metasomatizovaný litosférický plášťový zdroj, či nižší stupeň korové asimilace zůstávají v rovině úvah. Absolutně nejprimitivnější poměry Sr izotopů vykazuje hornblenditový kumulát (0.7036) v nich. Údaje o modelovém stáří T_{DM} (0.7 - 0.8) indikují frakcionaci litosférického svrchního pláště v období svrchního proterozoika. Izotopové poměry Sr-Nd a geochemická charakteristika ukazují na výraznou kontaminaci terciárního matečného magmatu starým krystalinickým materiálem z podloží ($T_{\text{DM}} = 1.4$ Ga), nebo spíše přímo na přítomnost magmatem nataveného a ovlivněného xenolitu ruly podložního krystalinika. (Ulrych et al. 2000).



Obr. 4 Chondrity (Boynton 1984) normalizované obsahy prvků vzácných zemin v jednotlivých horninových typech roztokého intruzivního centra.

Horninové série RIC (podobně jako v Kaiserstuhlu s převládajícím tefritovým chemismem - Keller, Schleicher 1990) lze derivovat frakcionací bazanitového magmatu eventuálně magmatu složení olivinického nefelinitu. Wedepohl (1987) odhaduje hloubku derivate magmatu tohoto složení v oblasti hessenských pánví na cca 85 km. Krystalizací kumulátů (amfibol > klinopyroxen ± olivín, plagioklas, titanit, apatit) lze derivovat celou horninovou suitu, tj. hypabysální i obě žilné série (cf. Bédard 1989; Ulrych et al. 2002). Krystalizace amfibolu v kumulátech a fenokrystech svědčí o zvýšeném zastoupení vody v primární bazaltické tavenině odvozené nejspíše z metasomaticky obohaceného pláště. Žilné série zahrnují nevýrazně mafické alkalické lamprofyry tefritového / fonotefritového až trachybazaltového složení, krystalizující za zvýšené fugacity f_{CO_2} a $f_{\text{H}_2\text{O}}$. Bédard (l.c.) považuje dokonce camptonit - monchiquitové magma (podstatně primitivnější než v Roztokách!) za potenciální parentální zdroj pro veškeré (?) intruze v oblasti Montereian Mountain. Po úvodní frakcionaci kumulátů gabroidního složení vede následná krystalizace plagioklasu k vývoji mezokratických (gauterity) až felzických derivátů (sodalitické syenity, bostonity i tinguaity). Diferenční vývoj subvulkanických hornin RIC je blízký diferenčnímu modelu uváděnému jak Bédardem (1989) pro geneticky i složením blízké intruze monteregiánské provincie, tak Kellerem a Schleicherem (1990) pro horninové série vulkanického centra Kaiserstuhlu. Pro vývoj subvulkanických horninových asociací tohoto centra postupným vyprazdňováním jednotného zvrstveného korového magmatického krbu v souvislosti s jeho pulzační aktivitou (ve smyslu Hibsche 1926; Tvrdého 1986; Jelínka et al. 1989; Ulrycha 1998) svědčí:

- geologická pozice intruzivního centra s převládající centrální lokalizací subvulkanických těles doprovázená žilným rojem cca 1000 převážně radiálně uspořádaných žil (Ulrych, Balogh 2000);
- geochemické korelace členů komagmatických diferenčních řad (Ulrych et al. 1983; Jelínek et al. 1989; Ulrych 1998);
- sblížené charakteristiky Sr-Nd izotopových poměrů v celé horninové asociaci RIC (Ulrych 1998) i Českého středohoří (Wilson et al. 1994);
- petrologické kalkulace diferenčního vývoje primárního magmatu (Jelínek et al. 1989).

Frakční krystalizací modelového primárního magmatu typu alkalického olivinického bazaltu může na základě krystalizace kumulátů pyroxen-amfibolového složení vzniknout cca 30 obj. % sodalitických syenitů a 70 obj. % essexitů (cf. vznik tefritu, Großer Winterberg, Sasko - Kramer, Seifert 2000). Tyto údaje jsou v souladu s geologickým zastoupením uvedených typů hornin i složením kumulátů (Jelínek et al. 1989) modelovaných adičně-subtrakční metodou.

Poděkování

Autoři děkují za podporu projektu GAAV IAA300130902 „Charakteristika plášťových zdrojů a krystalizační historie subvulkanických alkalických hornin na příkladu oherského riftu: Geochemické studium a systematika izotopů Sr a Nd.“ a vědeckých záměrů GIÚ AVČR (AV0Z30130516) a ÚGMNZ PIFUK (MSM0021620855).

Literatura

- Adamovič J., Coubal M. (1999): Intrusive geometries and Cenozoic stress history of the northern part of the Bohemian Massif. - *Geolines* **9**, 5-14.
- Bachinski S. W., Simpson E. L. (1984): Ti-phlogopites of the Shaws Cove minette: a comparison with micas from other lamprophyres, potassic rocks, kimberlites and mantle xenoliths. - *Amer. Mineral.* **69**, 41-56.
- Balogh K., Ahijado A., Casillas R., Fernandez, C. (1999): Contributions to the chronology of the Basal Complex of Fuerteventura, Canary Islands. - *J. Volc. Geotherm. Res.* **30**, 81-101.
- Balogh K., Itaya T., Németh K., Martin U., Wijbrans J., Thanh N. X. (2005): K/Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the Pliocene alkali basalt of Hegyestű, Balaton Highland, Hungary: A progress report. - *Min. Slov.* **37**, 298-300.
- Bédard J. H. (1989): Cumulus and post-cumulus processes in Montereian and White Mountain complexes. - In: Continental Magmatism. Abstracts. Intern. Assoc. Volcanol. Chem. Earth's Interior, June 25-July 1, 1989, 19, Santa Fe, New Mexico, USA.
- Bhattacharji S., Nehru C. E. (1972): Igneous differentiation model for origin of Mount Johnson, a zoned Montereian intrusion, Quebec, Canada. - In: International Geological Congress XXIVth. Section 15, 3-17.
- Boynnton W. V. (1984): Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. - In: Henderson P. (ed.): Rare Earth Element Geochemistry, 63-114. Elsevier, Amsterdam.
- Buddington A. F., Lindsley D. H. (1964): Iron-titanium oxide minerale and synthetic equivalents. - *J. Petrology* **5**, 310-357.
- Cajz V. (2000): Proposal of lithostratigraphy for the České středohoří Mts. - *Bull. Czech Geol. Survey* **75**, 7-16.
- Cajz V. (2003): Dyke swarm pattern and tectonics in the České středohoří Mts. volcanic centre, Ohře (Eger) Rift, Central Europe (starting points for further research). - *Geolines* **16**, 15-22.
- Deines P., Gold D. P. (1973): The isotopic composition of carbonatite and kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep-seated carbon. - *Geochim. Cosmochim. Acta* **37**, 1709-1722.
- De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M. (1980): A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2- diagram and major element analyses - its relationships with current nomenclature. - *Chem. Geol.* **29**, 183-210
- Eby G. N. (1985): Sr and Pb isotopes, U and Th chemistry of the alkaline Montereian and White Mountain provinces, eastern North America. - *Geochim. Cosmochim. Acta* **49**, 1143-1154.
- Eby G. N. (1987): The Montereian Hills and White Mountain alkaline igneous provinces, eastern North America. - In: Fitton J. G., Upton J. (eds.): Alkaline Igneous Rocks, 433-447. Geol. Soc. Spec. Paper, No. 30, Geol. Soc. by Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- Eby N., Kruger H. W., Creasy J. W. (1992): Geology, geochronology and geochemistry of the White Mountain batolith, New Hampshire. - In: Puffer J. H., Ragland P. (eds.): Mesozoic Magmatism in Eastern North America, 379-397. Geol. Soc. Amer. Spec. Paper, 268.
- Granet M., Wilson M., Achauer U. (1995): Imaging mantle plumes beneath the French Massif Central. - *Earth Planet. Sci. Lett.* **136**, 199-203.
- Hibsch J. E. (1911): Geologische Karte des Böhmisches Mittelgebirges. Blatt VI (Wernstadt - Zinkenstein) nebst Erläuterungen. Gesell. Förderung Deutsch. Wiss., Kunst, Literatur in Böhmen. A. Holder, Wien.
- Hibsch J. E. (1926): Erläuterungen zur geologischen Übersichtskarte des böhmischen Mittelgebirges und der unmittelbar angrenzenden Gebiete zugleich in allgemein verständlicher geologischer Führer. Freier Lehrverein des polit. Bezirk Tetschen, Tetschen.
- Hibsch J. E. (1930): Geologischer Führer durch das Böhmisches Mittelgebirge., Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin.
- Hubberten H. W., Katz-Lehnert K., Keller J. (1988): Carbon and oxygen isotope investigations in carbonatites and related rocks from the Kaiserstuhl. - *Chem. Geol.* **70**, 257-274.
- Irvine T. N. (1986): Appendices. Appendix 2. Processes involved in the formation and development of layered igneous rocks. - In: Parson I. (ed.): Origin of Igneous Layering, 649-655. D. Riedel. Publ. Co., Dordrecht.
- Jelínek E., Souček J., Tvrdý J., Ulrych J. (1989): Geochemistry and petrology of alkaline dyke rocks of the Roztoky volcanic centre, České středohoří Mts., ČSSR. - *Chem. Erde* **49**, 201-217.
- Keller J. (1981): Carbonatitic volcanism in the Kaiserstuhl alkaline complex: Evidence for highly fluid carbonatitic melts at the Earth's surface. - *J. Volcanol. Geotherm. Res.* **9**, 423-431.
- Keller J. (1984a): Der Jungtertiäre Vulkanismus Südwestdeutschlands: Exkursionen Kaiserstuhl und Hegau. Exkursionen A 2 und A 5 DMF- ÖMG-SMPG Tagung. - *Fortsch. Mineral.* **62**, Beih. 2, 2-35.
- Keller J. (1984b): Tertiary alkaline volcanism of SW-Germany: Rhinegraben, Kaiserstuhl, Hegau, Urach. Alkaline Igneous Rocks. A Review. - In: Symposium Edinburgh, September 1984, Abstracts. 13-16. Edinburgh.
- Keller J., Schleicher H. (1990): IAVCEI 1990 Post-Conference Excursion 2B: Volcanism and Petrology of the Kaiserstuhl, 32-59, Mainz.
- Kelley S. (2002): Excess argon in K-Ar and Ar-Ar geochronology. - *Chem. Geol.* **188**, 1-22.
- Kopecký L. (1987): The Roztoky pseudotrachyte caldera in the České středohoří Mts., Czechoslovakia. - In: Kopecký L. (ed.): Proc. First Seminar on Carbonatites and Alkaline Rocks, 93-119. Geol. Survey, Prague.
- Kramm U., Schleicher H., Keller J., Grauert B. (1991): Nd-isotopes of Kaiserstuhl rocks. - *Fortschr. Mineral.* **62**, 131-132.
- Kramer W., Seifert W. (2000): Mafische Xenolithe und Magmatite im östlichen Saxothuringikum und westlichen Lugikum: Ein Beitrag zum Krustenbau und regionalen Geologie. - *Z. geol. Wiss.* **28**, 133-156.
- Kresten P. (1980): The Alnö complex: tectonics of dyke emplacement. - *Lithos* **13**, 153-158.
- Le Maitre R. W. (ed.) (2002): Igneous Rocks. A Classification and Glossary of terms. 2nd Ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mori T., Green D. H. (1975): Pyroxenes in the system $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ at high pressure. - *Earth Planet. Sci. Lett.* **26**, 277-286.
- Mrlina J., Cajz V. (2006): Subsurface structure of the volcanic centre of the České středohoří Mountains, North Bohemia, determined by geophysical surveys. - *Stud. Geophys. Geod.* **50**, 75-88.

- Perčuk L. L. (1970): Ravnovesija porodoobrazujušičih mineralov. - Nauka, Moskva, 399 pp.
- Philpotts A. R. (1974): The Montereian Province. In: Sorensen J. (ed.): The Alkaline Rocks, 293-310. - J. Wiley & Sons, London.
- Pivec E., Chrt J., Kašpar P., Ulrych J. (1984): Neoidic polymetallic mineralization at Roztoky n. L. - *Studie ČSAV* **10**, 1-64.
- Pivec E., Ulrych J., Šrein V., Bendl J., Dobeš P., Žák K. (1998): Epithermal Tertiary Pb-Zn-Cu-(Ag,Te) mineralization in the Roztoky volcanic centre, České středohoří Mts., Czech Republic. - *Geol. Carpath.* **49**, 139-146.
- Ritter J. R. R., Jordan M., Christensen U. R., Achauer U. (2001): A mantle plume below the Eifel volcanic fields, Germany. - *Earth Planet. Sci. Lett.* **186**, 7-14.
- Rock M. N. S. (1979): Chemical mineralogy of the Monchique alkaline complex, Portugal. - *Contr. Mineral. Petrol.* **81**, 64-79.
- Rock M.N.S. (1991): Lamprophyres. - Blackie, Glasgow.
- Schleicher H., Baumann A., Keller J. (1991): Pb isotopic systematics of alkaline volcanic rocks and carbonatites from the Kaiserstuhl, Upper Rhine-Valley, FRG. - *Chem. Geol.* **93**, 231-243.
- Schleicher H., Keller J., Grauert B., Baumann A., Kramm U. (1984): Sr-Isotopenstudien an Alkalivulkaniten des Kaiserstuhls. - *Fortsch. Mineral.* **62**, Beiheft 1, 207-209.
- Schleicher H., Keller J., Kramm U. (1990): Isotope studies on alkaline volcanics and carbonatites from the Kaiserstuhl, Federal Republic of Germany. - *Lithos* **26**, 21-35.
- Slemons D. B. (1962): Observation on order-disorder relations of natural plagioclase I. A method of evaluation order-disorder. - *Norsk. Geol. Tidsskrift* **42**, 533-554.
- Smith J. V. (1974): Feldspar Minerals 1. Crystal Structure and Physical Properties. - 1-828. Springer, Berlin.
- Sommerauer J., Katz-Lehnert K. (1985): A new partial substitution mechanism of $\text{CO}_3^{2-}/\text{CO}_3\text{OH}^-$ and SiO_4^{4-} for the PO_4^{4-} group in hydroxylapatite from Kaiserstuhl alkaline complex (SW-Germany). - *Contrib. Mineral. Petrol.* **91**, 360-368.
- Sun S. S., McDonough W. F. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. - In: Saunders A. D., Norry M. (eds.): Magmatism in Ocean Basins, 313-345. Geological Society of London Special Publication 42.
- Sutherland D. S. (1967): Potash trachytes and ultra-potassic rocks associated with the carbonatite complex of the Terror Hills, Uganda. - *Mineral. Mag.* **35**, 263-278.
- Tröger W. E. (1935): Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. Ein Nomenklatur-Kompodium. - Schweitzerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Tvrđý J. (1986): Geochemistry of the dyke rocks of the Roztoky n. Labem area (České Středohoří Mts., Czechoslovakia). - *Acta Univ. Carol., Geol.*, 337-365.
- Ulrych J. (1983): Chemismus sektorově zonálních klinopyroxenů monchiquitu a rongstockitu z Českého středohoří. - *Acta Univ. Carol., Geol.*, 117-131.
- Ulrych J. (1998): Geochemistry of subvolcanic alkaline rocks of the Roztoky intrusive centre, České středohoří Mts., Bohemia. - *Erlanger Beitr. Petr. Mineral.* **8**, 1-42.
- Ulrych J., Balogh K. (2000): Roztoky intrusive centre in the České středohoří Mts.: differentiation, emplacement, distribution, orientation and age of dyke series. - *Geol. Carpath.* **51**, 383-397.
- Ulrych J., Pivec E. (1988): Neoidic polymetallic mineralization in the České středohoří Mts. - Roztoky nad Labem. - *Zpr. stud. Kraj. Muz. v Teplicích* **17**, 7-18.
- Ulrych J., Pivec E. (1999): Contact aureole of the Roztoky monzodiorite intrusion, České středohoří Mts., Bohemia. - *Erlanger Beitr. Petrogr. Mineral.* **9**, 1-36.
- Ulrych J., Cajz V., Balogh K., Erban V. (2001): Geochemistry of the stratified volcanosedimentary complex in the central part of the České středohoří Mts., North Bohemia. - *Krystalinikum* **27**, 27-49.
- Ulrych J., Novák J. K., Lang M., Balogh K., Hegner E., Řanda Z. (2006): Petrology and geochemistry and K-Ar ages for Cenozoic tinguaites from the Ohře/Eger Rift (NW Bohemia). - *N. Jb. Miner., Abh.* **183**, 71-61.
- Ulrych J., Pivec E., Fiala J., Lang M. (1983): Petrology of the alkaline subvolcanic rocks from the Roztoky area (České středohoří Mts.). - *Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat. přír. Věd*, 1-84. Academia, Praha.
- Ulrych J., Pivec E., Höhndorf A., Balogh K., Bendl J., Rutšek J. (2000): Rhyolites from the Roztoky Intrusive Centre, České středohoří Mts.: Xenoliths or Dyke Differentiates? - *Chem. Erde* **60**, 1-28.
- Ulrych J., Pivec E., Rychlý R., Rutšek J. (1992): Zirconium mineralization of young alkaline volcanic rocks from northern Bohemia. - *Geol. Carpath.* **43**, 91-95.
- Ulrych J., Svobodová J., Balogh K. (2002): The source of Cenozoic volcanism in the České středohoří Mts., Bohemian Massif. - *N. Jb. Mineral., Abh.* **177**, 133-162.
- van Wyk de Vries B., Merle O. (1998): Extension induced by volcanic loading in regional strike-slip zones. - *Geology* **26**, 983-986.
- Vichi G., Stoppa F., Wall F. (2005): The carbonate fraction in carbonatitic Italian lamprophyres. - *Lithos* **85**, 154-170.
- Wambeke L. V. et al. (1964): Les roches alcalines et les carbonatites du Kaiserstuhl. - Euratom Rep. No. 1827d, e, f, 1-232. Bruxelles.
- Wedepohl K. H. (1987): Kontinentaler Intraplatten-Vulkanismus am Beispiele der tertiären Basalte der Hessischen Senke. - *Fortschr. Mineral.* **65**, 19-47.
- Wilkinson J. F. G., Hensel J. (1994): Nephelines and analcimes in some alkaline igneous rocks. - *Contrib. Mineral. Petrol.* **118**, 79-91.
- Wilson M., Patterson R. (2001): Intraplate magmatism related to short-wavelength convective instabilities in the upper mantle: Evidence from the Tertiary-Quaternary volcanic province of western and central Europe. - In: Ernst R. E., Buchan K. L. (eds.): Mantle plumes: Their Identification Through Time. 37-58. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper* **352**, Boulder, Colorado.
- Wilson M., Rosenbaum J., Ulrych J. (1994): Cenozoic magmatism of the Ohře rift, Czech Republic: geochemical signatures and mantle dynamics. - In: Abstracts Intern. Volcanol. Congress, 1. Ankara.
- Wimmenauer W. (1974): The alkaline province of central Europe and France. - In: Sørensen H. (ed.): The Alkaline Rocks, 238-271. J. Wiley & Sons, London.
- Zheng Y.-F. (1999): Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulphate minerals. - *Geochem. J.* **33**, 109-126.